

ЧЕРНОВИК

М.Н.Якимов

ПРЕДЕЛЫ РОСТА
И
РОСТ ПРЕДЕЛОВ

ПРЕДЕЛЫ РОСТА
И
РОСТ ПРЕДЕЛОВ

Текст © Copyright Михаил Якимов 2016.

Права Михаила Якимова как автора текста защищены в соответствии с Copyright, Designs and Patents Act, 1988.

Издание Smashwords. Лицензионное соглашение.

Эта книга предоставляется читателям бесплатно, однако продолжает оставаться объектом авторского права. Любое коммерческое использование данного произведения возможно только с согласия автора. Если книга Вам понравилась, и Вы хотите поделиться этой книгой с друзьями, не передавайте электронную версию книги. Попросите Ваших друзей скачать собственный экземпляр с одного из официальных сайтов распространителей. Если Вам передали эту книгу в виде файла, пожалуйста, посетите официальный сайт и скачайте собственный экземпляр. Спасибо что уважаете труд автора.

Памяти сэра Дэйвида Дж. К. Мак-Кея (1967-2016) посвящается.



Оглавление

1. Нужны ли мы нам?..... 3
2. Земля как термодинамическая машина..... 20
3. Экспоненты и эксперименты..... 39
4. По следам уравнения..... 60
5. А и Б сидели на трубе…..... 82
6. Закрытие «Вселенной»..... 103
7. Нематериальные материалисты..... 121
8. Заколдованный пик..... 146
9. Прогнозы и пиво..... 176
10. Сказки для взрослых..... 204
11. Двести лет сланцевых..... 222
12. Сто процентов возобновляемых..... 252
13. История вероятности..... 288
14. Нефть, газ и спрос..... 321
15. Ерой нашего времени..... 357
16. Акулий плавник..... 392
17. Консенсус-шмонсенсус..... 428
18. Эффект Аррениуса..... 462
19. Матрица перехода..... 487
20. Демографический переход: прямой или обратный?..... 510
21. Индустриальная контрреволюция..... 535

I. Список литературы..... 801

II. Другие использованные источники..... 805
III. Обозначения..... 817
IV. Физические величины, использованные в книге..... 818
V. Физические величины, оценка которых приводится в книге..... 819
VI. Пик нефти по странам мира..... 822
VII. Демографический переход по странам мира..... 832



Глава 1.
Нужны ли мы нам?

Кристобаль Хозевич Хунта, заведующий отделом Смысла Жизни, был человек замечательный, но, по-видимому, совершенно бессердечный. Некогда, в ранней молодости, он долго был Великим Инквизитором и по сию пору сохранил тогдашние замашки. Почти все свои неудобопонятные эксперименты он производил либо над собой, либо над своими сотрудниками... Не чужд ему был и некоторый скептицизм. В одной из его лабораторий висел огромный плакат: «Нужны ли мы нам?» Очень незаурядный человек.

А. и Б. Стругацкие «Понедельник начинается в субботу»

Представьте себя посреди Атлантики ранним утром 15 апреля 1912. Под вашими ногами – надёжная стальная палуба самого современного в мире пассажирского лайнера. Правда, полчаса назад был небольшой толчок, мы слегка накренились, но это мелочи. Какой-то паникёр предлагает организованно усаживать женщин и детей в шлюпки, непременно с парой матросов в каждой. Мужчинам затем – ломать мебель и строить плоты, тоже организованно. Нет, так нельзя. Мебель новая и дорогая. Паникёра свяжем полотенцами и запрём в лазарете.

Книга «*Пределы роста*»[1] наделала в 1972 году порядочно шума.

Началось всё достаточно мирно. В 1968 году группа бизнесменов, учёных и политиков, собравшись в Риме, организовала «*Римский Клуб*». Уже тогда многие жаловались, современные политики редко заглядывают дальше следующих выборов, а бизнесмены – и того хуже: интересуются только финансовыми успехами следующего полугодия. «*Римской Клуб*» собрался, чтобы обсуждать проблемы развития человечества XXI-XXII века. Вы читали «*Полдень, XXII век*» Стругацких? Вот про это самое и собирались обсуждать.

С подачи «*Римского Клуба*», в 1969 году «*Фонд Фольксваген*» оплатил машинное время на компьютере IBM в Массачусетском Технологическом Институте (MIT). Компьютеры в те далёкие и тёмные века занимали целые залы. Вокруг суетились десятки высокооплачиваемых и редких специалистов в белых халатах. Зато и транзисторный «Алдан», простите «IBM-7090», – был на загляденье: 32 килобайта оперативной памяти и около 125'000[1] операций каждую секунду!

Кому заплатили? Молодым учёным из лаборатории компьютерных исследований того же MIT. Всего в группе было 17 человек, а возглавлял её доктор философии Дэннис Л. Медоуз[2]. Отчёт по проекту, позже ставший

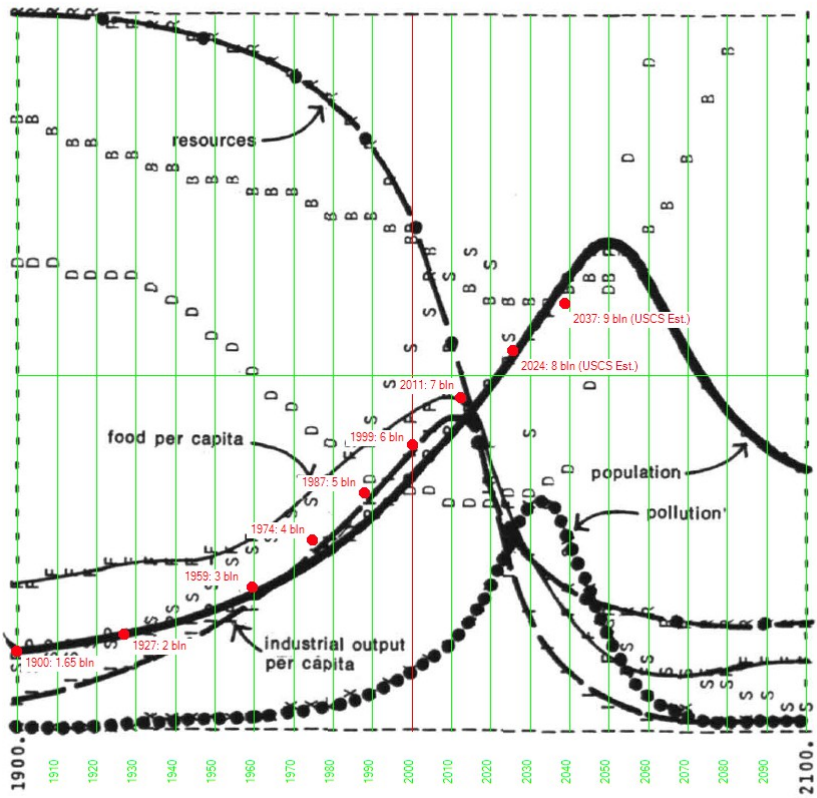
1 Здесь и далее по тексту, в числовых обозначениях принята нотация с отделением тысяч – апострофами, а десятичной части – точкой. Это необходимо, чтобы не вызывать путаницы с кодом на Python.

2 Анатолий Вассерман непрерывно называет Д. Л. Медоуза то «Дереком», то «Даррелом». Натурально, книгу Вассеман *пролистал*. Так, для общей ерундиции. Кстати, на момент написания книги

книгой «*Пределы Роста*», писала в основном жена Дэнниса, Донелла Медоуз, а помогали Йорген Рандерс и Уильям У. Беренц III.

Весь проект был выполнен на языке DYNAMO, специально заточенном под решение задач математического моделирования. Почему не выбрали более распространённый FORTRAN? Из-за сложности отладки! На IBM того времени надо было пробивать перфокарты, затем нести «колоду» в машинный зал, затем получать распечатки. На прогон 15-минутного расчёта иногда уходил день личного времени. Автор этой книги застал в школьно-студенческой юности и «пакетку», и зелёные-на-чёрном монстрообразные терминалы, и FORTRAN IV, и вспоминает всё это с содроганием, как кошмарный сон. А у ребят из MIT – ФОРТРАН был даже не «четыре», а ещё просто «ФОРТРАН»: язык всего десять лет как оторвался от Ассемблера и стал обзываться «языком высокого уровня». DYNAMO, незаконнорожденный ребёнок Джея Райта Форрестера, на фоне ФОРТРАНА выглядел просто фантастически: пишешь дифференциальные уравнения в произвольном порядке, задаёшь шаг дискретизации… Что это щёлкает? Принтер!

Figure 35 WORLD MODEL STANDARD RUN



Д.Л.Медоузу было всего 30 лет, а Вассерману – 20.

Главное: DYNAMO по умолчанию обучен рисовать графики! Правда, только буквочками на принтере. В первом издании «*Пределов роста*» графики именно такие. Для удобства читателей, Донелла вручную(!) соединяла буквочки по лекалам и подписывала кривые на пишмашинке.

Всё красное и зелёное на диаграмме – не из «*Пределов роста*», а от автора этой книги. Дело в том, что в 1972 году авторы работы намеренно не нарисовали единиц по вертикальным осям, а на горизонтальной – условно отложили годы: «1900» и «2100». Отдельно в тексте авторы оговорились, для точного предсказания по годам у них не хватает данных. Авторов интересовало поведение системы в принципе, а не конкретные предсказания.

Несмотря на вышеизложенное, график «стандартного решения» из книги 1972 года оказался пророческим, и с тех пор много раз опубликован в разных видах: с годами и без. Я намеренно беру график из самого первого издания.

Так что же они там писали, мальтузианцы этакие? Основные выводы из базовой модели (конкретные годы тут не от авторов «*Пределов*», а для примера, чтобы легче следить по графикам):

- Население планетки будет непрерывно увеличиваться, и достигнет к 2050 году 10 млрд человек. По факту, в 2015 мы обгоняли базовую модель 1970 года на 300 миллионов. Демографы ООН заверяют, 10 млрд как раз получится в 2050, а дальше – полочка на 11.5 млрд к 2100 году. Хорошие новости: человечество не вымрет.

- Количество жратвы на душу населения будет увеличиваться вплоть до 2012 года, а затем кривая пойдёт резко вниз. Уже к 2030 насчёт пожрать будет примерно так же, как в суровом 1900, а далее – несколько хуже, но к 2060 положение стабилизируется, а потом кривая даже пойдёт слегка вверх. За такое предсказание ругали, пока в 2009 году Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО) не перестала публиковать данные о производстве калорий на душу, зато считает лебеду отдельно от брюквы. Умный – поймёт.

- Количество товаров потребления, всяких «ай-фонов» и «Фокусов», повышается до 2010 года, а потом начинается снижение. Что-то такое было в 2007—2009, я уже не помню. Вроде бы – кредиты теперь дают только под зверские проценты? Но смартфон у меня почему-то старый. В 2050 наступает «полочка» на уровне потребления начала прошлого века. Телевизоры у населения останутся, не беспокойтесь.

- Услуги: образование, медицинское обслуживание, детское порно, туризм, фантики-акции, – растут аж до 2015, а потом происходит плавное падение почти в ноль. Как там сегодня Доу Джонс? Почему турфирма отменила мой чартер в Таиланд? Почему учителя берут взятки?

- И от загрязнения окружающей среды мы не сдохнем: пик пройдёт в 2032 году, а дальше свалки будут использоваться в качестве месторождений полезных ископаемых. Нормально.

- Потому что нефть, газ и уголь мы выпилим на 90%, и будем пилить только уран/торий и вероятно литий/тритий. Кстати, «Пик Нефти» на душу населения мы прошли в 1976 году. Куда рухнулась «Сланцевая революция» в США?

MIT и в семидесятые был вполне приличной конторой, и сейчас неплох: на третьем месте в мире по рейтингу, после Гарварда и Стэнфорда. Книга написана без зауми, простым и понятным языком. Два издания первой книги (1972-74 годов), и два переработанных и дополненных издания: «*За пределами роста*» 1992 [2] и «*Пределы роста: 30 лет спустя*» 2004 [3] выпущены общим тиражом более 30 млн экземпляров и даже превзошли плечепожатых «*Атлантов*» Айн Рэнд[3].

С самого начала, книга встретила абсолютно полярные отзывы: от провозглашения её истиной в последней инстанции до полного отрицания. Нас мало интересуют политические расклады 1970 года, поэтому приведём сражающиеся стороны по состоянию на 2017.

- «**Пикники**» (от слова «пик» с ударением на первом слоге). Независимые или вышедшие в отставку эксперты: геологи, геофизики, биологи, экологи – часто полагают, цивилизация остановится, когда прекратит расти производство определённого ресурса. Так как нефть – очевидный кандидат на должность ограничителя, ею и занимаются больше всего. Ссылки будут приведены ниже. Однако помимо нефти, имеются группы, обсуждающие Пик Рыбы, или Пик Фосфатов, или Пик Цинка, а также те, кто предвидит взаимное наложение нескольких пиков, называя это событие «Пик Всего» [4]. Типичный представитель Колин Дж. Кемпбелл [5], британский нефтегеолог с полувековым стажем: *«Теория простая. Каждый, кто пил пиво, знает: стакан сначала полный, а потом – пустой. Чем быстрее пьёшь – тем быстрее кончается».*

- Ещё молодое движение «**Зелёных**» в семидесятых годах выводы «*Пределов роста*» поддерживало безоговорочно, но повзрослев, – разделилось. Во многих странах «Зелёные» превратились в обыкновенные политические партии и голосуют в коалициях с традиционными политиками, смотрим ниже. Сумевшие остаться хоть в чём-то экологами, считают, ограничение по ресурсам несущественно,

3 Часто утверждается, что произведения Айн Рэнд – в США самые читаемые после Библии. Оставим это на совести Библиотеки Конгресса США. Количество напечатанных экземпляров Библии – шесть миллиардов с хвостиком. Толкин по сумме «*Властелина Колец*» и «*Хоббита*» разошёлся в 290 млн, «*Гарри Поттер*» – более 100 млн экземпляров по сумме всей серии или более 600 млн – по отдельным книгам. Ни «*Атлант расправил плечи*», ни «*Пределы роста*» – не попадают даже во вторую сотню мировых бестселлеров.

а вся проблема – в загрязнении окружающей среды, перенаселении, ну или в глобальном изменении климата. Есть и политики, примкнувшие к «Зелёным», например, незабвенный Ал Гор с его «*Неудобной правдой*».

- Экономисты, а также сотрудники корпоративной науки и некоторые правительственные агентства известны как «**Корнукопианцы**». Это от латинского cornucopia (или cornu copiae), то есть «рог изобилия». Приверженцы этого направления полагают, чем больше народу живёт на планете, тем больше с одной стороны – учёных и инженеров, чтобы придумывать крутые фишки, а с другой стороны – больше рабочих рук, чтобы фишками Землю долбить. Ну и больше ртов, чтобы потреблять надолбленное. Это не значит, что «Корнукопианцы» – безудержные оптимисты и проблем совсем не замечают. Проблемы – у пролетариев в головах! Национальные правительства не хотят отдавать месторождения в концессию транснациональным компаниям. Транснациональные зарвались, сидят в офшорах, не платят налоги. Финансисты перетрудились и надули «сланцевый пузырь». Террористы посадили два самолётика в два небоскрёба. Ну и тому подобное. Локальные кризисы были, есть и будут, и даже очень суровые, но «в-среднем» ограничителей для бесконечного роста нет. Процитируем типичного представителя Бьёрна Ломборга[6], профессора политологии из Университета Аархуса в Дании. «*Предположим, вы заглянули на кухне в холодильник и говорите себе: Еды на три дня. На четвёртый день я помру с голоду. На самом деле, на второй день вы поедете в супермаркет и купите еды ещё на неделю. Так и с нефтью. Нефть мы добудем не только из источников, известных сейчас, но из источников, что мы откроем в будущем*».

- Наконец, «**Политики**». Если три вышеперечисленные группы хоть в чём-то специалисты, политики являются профессиональными дилетантами, и как таковые вынуждены принимать чью-то сторону. Про резко позеленевшего Гора мы уже упомянули. Есть политики с очень чётким уклоном к «Пикникам», например независимый сенатор Ник Ксенофон в Австралии. Большинство политиков группируются с экономистами – «Корнукопианцами». Так уж повелось, что политика – искусство разруливать локальные кризисы, не задумываясь на два поколения вперёд. Идею бесконечного роста и бесконечного улучшения легко толкать с трибуны или телеэкрана. И наконец, во всех проблемах можно кого-то обвинить: злых арабов, или коварных китайцев, или лидера конкурирующей партии. А если проблема в нехватке угля или избытке ртути – тут уж придётся брать ответственность на себя.

Простое население, в большинстве своём, о последствиях безудержного роста на планете с конечными ресурсами не задумывается. Из семи миллиардов народа, четыре элементарно не умеют читать и считать на уровне, достаточном

для понимания проблемы. У остальных трёх миллиардов – есть телевизор.

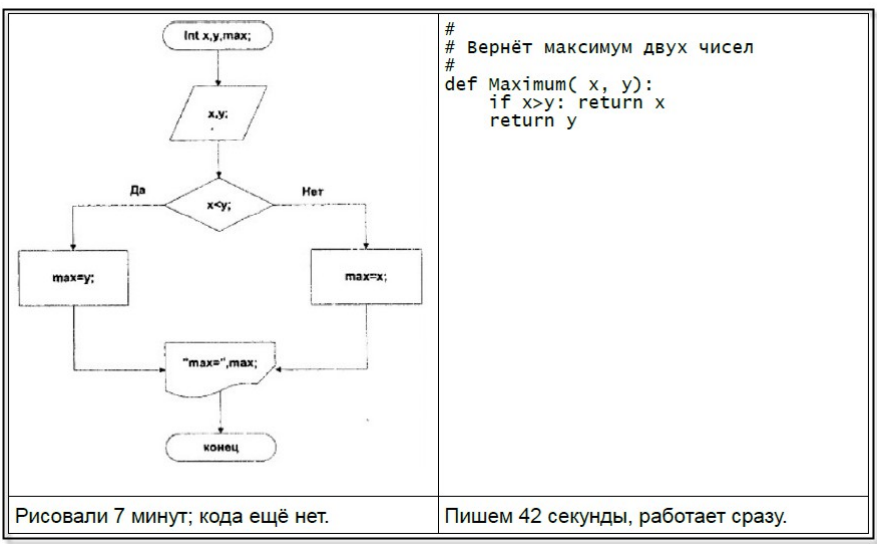
Самое интересное, все четыре группы «*Пределы роста*» наверняка читать принимались, но не осилили или прочитали по диагонали и поняли превратно. Не будем пересказывать и «урежем» цитатой. Выделение моё.

1. ***Если*** *текущие тенденции роста в населении Земли, индустриализации, загрязнении окружающей среды и истощении природных ресурсов* ***останутся без изменений****, пределы роста цивилизации на этой планете будут достигнуты примерно за столетие. Наиболее вероятный исход в таком случае –* ***быстрое и бесконтрольное сокращение населения*** *и промышленного производства.*
2. *Человечество* ***вполне в силах контролировать*** *тенденции роста для создания условий экологического и экономического равновесия на очень отдалённую перспективу. Условия равновесия с природой* ***вполне могут обеспечить*** *каждому жителю планеты Земля как необходимый* ***цивилизованный уровень жизни****, так и неограниченные возможности духовного развития личности.*
3. *Если человечество хочет достичь* ***второго исхода****, а не первого, чем скорее мы начнем контролировать тенденции роста, тем выше наши шансы.*

По изданию 1972 года, страница 23.

Тут нигде не говорится, что крах неминуем, и уж тем более ничего об Апокалипсисе и «мы все умрём». Даже в самом худшем сценарии умрут далеко не все, если вас это успокаивает. «За столетие» – это к 2070 году. Откуда у критиков взялся 2000? Я вот как ни вычитаю 1972 из 2000 – больше 28 не выходит. А вы вычитаете как-то иначе?

Кто виноват, что «*Пределы роста*» 1972 года были поняты неправильно? В какой-то мере, сами авторы.

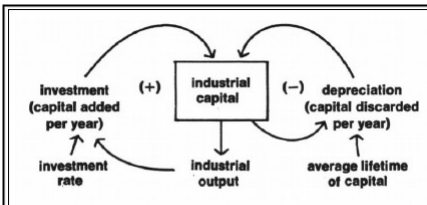


Рисовали 7 минут; кода ещё нет.	Пишем 42 секунды, работает сразу.

Во-первых, в шестидесятые годы, на волне бешеного развития компьютеров, молодёжь полагала, будто классическая нотация дифференциальных уравнений, как её придумали Ньютон и Лейбниц, отжила своё. Уравнениям в

книгах делать нечего! Вспомните, как продвигались в массы программистские блок-схемы, а чуть позже – бесполезные на практике графические схемы UML.

Вместо уравнений и блок-схем, «*Пределы роста*» содержит коробочки и стрелочки, как показано ниже.

	$\frac{\partial C}{\partial t} = (i - d)C$ C – промышленный капитал (1) t – время (лет) i – инвестиции (1/год) d – амортизация = $1/T_{амортизации}$ (1/год)
В «*Пределах роста*».	В школе

Запись справа и запись слева говорят читателю одно и то же. Если бы в семидесятые кто-то озаботился стандартизовать (хотя бы до уровня школьных блок-схем) «коробочную» нотацию, и проблем бы не было. В моей книге не появилось бы «во-первых», а недостатки «*Пределов роста*» начинались бы сразу с «во-вторых».

К счастью или несчастью, дифференциальные уравнения остались с нами в классическом виде. Читатели – кто не спал на уроках математики в школе или на лекциях в университете – глядя на коробочки, морщились и пожимали плечами. Кто спал, коробочки при чтении пропускали точно так же, как и формулы. В результате, книга «попала меж двух стульев», не ответив на вопросы «инженеров», и вконец запутав «гуманитариев». «Инженеры» с нетерпением ждали выхода в свет 600-страничной «*Динамики роста в конечном мире*»[7]. Уж там-то будут формулы! Формулы-то были, но картинок с коробочками всё равно намного больше. Отплевались.

Во-вторых, будучи университетской командой, и книгу писали, как научную статью, однако хотели дать неподготовленному читателю материала для раздумий, прежде чем переходить к моделированию. Первая глава на 20 страницах обсуждает экспоненциальный рост и чем он отличается от линейного. «Инженеры» помнят это со школы, а «гуманитарии», возможно, делают для себя великое открытие: экспонента растёт быстрее, чем любая линейная функция! Однако!

Затем, глава вторая, на 32 страницах рассказывает, отчего в реальных системах экспоненциального роста не бывает. И опять, сели между двух стульев! Только очень внимательный «инженер» станет читать весь текст. Большинство просто пролистает графики. А графики интересные. Тут вам (в порядке появления): и детская смертность от недостатка калорий и протеинов, и количество пахотной земли на душу населения, и добыча минерального сырья, и потребление энергии, и загрязнение окружающей среды, и даже концентрация ДДТ в рыбе из озера Онтарио. Всё в одной куче. Типа,

академические доказательства и ссылки с вежливыми кивками коллегам, опубликовавшим ранее.

Ах, лучше бы не было этих двух глав и пятидесяти двух страниц! На второй главе уважаемые авторы «*Пределов роста*» теряют добрую половину читателей. Великолепные графики и таблицы – частности, а за деревьями плохо виден лес. Отчего я полагаю, что некоторые честные критики не дочитали книжку до конца?

«*Пределы роста*» постоянно критикуют за «неверные предсказания». Вроде бы где-то там, на какой-то неведомой странице книги, сказано: нефть кончится в 1992 году, хром – в 2067, а золото – так и вообще в 1981. А вот уже 2017 на дворе – нефть не кончилась! Не люблю я неведомых страниц, поэтому проверяю: на страницах с 55 по 60 представлены таблицы «по данным Американского Бюро Добывающей Промышленности» (US Bureau of Mines), и формулы приведены. Вот так выглядит верхушка страницы 60. Числа не супруги Медоуз высосали из пальца, а выдали коллеги из официальной, правительственной конторы, как раз к ресурсам и приставленной.

[a] SOURCE: US Bureau of Mines, *Mineral Facts and Problems, 1970* (Washington, DC: Government Printing Office, 1970).

[b] The number of years known global reserves will last at current global consumption. Calculated by dividing known reserves (column 2) by the current annual consumption (US Bureau of Mines, *Mineral Facts and Problems, 1970*).

[e] SOURCE: US Bureau of Mines, *Mineral Facts and Problems, 1970.*

[d] The number of years known global reserves will last with consumption growing exponentially at the average annual rate of growth. Calculated by the formula

$$\text{exponential index} = \frac{\ln((r \cdot s) + 1)}{r}$$

where r = average rate of growth from column 4
s = static index from column 3.

[e] The number of years that five times known global reserves will last with consumption growing exponentially at the average annual rate of growth. Calculated from the above formula with 5s in place of s.

[f] SOURCE: US Bureau of Mines, *Mineral Facts and Problems, 1970.*

По хрому, к примеру, таблица говорит, при сохранении уровня добычи 1970 года разведанных запасов хватит на 420 лет. А если уровень добычи будет расти по 2.6% в год, как он рос с 1960 по 1970, тех же разведанных запасов хватит на 95 лет.

В нашем примере с «Титаником», из трюма к капитану прибегает механик и докладывает: если поступление воды как сейчас, то трюм затопит за пять часов, а если поступление воды ускорится – то за час. Он не паникёр, а просто знает объём трюма, но не знает (и не может знать) скорость поступления воды в будущем. Вот прошло два часа, и трюм полон на ⅔. Можно ли винить нашего механика, что выдал верную оценку, но дело не пошло по наихудшему сценарию?

Откроем английскую «Википедию»[4]. Перевод мой.

The original version presented a model based on five variables: world population, industrialisation, pollution, food production and resources depletion. These variables are considered to grow exponentially, while the ability of technology to increase resources availability is only linear... Two of the scenarios saw "overshoot and collapse" of the global system by the mid to latter part of the 21st century, while a third scenario resulted in a "stabilized world."[The Limits To Growth]

В начальной версии представлена модель, основанная на пяти переменных: народонаселении, индустриализации, загрязнении окружающей среды, производства продовольствия и истощения ресурсов. Авторы полагают, что эти переменные растут экспоненциально, в то время как технологии увеличивают доступность ресурсов лишь линейно... Два из представленных сценариев продемонстрировали «пик и обвал» к середине или концу 21 века, а третий сценарий приводил к «стабильному миру» [Пределы роста].

Услужливые ссылки предлагают вам почитать (в порядке появления в тексте): о населении Земли, об истощении природных ресурсов, про экспоненциальный рост, и, наконец, для любителей математики – про функцию y=ax+b. И ссылка на «*Пределы роста*» в конце, без упоминания страницы. Ищите, да обрящете.

А вот русская «Педивикия» более категорична, и со ссылкой только на последнюю книгу «*Пределы роста – 30 лет спустя*»:

Модель World3 (англ.) была построена на пяти параметрах — численность населения Земли, индустриализация, производство продуктов питания, истощение природных ресурсов и загрязнение окружающей среды. Каждый из них имеет свою динамику развития и влияет на остальные параметры. Моделирование показало, что во всех вариантах развития человечества, даже самых оптимальных (новые технологические прорывы, постоянный рост урожайности в сельском хозяйстве), катастрофа человечества к 2100 году будет неизбежна из-за истощения невозобновляемых ресурсов[«Пределы роста — 30 лет спустя»].

Как всегда, викиложцы[5] блещут глубочайшими познаниями в предметной области. Оставим, что «переменных» в модели *World3* куда поболее, чем пять, но заметим, что среди них «индустриализации» таки нет, а есть «промышленные товары на душу населения» и «промышленный капитал». Как нет и переменной «истощение природных ресурсов», а есть просто «невозобновляемые ресурсы». Смотрите график выше. Откуда «индустриализация» взялась? Так со страницы 23 издания 1972 года. Ясное дело, викиложцы далее «Введения» прочитать не затруднились.

Ни одна из переменных «экспоненциально» не растёт, что бы там не пердели англоязычные. Смотрите график – и где-таки экспонента? В книге нигде не сказано, что технологии «увеличивают доступность ресурсов лишь линейно». И нет ни одной строчки о том, что «обвал» непременно случится в середине или конце 21 века. Более того, авторы категорически настаивали на отсутствии всяческих предсказаний по времени. Впрочем, про это я написал сразу там под графиком. Перечитайте. О том, откуда и как викиложцы выдирают цитаты – будет ниже.

4 Скачано 24 июня 2016 г. Автор по возможности отредактировал этот нонсенс.

5 Не поймите неверно. Я с уважением отношусь к «Википедии» и её основателям Джимми Уэльсу и Ларри Сангеру. Более того, полагаю, что большинство соавторов этого замечательного ресурса – честные люди и выполняют общественно-полезное дело. К сожалению, на всяком бульоне бывает накипь. Для этой накипи и зарезервирован термин «викиложцы».

А русскоязычным викиложцам надобно просто подучить английскую мову или хотя бы разобраться, что такое «параметр» и «переменная» в чёткой терминологии компьютерного моделирования. Но это ладно. Кто вам сказал, что в книге 1972 года «во всех вариантах развития человечества, даже самых оптимальных», – наступает крах?

Прочитав «*Пределы роста*» 1972 года до конца, с удивлением обнаруживают, сценариев развития там вовсе не три, а двенадцать (плюс один сценарий с вариантом), и к обвалу ведёт далеко не каждый. Чтобы не было разночтений, приведу по номерам, с указанием графика и страницы источника.

№	Сценарий в книге 1972 года	Классификация	Результат в 2100 г.
1	Базовая модель, АКА «Если сидеть сложа руки». График номер 35 на странице 124 (далее: 35/124)	Базовая модель	Бесконтрольное сокращение населения
2	Внезапное удвоение запасов полезных ископаемых (36/127)	Геологическая удача	Бесконтрольное сокращение населения
3	Технологический прорыв: неограниченный источник энергии (37/132)	Чисто-технологический	Бесконтрольное сокращение населения
4	Неограниченный источник энергии, контроль загрязнений (39/136)	Чисто-технологический	Стабилизация на низком уровне потребления
5	Неограниченный источник энергии для синтеза продовольствия (40/138)	Чисто-технологический	Бесконтрольное сокращение населения
6	Неограниченный источник энергии, контроль загрязнений, контроль рождаемости (41/139)	Технологический и социальный	Пик со стабилизацией на среднем уровне потребления
7	Неограниченный источник энергии для синтеза продовольствия, контроль рождаемости (42/140)	Технологический и социальный	Временная стабилизация с последующим сокращением населения
8	Активное ограничение рождаемости на уровне естественной убыли 1975 года (44/160)	Чисто-социальный	Стабилизация на среднем уровне потребления
9	Активное ограничение рождаемости и ограничение потребления (45/162)	Чисто-социальный	Стабилизация на среднем уровне потребления
10	Активное ограничение рождаемости и контроль капиталовложений (46/165)	Социальный и технологический	Стабилизация на высоком уровне потребления
11	«Мягкое» ограничение рождаемости и ограничение потребления на уровне 1975 года (47/168)	Чисто-социальный	Стабилизация на средне-высоком уровне потребления
12	То же, что сценарий 10, но отложенный до 2000 года (48/169)	Чисто-социальный	Стабилизация на среднем уровне потребления

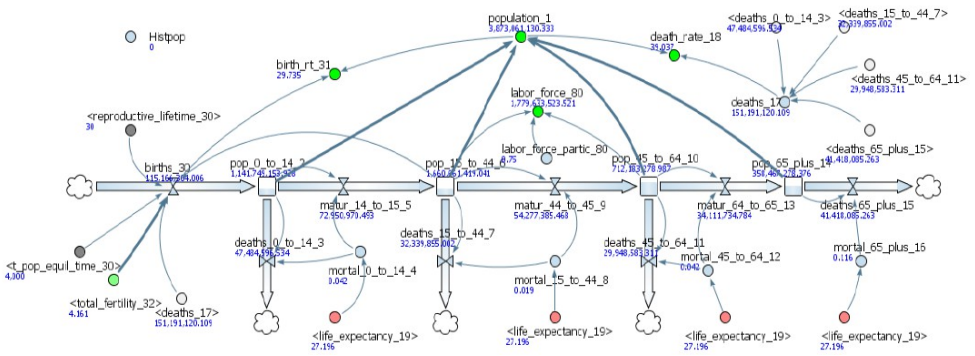
В 1972 году все двенадцать сценариев были вполне реализуемы, причём всего пять приводили к пику населения на уровне 10-12 млрд человек с последующим неконтролируемым обвалом до 1-3 млрд и снижением уровня жизни. В одном сценарии (номер 10) даже достигалась стабильность при высоком уровне потребления для всех жителей Земли – не ниже чем в Европе образца 1975 года.

Виноваты ли авторы, что сидящие у телеэкрана предпочли сценарий номер 1?

В-третьих, проблемой «*Пределов роста*» оказалось именно временное преимущество – язык DYNAMO. Технологии программирования пошли другим путём, а DYNAMO, iThink и Vensim остались на обочине прогресса.

Вина уважаемых авторов не в том, что выбрали в 1968 году DYNAMO, а в том, что не озаботились перенести свою великолепную разработку на FORTRAN в 1990 или, скажем, C++ в 2000. Оставшись в DYNAMO, авторы потеряли львиную долю «инженеров», осиливших вторую главу.

Модель *World3* какое-то время развивали, добавляя всё новые коробочки. В результате получилось, как ниже. Это не вся модель, а только маленький кусочек, ответственный за население. Теперь примерно 20 человек во всём мире, то есть хардкорные апологеты DYNAMO и STELLA, понимают, что же там на самом деле написано.



К нашему титаническому примеру, как если бы тот трезвомыслящий пассажир предлагал спускать шлюпки на языке суахили, а единственный, кто мог бы перевести, – кочегар у бойлера номер три. И очень занят.

Как результат, даже люди со знанием современных языков программирования едва-едва могут повторить вычисления авторов. В модели 1972 года было 9 основных переменных (а не пять, как пишут не дочитавшие викиложцы):

- Невозобновляемые ресурсы
- Промышленный капитал
- Сельскохозяйственный капитал
- Капитал сферы услуг

- Свободная земля
- Сельхозугодья
- Городская и промышленная земля
- Не удаляемые загрязнители
- Народонаселение (в том числе, по возрастным группам)

Девять основных переменных были связаны между собой 16 нелинейными дифференциальными уравнениями, а в вычислениях участвовало более 30 вспомогательных переменных и внешних параметров.

С самого начала, раздавались противоположные мнения. Сами авторы совершенно справедливо назвали модель упрощённой, даже указав, где именно эти упрощения применены. Кто воевал в школе с биномом Ньютона – наоборот, нашли модель чрезвычайно сложной и непонятной.

Авторы поступили как учёные, вывалив на читателя все выводы сразу. Примерно так же писали в семидесятые годы (да и сейчас многие пишут) математические статьи. «Предположим что». Три уравнения. «Если». Три уравнения. «Тогда». Ещё пара уравнений. Как всё это выведено – пропускается, чтобы статья не расползалась на сотню страниц и втиснулась в журнал.

По-моему, следовало заострить внимание на внутренней работе модели и предоставить хотя бы парочку совсем простых программ, чтобы убедить читателя, что никакой чёрной магии и подтасовок в памяти компьютера не происходит.

В-четвёртых, авторы модели роста наступили на любимую мозоль классических экономистов. Со времён Адама Смита, в «науке» экономике принято рассматривать модели (неограниченных) труда и денег, а не ресурсов.

Экономист-неокейнесианец Роберт Солоу, вполне уважаемый профессор из MIT, всю академическую карьеру обращавший на ФОРТРАН матрицы Леонтьева, отозвался так:

The authors load their case by letting some things grow exponentially and others not. Population, capital and pollution grow exponentially in all models, but technologies for expanding resources and controlling pollution are permitted to grow, if at all, only in discrete increments.

Авторы схитрили, разрешив некоторым «вещам» расти экспоненциально, а некоторым – нет. Население, капитал и загрязнение окружающей среды растут экспоненциально во всех моделях, а технологии ресурсов и контроля загрязнений разрешено возрастать лишь дискретными скачками.

«Ньюсуик», март 1974.

Вы заметили, что викиложцы цитируют Роберта Солоу, а ссылку ставят на «*Пределы роста*»? Так-то у «Википедии»! Не передёрнешь – не стрельнёт.

Зачем надо было передёргивать? Роберт Солоу отметился десятком фундаментальных научных работ, которые «доказывали»: экономический рост

ничем не ограничен, за что и получил задним числом (в 1987) – «экономического нобеля». В работах Солоу все (все без исключения) положительные тенденции растут по экспоненте, а все негативные тенденции – так же без исключения по экспоненте убывают.

Чем больше завод, тем выше производительность труда, ниже издержки (верим, верим!) и тем проще руководить, и тем меньше рабочий хочет кушать (не верим). Напечатав 100 млрд долларов, можно поднять ВВП до 100 млрд, а вот если напечатать 100 триллионов… Угадали! ВВП 100 триллионов и будет! Исторический опыт, однако. Население планетки 100 млрд человек? Без проблем. Ах, если бы профессор написал нам, дуракам, где найти вторую Саудовскую Аравию и как растить мандарины на Северном полюсе.

Над потугами Выбегаллы-Солоу смеялись даже циничные игроки на бирже. «Никакое дерево не может расти до небес», – шуточка с Уолл-Стрит 1910 года. Но строй мыслей профессора Солоу, к сожалению, типичен. В 1960-х Экономический факультет MIT вообще состоял сплошь и рядом из сторонников бесконечного роста. Тут пришёл инженер – и всё опошлил.

Джей Райт Форрестер разбирался в физике, компьютерах и программировании куда лучше, чем едва спустившиеся с пальм экономисты. Для начала, он сам к разработке первых электронных компьютеров руку приложил, ещё с «ENIAC» 1946 года. В 1952 при MIT организовали «*школу Слоана*» – отдельный от Экономического факультета научный институт, проплаченный «*General Motors*». Форрестера пригласили в 1956. Гениальный инженер прекрасно отплатил грантодателю, смоделировав и наладив цепочку снабжения одного из заводов «*General Electric*». Вместо линейного программирования, с которым на той же задачей шесть лет безуспешно возились классические экономисты, Форрестер применил подход, позже названный «динамическим моделированием».

Компьютеризированных экономистов набирали не из лириков, а из физиков, и они вскорости выдали реальные результаты и оттянули на себя дотации и гранты. Естественно, в 1974 профессору Солоу было очень обидно, что профессор Форрестер так его кинул! В 1979 MIT дал Солоу почётную отставку – в стандартном возрасте 55 лет. А Джей Форрестер продолжил трудиться в MIT вплоть до 1986 года, покинув кафедру в возрасте 68. «Псевдо-нобеля» за доказывание недоказуемых экономических теорий не получил, но кафедра в MIT почему-то названа именем Форрестера, а не Солоу[6].

А именем Солоу следовало бы назвать «программу 500 дней» (к счастью, принятую в урезанном виде) и «шоковую терапию» в Советском Союзе времён Горбачёва, а также американский экономический пузырь с «дот-комами» 2000.

Ясно, что в своей оценке «*Пределов роста*» уважаемый профессор слукавил. «*Пределы роста*» он наверняка прочёл, и прекрасно разобрался: в *World3* нет

6 В 2018 году Роберту Солоу 93 года. Дж.Р.Форрестер скончался в ноябре 2016, прожив 98 лет.

ни одной модельной функции, которую нарочно «заставили» расти по экспоненте. А то, что по экспоненте некоторое время растут некоторые статистические данные из реального мира, а другие не растут, или растут линейно – так в этом авторы не виноваты. Какие уж есть стат-данные, такие и есть.

Если бы в 1990 году *World3* портировали на ФОРТРАН, любой не ленившийся на лекциях «инженер» мог бы уличить профессора Солоу и ему подобных во лжи, просто поглядев в код. Но не получилось, смотрим «в-третьих».

В-пятых. Кроме классических экономистов, авторы «*Пределов роста*» отдавили ноги чуть не каждому политику и религиозному деятелю. Рассмотрим, какие социальные меры предлагались.

- **Перераспределение доходов из стран «золотого миллиарда» в развивающиеся** – устраивало Нигерию с Угандой, но почему-то претило Соединённым Штатам. Пересесть из собственного авто в поезд, как в Европе? Ну что Вы!

- **Ограничение рождаемости на уровне естественной убыли** и стабилизация населения на уровне 1975 года. Для этого: народное образование, эмансипация женщин, контрацептивы, свобода абортов, добровольная стерилизация. Единственная страна, совету последовавшая, и то не в полной мере, – Китай[7]. И спасибо китайцам за это, а то бы в 2018 было только хуже. Однако что мусульмане, что католики – к контрацепции и абортам относятся строго отрицательно, а Индия и Африка – ещё и отрицательно относятся к идее всеобщего просвещения, потому что неграмотным быдлом рулить проще. В Индии до сих пор полмиллиарда не знают, что такое презерватив. Ещё полмиллиарда знают, но не пользуются. А у женщин низших каст есть одно неотъемлемое право: бывать регулярно изнасилованными без последующего расследования и без права аборта[8].

- Не ограничивая развитие новых технологий, **сдерживать индустриализацию и урбанизацию**. Это яростно не устраивало амбициозный Китай, но также и Советский Союз с США, которые в семидесятые как раз соревновались, кто наделает больше вооружений. Кстати, в Советском Союзе «*Пределы роста*» 1972 года выпустили только в 1991, сверхмалым тиражом в издательстве Московского Университета. Возможно, если бы подсуетились раньше, не стали бы Явлинский с Гайдаром так любить морально-устаревших кейнсианцев.

Однако витийствующие православно-исламистские либерал-коммунисты и сейчас не унимаются (выделение моё, орфография оригинала):

7 Ещё Сингапур, но он-то особой роли не играет.

8 Так! Легально (за деньги) можно прервать беременность, если угроза жизни матери или плод явно абнормальный, то есть ожидается ребёнок-инвалид. Здоровая беременность после изнасилования не предполагает возможности легального аборта. Кто побогаче – делают нелегально, остальные рожают.

Если чисто формально принять за начало нынешнего большого глобализационного проекта манифестацию З. Бжезинским технотронной эры, то краеугольным камнем в идеологии, обосновывающей ее неизбежность и неотвратимость, безусловно явилось исследование, выполненное группой ученых на средства и по заказу Римского клуба и представленное там — аккурат 40 лет тому назад — в 1972 году. Сделанный ими доклад носил претенциозное название — «Пределы роста» — и неомальтузиански обосновывал ***необходимость и неизбежность*** *«скорого краха человечества, если оно...» (1) срочно не объединится и (2) не начнет коллективно следовать принципам «устойчивого развития» (включающим в себя ответственное планирование в масштабах всего земного шара, чуткое отслеживание негативных изменений в экономике, экологии, обществе, недопущение истощения возобновимых и невозобновимых ресурсов, замедление — прекращение роста человечества и его перспективное сокращение). Иначе говоря, как основной вывод из сделанного прогностического расчета, его авторами был определен императив: если не задействовать всемирную социальную перестройку и* ***не вверить себя глобальному управлению****, то* ***«еда закончится, ископаемые истощатся, человечество расплодится»*** *и ... в общем,* ***сразу наступят хаос и апокалипсис...***

...Естественно также, что все последующие работы ученых, содействующих данной цели под эгидой Римского клуба, хорошо финансировались транснациональными институтами и по сути сводились к тому, что уточняли, и ***смягчали****, и корректировали первоначальный труд* ***группы D.H. Medows****, чтобы затем эти авторы через 30 и вот теперь уже через 40 лет могли с гордостью констатировать: «А мы вас предупреждали...»*

*Константин Гордеев, «**ПРЕДЕЛЫ РОСТА: 40 лет обмана.**»*[9]

Великолепный образец политической риторики. Бжезинского к ночи помянул (хорошо хоть не Калигулу или Гитлера). Потанцевал с бубном на необходимости и неизбежности скорого краха. Вложил в рот авторам псевдо-цитату «еда закончится, ископаемые истощатся, человечество расплодится» (где, на какой странице у авторов?) Откуда: вверить себя глобальному управлению? Впрочем, как Гордеев нароет правильные цитаты? Книгу он не читал – ни в одном издании. А то знал бы, что руководителем группы был D.L.Meadows. А под безграмотным «D.H.Medows» наша Моська подразумевает, наверное, Донеллу Медоуз, которая писала отчёт, но группой не руководила, о чем и написано на пятой странице книги (уж список рабочей группы мог бы проверить, господин товарищ?)

Что бы там ни щелкопёрили гордеевы, авторы «*Пределов роста*» не предрекали неизбежную кончину цивилизации и не призывали все страны мира лечь под глобализацию или учредить глобальное правительство. Как раз наоборот, все как один авторы «*Пределов*» – ярые противники экономической глобализации (и того же Бжезинского[10]), то есть производства кроссовок «*Найк*» для экспорта в Америку босоногими двенадцатилетними девчонками на Филиппинах.

Экологическая кооперация – несколько иное. Если несколько стран договариваются совместно не гадить в одну реку, – это называется «международное соглашение». Предлагаю уважаемому К.Гордееву съездить попить водички из Ганга или Меконга, ну или из Амура. Туда «глобальное управление», к сожалению, пока не добралось.

Наконец, в-шестых. Вспомним, что сценарии с третьего по седьмой

9 Скачано 27 июня 2016 с http://www.kongord.ru/Index/Articles/40yearslie.html

10 И к созданию «*Римского клуба*» Бжезинский (1928 – 2017) имел примерно такое же отношение, как индейцы Майя к казни Христа. Да, жил на планете Земля примерно в то же время. Нет, не участвовал. Ссылки на сайты конспирологов не принимаются. У Бжезинского была собственная контора – «*Центр стратегических и международных исследований*», что в Вашингтоне.

начинаются с условия: «неограниченного источника энергии»? После катастроф на «*Три-Майл-Айленд*» и в Чернобыле новые разработки по ядерным станциям были сильно урезаны. Одновременно, управляемый термоядерный синтез, о котором так мечтали в семидесятые, оказался сложнее, чем думали поначалу.

…На нашем «Титанике» с момента столкновения с айсбергом прошло два часа. Электричество светит, музыка играет. Вы говорите: всё нормально? Послушаем оркестр? Потанцуем? Кому шампанского?

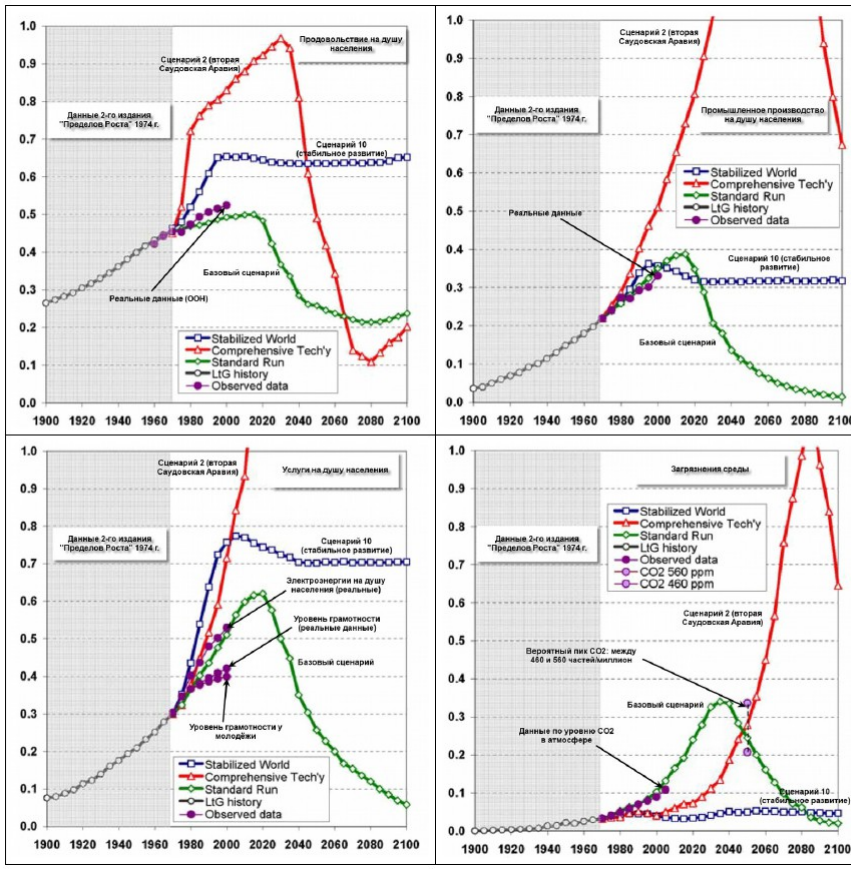
Итак, авторов не послушались, и к 1992 году от 12 вполне достойных сценариев осталось… три: первый, второй и двенадцатый. Говорили же: если ничего не делать, так и будет. Ничего не делали, так и вышло.

Второе издание книги пессимистично называлось «*За пределами роста*» и заключало: наша цивилизация выскочила за пределы примерно в 1980 году. Что бы мы ни делали, обеспечить всем землянам достойный уровень потребления – как в Европе образца 1975 года – уже не выйдет. Но остался же ещё сценарий номер 12 – меры из сценария номер 10, отложенные до 2000 года. Это когда всему населению планеты можно обеспечить средне-высокий уровень, что-то вроде КНР или Малайзии.

По нашей аналогии с тонущим кораблём, шлюпки по левому борту спустить уже не получится – крен. Спасаться на плотах – куда более рискованная и менее комфортабельная затея, чем шлюпки, однако плот – куда приятнее, чем со спасательным жилетом в ледяную воду, не так ли? Вместо этого, оркестру приказали играть погромче, а стюарды, скользя по наклонной палубе, принесли ещё выпивки.

США продолжили надувать финансовые пузыри, подменяя всё более недоступный физический рост ростом цены фантиков. Наверное надеются, что реализуется сценарий 2, и мы внезапно обнаружим под уже не Ледовитым океаном ещё одну Саудовскую Аравию, но – вот здорово – совершенно без злобных арабов. Хотя, от неконтролируемого обвала это не спасает. Конец немного предсказуем.

В 2008 Грэхем Тёрнер[8] наложил статистические данные конца XX – начала XXI века на графики 1972-1974 годов и пришёл к горькому выводу: затопление трюмов нашего «Титаника» идёт «быстрее плана», то есть быстрее даже пессимистичного «базового сценария». Четыре переменные: продовольствие, промышленное производство, услуги на душу и глобальный уровень загрязнения окружающей среды – представлены на графиках, а население – смотрите выше. Правда, в качестве реальных данных по загрязнениям среды приходится довольствоваться уровнем CO_2 в атмосфере. Другой статистики: по ртути, кадмию, цианидам, диоксинам, – никто не ведёт. Единицы по вертикальным осям условные; нормировки описаны в статье, и повторять их здесь не станем, дабы не загромождать повествование.

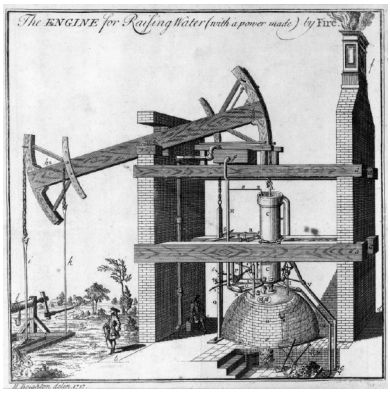


Новости плохие: второй Саудовской Аравии к 2018 не нашли, в 2000 году за дело не взялись. Базовый сценарий нам только и остался.

Однако есть новости и хорошие. Вместо отвалившихся сценариев, можно придумать ещё парочку, и поглядеть, что выйдет. Для этого понадобится рабочая модель. Вместо DYNAMO используем всем доступный Python. Модель станем строить как инженеры, а не академики: с изготовлением упрощённых макетов, оценками, прикидками и калибровками.

Вы подзабыли обыкновенные дифференциальные уравнения? Не учили Python? Ну, не боги же горшки обжигают.

…Нос «Титаника» уже под водой. Предстоит драка за оставшиеся шлюпки. Кого-то помнут и затопчут. Придётся палить из револьверов в воздух, а может и по людям. Всех спасти не выйдет, но наверняка – спасём детей. Изготовление плотов? Да! Ломайте мебель, сэр.

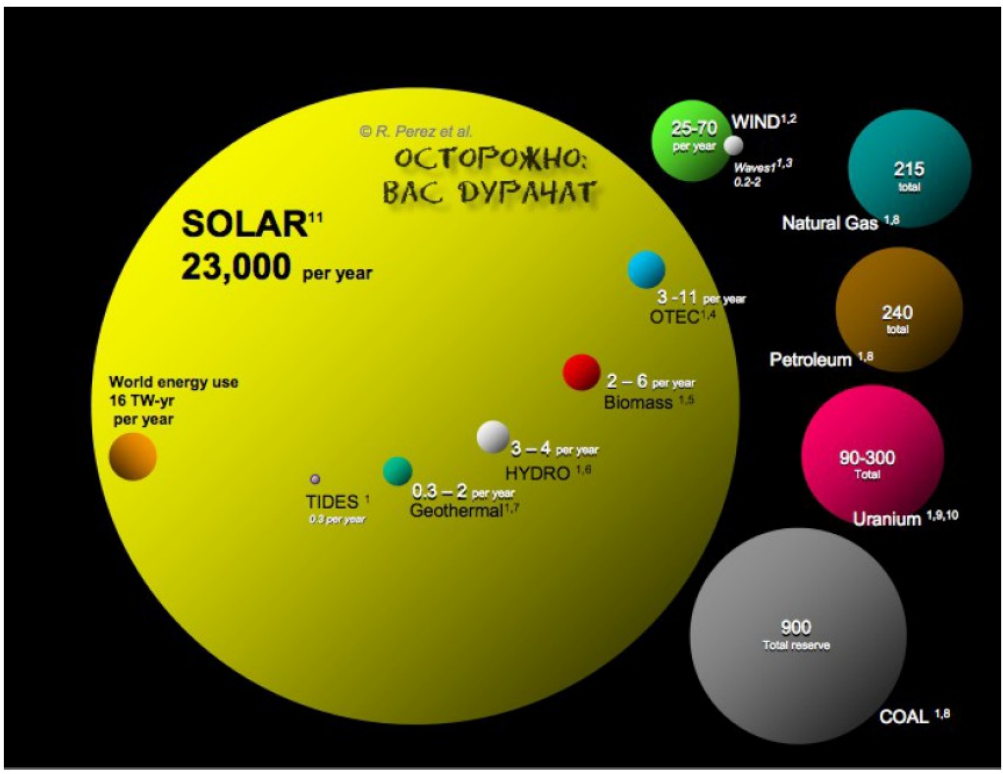


Глава 2. Земля как термодинамическая машина.

– Как-нибудь, – сказал Патрик. – Хотя бы подключения... Мы совсем потерялись. Я тебе объясню сейчас. Сегодня в институте послали к Земле массу... Впрочем, это ты все знаешь. – Патрик помахал перед лицом растопыренными пальцами. – Мы ждали Волну большой мощности, а регистрируется какой-то жиденький фонтанчик. Понимаешь, в чем соль? Жиденький такой фонтанчик... Фонтанчик...

А. и Б. Стругацкие «Далёкая радуга»

Внезапно, два Переца, Ричард и Марк (отец и сын, вроде бы) в статье «Фундаментальный взгляд на энергические запасы Земли» нам предлагают поглядеть весёлую картинку[9].



Ничего «фундаментального» в статейке у перцев нету. Ссылаясь на разные, в том числе очень годные источники, нам нарисовали 13 шариков, и каждый соответствует какому-нибудь типу энергии.

Цивилизация планеты Земля, по мнению Перецев, в 2009 году потребляла 16 тераватт-лет[11] энергии. Ссылку не приводят, так что, наверное, – вычислено авторами. В более привычных единицах, на каждого из семи миллиардов жителей Земли приходится по 55 кВт·ч в день, или 2.3 кВт мгновенной тепловой мощности – оказывается, каждый землянин может непрерывно кипятить электрочайник. Суммарные запасы природного газа, нефти, урана-235 и каменного угля в земной коре срисованы у «Бритиш Петролеум» [10] – 1'445 тераватт-лет, то есть, при потреблении 2009 года – хватит лет на 90. Не надо паниковать, говорят авторы. Видите, сколько мы можем получить от Солнца? 23'000 тераватт ежегодно! А ещё есть же: ветер! Волны! Приливная энергия! Нет проблем.

Энергии на планете Земля – завались! В этой главе очень часто придётся употреблять тераватты и ставить десятки в крутые степени. Начнём рассматривать шарики.

Нам говорят: от приливов, можно получить мощность 0.3 ТВт. Земля вращается вокруг своей оси, делая один оборот за 86'164.1 секунды. От влияния Луны и Солнца вращение Земли замедляется приблизительно на 1.6-1.8 миллисекунд каждые сто лет. Кинетическую энергию Земли можно прикинуть по формуле для шара равномерной плотности:

$$E_{вращения} = \frac{2 M_{Земли} R_{Земли}^2}{5} \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi}{t_{суток}} \right)^2$$

Масса планеты Земля приблизительно $5.972 \cdot 10^{24}$ кг, средний радиус $6.371 \cdot 10^6$ м. Получается огромное число: $2.6 \cdot 10^{29}$ Дж. На самом деле момент инерции Земли несколько меньше, так как масса сосредоточена вблизи ядра. Более точные подсчеты проведены К. Ламберком и Ф.Д. Стейси в восьмидесятые годы прошлого века: $2.14 \cdot 10^{29}$ Дж. Вычислим мощность:

$$W = \frac{\Delta E}{t_{год}} = \frac{2 M_{Земли} R_{Земли}^2}{5 t_{год}} \frac{1}{2} (2\pi)^2 \left[\frac{1}{t_{суток}^2} - \frac{1}{(t_{суток} + \Delta t)^2} \right] \approx \frac{2 E_{вращения} \Delta t}{t_{суток} t_{год}}$$

Замедлению на 1.8 мс за 100 лет, то есть $\Delta t = 1.8 \cdot 10^{-5}$ секунды в год, соответствует ежегодное сокращение кинетической энергии Земли на $8.9 \cdot 10^{19}$Дж/год, или мгновенная мощность 2.7±0.1 ТВт. Площадь планеты $5.1 \cdot 10^8$ км², то есть на квадратный километр поверхности в среднем приходится 0.005 МВт приливной энергии. Здесь и далее, мы будем широко использовать это понятие: единиц энергии на квадратный километр. К несчастью, большинство приливной энергии рассеивается в мантии в виде тепла (это мы рассмотрим ниже). В виде непрерывно бегущей по Земле водяной «горки» остаётся около 10%.

11 Повторимся, что речь идёт обо всей энергии, а не только электрической.

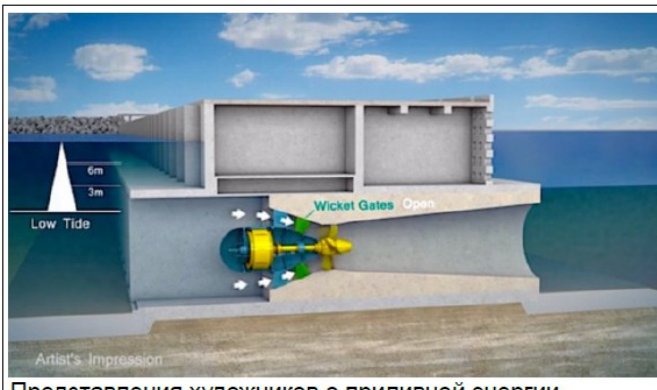
Можно ли собрать все 0.3 ТВт? Нельзя! Предположим, что вы подвесили груз массой один килограмм. Какова потенциальная энергия груза? Чтобы не решать зубодробительную задачу с тремя телами, ограничимся одной лишь Луной. Луна притягивает массу, и по формуле Ньютона легко прикинуть создаваемое ею ускорение свободного падения:

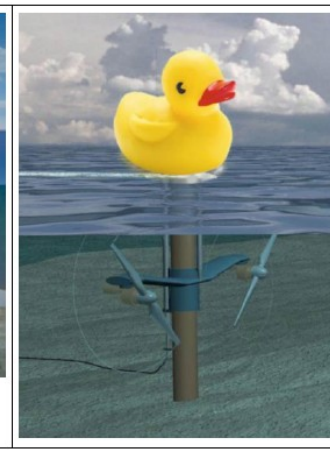
$$a_{Луны} = G\frac{M_{Луны}}{R^2_{орбиты}} = 6.67\cdot 10^{-11}\frac{M_{Луны}}{R^2_{орбиты}}$$

Масса Луны $7.348\cdot 10^{22}$ кг, средний радиус орбиты $3.8\cdot 10^{8}$ м. Итого, ускорение $3.4\cdot 10^{-5}$ м/с² или $3.5\cdot 10^{-6}$ от земного ускорения свободного падения g. Если опустить ваш килограмм на один метр, он совершит работу – выделит энергию. Если Луна у вас над головой, работы будет сделано чуть меньше, а если Луна на противоположной стороне Земли – чуть больше. Разница в произведённой работе определяет КПД системы:

$$КПД = \frac{E_{high} - E_{low}}{E_{high}} = \frac{m(g+a)h - m(g-a)h}{m(g+a)h} = \frac{2a}{g+a} \approx 2\frac{a}{g}$$

Оказывается, просто подвесив груз, от приливных сил можно получить впечатляющий КПД: 0.0007%. Это, прямо скажем, немного. Но именно поэтому Земля замедляется на 1.8 мс в столетие, а не на секунду в год.





Представления художников о приливной энергии.

Есть и хорошие новости: в некоторых местах приливная «горка» морской воды встречается с сушей, и получается переток. Земля сама концентрирует энергию приливных сил в кинетическую энергию! В некоторых бухтах и устьях рек уровень воды поднимается на десяток метров дважды в сутки. Это не Луна воду поднимает, а кинетическая энергия приливной волны, накопленная на многих тысячах квадратных километров океана. В таких вот местах и можно строить приливные электростанции, как показано на картинке. Утёнок – шутка, но не выдумка. Огромного резинового утёнка запустили в

2009 году. Безумству «зелёных» нет предела.[12]

Водяные мельницы на приливной энергии строили ещё римляне. На сегодняшний день успехи приливной энергетики не особенно впечатляют. В мире есть полтора десятка мелких и экспериментальных станций и только две крупные коммерческие: Ранце во Франции (с 1966 года) и Озеро Сихва в Южной Корее (введена в строй в 2011 году). Суммарное производство приливной электроэнергии в мире – 1'100 ГВт·ч/год, что соответствует средней мощности $1.25 \cdot 10^{-4}$ ТВт. В Южной Корее затеяли огромную приливную станцию в районе аэропорта Инчеон. Ввод в строй намечался в 2017 году, и тогда мировое производство приливной электроэнергии могло сразу утроится, однако в 2012 строительство заморозили. Великобритания пыталась строить станцию в заливе Сванси Бэй – примерно размером с Ранце или Сихва. На 2017 год построено менее 10% огромной плотины, когда введут в строй неизвестно. Все остальные крупные проекты – фантазии художников.



Термодинамика – штука неумолимая. Если облепить все моря-океаны турбинами, как показано выше, с фантастическим КПД 33% (что ни делай, часть воды всё-таки проскочит наши турбины), с планеты Земля удастся получить не более 0.1 ТВт. На приливной энергетике мы так подробно остановились, чтобы показать технологию обмана перцев. Число 0.3 ТВт – правильное, но это вся энергия – без учёта КПД и технической осуществимости миллиардов подводных турбин.

Продолжим по нашим шарикам. Следите за руками.

Второй практически вечный источник энергии на Земле – естественный радиоактивный распад. Радиоактивные вещества представлены главным образом двумя изотопами урана (235 и 238), торием-232 и калием-40,

12 http://thirstyinsuburbia.com/2009/12/best-of-2009-clean-renewable-rubber-ducky-power/

остальные, вроде радия, являются короткоживущими продуктами распада главной четвёрки, и учитываются в общей энергии распада (энергией улетающих в космос нейтрино пренебрегаем). Концентрации изотопов на Земле приблизительно известны, как и время полураспада. Сколько именно килограммов распадается в год, подсчитаем по формуле:

$$M_{в\,год} = M_0\left(1 - 2^{-1/t_{полураспада}}\right)$$

Выделение энергии при естественном распаде приведено в таблице ниже.

Изотоп	**Масса на Земле в настоящее время, кг**	**Естественный распад в год, кг**	**Энергия при полном распаде 1кг, Дж**	**Энергия естественного распада в год, Дж**	**Тепловая мощность, ТВт**
^{238}U	$8\cdot10^{16}$	$1.1\cdot10^{7}$	$2.1\cdot10^{13}$	$2.5\cdot10^{20}$	7.8
^{235}U	$5\cdot10^{14}$	$5.4\cdot10^{5}$	$2.0\cdot10^{13}$	$0.1\cdot10^{20}$	0.3
^{232}Th	$3\cdot10^{17}$	$1.6\cdot10^{7}$	$1.8\cdot10^{13}$	$2.9\cdot10^{20}$	9.1
^{40}K	$8\cdot10^{16}$	$4.4\cdot10^{7}$	$3.2\cdot10^{12}$	$1.4\cdot10^{20}$	4.5
Всего:				$6.9\cdot10^{20}$	22±5

Последний миллиард лет Земля потихоньку отдаёт через поверхность приблизительно 47±2 ТВт [11]. Таков внутренний баланс энергии: от радиоактивного распада и приливных сил[13] получаем 24±6, а отдаём 47±2. То есть, в настоящую геологическую эпоху Земля слегка остывает. В любом случае, планетка продолжит отдавать через поверхность примерно 47 ТВт ещё полмиллиарда лет и более, и особо волноваться по этому поводу не стоит.

Площадь планеты $5.1\cdot10^{8}$ км², то есть квадратный километр поверхности в среднем греет снизу 0.092 МВт тепловой энергии. Если бы тепло выделялось равномерно по всей поверхности, тоже было бы очень грустно. К счастью, земная кора не одинакова, и некоторые места, например, Исландия или Камчатка, отдают тепло куда быстрее. Именно там и можно использовать геотермальную энергию. По данным «*British Petroleum*», в 2016 году на планете Земля общая установленная мощность геотермальных станций 13.438 ГВт, или по 1.8 Вт электро-тепловой[14] мощности на душу населения – потребление мобильного телефона. В абсолютных величинах по установленной мощности лидирует не Исландия, а США (3'596 МВт) и вулканические Филиппины (1'929 МВт) с Индонезией (1'590 МВт). Если пересчитать на душу населения, получится 11.1, 18.9 и 6.2 Вт соотвественно. Маленькая Исландия лидирует в душевом потреблении: 2'000 Вт установленной мощности на душу.

Если по всей планете (включая океаны) пробурить сетку геотермальных скважин с шагом около 200 метров и аккуратно отбирать тепловую энергию,

13 Выше обсуждалось что около 90% энергии от приливных возмущений рассеивается в мантии.

14 Помимо электричества, геотермальная энергия используется для обогрева.

сколько тепла можно получить? Посчитаем КПД системы при использовании в качестве теплоносителя воды. Как глубоко придётся бурить? В разных местах по-разному. В Индонезии и на Камчатке можно найти участки, где порода имеет более 100°Ц прямо на поверхности. В большинстве мест, однако, геотермальный градиент порядка 3°Ц на 100 м, то есть глубина скважин должна быть около 4 км. Средняя температура воздуха вблизи поверхности Земли 14°Ц или 287°К. Жить как на Венере (средняя по больнице +460°Ц) или как на Марсе (-63°Ц) нам почему-то не хочется, значит, менять не будем. Вода кипит при 100°Ц, но можно несколько увеличить, подняв давление. Итого, максимальный тепловой КПД:

$$КПД = \frac{T_{high} - T_{low}}{T_{high}} = \frac{110^o}{287^o + 110^o} = 28.5 \quad \% \qquad \{2.1\}$$

Больше 13 ТВт мощности из геотермальной энергии никак не выжать[15], даже в фантастическом предположении о бурении скважин каждые 200 м, включая океаническое дно. Если же моря-океаны из программы бурения исключить, а бурить геотермальные лишь на суше (с Гималаями и Антарктикой) – получится всего 4 ТВт. Конечно, геотермальные скважины через каждые 200 м никто бурить не станет, а геотермалка так и останется уделом счастливых обладателей аномалий: от Исландии до Филиппин. Вероятно, минимальная оценка Перецев: 0.3 ТВт – несколько оптимистична.

Теперь поглядим, что в среднем греет сверху. Кроме Солнца, других серьёзных источников не наблюдается. Желающие могут на досуге посчитать количество солнечной радиации, отражаемое к нам Луной, а также тепло далёких звёзд. Число, которым любят бросаться любители солнечной энергетики: w_s = 1.362 кВт на квадратный метр. Именно столько даёт нам в виде излучения Солнце на радиусе земной орбиты. По формуле:

$$W_{Солнца} = w_s \pi R^2_{Земли}$$

Считая радиус планеты 6'371 км, на всю Землю приходится 173'000 ТВт, а на квадратный километр поверхности – в среднем ¼ w_s, или 340.4 МВт энергии[16]. Выходит, радиоактивный распад и приливные силы мы считали совершенно зря, потому как в энергетическом балансе планеты они занимают жалкие 0.03%, и их можно не учитывать.

Однако если на квадратный километр попадает 340 МВт, это не значит, что все эти мегаватты можно прямиком послать в розетку. Максимальный перепад температур на Земле от -91°Ц (182°К) зимой в Антарктиде до +56°Ц (329°К) летом в Сахаре. Предельный КПД термодинамической системы легко вычислить по формуле {2.1}:

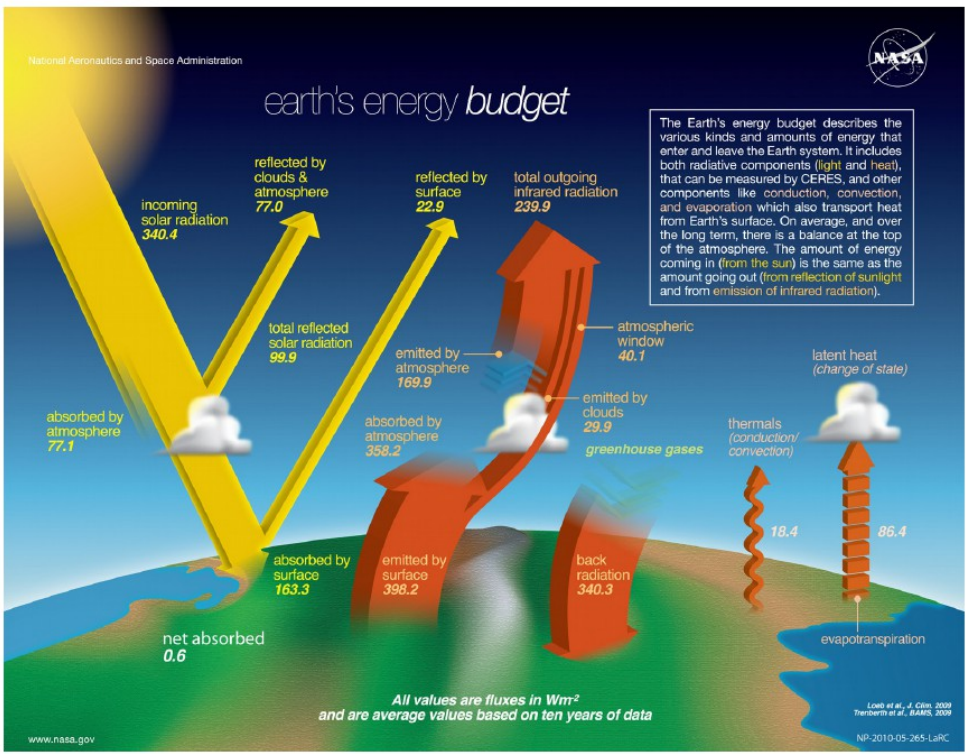
15 В комментариях встретилось, что можно якобы повысить КПД системы сверх максимального, используя фреон или подобные легкокипящие жидкости. Камарад недопонимает. Учите термодинамику!

16 Не забываем, что 1.362 кВт/м^2 – по нормали к солнечным лучам, а Земля – шар, да ещё и крутится.

$$КПД = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max}} = \frac{329^o - 182^o}{329^o} = 45 \ \ \%$$

Рассмотрим энергетический баланс Земли по версии NASA. Существуют и другие картинки, где циферки отличаются от этих на пару процентов, неважно.

От облаков и атмосферы отражается 77.0 МВт. Примерно 77.1 поглощается в верхних слоях атмосферы и переизлучается в виде тепловой радиации. Ещё 22.9 МВт отражается от поверхности. Итого, 52% лучистой энергии Солнца покидает окрестности Земли через миллисекунды после прибытия, так и не начав работать на человечество. Это на самом деле очень хорошо: атмосфера отражает или задерживает/переизлучает не только свет и тепло, но и вредные высокочастотные части солнечного спектра – рентген и ультрафиолет.



Можно ли увеличить предельный КПД планеты Земля? Конечно, можно. Для начала, посыпаем всю сушу угольной пылью, а океаны заполняем зачернёнными пенопластовыми шариками. Двадцать два МВт получим дополнительно с каждого квадратного километра, а предельный КПД увеличится до 55%. В Антарктиде зимой слегка потеплеет: -60°Ц. Зато летом в Сахаре можно кипятить воду: ровно сто Цельсия.

Много ещё чего хорошего придумать можно. Разбрасывать с самолётов какую-нибудь химию – разгонять облака. Тогда на дневной стороне станет теплее, а

на ночной – холоднее. Вот вам и прибавка к КПД. Ах, если ещё и атмосферу убрать! Закачать весь воздух в баллоны! Жить, конечно, придётся в подземных убежищах, так как на поверхности условия станут лунными: температура на экваторе днём +110°Ц, ночью -140°Ц, средняя -15°Ц, ну и про рентгены и ультрафиолет забывать не будем.

Может, не надо экспериментов? Во-первых, не знаю как вам, а мне в «*Метро-2033*» почему-то не хочется. Во-вторых, если на Земле не станет атмосферы, большая часть нашей естественной всепланетной энергетической машины поломается.

Итак, на квадратный километр прилетело 340.4 МВт, 52% тут же умчалось обратно в космос. 18.4 МВт превращаются в восходящие потоки воздуха. 86.4 МВт – уходит на испарение. Именно эти 104.8 МВт выполняют полезную работу. Вода выпадает где-то в виде дождя, собирается в ручейки и реки и куда-то течёт. Дует ветер. Разрушаются скалы, собирая золотишко в россыпные месторождения. И так далее.

А как же биомасса? На картинке она тоже есть: в среднем по планете 0.6МВт/км² оседают в виде глюкозы, крахмала, белков, костной ткани, коралловых рифов и так далее. Эти мегаватты могут использоваться позже: иногда на полгода (мышка в норке хряпает собранный летом урожай), иногда – на сотни миллионов лет (шахтёр в забое рубит уголёк). А могут и не использоваться: что в коралле, то пропалло – извините за каламбур.

К сожалению, биологические процессы утилизации солнечной энергии не очень-то эффективны. Природа – не двигатель внутреннего сгорания, а в лучшем случае паровоз. Большинство зелёных растений имеет КПД по процессу «солнечный свет в сахар» менее 1%. Изрядное исключение – сахарный тростник. Растение-паразит научилось сосать из почвы все соки, зато добилось умопомрачительного КПД – до 6%. Собственно, оттого этот тростник и называется сахарным! По крахмалу соотношение примерно как у сахара (топинамбур лидирует), а вот по аминокислотам и белкам – менее 0.1%.

Тут мы глядим на огромный жёлтый шар: 23'000 ТВт = $23 \cdot 10^{15}$ Вт. Итак, на квадратный километр в среднем прилетело 340 МВт, из них 150 тут же отразилось от атмосферы, осталось 190. При фантастическом КПД солнечной батареи 30%, чтобы получить 23'000 ТВт, нам понадобится $23 \cdot 10^{15}$ / $190 \cdot 10^{6}$ / $0.3 = 4 \cdot 10^{8}$ км² солнечных панелей. Вся площадь планеты Земля (с океанами) – $5.1 \cdot 10^{8}$ км². Натурально, полюса солнечными батареями обкладывать не будем. Как-то так.

На деле, в 2016 году в мире выработано 333.1 ТВт·ч солнечной электроэнергии, то есть мизерные 38 ГВт мгновенной мощности, по 5.1 Вт на душу (потребление портативного телевизора). В «солнечной» Германии на душу населения в год выработано 470 кВт·ч, в реально солнечных Испании и Австралии – 290 и 300 кВт·ч соответственно. В пересчёте на мгновенную

мощность 300 кВт·ч в год – 35 Вт, хватит для работы холодильника.

Если бы 7.5 миллиарда землян могли повесить солнечные батареи на каждую крышу, как в Германии, общее производство электроэнергии перевалило бы за 3'500 ТВт·ч в год, то есть мощность 0.40 ТВт. Про снег, короткие зимние дни и элементарное воровство обсуждать не будем, однако согласимся, что 0.40 ТВт с крыш – это не 23'000 ТВт с картинки наших перцев. Сколько нужно солнечных панелей, чтобы обеспечить каждому землянину комфортабельные 2 кВт электрической мощности? При фантастическом КПД 30% – 2'000/190/0.3 = 35 квадратных метров. Реально – втрое или вчетверо больше. Большинство землян не могут позволить себе минимальные пять квадратов шифера над головой, а вы хотите – солнечные батареи?



«Ветер, ветер, ты могуч, ты гоняешь стаи туч, ты волнуешь сине море, всюду реешь на просторе, не боишься никого, кроме Перца моего…» На производство ветра и волн расходуется 18.4 МВт на квадратный километр, или по всей Земле 9'400ТВт. Вот бы захомутать всю эту энергию! Всю – не получится. Даже если обставить всю планету (включая океаны) ветряками, а на дирижаблях поднять огромные пропеллеры в стратосферу, следует учитывать КПД. Сто процентов КПД – это остановить движение атмосферы от слова совсем.

Перецы заявляют: можно добыть 25-75 ТВт. Отлично. Посчитаем. В 2016 выработано по всему миру 960 ТВт·ч, то есть мощность 0.11 ТВт. Самая ветряная страна мира, Германия (а не Голландия, как вы подумали,) застроила всю территорию (357 тыс км²) ветряками, потратив невероятное количество

евро и получив в 2016 году 77.4 ТВт·ч, по 108 Вт мгновенной мощности на каждого немца. Если распространить практику Германии по всей суше планеты, получится 3.7 ТВт. А если ещё в океане поставить башни через равные интервалы, да на них ветряки – целых 12.6 ТВт выйдет.

А сколько нам надо, чтобы получить 25 ТВт? Ветряк «Vestas V164» имеет высоту 220 м при размахе крыльев 164 м и электрической мощности 8 МВт. Конечно, на полной мощности штучка работает от силы 10% времени, значит в среднем 1 МВт. Какую площадь занимает ветряк? Сама башня – около 100 м². Жить в полукилометре не рекомендуется: лопасти, как дятел, продолбят вам виртуальную дырку в думалке. Ночью пытаетесь заснуть, а стёкла дрожат: вушь… вушь… вушь… Однако площадь вполне можно использовать под сельское хозяйство (что и делается в Германии). Для того, чтобы обеспечить 25 ТВт мощности, как на весёлой картинке у перцев, потребуется двадцать пять миллионов башен «Vestas V164». На деревню с населением 290 человек – одна башня.





Ветряк «Vestas V164» и одна лопасть.

Вот великолепный шарик: гидроэнергетика. Построим на каждом ручейке по электростанции. Падающий с неба дождик будем улавливать и превращать в полезную энергию. Каждую секунду солнышко испаряет и переносит 16 млн тонн воды, затрачивая на это дело 44'000 ТВт мощности. Правда, бóльшая часть осадков падает обратно, откуда испарилось. Суммарный сток с континентов в океаны 40'000 млрд тонн в год – 1.26 млн тонн в секунду. Средняя высота континентов – 840 метров над уровнем моря. Гидроэнергия стока огромна: $1.26 \cdot 10^9 \cdot 9.81 \cdot 840 = 10.4$ ТВт.

Перцы нарисовали нам 3-4 ТВт, то есть суммарный КПД гидростанций – 30-40%. Плотина на каждой луже. В реальном мире в 2016 выработано, по данным «*BP*», 4'022.9 ТВт·ч, то есть мощность 0.46 ТВт. Безусловно, потенциал у гидроэнергетики ещё есть, так как Амазонку пока плотинами перегородили недостаточно. Если выжать все осадки до последней капельки,

можно, наверное, получить и 1-1.5 ТВт, но вряд ли больше.

Тепловая энергия океанов – OTEC. Масса океанов – $1.35 \cdot 10^{21}$ кг, а для нагрева килограмма воды на один градус Цельсия требуется 4'120 Дж. Вообще, неплохая идея: опустить на глубину несколько километров холодильники, на поверхности – нагреватель. Аммиак или что-то вроде – в качестве теплоносителя. Если вы на острове, можно и просто качать из глубины холодную воду и использовать в домашних кондиционерах – экономим электроэнергию. Допустим, мы решились опутать весь океан трубами и поднимать среднюю температуру на один градус за сто лет. За год нельзя никак, а то океан закипит. Как там будут рыбы себя чувствовать – неважно. Итого, каждую секунду можно перекачивать $1.35 \cdot 10^{21} \cdot$ 4'120 / 100 / 365 / 24 / 3'600 = 1'760 ТДж, то есть мощность 1'760 ТВт. А КПД? Средняя температура по больнице, как указывалось выше, 287°К, а максимальный перепад температур – около 10 градусов.

$$КПД = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max}} = \frac{291^o - 281^o}{291^o} = 3.4 \quad \%$$

Больше 60 ТВт никак не выжать. И для этого потребуется совсем немного теплоносителя. Удельная теплота парообразования аммиака – 1'370 кДж/кг. Каждую секунду наши компрессоры должны перекачивать «всего» 1.3 млн тонн. Для сравнения, это примерно секундный сток воды всех рек планеты Земля. Какой там реально будет КПД на многокилометровых трубах? Сколько миллиардов километров труб и теплообменников понадобится? Плотность полезной энергии несильно отличается от геотермальной: там 0.092 МВт/км² всей планеты, а у OTEC – 0.168 МВт/км², но только океанов.

Представьте, что вы – Дарт Вейдер из «*Звёздных Войн*», и в вашем распоряжении вся планета, а ресурсы как в каждой порядочной космоопере – неограниченные. К вам приходит инженер-планетоустроитель и начинает предлагать технологические решения, как добывать на Земле полезную энергию.

1. Для эффективности, откачать атмосферу. Людишек, естественно, в крематорий, чтоб не мучились. Не пойдёт? Ладно, не рассматриваем.

2. Биосферу в крематорий. Остеклим всю планету, кроме полюсов, солнечными батареями с КПД 30%. Тогда с планетки можно получить 23'000 тераватт мощности. Не пойдёт? Ладно.

3. Биосферу в крематорий. Обставим всю планету (включая океаны) – ветряками. Семьдесят миллионов башен. Вушь-вушь-вушь. Получим 70 тераватт мощности. Не пойдёт? Ладно.

4. Биосферу в крематорий. На каждом ручейке по электростанции. На дне моря – пропеллеры. Бурим геотермальные скважины через каждые

двести метров. Трубы с аммиаком – в море. Получим тераватт примерно 30, и уже хорошо. Не пойдёт?

Ну что же вы так: «Не пойдёт, не пойдёт…» Я же дело предлагаю. А? Что? Биосферу в крематорий? Так её не жалко совсем. Глупые людишки, дикие зверушки, деревья – дубы. Главное – энергия!

А кроме шуток. Сколько энергии Солнца реально потребляет человечество? Шестнадцать тераватт – перцы поторопились. Посчитали нефть, газ, уголь, ядерную энергию, возобновляемые источники, и всё. А как же еда, пресная вода и так далее? Попробуем посчитать правильно, только для 2016 года, а не для 2009.

Вид энергии	**Потребление в 2016 году**	**Эквивалент солнечной мощности**
Ископаемое углеродное сырьё (нефть, газ, уголь, торф)	11'354 млн т нефт. экв.	14.70 ТВт
Ядерная энергия[17]	2'616.5 ТВт·ч (электрических)	1.00 ТВт
Возобновляемые «солнечные»: солнечная, ветровая, гидро, сжигание биомассы	5'877.1 ТВт·ч (электрических)	2.25 ТВт
Возобновляемые «земные»: геотермальная и приливная	114 ТВт·ч (тепловых)	Менее 0.01 ТВт
ИТОГО «технологической энергии»:		Около 18.0 ТВт
Пресная вода[18]	4'250 млрд м³	375 ТВт
Продукция сельского хозяйства и рыболовства	Не менее 13.96 млн км² обрабатываемых сельхозугодий	Более 8.50 ТВт, вероятно до 35 ТВт
ИТОГО в виде пресной воды и продовольствия:		Более 382 ТВт
ВСЕГО:		Более 400 ТВт

Что удивительного в таблице? Оказывается, в виде пищи: белков, жиров, углеводов – человечество потребляет вероятно не меньше солнечной энергии, чем от нефти или каменного угля.

Поясним на примере. Норма продовольствия для взрослого человека 2'700 ккал или 11.3 МДж в сутки. Человек потребляет как 130-ваттная лампочка. Выше мы посчитали, что в среднем на квадратный километр площади падает 163.2 МВт, а на квадратный метр – 163.2 ватта солнечной энергии. Значит, чтобы прокормиться, вам надо всего 0.8 м² пахотной земли? Когда в Советском Союзе давали по шесть дачных соток на семью – наверное, были слишком

17 Для перевода в тепловую мощность принят КПД=30%. На самом деле, с учётом обогащения урана и утилизации отходов, КПД вероятно ниже.

18 Учитывается только вода, отобранная из водоёмов. Воды, выпавшей на поля в виде осадков, по-видимому, больше.

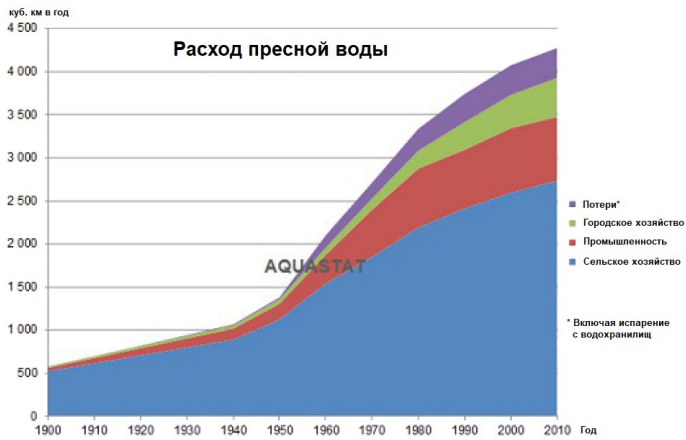
щедрыми.

Вы скажете: так считать нельзя? Хорошо, попробуем по-другому. Каждый квадратный метр земли в среднем захватывает 0.6 ватта (смотрите картинку NASA выше). Значит, чтобы прокормиться, человеку надо (в среднем) – 220м². Всё равно мало, но уже значительно ближе к истине. Дело в том, что человек волею судеб оказался на самой верхушке пищевой пирамиды, а жить-то хочется всем её участникам. Синтезировать пищу прямиком из тепла и электричества мы пока не умеем, а про КПД зелёных растений и прочей живности мы уже упоминали.

Взрослому человеку надо на год не менее 300 кг зерна (или корнеплодов) и как минимум 30 кг протеинов. Чтобы вырастить 30 кг мяса или птицы, надо примерно 180 кг зерновых или эквивалента. Итого: 480 кг пшенички в год – возьми да поднеси. При великолепной урожайности 3 тонны с гектара, в среднем по планете надо человеку 1'600 м² сельхозугодий[19].

Реально, на 2013 год на Земле под пашню задействовано не менее 13.96 млн км², то есть по 1'940 квадратных метров (20 соток) на каждого жителя планеты. Оценка в 8.5 ТВт – минимальная, так как 0.6 МВт/км² – это в среднем по планете, а в Антарктиде почему-то не пашут. Пастбища не считаем. Ну и морепродукты мы не учитываем, хотя они – важнейший источник белков для двух миллиардов человек. Можно посчитать и по-другому. Исходя из 2'000 ккал в сутки (в среднем по планете людишки по-прежнему живут впроголодь), 7.5 млрд людей рассеивают мощность порядка 0.7 ТВт. Принимая КПД сельскохозяйственных организмов за 2% – потребляется 35 ТВт солнечной энергии. Так-то.

Но есть другая статья расходов, которая на порядок перекрывает всё остальное.



19 Обсуждать, что кто-то кушает 200 кг говядины в год, а у кого-то хроническая нехватка протеинов и слабоумие, – здесь не будем.

Пресная вода падает с неба и достаётся нам практически бесплатно. Доставляет её, естественно, Солнце, испаряя огромное количество воды (500'000 млрд тонн в год). Если уж перцы взялись считать солнечную энергию, оклеивая Землю солнечными батареями от полюса до полюса, не упоминать пресную воду нельзя, а то придётся отправить 7.5 млрд людишек… Ага.

Человек уже отнимает на свои нужды 11% мирового стока воды. Есть реки, которые до морей-океанов вообще не дотекают – 100% воды человек забирает на орошение. Оптимисты не сдаются и говорят: а мы бурим скважины и из-под земли воду качаем! Господа, а под землёй откуда пресная вода взялась? И что будет, когда выкачаете?

Значит, оставим на Земле всё как есть, но будем рачительно пользоваться. Где надо, поставим солнечные батареи, где можно – ветряки, на горных реках – непременно плотины. И биомассой – до последнего джоуля. Необязательно переводить всё в электроэнергию. Еда остаётся едой, пресная вода – пресной водой, а свободный кислород – кислородом. Сколько полезной энергии (в виде пищи и химических веществ, пресной воды, электроэнергии и так далее) можно срубить с планеты?

Термодинамика даёт приблизительный, но годный ответ. Основной «нагреватель» планеты Земля – дневная сторона, а основной «холодильник» – сторона ночная. Арктика и Антарктика – холодильники второстепенные. В космосе вакуум, оттого энергию можно отдавать исключительно в виде излучения. На полюсах холоднее, оттого и меньше отдают с единицы площади. В среднем перепад температур день-ночь на суше – 15 градусов, над океанами – 5, причём океанов больше. Есть и более тонкие расчёты, но в среднем получается 8 градусов. Средняя температура по больнице, как указывалось выше, 287°К.

$$КПД = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max}} = \frac{291^o - 283^o}{291^o} = 2.7 \quad \%$$

Самым рачительным образом используя все до единого возобновляемые источники энергии, можно получить полезной $163.4 \cdot 10^6 \cdot 0.027 \cdot 5.1 \cdot 10^8$ = 2'250 ТВт. Если есть желание, можно сюда добавить десяток тераватт геотермальной энергии, и ещё капельку от приливной; роли это не играет. Ещё раз повторим: это не электроэнергия, а вообще вся полезная энергия, которую можно выжать с дарт-вейдеровским цинизмом, но не отправляя биосферу в крематорий.

Теперь, самое время порисовать графики. Чтобы не обвинили в плагиате, вместо шариков я буду рисовать кубики. Кубики и сравнивать легче.

Хотя на Землю от Солнца прилетает 173'000 ТВт энергии, за пару миллисекунд остаётся всего 83'100. Кто сказал: «Откачать атмосферу?»



Из 83'100 человеку, как части биосферы доступно всего 2'250 ТВт. Куча воды испарилась – и тут же упала обратно в океан тропическим ливнем. Бесполезно потратили энергию? Ну, не скажите. Именно улетающие в космос 80'850 ТВт обеспечивают нам относительно комфортные условия существования, с перепадом температур день-ночь на уровне 8 градусов, а не 250 с хвостиком, как на Луне.

Из 2'250 ТВт, человечество уже более или менее организованно потребляет 400 или больше. Учесть полностью, сколько мы забираем с пользой от Солнца, невозможно. Как вы посчитаете дрова, кизяк, вяленую рыбу и высушенный на солнышке рис, а также нагретую на солнце воду для летнего душа? Заметим, что из полезной солнечной энергии Человек Разумный уже овладел и попользовался примерно $^1/_6$ частью.

Далее речь пойдёт только об «энергии высокой концентрации», то есть технологических ресурсов. Всё, что можно есть и пить, а также солнечное тепло для летнего душа сюда не входит. Представим данные и в табличном виде, и в виде графика.

На диаграмме показаны абсолютные теоретические максимумы. Реальные технически-достижимые значения – на порядок ниже.

На своей диаграмме напёрсточники-перцы надули публику на 50'000% Огромный жёлтый шарик «Солнечная энергия» сдулся с 23'000 ТВт до 30. Ну и остальные «возобновляемые» шарики в том же духе, кроме красненького под именем «биомасса», где посчитано-таки верно.

Зачем было нужно вешать лапшу на уши подзабывшим школьный курс термодинамики людям? Год на графике у перцев посмотрите. Две тысячи

девятый. Именно тогда Европа «осваивала» лишние деньги на строительстве убыточных ветряков и солнечных батарей, вот уважаемое агентство и подсуетилось.

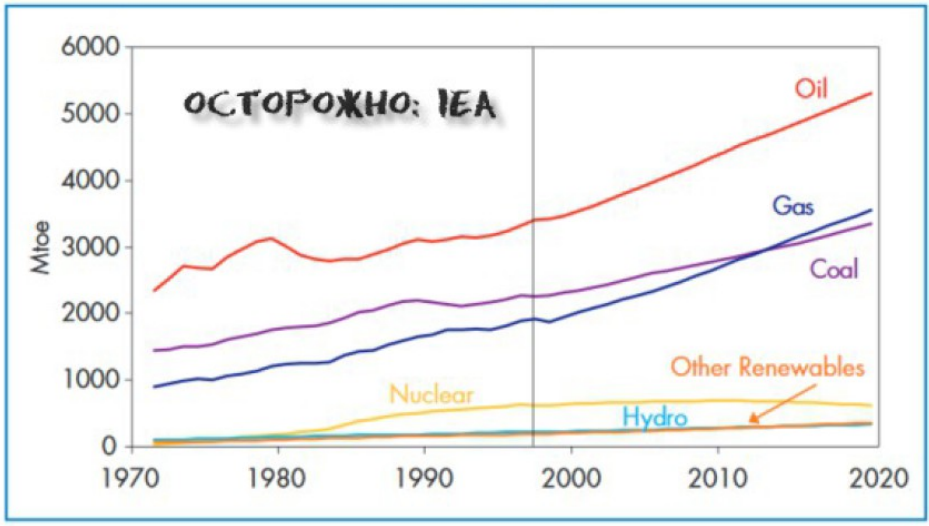


Вид энергии	В статье у Перецев	Теоретическая максимальная	Практически осуществимая	Реальная, 2016 г
Приливная	0.3 ТВт	0.1 ТВт	$1.25 \cdot 10^{-2}$ ТВт	$1.25 \cdot 10^{-4}$ ТВт
Геотермальная	0.3-2 ТВт	3.6 ТВт	$1.00 \cdot 10^{-1}$ ТВт	$1.34 \cdot 10^{-2}$ ТВт
OTEC	3-4 ТВт	0.1 ТВт	$1.00 \cdot 10^{-6}$ ТВт	Нет
Гидроэнергия	3-11 ТВт	4.0 ТВт	1.50 ТВт	$4.60 \cdot 10^{-1}$ ТВт
Ветро-волновая	25.2-72 ТВт	9.1 ТВт	2.60 ТВт	$9.60 \cdot 10^{-2}$ ТВт
Солнечная (электро)	23'000 ТВт	30 ТВт	$3.40 \cdot 10^{-1}$ ТВт	$3.80 \cdot 10^{-2}$ ТВт
ИТОГО	23'090 ТВт	46.9 ТВт	4.6 ТВт	0.61 ТВт
ИТОГО, %	49230%	100%	10%	1.30%

Задачей IEA всегда было успокоить публику. Тот самый оркестр с «Титаника», помните?

До 2006 года рисовали графики бесконечного роста добычи нефти. Например, в 2000 году было сделано предсказание [12], что к 2015 году на Земле будут добывать не менее 4'900 млн тонн нефти в год, а стоить нефть будет никак не более $18 за баррель. Чтобы не быть голословным, ниже картинка из доклада, который эти падлы продавали в 2000 году за €3000. Сейчас уже есть бесплатно.

Figure 2.1: **World Primary Energy Supply by Fuel, 1971-2020**



Оставим в стороне цены – про реальную инфляцию можно спорить. Но вот с добычей… По данным того же IEA, в 2014 человечество добыло 4'230 млн тонн. До предсказания не дотянули «всего» 670 млн тонн в год, или более $^1/_6$ от реальной добычи. На деле, всё больше нефти добывать никак не получалось, поэтому трудолюбивые китайские шахтёры компенсировали дефицит экологически-грязным каменным углем. Всего в 2014 году по данным «*BP*» добыто 3'934 млн тонн нефтяного эквивалента (или 8'165 млн тонн реальных) против прогноза IEA 3'000 млн условного топлива, то есть ошибочка вышла 25%.

Ещё заметим, что IEA предсказывала развитие возобновляемых источников энергии примерно на уровне гидро. По факту выработка гидроэнергии в 2016 году составила 4'022.9 ТВт·ч, а ветряки, солнечные батареи и прочие возобновляемые по сумме – всего 1'854.2 ТВт·ч, то есть меньше половины от выработки гидростанций.

Теперь за три тысячи евро IEA продаёт другой доклад. Там чёрным по белому сказано: Солнце! Солнце обеспечит бесконечное развитие цивилизации и неограниченные потоки энергии. А нефть не нужна совсем. Спрос уже падает.

Вообще, я взял себе за правило. Как только IEA заявляет, что чего-то на планете вдосталь, надо тут же проверять. Именно этого нам скоро и не хватит.

Кричать «всё пропало, мы все умрём» ни к чему. Энергии ещё море, надо только воспользоваться с умом. Ископаемые углеводороды: нефть, уголь, газ, торф, битуминозные пески – примерно 1'120 ТВт·лет энергии[20]. Оценки ^{235}U разнятся от 90 до 300 ТВт·лет. Это энергия, которую мы уже знаем, как извлечь.

Кроме того, есть на Земле геологические запасы ^{238}U и ^{232}Th. Геологическая неопределённость, правда, – около ±60%, но то, что ^{238}U в земной коре в 138 раз больше, чем ^{235}U, мы знаем совершенно точно. Есть ещё и дейтерий с тритием, но энергетическая эффективность недоделанного термоядерного синтеза пока непонятна.

Всё вышесказанное совершенно не значит, что следует полностью отринуть возобновляемые источники энергии. Двадцать квадратов солнечных панелей на крыше в Австралии, вращающие в дневное время компрессор кондиционера, – очень даже разумно. Но идея, будто можно плавить алюминий, развернув батареи в пустыне Сахара, – согласитесь, маразм.

Подведём предварительные итоги.

- При расчёте потребления солнечной энергии человеком следует учитывать реальные КПД. Нередко цитируемые значения полезной солнечной энергии более 20'000 ТВт можно достичь только терраформингом, за счёт полного уничтожения биосферы.

- Если не предпринимать терраформинг, реальная доступная для биосферы Земли мощность, исключая энергетические полезные ископаемые, – 2'250 ТВт. Точность оценки ±20%. Полученное значение на порядок ниже чисел, представленных Международным Энергетическим Агентством. Куда засовывать их враньё «экспертам» IEA – решайте сами. Но для надёжности заколачивания настоятельно рекомендую использовать сапог кирзовый.

- К 2017 году человечество потребляет не менее 400 ТВт полезной мощности биосферы, или 18%. Около 90% потребляемой мощности предоставляется человеку «бесплатно» в виде пресной воды. Вмешательство человека в круговорот воды – не менее 11% от общего объёма стока континентов. Пресная вода редко учитывается в расчётах сторонников солнечной, ветряной и гидроэнергетики.

- В виде ископаемого углеродного топлива: нефти, газа и угля, человечество получает мощность 14.7 ТВт. Точных данных по энергии биосферы, получаемой от сельского хозяйства и рыболовства, в открытом доступе не обнаружено. Качественные оценки приведены в тексте. По-видимому, потребление энергии биосферы в виде продовольствия и другой биомассы – не менее 8.5 ТВт, и может быть

20 Ниже мы обсудим, сколько реально из этой энергии можно использовать.

до 35 ТВт и более.

- Замена ископаемого топлива «возобновляемыми» источниками энергии (практически: концентрация энергии Солнца) технически возможна, но вероятно приведёт к снижению уровня жизни, который у среднего землянина и так невысок. Попытки резкого увеличения производства ветряной и гидроэнергии наверняка приведут к дальнейшему ухудшению общего состояния биосферы («хаотичный терраформинг»).

- Без использования ядерной энергии урана-238 и тория, реальных путей преодоления проблемы что-то не видно. М.К.Хабберт и П.Л.Капица были таки правы, что надобно развивать бридеры и термояд, а не вертушки-хлопушки.



Глава 3. Экспоненты и эксперименты.

Господин мэр лично берёт под свою опеку трех половозрелых павианов и призывает население последовать его примеру. Ты возьмешь себе павианиху, Андрей? Сельма будет против, но таково требование Эксперимента! Как известно, Эксперимент есть Эксперимент. Надеюсь, вы не сомневаетесь, Сельма, что Эксперимент есть именно эксперимент – не экскремент, не экспонент, не перманент, а именно Эксперимент?..

А. и Б. Стругацкие «Град обречённый»

Для разминки решим простейшее дифференциальное уравнение:

$$\frac{\partial P}{\partial t}=[b-a]P(t)$$

$$P(0)=P_0 \qquad \{3.1\}$$

Здесь:
P(t) – численность популяции от времени, млн человек;
a – постоянная смертности (attrition);
b – постоянная воспроизводства (birth).

Здесь и далее, мы будем пользоваться одинаковыми буковками. В каком бы месте этой книги Вы не встретили «**P**», буква всегда обозначает население в миллионах человек, а не давление или вероятность. Полный список всех использованных букв находится Приложении III.

Чего тут решать? Проходили в средней школе. Разделив переменные и интегрируя справа и слева, получаем:

$$\ln P(t)=(b-a)t+Const$$

Подставив граничное условие:

$$Const=\ln P(0)=\ln P_0$$

И вожделенное решение:

$$P(t)=P_0 e^{(b-a)t} \qquad \{3.2\}$$

Если **b>a**, то население неудержимо растёт, если **b<a** – так же неудержимо падает. Отрисуем график полученной функции. Кто сказал: «Excel»? Нет,

рисовать будем непосредственно программой, а заодно настроим себе компьютер для дальнейших экспериментов. Дело в том, что уравнение {3.1} – самое простое, что нам может встретиться. Далее появятся системы уравнений, которые можно решать только численно.

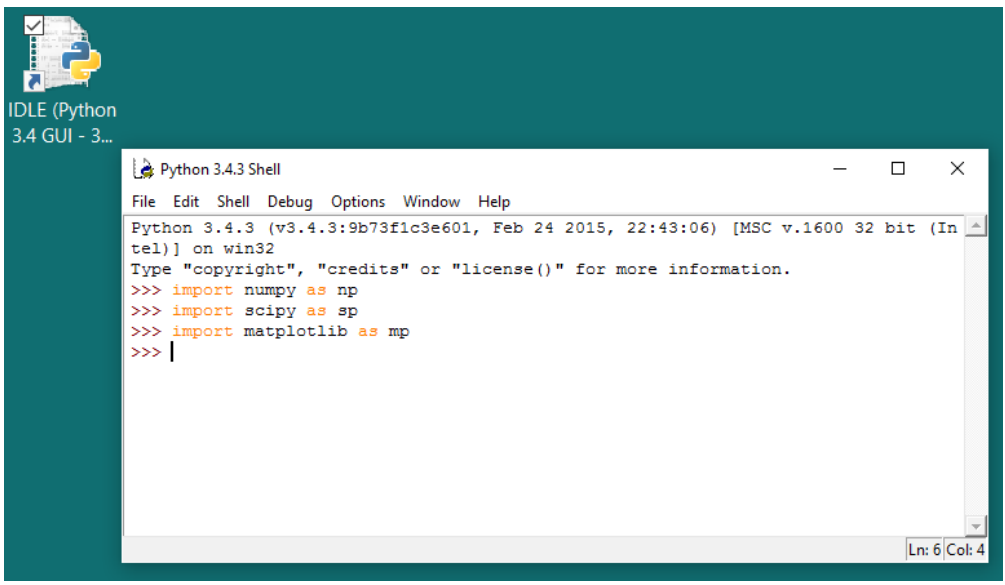
В Цифровом Приложении есть программа **\Chapter 03\Test_Exponent_1.py** Для всех примеров Приложения потребуются три программных продукта (все бесплатные):

- **Python 3.4** можно скачать с https://www.python.org/. Почему 3.4? Работает на Windows XP. Если у вас более поздняя версия операционной системы, проверьте совместимость двух пакетов, указанных ниже. Вообще, весь код этой книги к операционным системам не привязан. Автор тестировал все программы под Windows 10 и Debian Linux, а также на малюсеньком компьютере Raspberry Pi 2 под управлением Raspbian.

- Библиотеку математических функций **Numpy/Scipy** качаем по правильной ссылке с http://www.numpy.org/. Для пользователей Windows наиболее привлекательны инсталляторы, изготовленные Кристофом Гохлки: http://www.lfd.uci.edu/~gohlke/pythonlibs/

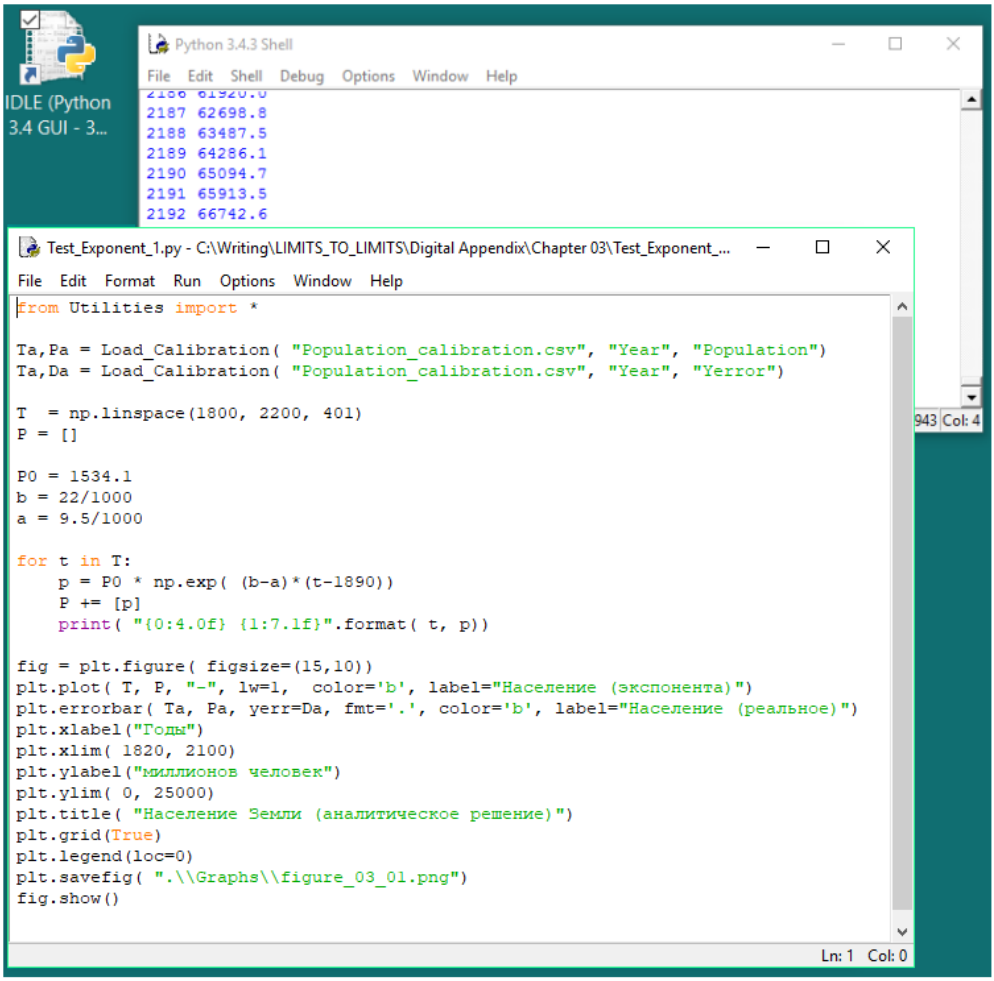
- Наконец, для рисования графиков потребуется **Matplotlib**, добываемый с http://matplotlib.org/. Инсталляция немного заумная, но дело того стоит.

Если всё установилось правильно, у вас на компьютере есть ссылка на среду разработки **IDLE** с весёлым жовто-блакитним питончиком, а дважды по ней щёлкнув, наблюдаем примерно такую картину:



Немедленно можно проверить, правильно ли встали библиотеки: печатаем словечко **import** и имя библиотеки, как показано выше. Если нет никакого сообщения об ошибке – с библиотекой всё в порядке.

Далее открываем меню File и загружаем текст программы из **Test_Exponent_1.py**. Экран выглядит приблизительно так:



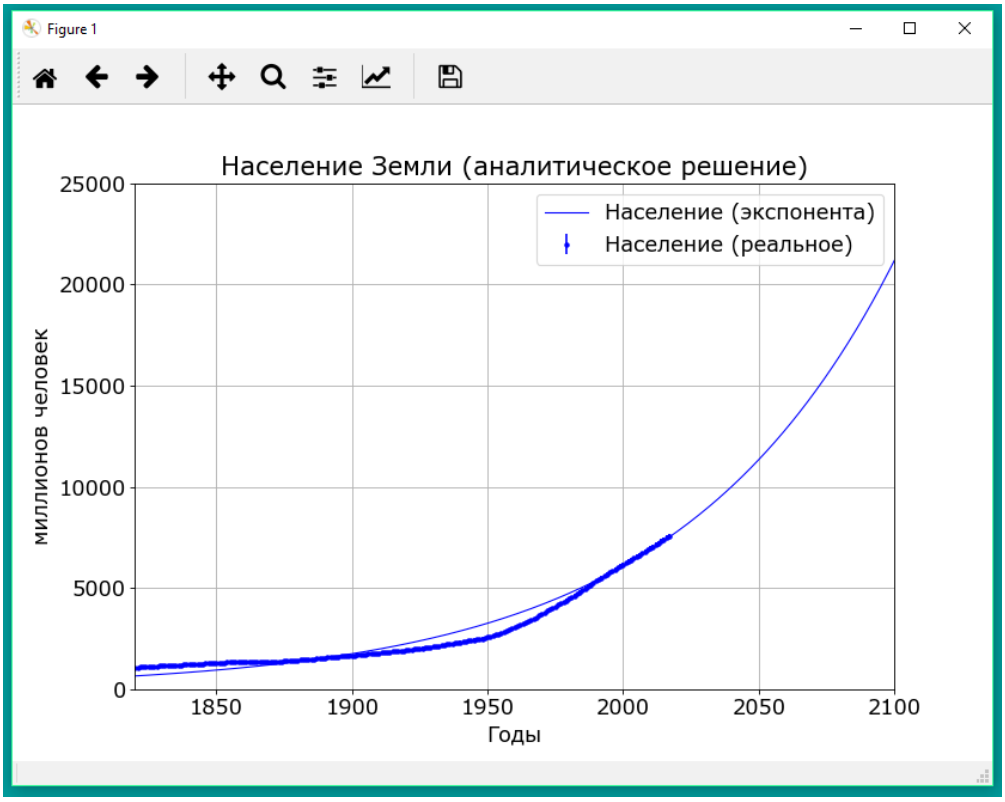
Это первая и последняя фотография полного листинга программы в этой книге. Далее программирование будем объяснять по ходу дела, но читать код всё одно удобнее в редакторе **IDLE**, а не на книжной странице.

Наши параметры? Население Земли в 1890 году по данным ООН 1'534 млн человек. Средняя рождаемость в XX веке – 22 ребёнка на 1'000 населения, средняя смертность – 9.5.

Что программа делает? Сначала, загружаются данные ООН о населении Земли из файла **Population_calibration.csv** . Далее создаём себе вектор значений **T** с

циферками от 1800 по 2200 включительно, всего 401 число. Для каждого значения **t** из массива **T** вычисляем население по формуле {3.2} и заносим в массив **P**.

Последние 13 строчек программы выполняют рисование, сохраняют полученный график в файл и выводят на экран. Запускаем программу клавишей **<F5>**. На экране появляется вот такое окошко:



Сразу заметим, что график – «живой», а не картинка. Разберитесь с кнопочками в верхней части окошка. Они позволяют рассматривать всё в деталях и сохранять увиденное.

У данных UNESCO о численности населения имеется погрешность: примерно один-два процента, или ±100 млн человек[21]. Почему так, большой роли для нашего изложения не играет, а детали можно посмотреть в статье Нико Кейлмана [13].

Уравнение {3.2} – аналитическое решение. Теперь модифицируем программу,

21 В 01:55 по Гринвичу, 31 октября 2011 года ООН торжественно объявила индийскую девочку Наргиз из деревни Мали в штате Уттар-Прадеш 7'000'000'000 жителем планеты Земля. Ничего кроме светлого PR за этим не стоит. С тем же успехом на место семи-миллиардного жителя Земли может претендовать около 135 миллионов(!) младенцев. В ту же минуту, в одной только Индии родился, помимо Наргиз, ещё 51 ребёнок. Впрочем, даже ООН заявила, что акция – символическая.

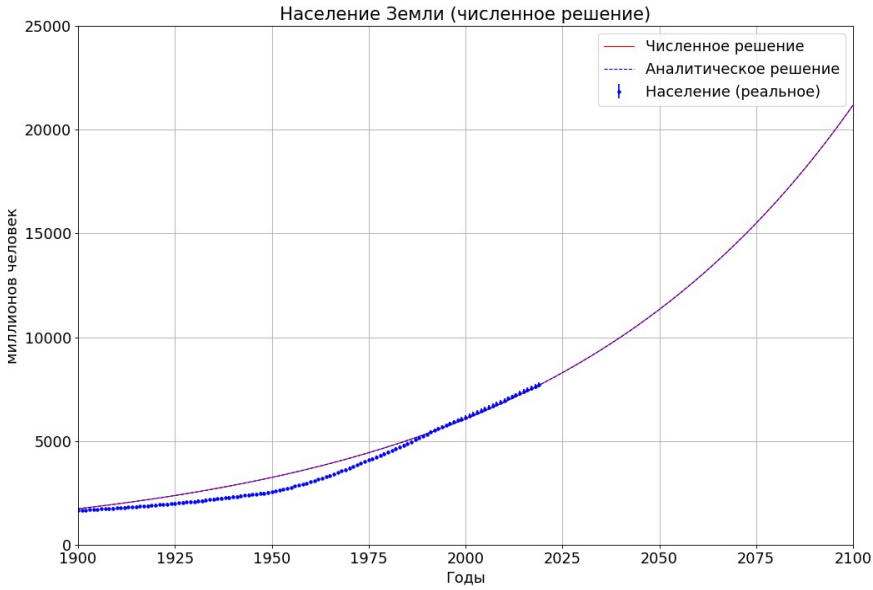
добавив решение численное. Интегрирование станем выполнять методом Рунге-Кутты, используя библиотеку **Scipy**. В Цифровом Приложении имеется программа **\Chapter 03\Test_Exponent_2.py** , а её самый главный кусочек выглядит так:

```
#
# Describes population as a differential equation
# P0 – начальная популяция [млн]
# a – смертность [безразмерная]
# b – рождаемость [безразмерная]
#
class Population:
    #
    # инициализация
    #
    def __init__( self, P0, a, b):
        self.Initial = P0
        self.Total = P0
        self.A = a
        self.B = b
        self.Calibration_Year, self.Calibration_Total =
           Load_Calibration( "Population_calibration.csv", "Year",
           "Population")
        return
    #
    # производная
    #
    def dP_dt( self, t):
        tmp = self.Total
        tmp *= self.B - self.A
        return tmp
    #
    # функция для вызова из odeint
    #
    def _func( self, y, t):
        self.Total = y[0]
        f0 = self.dP_dt( t)
        return [f0]
    #
    # находит решение на заданном векторе времён
    #
    def Solve( self, t0):
        y0 = [self.Total]
        soln = odeint(self._func, y0, t0)
        self.Solution_Year = t0
        self.Solution_Total = soln[:, 0]
        self.Total = self.Initial
        return

T = np.linspace(1890, 2200, 311)

#
# Solve numerically
#
P1 = Population( 1530.88, 9.5/1000, 22/1000)
P1.Solve( T)
```

В общем, никакой белой и чёрной магии тут нет. Все необходимые данные мы вынесли в отдельный класс **Population**, задаётся то же начальное значение 1534 млн человек для 1890 года, и такие же коэффициенты рождаемости и смертности. Производная из системы {3.1} считается в явном виде, а дальше сформированные значения передаются стандартной функции интегрирования из пакета **Scipy**.

Посмотрим на результат в выполнения программы. Для сравнения, на том же

графике присутствует и аналитическое решение.



Численное и аналитическое решения совпадают с точностью 8 знаков, то есть в миллион раз точнее, чем регистрация рождений и смертей в Индии. Если не видно на графиках, программа выводит в консоль все числа – убедитесь сами.

С 1972 года существовали критики «*Пределов роста*», да и сейчас таковые имеются, критикующие так:

> ***«Не знаю насчёт текущей версии, но первая модель включала взрывные экспоненциальные ошибки. ЕСЛИ ваша модель такая же как и Форрестера, с экспонентами везде, запустите на 40 лет, и ошибки разорвут вам экран, так что «катастрофа» будет всегда, вне зависимости, от того, какие данные вы туда вставите. Я это говорил Форрестеру на первой конференции в октябре 1971 года, но это не остановило шарлатанские попытки пропагандировать его чепуху.»***
>
> ***(пользователь «karlmagnus» 31 мая 2007 года)***

Что можно ответить на такое? Действительно, в пятидесятые годы прошлого века численные методы имели некоторые проблемы, в том числе и с точностью вычислений. С пятидесятого по семьдесят первый много воды утекло, например, кое-кто успешно слетал на Луну. Ладно, в Луну можно не верить, «все же знают», что астронавтов снимали на ТВ в ангаре посреди Невады. Однако *DYNAMO* использовали для проектирования «Боинга-747» и других знаменитых самолётиков, многие из которых летают и по сей день. Теми же методами считают мосты, небоскрёбы, подвески автомобилей и даже блок питания вашего компа. Не могу поверить, что «karlmagnus» пишет свои блоги на механическом арифмометре.

Короче, если ваш оппонент критикует современные методы решения дифференциальных уравнений, но не может указать конкретную ошибку в

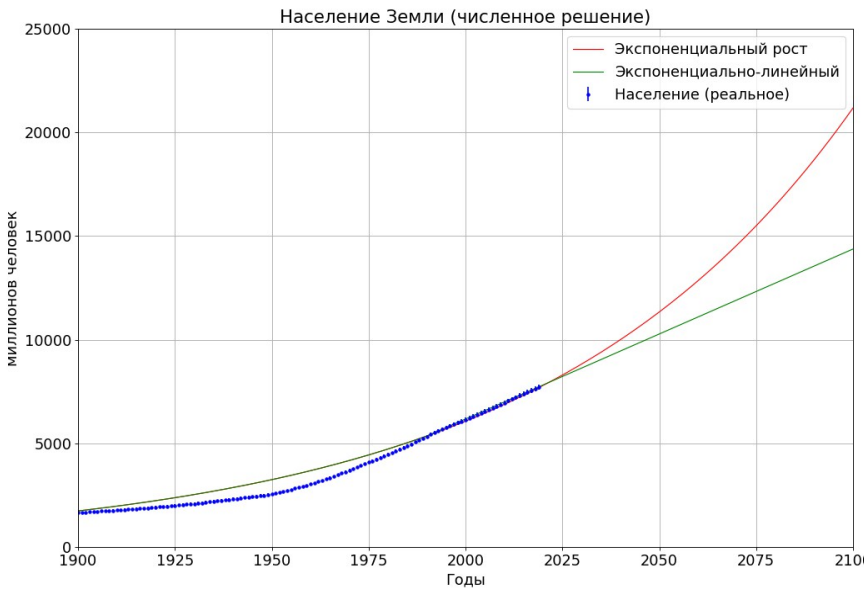
уравнениях или в коде – перед вами типичный перец.

Заметим, что экспонента довольно плохо описывает поведение реального населения планеты Земля. В периоды с 1900 по 1950 годы и с 1990 года по сегодняшний день, наилучшее приближение – линейное, только прирост разный. Современный прирост – по 82 млн человек в год – держится уже четверть века.

Модифицируем программу: **\Chapter 03\Test_Exponent_3.py**

```
def dP_dt( self, t):
    if t>1990: return 82.0
    tmp = self.Total
    tmp *= self.B - self.A
    return tmp
```

Полученные значения выглядят так:



Разница знатная. Если население Земли растёт по экспоненте, к 2050 году нас будет 11.3 млрд человек. Если продолжит расти линейно – на миллиард с хвостиком меньше: «всего» 10.3 миллиарда. В 2100 году – 21.2 и 14.4 млрд, соответственно.

Поспешим успокоить читателей. По экспоненте растёт только население бактерий в чашках Петри, да и то лишь в самом начале. Реальная функция несколько сложнее, хотя экспонента там тоже присутствует.

Впервые о свойствах уравнения {3.1} задумался в самом конце XVIII века английский доктор философии, математик, экономист и священник Т.Р.Мальтус [14]. За прошедшее с момента публикации время, чего только

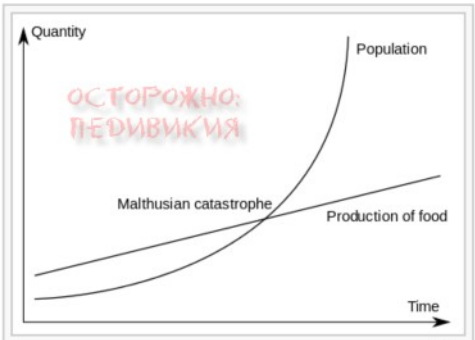
Роберту Мальтусу не приписали: от ненависти к бедным до крематориев в лагерях смерти Третьего Рейха. Извратили даже имя: хотя Мальтус при рождении был записан в церковной книге как «Томас Роберт Мальтус», однако имя Томас он не любил и был известен всем как Роберт. На самом деле, к работам добродушного священника о теории популяции все эти зверские «последователи Мальтуса» – от Спенсера до Ницше и Гитлера – отношения не имеют. Что же писал наш математик?

Начнем, пожалуй, с постулатов Мальтуса. Чтоб избегнуть разночтений, здесь и далее будем принципиально цитировать первую книгу, 1798 г. Викиложцы и прочие перцы часто пишут, что Мальтус «принял на веру» два постулата:

1. Производство продуктов питания возрастает как арифметическая прогрессия.

2. Население возрастает как геометрическая прогрессия.

Когда графики пересекутся, всем крышка! График даже откуда-то просочился в русскую Википедию[22].



Мальтус опасался, что производство пищи может не справиться с быстрым ростом населения

На самом деле, викиложцы лукавят, а в книге Мальтуса чёрным по белому:

> *«I think I may fairly make **two postulata**.*
>
> *First, That food is necessary to the existence of man.*
>
> *Secondly, That the passion between the sexes is necessary and will remain nearly in its present state.»*
>
> *«Я думаю, что можно принять на веру следующие **два постулата**:*
>
> *Первое. Человеку надо есть, чтобы жить.*
>
> *Второе. Тяга к представителям противоположного пола – это биологическая необходимость, и в будущем мало изменится.»*

Это — постулаты Мальтуса, и ему они действительно очевидны. Как вам? Когда Мальтус защищал свой докторат то философии, он не только учил Логику, но и сдавал по ней экзамены на «отлично». Для него «postulata» — это в самом деле штуки самоочевидные каждому читателю и никаких доказательств не требующие. Мальтус, с магистерской степенью по математике, знал предмет очень так неплохо! В 1788 году, он закончил Кембриджский Колледж Иисуса «восьмым вранглером». Представьте себе, что на математической олимпиаде последних курсов МГУ, МИФИ, МФТИ и Бауманки Вы заняли почётное восьмое место! Где-то так. Перед вранглерами приподнимали академические четырёхугольные шляпы! От зависти к таланту и уважения к затраченным усилиям.

22 https://ru.wikipedia.org/wiki/Мальтузианская_ловушка



А как же про арифметическую и геометрическую прогрессию? А вот, там же в первой главе:

*«Assuming then my postulata as granted, **I say**, that the power of population is indefinitely greater than the power in the earth to produce subsistence for man.»*

Вот дословный перевод для современника Мальтуса из XVIII столетия:

*«Если вы согласились с постулатами, **я попытаюсь доказать**, что сила роста человеческой популяции бесконечно превышает силу земли для производства человеческого пропитания.»*

Для любителей лингвистики поясним, что в английском математическом тексте той поры, «I say» — это как раз «попробуем доказать». А в нашем с вами просвещённом XXI веке, математик или инженер написали бы так:

*«Если вы согласились с постулатами, **я попытаюсь доказать**, что функция плотности человеческой популяции возрастает значительно быстрее, чем функция критической плотности популяции.»*

Попробуем, по следам Мальтуса, доказать и мы. Уравнение {3.1} превращается:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = [B(t) - A(t)]P(t)$$

$$P(0) = P_0 \qquad \{3.3\}$$

Здесь:
P(t) – численность популяции от времени, млн человек;
A(t) – функция смертности (attrition);
B(t) – функция воспроизводства (birth).

Время у нас в годах, численность населения – в миллионах. Функции A и B измерять будем безразмерными единицами. И во времена Мальтуса, и кое-где даже сейчас, используется устаревшее «рождений на 100 тыс. населения» и, соответственно, «смертей на 100 тыс. населения», что очень неудобно, так как надо таскать за собой коэффициенты. Для нас же, A=0.001 – это тысяча смертей на миллион, или же 100 смертей на 100 тыс.

Для постоянных A и B уравнение мы уже решили. Экспонента – вообще интересная функция. Снизу она ограничена нулём. То есть, при отрицательном коэффициенте воспроизводства (b-a), рано или поздно количество людей уменьшится до 10^{-6} миллиона, меньше одной особи, и популяцию придётся обнулить: «все вымерли». А вот сверху – ограничений нет никаких.

Уважаемые перцы! Когда у вас в следующий раз зачешется написать, что Мальтус принял экспоненциальный рост ничем не ограниченного населения как постулат и как-то хитро встроил в решение экспоненту, перекреститесь и накарябайте что-то более умное. Во-первых, это не «постулат», а доказанная математическая теорема, с конкретно описанными условиями. С дифференциальным уравнением в придачу. Во-вторых, там так и написано: «ничем не ограниченного» (про ограничения – несколько ниже). И пока вас не выбрали-таки старшим, ну или хотя бы восьмым вранглером, может стоит читать, как у Мальтуса…

Если бы Мальтус написал про экспоненты и на этом остановился, о Мальтусе мы сегодня и не вспоминали. Про экспоненты и логарифмы знал Джон Непер ещё в XVI веке!

Но Мальтус со товарищи двинулся дальше. Он предложил решить такое уравнение:

$$\frac{\partial P}{\partial t}=\left[b-b\frac{P(t)}{O(t)}\right]P(t)=b\left[1-\frac{P(t)}{O(t)}\right]P(t)$$

$$P(0)=P_0 \qquad \{3.4\}$$

Здесь рождаемость **b** постоянна (смотрим второй постулат: секса хочется всегда), а смертность пропорциональна населению, и обратно пропорциональна функции **O(t)**. Последняя имеет размерность в миллионы человек, и называется оптимальной численностью популяции. Легко видеть, что если популяция **P** в точности равна **O**, то производная – ноль, а значит, население не уменьшается и не увеличивается.

Если **O(t)** – константа, то {3.4} называется уравнением Ферхюльста. Бельгийский математик Пьер Франсуа Ферхюльст (Verhulst) решал его в XIX веке для рыбок.



Представьте, что у вас есть пруд, а в пруду живут зеркальные карпы. Каждый день вы забрасываете в пруд корма, достаточного для O взрослых особей. Если корма слишком много, излишки просто сгнивают. А если корма недостаточно, то умирают и сгнивают «лишние» карпы, кому не досталось еды. Какова будет популяция в вашем пруду от времени?

Система {3.4.} решается аналитически:

$$\frac{O}{P(O-P)}dP=\left[\frac{1}{P}+\frac{1}{O-P}\right]dP=b\,dt$$

$$\int\left[\frac{1}{P}+\frac{1}{O-P}\right]dP=b\,t+Const$$

$$\ln\left[\frac{P}{O-P}\right]=b\,t+Const \qquad\qquad \frac{P}{O-P}=k\,e^{bt}$$

При **t=0**, **P=P$_0$**, легко находится константа **k**:

$$\frac{P}{O-P}=\frac{P_0}{O-P_0}e^{bt} \qquad\qquad POe^{-bt}-PP_0e^{-bt}+PP_0=P_0O$$

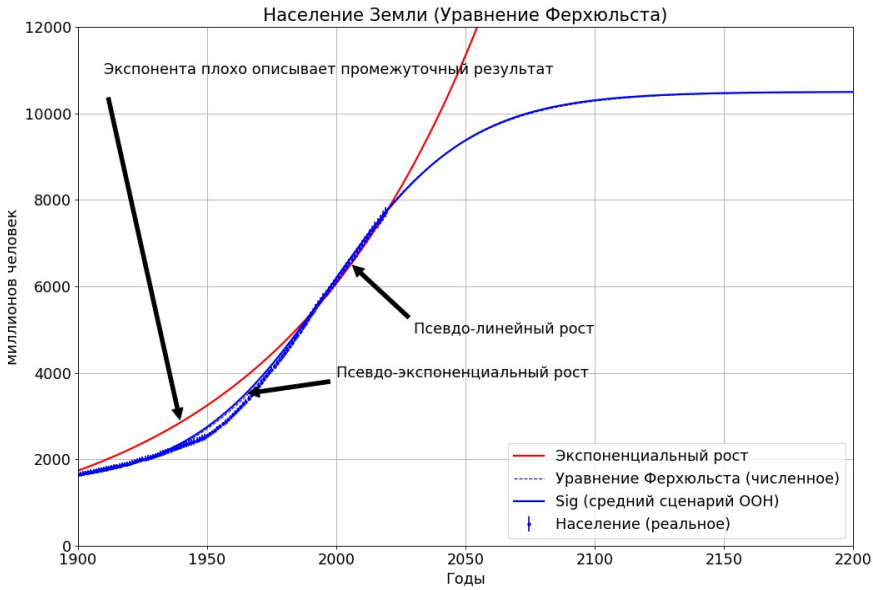
$$P(t)=\frac{P_0O}{(O-P_0)e^{-bt}+P_0}=\frac{O}{1+O\,\alpha\,e^{-bt}} \qquad \alpha=\frac{1}{P_0}-\frac{1}{O} \qquad \{3.5\}$$

В общем виде решение Ферхюльста называется **сигмоидой** или логистической функцией и записывается так:

$$Sig\left(t, t_0, \sigma, \text{Left}, \text{Right}\right) \equiv \text{Left} + \frac{\text{Right} - \text{Left}}{1 + e^{-\sigma(t - t_0)}} \qquad \{3.6\}$$

Здесь:
Left – значение при **x** = **-∞** (минус бесконечности);
Right – значение при **x** = **+∞** (плюс бесконечности);
σ – показатель наклона функции в точке перегиба;
t_0 – точка перегиба.

Проведём численное решение используя программу: **\Chapter 03\Test_Velhurst_4.py** .



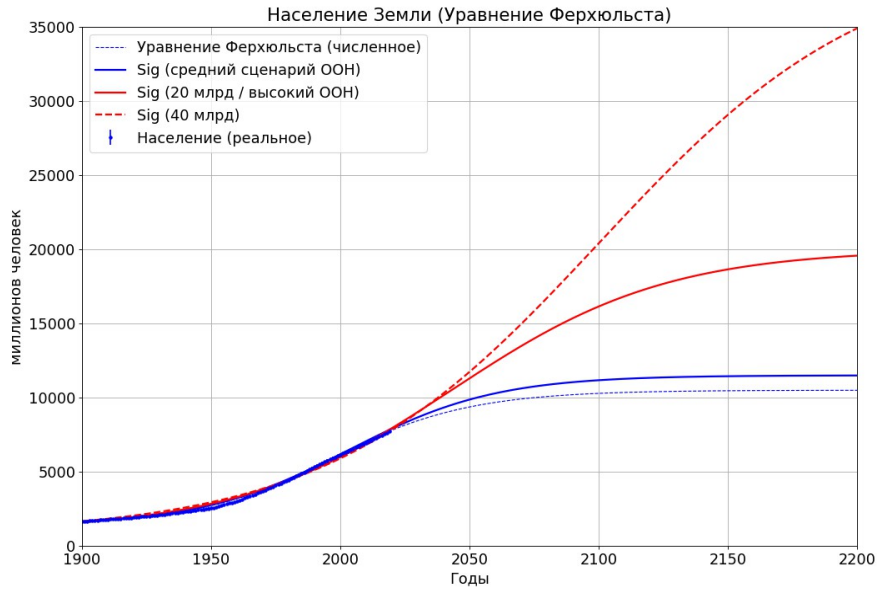
Отметим важное отличие логистической кривой от экспоненты. Бесконечного роста у функции Ферхюльста нет, а есть плавный выход на «полочку». Начиная с популяции 1534 млн человек в 1890 году, к 2200 году набирается 10.5 млрд, – и население стабилизируется.

Более того, у сигмоиды есть три участка. В начале функция растёт вроде бы как экспонента, затем рост становится линейным, затем – рост замедляется, и функция выходит на асимптоту. Благодаря такому поведению, население планеты Земля с 1890 по 2016 описывается сигмоидой гораздо лучше, чем экспонентой. Я призываю читателей самим поиграть с программой и убедиться, что никаким подбором коэффициентов рождаемости и смертности экспоненту к реальным стат-данным подогнать не удастся. У вас либо слишком много народу между 1910 и 1970 годами, либо популяция «выстреливает» после 1980.

У сигмоиды есть и проблема. Поскольку посередине участок линейный,

невозможно предсказать, как поведёт себя кривая справа. Значение константы O в решении {3.5} или константы Right в решении {3.6} приходится подбирать из граничных условий, но ведь условий в будущем мы не знаем.

Начиная с программы **\Chapter 03\Test_Velhurst_5.py** , мы навсегда распрощаемся с функцией экспоненты в чистом виде. Как и в программе *World3*, никакие входные данные или зависимости по экспоненте расти не будут. На конечной планете ничто не растёт до бесконечности. Итак, запускаем программу:



На диаграмме представлено четыре решения:

1. Численное решение, как выше.
2. Первое аналитическое (синяя жирная линия) – известное под псевдонимом «среднее предсказание ООН», с выходом на «полочку» около 11.5 млрд после 2100 года.
3. Второе аналитическое решение (красная линия) – оно же «максимальное предсказание» ООН.
4. Третье аналитическое решение (красная пунктирная линия) – уходит на асимптоту 40 млрд человек, но уже после 2200 года.

Откуда взялись 40 миллиардов? Из второй главы. Вспомним, что весь поток полезной энергии без разрушения биосферы – 2250 ТВт, а в 2017 году 7.5 млрд землян потребляют не менее 400 ТВт. Отсюда 7.5*2250/400 = 42 млрд. Поглядим на это число поближе. Вот цитата из времён, когда «*Пределов роста*» ещё не было, а критиковали Мальтуса и его последователей:

«That the earth could maintain a ***thousand billions of people*** *as easily as a thousand millions is a necessary deduction from the manifest truths that, at least so far as our agency is concerned, Matter is eternal and Force must forever continue to act.»*

*«То, что Земля может поддерживать жизнь **одного триллиона человек** так же легко, как одного миллиарда, легко вывести из того, что с точки зрения человека, Материя — вечна, и Сила Божия — тоже будет действовать вечно.»*

Хенри Джордж, «Прогресс и бедность», 1879 год

Площадь земного шара – $5.101 \cdot 10^8$ км^2. Распределив триллион человек, получим плотность населения 2'000 человек на км^2. Многовато, но прецеденты уже есть: в Бангладеш, на каждом квадрате – более 1'100 человек.

Однако Бангладеш находится на суше, хотя его периодически затапливает. Поделим 1 триллион на площадь суши – $1.489 \cdot 10^8$ км^2. Приходится говорить о плотности населения 6'700 человек на км^2. Примерно как в современных мегаполисах, вроде Токио.

Заметим теперь, что наш мегаполис простирается к вершинам Гималаев и до Южного полюса в Антарктиде. Оценки обитаемой суши разнятся у разных авторов. Действительно, при условии подвоза продовольствия и наличия неограниченного источника энергии, и Антарктида «обитаема» вполне. Для нашей простейшей прикидки достаточно считать обитаемой 50% площади суши, то есть плотность населения удваивается: 13'400 человек на квадратном километре. Это уже экстрим, но в китайском Макао – 55'000.

Пусть население не отращивает жабры, а выращивает еду на суше. Площади потенциальных сельхозугодий в земной статистике отражены хорошо: $4.884 \cdot 10^7$ км^2. На каждого из триллиона – по 49 м^2, или пятачок земли размером 7×7 метров.

То есть, запихать один триллион человек на планету кое-как можно, поверим Хенри Джорджу на слово. Насчёт же «поддерживать жизнь» – позвольте усомниться.

Не будем планировать на триллион, а зададимся целью прокормить 40 млрд человек, используя исключительно возобновляемые источники энергии. В пику Хенри Джорджу заметим, что вариант 40 млрд кое-как, с большой натяжкой, – реализуем, а вот триллион – сродни космооперным тераваттам IEA, с которыми мы разбирались выше. Наш Хенри оказался не Джорджем, а перцем!

Во второй главе мы подсчитали, что на душу в год надо 480 кг зерновых, Распахать, естественно, придётся все потенциальные сельхозугодья. С квадратного километра надо собирать $40 \cdot 10^9 * 480 / 4.884 \cdot 10^7 = 400 \cdot 10^3$ кг, то есть по 4 тонны с гектара. На душу населения приходится по 12 соток в среднем.

Тяжеловато, но прецеденты есть. В восьмидесятые годы Джон Джевонс организовал контору «Экологическая инициатива»[23] и пытался доказать, что человека можно кормить с 2.6 соток[24]. «Оценка Джевонса» была последовательно повышена до 4 соток, затем – до десяти. Сам Джевонс,

23 http://www.johnjeavons.info/index.html

24 Напомним, что во второй главе мы независимо подсчитали абсолютный предел: 2.2 сотки.

правда, с десяти соток не живёт, а зарабатывает на жизнь продажей книг и DVD и проведением семинаров по интенсивному выращиванию «органических» сельхозпродуктов. В первых, экстремистских, вариантах ведения органического хозяйства, предполагалась утилизация умерших в компост, примерно как в Юго-Восточной Азии позапрошлого века. Типичный вьетнамский биореактор показан ниже.



Однако 40 миллиардов поселить не получится. Вы заметили, у девушки на картинке выше – резиновые сапоги, одежда с фабрики, сельскохозяйственные орудия в виде металлических леек и пластмассового ведёрка? А в ведёрке – какие-то удобрения. Без хотя бы элементарной технологии, о 4 тоннах с гектара можно только мечтать. Тот же Джон Джевонс покажет вам и лопаты, и культиватор, и шланги-лейки-ведёрки, и скажет, что без шляпы – тепловой удар. Голыми руками голый человек 12 соток обработать не способен от слова никак.

Проведём вторую оценку, опять-таки по вычислениям из второй главы. Поток энергии высокой концентрации в 2017 году – не менее 18.5 ТВт. Максимальный поток возобновляемой энергии при условии ветряков через каждый километр и плотины на каждом ручье – 47±5 ТВт. Отсюда, максимальное население планеты: 47*7.5/18.5 = 19±2 миллиарда.

Я не знаю, как считает ООН, но моё, рассчитанное по энергетике, попадание вполне соответствует их «максимальной» оценке. Есть и несколько других оценок. Например, движение веганов постоянно заявляет, что на веганской диете Земля прокормит 15 миллиардов. До этих оценок мы ещё дойдём.

Хорошо ли будет жить двадцати миллиардам на этой прекрасной планете? Надо признать, мир получается грустноватый.

Итак, мы расставили по всей планетке ветряки, перегородили все реки плотинами, вырубили и распахали джунгли и леса, прокопали каналы, оросили степи, осушили болота, превратив всю планету в 4'900 млн га пшеничных полей, рисовых чеков и пастбищ для скота. На семью из 4 человек приходится надел земли около 1 га, то есть стандартное футбольное поле с беговой дорожкой. Конечно, это в среднем. В тропиках – вдвое меньше, в Сибири или Канаде – втрое больше. Над головой – непрерывно «вушь-вушь-вушь».

Впрочем, играть в футбол или бегать стометровки вряд ли кто-то будет всерьёз – лишний расход энергии. Путешествия? Куда, зачем? По всей планете – точно такие же поля, разве что в Азии чаще сажают рис, а в Америке – кукурузу! Хозяйство, натурально, – коллективное. Называть можно по-разному: община, колхоз, коммуна, или кибуц, суть не меняется. В частных хозяйствах не добиться желаемой урожайности 30-40 центнеров с гектара. Небоскрёбы? Вряд ли. И на пятый этаж дрова и воду донести – это лишняя работа, а ещё и без лифта. К тому же, поля и огороды просто обязаны находиться в пределах пешеходной доступности. На транспорт ресурсов нет. Как, впрочем, и на любые другие излишества.

Кроме человека, многоклеточных биологических видов на Земле будет всего несколько сот, и большинство – насекомые (вши, блохи, клопы, тараканы), а также солитёр в кишечнике. Всё, абсолютно всё, придётся делать без помощи четвероногой мускульной силы. Один ослик кушает столько же, сколько один человек. Одна лошадка или буйвол – это 2-4 нормы от человечьей нормы сельхозугодий. Так что, если хочется жить как цивилизованные американские амиши и пахать на лошадях, 20 млрд человек на планету ну никак не втиснуть.



Образование? Не очень. Естественно, детский труд становится нормой. Школа для мальчиков – от пяти до семи лет, дальше обучаемся в поле или на ферме. Девочкам в школу можно, но не обязательно. Пропусти сегодня школу, Настенька. Папочке надо помочь с прополкой!

Медицина? Если в школе учатся в среднем по два года, кандидатов в доктора, будет, прямо скажем, немного. Впрочем, в коммунистическом Китае в 1968 придумали ответ: «босоногие доктора», с образованием пять классов и ускоренными курсами, могут кое-как обеспечить элементарное. Настоящая медицина – для верхнего пол-процента населения в столицах. О пересадках органов, как в романах Паоло Бачигалупи, следует забыть напрочь.

Интернет и телевидение? Возможно. В нашей деревне есть один на всех – телевизор. Зимой, когда делать на полях нечего, голосованием сотни зрителей выбираем программу. Вот последнего слона из зоопарка на другой стороне планеты показывают. Смотрите, пока слон ещё живой! Книги? Библия! Или Коран. А больше вам и не надо.

И ещё: социальный контроль популяции. Конечно, эпидемии, неурожаи и локальные войны за ресурсы станут регулярно вычищать место для новых детишек. Но в тех деревнях, где голод или болезни почему-то задерживаются, ни одной женщине не разрешат рожать третьего. Кто это станет делать: совет старейшин или полиция – неважно. Естественно, по достижении детьми детородного возраста, родители отправляются… Отправляются… Переверните на две страницы назад. Видите ту красивую башенку? В биореактор!

Короче, жить как-то можно, но мне в такое будущее не хочется. А вам?

Но самая большая проблема: как в условиях такого общества удержать неграмотную Настеньку от третьих, пятых, восьмых родов? И как её шестнадцатилетний муж, – малограмотный, с тремя классами начальной школы – добудет себе современные пестициды, гербициды, генетически-модифицированное зерно и прочую механизацию с генетикой, чтобы вырабатывать по 40 центнеров с каждого га?

Оценив население сверху, теперь дадим оценку снизу. Кто сказал: всем Армагеддец? Не дождётесь. Конечно, человечество достигло огромных успехов в технологии уничтожения себе подобных, но моделированием ядерной войны заниматься как-то неинтересно.

Во второй главе мы посчитали, что технически-реализуемый поток энергии высокой плотности из возобновляемых источников – 4.6 ТВт. Отсюда легко посчитать 4.6*7.5/18.5 = 1.9 миллиарда.

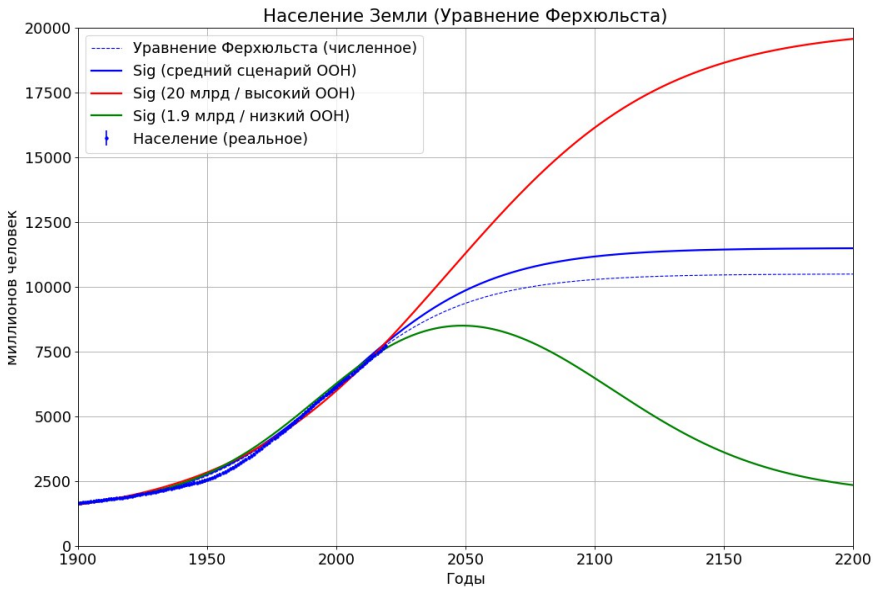
Ясно, что уравнение Ферхюльста надо решать дважды: сначала для восходящей ветки, а затем – для нисходящей. Полученная функция называется весело: «*функция Ванны*»:

$$Bath(t) \equiv Sig(t, t_0, \sigma_0, \text{Left}, \text{Middle}) + Sig(t, t_1, \sigma_1, 0, (\text{Right} - \text{Middle})) \quad \{3.7\}$$

Здесь:
Left – значение при **x** = -∞ (минус бесконечности);
Middle – значение между $\mathbf{x_0}$ и $\mathbf{x_1}$ (может не достигаться);
Right – значение при **x** = +∞ (плюс бесконечности);
$\mathbf{t_0}$ – левая точка перегиба;
$\boldsymbol{\sigma_0}$ – показатель наклона функции в левой точке перегиба;
$\mathbf{t_1}$ – правая точка перегиба'
$\boldsymbol{\sigma_1}$ – показатель наклона функции в правой точке перегиба.

Просто сумма двух сигмоидов. Хорошо описывает технические детали, например вероятность телевизора сгореть в какой-то день после выпуска с китайского завода.

В программе **\Chapter 03\Test_Velhurst_6.py** , применим эту функцию для расчёта минимальной стабильной популяции при условии использования только возобновляемых источников энергии.



Константа σ_1 из краевых условий никак не вытекает, поэтому подберём её так, чтобы следовать «минимальному сценарию» ООН. Константа x_1 ограничена слева реальными данными о населении и ограничена справа величиной σ_1. В «минимальной оценке» ООН пик населения наступает в 2050 году, на уровне 8.6 млрд. Ещё раз напомню: я не знаю, как вычисляют свои предсказания демографы ООН. Делаю предположение, что фундаментальную работу Ферхюльста читали и используют похожую математику.

Хорошо ли будет жить нашим правнукам на «минимальной» кривой? Сейчас сторонники убегания от зомби-апокалипсиса к дикой природе начнут кидать в

меня органические удобрения с совковой лопаты.



Итак, джунгли и леса остались как было, а под поля и огороды занято (как сейчас) около $1.4 \cdot 10^7$ км^2. На семью из 4 человек приходится надел земли в среднем 3 га (в тропиках – вдвое меньше, в южной Сибири – втрое больше). Заполярье оставлено для белых медведей и Песцов. Вместо «вушь-вушь-вушь» огромных ветряков – приятный уху стук водяной мельницы на ручье. Средняя урожайность – 6-12 центнеров с гектара, то есть как оно было до гербицидов, пестицидов, сделанного из природного газа аммиака и генетически-модифицированных семян.

Хозяйство, натурально, – коллективное. Отдельные куркули хотят и будут жить на хуторах и подвергаться общественному остракизму, остальные всё равно в общинах. Небоскрёбы? Да. Для нескольких процентов населения, живущих в сильно съёжившихся городах.

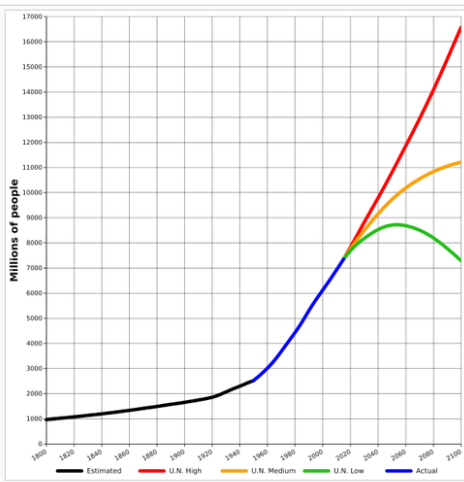
Есть и хорошие новости. Кроме человека, на планете останутся и почти все современные биологические виды, в том числе гужевые домашние животные (привет амишам). Так что 3 га всё-таки будут пахать лошадки, а не людишки с мотыгами.

Состояние дел с образованием, медициной, культурой? Не сильно отличается от сценария на 20 миллиардов. Детский труд всё тот же, разве что вместо «босоногого доктора» – земский врач, и телевизор не на сто зрителей, а на двадцать, да ещё «*Книга о вкусной и здоровой пище*» стоит на полочке рядом с Библией.

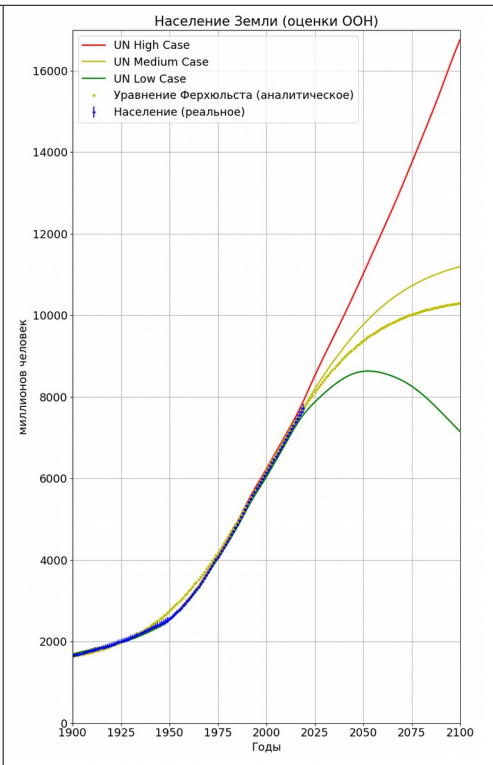
Интересно, что останется социальный контроль популяции. Как иначе удержать неграмотную Настеньку от двенадцати родов? Вы говорите: автор перегибает палку? Это не я перегибаю, а ООН. Лично я считаю, что ни

сценарий «стабильных 20 миллиардов», ни сценарий «стабильных 2 миллиардов» реализоваться никак не могут, а коридор возможных решений значительно уже. Впрочем, я не одинок в своих оценках, но об этом будет далее.

Теперь для удобства пользования вынесем наш класс **Population** в отдельный файл и прошьём две сигмоиды и одну «ванну» оценок ООН – они нам понадобятся в последующих главах.[25] Результат представлен в программке **\Chapter 03\Test_Population_7.py**



World population estimates from 1800 to 2100, based on "high", "medium" and "low" United Nations projections in 2010 (colored red, orange and green) and US Census Bureau historical estimates (in black). Actual recorded population figures (as of 2010) are colored in blue. According to the highest estimate, the world population may rise to 16 billion by 2100; according to the lowest estimate, it may decline to 6 billion.



Оценки ООН по данным «Википедии»	Наша программа

Помимо демографов ООН население планеты учитывают и другие организации. Одна из наиболее видимых – Демографическое бюро США (*the US Census Bureau*), выпускающее обзоры населения планеты и прогнозы до 2050 года. По состоянию на июнь 2019 статистика Демографического бюро меньше оценки ООН на – невозможно поверить – 131.2 млн человек! Юмористическое объяснение приводится в «*Людях в чёрном*»: некоторые жители нашей планеты – вовсе не представители *homo sapiens*, а замаскированные под людей пришельцы. Далее в книге мы будем употреблять только оценки ООН.

25 В комментариях к блогу проскочило, что автор зря считает функции до 2200 года. Это было сделано не зря, а чтобы показать читателю «кухню» позади оценок ООН. Если обрубить на 2100 году, – совершенно непонятно, как получились кривые ООН-овских предсказаний.

Самое время подвести итоги.

- Нами воспроизведены демографические оценки Организации Объединённых Наций.

- Авторы «*Пределов роста*» потратили 52 страницы, чтобы рассказать читателям, что банковские счета и финансовые рынки растут по экспонентам, а население так не умеет. Используя вместо коробочек обыкновенные дифференциальные уравнения от математиков XIX века, то же самое можно доказать несколько быстрее. В качестве бонуса читатель получил бесплатный работающий код для самостоятельных экспериментов.

- Абсолютный максимум населения Земли при условии потребления энергии только из возобновляемых ресурсов – где-то в пределах 40 млрд человек, плюс-минус пятьдесят процентов. Возможно, методами генной инженерии можно создать простейшие организмы с более эффективным захватом солнечной энергии (хлорелла) или производства протеинов (дрожжи). В любом случае, для производства продовольствия, эти организмы обязаны вытеснить бóльшую часть естественных видов, а человеческое существование сведётся к выращиванию и потреблению еды.

- При сохранении цивилизации, население планеты Земля, при условии потребления энергии только из возобновляемых ресурсов, – ограничено сверху числом около 20 миллиардов, однако современными технологиями такая плотность населения достигнута быть не может. При любых технологиях, население в 20 млрд приводит к разрушению биосферы Земли и практически полному уничтожению многоклеточных видов, кроме «культурных» растений и животных, а также паразитов. Жёсткий предел порядка 20 млрд неизбежен в связи с ограничением по потоку энергии высокой концентрации, а контролирующим фактором является продовольствие.

- При условии использования только технически-осуществимых источников возобновляемой энергии (на уровне технологии 2018 года), равновесное население может быть оценено числом 2 миллиарда. Такое население заведомо не приводит к деградации природных ресурсов, однако среднее качество жизни будет, вероятно, несколько ниже, чем сейчас. Социальные условия, вероятно, не позволят населению стабилизироваться на таком уровне.

- Сама по себе, статистика о численности населения Земли не может быть использована для предсказания поведения кривой народонаселения. Всякая честно построенная модель должна включать независимые методы вычисления граничных условий справа.



Глава 4.
По следам уравнения.

...и вдруг понял, что спать мне совершенно не хочется - хочется есть. Ай-яй-яй, подумал я. Надо было срочно принимать меры, и я их принял. Вот, скажем, система двух интегральных уравнений типа уравнений звездной статистики; обе неизвестные функции находятся под интегралом. Решать, естественно, можно только численно, скажем, на БЭСМ... Я вспомнил нашу БЭСМ. Панель управления цвета заварного крема. Женя кладет на эту панель газетный сверток и неторопливо его разворачивает. «У тебя что?» - «У меня с сыром и колбасой». С польской полукопченой, кружочками...

А. и Б. Стругацкие «Понедельник начинается в субботу»

Начнём опять-таки с модели. Немножко изменим биологию нашего пруда. Пусть каждый год я забрасываю в пруд достаточно еды для прокорма O взрослых карпов. Если в пруду P рыбок, они скушают за год примерно P еды (достаточно для P карпов), а остаток – накопится в виде переменной Q. Но копиться вечно еда не может, и ежегодно часть d сгнивает. Как будет развиваться мой пруд? Записываем систему из двух дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = O - P(t) - dQ(t) \qquad Q(0) = Q_0$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = b\left[1 - \frac{P(t)}{O}\right]P(t) \qquad P(0) = P_0 \qquad \{4.1\}$$

Здесь:
Q(t) – количество еды в пруду от времени;
O – оптимальная популяция, пока константа;
P(t) – численность популяции от времени;
b – постоянная воспроизводства;
d – постоянная амортизации (depreciation).

Из-за наличия **dQ(t)** аналитически решить нельзя, оттого придётся решать численно. Естественно, в книге у Мальтуса нет программного кода, а есть глава 3, где всё, что будет ниже, проанализировано словами. Вместо рыбок Мальтус использовал в примерах примитивные племена: индейцев в Америке и самоедов в Скандинавии.

Результат представлен в программке **\Chapter 04\Test_Malthus_1.py**

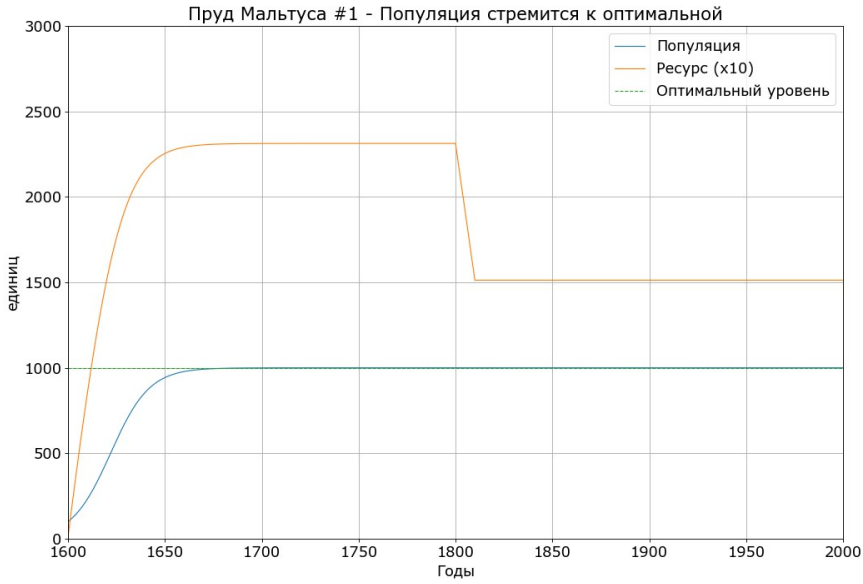
Калибровки с реальными данными нас пока не интересуют (именно поэтому я выбрал для примера карпов, а не индейцев или ирландских фермеров, а все значения – условные). Входные данные такие. В начале в пруду 100 карпов и достаточно еды для 100 особей. При нормальном питании, популяция

увеличивается на 10% ежегодно, а хочу я ровно 1000 рыбок[26]. Для начала предположим, что потерь нет, то есть **d=0**. Код и результат выглядят так:

```
from Population import *

#
# Описывает популяцию в открытой системе
# Согласно уравнению Мальтуса-Ферхюльста, но с потерями d
# Популяция стремится к оптимальной O
#
class Pond_Population_1:
    def __init__( self, P0, Q0, O0, b_rate, d_rate):
        self.P_Initial = P0
        self.P = P0
        self.Q_Initial = Q0
        self.Q = Q0
        self.O_Initial = O0
        self.O = O0
        self.B = b_rate
        self.D = d_rate
        return
    def dP_dt( self, t):
        tmp = max ( self.O, 0.01) # чтобы не было деления на ноль
        tmp = self.B * (1 - self.P / tmp)
        tmp *= self.P
        return tmp
    def dQ_dt( self, t):
        tmp = self.O
        # 10 лет неурожая
        if 1800 <= t and t < 1810: tmp *= 0.2
        tmp -= self.D * self.Q + self.P
        return tmp
    def dO_dt( self, t):
        tmp = 0
        return tmp
    def _func( self, y, t):
        # половинка карпа жить не может, но это статистически-большая
популяция
        self.P = max( [y[0], 0])
        self.Q = max( [y[1], 0])
        self.O = max( [y[2], 0])
        f0 = self.dP_dt( t)
        f1 = self.dQ_dt( t)
        f2 = self.dO_dt( t)
        return [f0, f1, f2]
    def Solve( self, t0):
        y0 = [self.P, self.Q, self.O]
        # Не забудем поставить правильную дискретизацию!
        soln = odeint(self._func, y0, t0, h0=0.01, hmax = 0.025)
        self.Solution_Time = t0
        self.Solution_P = soln[:, 0].clip(0)
        self.Solution_Q = soln[:, 1].clip(0)
        self.Solution_O = soln[:, 2].clip(0)
        self.P = self.P_Initial
        self.Q = self.Q_Initial
        self.O = self.O_Initial
        return

#
# Solve numerically
#
T  = np.linspace(1600, 2000, 401)
P1 = Pond_Population_1( 100, 100, 1000, 0.1, 0.0)
P1.Solve( T)

for i in range( len(T)):
```

26 Для любителей потолковать всуе о квантовой механике. У меня в программе карпы «не целые». Приближение {4.1} работает, естественно, лишь для статистически-значимых популяций. Примерно так же работает в инжиниринге уравнение Больцмана. Чтобы рассчитать паровоз или трубопровод, поведение каждой молекулы знать не надо. Однако не применяйте подход Мальтуса для аквариума с пятью золотыми рыбками.

```
    print( "{:4g} {:6.1f} {:6.1f} {:6.1f}".format( T[i], P1.Solution_P[i],
P1.Solution_Q[i], P1.Solution_O[i]))

fig = plt.figure( figsize=(15,10))
plt.plot( P1.Solution_Time, P1.Solution_P, "-", lw=1, label="Популяция")
plt.plot( P1.Solution_Time, P1.Solution_Q/10, "-", lw=1, label="Ресурс
(x10)")
plt.plot( P1.Solution_Time, P1.Solution_O, "--", lw=1, label="Оптимальный
уровень")
plt.xlabel("Годы")
plt.xlim( 1600, 2000)
plt.ylabel("единиц")
plt.ylim( 0, 3000)
plt.title( "Пруд Мальтуса #1 - Популяция стремится к оптимальной")
plt.grid(True)
plt.legend(loc=0)
plt.savefig( ".\\Graphs\\figure_04_01.png")
fig.show()
```



Как и ожидалось, популяция карпов растёт по сигмоиде и к 1675 году выходит на «полочку» 1000. В пруду накопилось достаточно пищи на 23 года. Если я на десять лет уеду и не буду подбрасывать корм – почти ничего не изменится, что и показано в программе с 1800 по 1810 годы. Популяция карпов на сокращение запасов продовольствия никак не реагирует, но количество запасов в пруду сокращается.

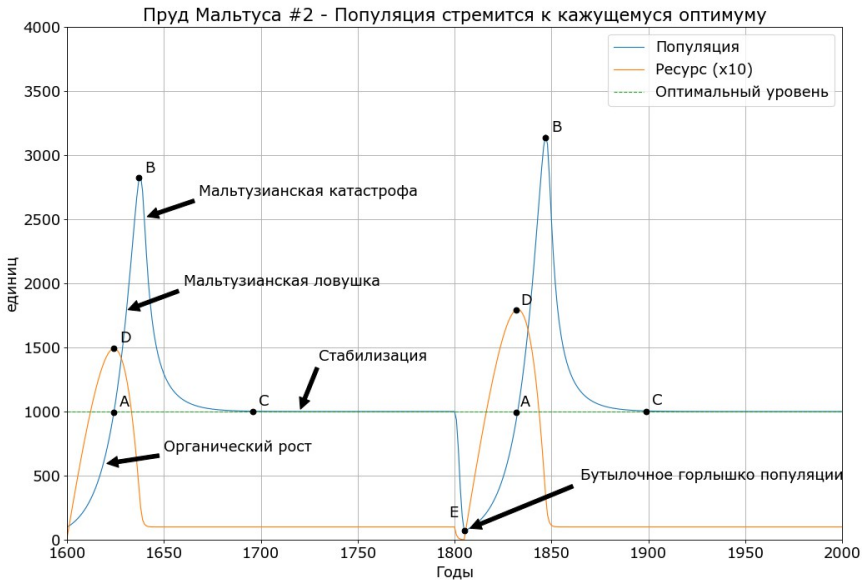
Конечно, карпы глупые, оттого никто из них уровень **O** не вычисляет. Рыбы поступают проще: когда еда и изобилии, все едят от пуза. Когда еды маловато – начинают драться, отталкивая друг-друга от кормушки. Сильные и здоровые в среднем выживают. Слабые, старые или больные в среднем дохнут. Но могут и сильного невзначай прихлопнуть. Главное, смертность определяется не каким-то умным вычислением **P(t)/O**, а тупым отношением **P(t)/Q**. Сколько пищи карпам надо супротив сколько в пруду имеется.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = O(t) - min(Q(t), P(t)) - dQ(t) \qquad Q(0) = Q_0$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = max\left(-1, b\left[1 - \frac{P(t)}{Q(t)}\right]\right) P(t) \qquad P(0) = P_0 \qquad \{4.2\}$$

Проверяем программкой **\Chapter 04\Test_Malthus_2.py**

```
def dQ_dt( self, t):
    tmp = self.O
    # 5 лет неурожая
    if 1800 <= t and t < 1805: tmp = 0
    tmp -= self.D * self.Q + min( self.P, self.Q)
    return tmp
```



Разница принципиальная. В первом случае, возможно, какой-то особо одарённый карп в 1800 году заметит, что еда перестала поступать в кормушки, и начнёт писать книжку, вроде «*Пределов роста*». Пусть даже и напишет. Запасов так много, что остальным рыбкам на паникёра наплевать. В общем, они правы. Через десять лет я вернусь и продолжу кормить моих рыбок как прежде. Никакой катастрофы.

А во втором случае – запасов еды в системе нет почти никаких (кроме двух всплесков D, о которых ниже), и оттого не десятилетний, а всего пятилетний перерыв в кормёжке приводит к резкому снижению популяции. Неурожай 1800-1804 для карпов – настоящая катастрофа. Тут уж никакому сверхразумному карпу книжки про пределы роста писать не надо, эффект очевиден. Вы говорите «мальтузианская катастрофа»? Совсем нет. Неурожай задаётся внешними условиями. Мальтус сказал бы: Провидением.

Однако две мальтузианские катастрофы на графике присутствуют. Опишем отрезки:

- Левее точки A, «**органический рост популяции**». Еды я закидываю для 1000 особей? Вполне правомерно, карпы стремятся достичь этого уровня. Если они на этом и остановятся – будут жить по сто лет, как в парковых прудах Японии[27].

- В точке A популяция проскакивает равновесное состояние и входит в отрезок AB – «**мальтузианскую ловушку**». Теперь популяция обречена, и чем выше взлёт, тем резче и безудержней будет падение.

- В точке B наступает «**мальтузианская катастрофа**». Опять-таки не точка, а отрезок: BC. Еды на всех не хватает, и популяция обваливается.

- Правее точки C наступает **«стабилизация»**.

- Точку E уже после Мальтуса назвали «**бутылочным горлышком популяции**». Останавливаться подробнее не буду – читайте прямиком у Дарвина. Скажу только, что математика Мальтуса – одна из основ Эволюционной теории. А ежели кто не осознал эволюции (верить-не-верить тут нечему, это подтверждённая научная теория) – посоветуем взять из кормушки банан[28] – и обратно на пальму. В качестве самостоятельного эксперимента попробуйте поменять длительность неурожая.

- Заметим, что после прохождения «бутылочного горлышка» популяция начинает всё заново: органический рост до точки A, попадание в ловушку AB, катастрофа BC – и стабилизация.

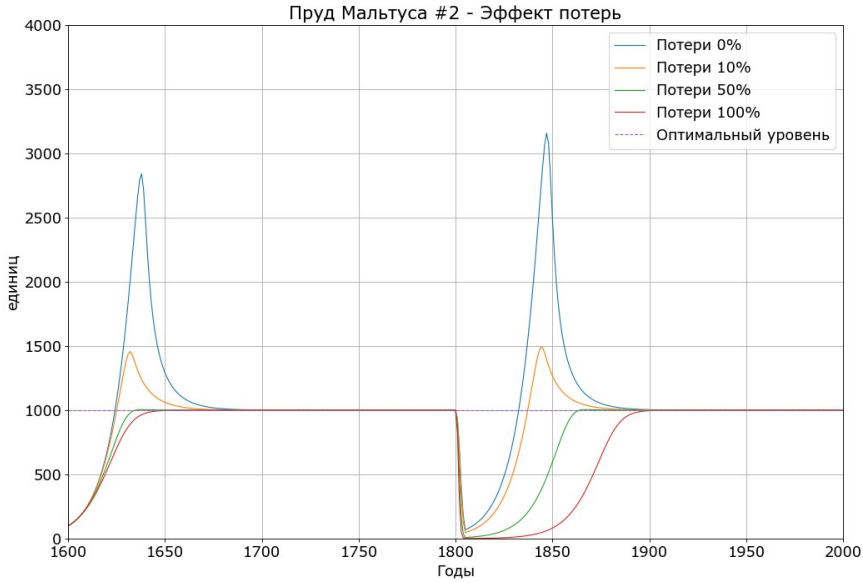
Сам Мальтус терминами «ловушка» и «катастрофа» не оперировал, их ввели в оборот биологи в начале XX века. И уж тем более не Мальтус назвал эти отрезки «мальтузианскими». Есть смертный грех: Vanagloria. В нём священник Мальтус замечен точно не был.

Однако еда вечно храниться не может, и надо ввести какой-то процент потерь. Проведём расчёты для 10, 50 и 100%. Программка **\Chapter 04\Test_Malthus_3.py**

```
T = np.linspace(1600, 2000, 401)
P1 = Pond_Population_2( 100, 100, 1000, 0.1, 0)
P1.Solve( T)
P2 = Pond_Population_2( 100, 100, 1000*(1+0.1), 0.1, 0.1)
P2.Solve( T)
P3 = Pond_Population_2( 100, 100, 1000*(1+0.5), 0.1, 0.5)
P3.Solve( T)
P4 = Pond_Population_2( 100, 100, 1000*(1+1), 0.1, 1.0)
P4.Solve( T)
```

27 Утверждают, что ещё живы особи, окольцованные в 1870-х годах.

28 Ладно, ладно, так и быть: бери два банана.

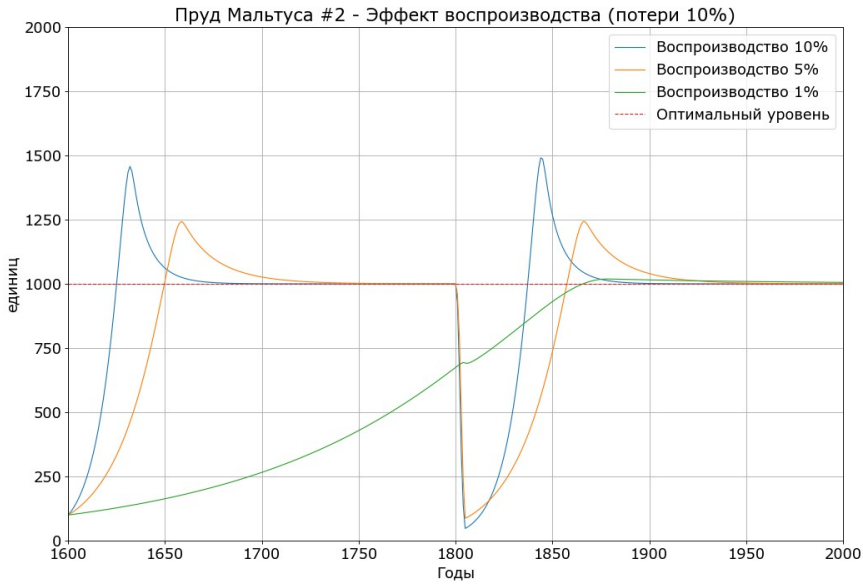


Как видим, при стопроцентных потерях популяция выходит на аналитическое решение Ферхюльста – сигмоиду, что мы разбирали в главе 3. В «плавном» решении Ферхюльста никакой мальтузианской катастрофы нет. Чем меньше потери, чем ярче проявляется эффект выхода за пределы. Например, при 10% потерь популяция проскакивает к 1500 особям, а при нулевых – к 2700.

Далее рассмотрим, что будет, если изменить показатель **b**. В программе **\Chapter 04\Test_Malthus_4.py** карпы считаются три раза: для скорости прироста 1% в год, 5% в год и 10% в год. Коэффициент потерь во всех трёх случаях одинаков – 10%.

```
T  = np.linspace(1600, 2000, 401)
P1 = Pond_Population_2( 100, 100, 1000*(1+0.1), 0.10, 0.1)
P1.Solve( T)
P2 = Pond_Population_2( 100, 100, 1000*(1+0.1), 0.05, 0.1)
P2.Solve( T)
P3 = Pond_Population_2( 100, 100, 1000*(1+0.1), 0.01, 0.1)
P3.Solve( T)
P4 = np.ones( len(T)) * 1000
```

Рыбки с малой скоростью воспроизводства неурожай 1800-1804 годов почти не замечают – лишь маленький всплеск на графике. В период органического роста, когда в системе есть запасы продовольствия, даже суровый неурожай не страшен. Представьте посёлок посреди лесистого острова. Не уродилась картошка и пшеница? Есть дичь в лесу, а также грибы-ягоды. Но вот период органического роста кончился: посёлок превратился в большой город, лес срубили, весь остров распахали, лосей-грибов-ягод больше нет. Ясное дело, неурожай мгновенно превращается в трагедию. Заметим, при прочих равных условиях, чем быстрее рост популяции, тем дальше выход за пределы, и тем круче мальтузианская катастрофа.



Однако почему популяция должна стабилизироваться плавно? Вся история Англии пестрит большими и маленькими гражданскими войнами – вспомним того же Кромвеля. У Мальтуса перед глазами была и Великая Французская Революция. Короче, если популяция может проскакивать оптимум снизу вверх, почему бы во время голода и смуты не проскочить и сверху вниз?

Система уравнений выглядит так:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = O(t) - P(t) - dQ(t) \qquad Q(0) = Q_0$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = b\left[1 - \frac{P(t)}{Q(t)}\right]P(t) \qquad P(0) = P_0 \qquad \{4.3\}$$

Мальтус был, по-видимому, первый экономист[29], кто применил статистические методы для калибровки своей модели. Он взялся оценить значение **(B-A)** для человеческой популяции.

Как и подобает математику, Мальтус сначала приводит «оценку сверху». Пусть детской смертности нет совершенно, каждая женщина выходит замуж, каждый брак заканчивается 15 здоровыми детьми (15 родов с пятнадцатилетнего возраста с промежутком 1 год), а все люди умирают 100 лет от роду. Это в наше компьютерное время просто: загнал матрицу Лесли[30] в калькулятор «Шарп», прокрутил раз двадцать – сошлось, готово. А

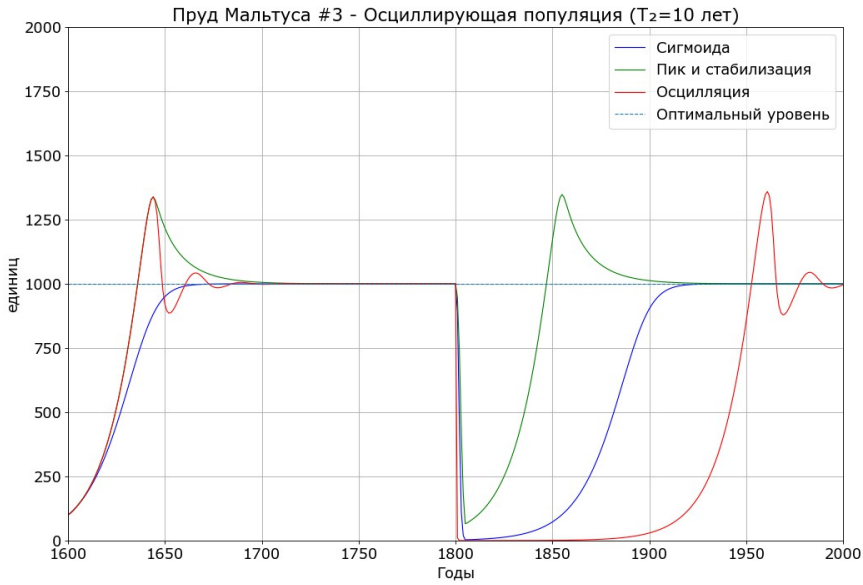
29 В физике калибровать придумал Р.Хук (Hooke) на столетие раньше, но ни Адам Смит (1723-1790), ни Давид Рикардо (1772-1823), калибровок в экономике не применяли.

30 К матрице Лесли ещё вернёмся, пока верьте на слово.

преподобный Мальтус делал это руками, и ещё до «Аналитической Машины» Бэббиджа. Сохранились записи. Мальтус рассчитал максимальную биологическую скорость удвоения человеческой популяции $\mathbf{T_2}$=10 лет.

Пример в программе **\Chapter 04\Test_Malthus_5.py**

```
#
# Описывает популяцию в открытой системе
# Согласно уравнению Мальтуса-Ферхюльста, но с потерями d
# Популяция стремится к кажущемуся оптимуму Q
# Время удвоения T2 используется вместо b
# Убрано ограничение на потребление
#
class Pond_Population_3:
    def __init__( self, P0, Q0, O0, T2, d_rate):
        self.P_Initial = P0
        self.P = P0
        self.Q_Initial = Q0
        self.Q = Q0
        self.O_Initial = O0
        self.O = O0
        self.B = np.log(2)/T2
        self.D = d_rate
        return
    def dP_dt( self, t):
        tmp = max ( self.Q, 0.01) # чтобы не было деления на ноль
        tmp = self.B * (1 - self.P / tmp)
        tmp *= self.P
        return tmp
    def dQ_dt( self, t):
        tmp = self.O
        # 5 лет неурожая
        if 1800 <= t and t < 1805: tmp = 0
        tmp -= self.D * self.Q + self.P
        return tmp
    def dO_dt( self, t):
        tmp = 0
        return tmp
    def _func( self, y, t):
        self.P = max( [y[0], 0])
        self.Q = max( [y[1], 0])
        self.O = max( [y[2], 0])
        f0 = self.dP_dt( t)
        f1 = self.dQ_dt( t)
        f2 = self.dO_dt( t)
        return [f0, f1, f2]
    def Solve( self, t0):
        y0 = [self.P, self.Q, self.O]
        # Не забудем поставить правильную дискретизацию!
        soln = odeint(self._func, y0, t0, h0=0.01, hmax = 0.025)
        self.Solution_Time = t0
        self.Solution_P = soln[:, 0].clip(0)
        self.Solution_Q = soln[:, 1].clip(0)
        self.Solution_O = soln[:, 2].clip(0)
        self.P = self.P_Initial
        self.Q = self.Q_Initial
        self.O = self.O_Initial
        return
#
# Solve numerically
#
T  = np.linspace(1600, 2000, 401)
P1 = Pond_Population_2( 100, 100, 1000*(1+0.8), 10, 0.8)
P1.Solve( T)
P2 = Pond_Population_2( 100, 100, 1000*(1+0.1), 10, 0.1)
P2.Solve( T)
P3 = Pond_Population_3( 100, 100, 1000*(1+0.1), 10, 0.1)
P3.Solve( T)
P4 = np.ones( len(T)) * 1000
```



При большом уровне потерь получается плавное решение – сигмоида Ферхюльста. Если народ голодает мирно, по уравнениям {4.2} – получается зелёная кривая. А если воюет по уравнениям {4.3} – кривая красная. Вместо одной мальтузианской катастрофы – несколько.

Ясное дело, не каждая женщина выходит замуж, не каждая рожает 15 раз, не каждые роды – удачны. Мальтус принялся оценивать реальную максимальную скорость на основании статистических данных. В 1700 году, большой кусок Северной Америки – 13 штатов – был колонией Англии. Почему нам так интересны штаты? Потому, что в отличие от колоний Испании в Латинской Америке, британские колонии относительно хорошо управлялись, и в Англию регулярно поступала довольно надёжная статистика о численности населения. В конце концов, тогда белые люди в Америке были не ещё не граждане, а подданные, им полагалось платить налоги. А позже, когда Америка стала независимой, новая страна о статистике помнила, и вела записи аккуратно.

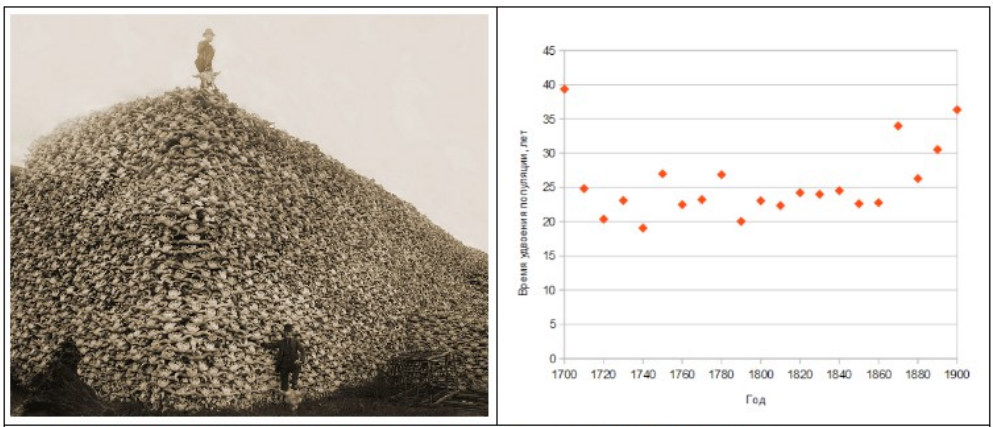
Приведём данные и мы. В 1700 году, бледнолицее и чернокожее[31] население английских колоний в Америке составляло 250.9 тыс человек. В 1750 – 1'170.8 тысяч. В 1800 – 5'308.5 тысяч.

Рассчитаем время удвоения населения и скорость прироста населения США по формулам:

31 Население индейцев сокращалось, но статистики не вели. Мы до сих пор не знаем, сколько же их там было до Колумба. Энгельс утверждал, что Мальтус ошибся, а бешеный рост 13 С-АШ – из-за иммиграции. На самом деле, ошибся Энгельс. С 1700 по 1800 годы общее число переселенцев из Европы в 13 С-АШ не превышало 100 тыс, плюс около 300 тыс чернокожих рабов. Остальные пять миллионов «северян» народились уже на месте.

$$r=\left(\frac{P(t_2)}{P(t_1)}\right)^{\frac{1}{(t_2-t_1)}} \qquad T_2=\frac{\ln(2)}{\ln(r)} \qquad \{4.4\}$$

Здесь:
T_2 – время удвоения популяции, лет;
r – фактор роста населения;
t_1, t_2 – годы переписи;
$P(t_1)$, $P(t_2)$ – население в годы переписи.



Люди и бизоны. Время удвоения колониального населения 13 С-АШ

Как видим, когда в 1798 году Мальтус писал про время удвоения бело-чёрного населения Америки T_2 = 25 лет, он намеренно ошибался в сторону более медленного роста. Во втором и последующем изданиях автор упоминает «почти рекорд» декады 1780-1790, когда время удвоения было ровно 20 лет. В такое короткое время удвоения Мальтус поверить не смог и отмёл эту точку как статистическую ошибку. По современным данным число 20.0 считается верным, а в декаду 1730-1740 рекорд был даже побит: 19.1 года!

Отчего на самом деле получился такой безумный рост в Северной Америке? Конечно, из-за огромных, «бесконечных» природных ресурсов! Перед несколькими тысячами первых колонистов лежала бескрайняя страна: 800 млн га территории, из которых пригодно под пашню более 300! Самородки меди – по три или четыре тонны. Метеоритное железо. Бизоны. 60'000'000 (шестьдесят миллионов) ходячих «холодильников» – в каждом по полтонны диетического мяса. К 1889 году в США стало 62 млн бледнолицых и чернокожих братьев и всего 541 (sic! – точность до единицы) бизон. На картинке – черепа бизонов из 1870-х. Удобрение.

Кто-то заявляет вам, Уважаемый Читатель, мол Роберт Мальтус высосал свои умозаключения о росте популяции из пальца? Знайте: перед вами распинается либо оболваненный пропагандой дурак, либо лукавый перец. Ибо Мальтус про Америку знал и приводил ссылки в своей книге, на многих страницах. А

Россию, Швецию и ещё несколько европейских стран Роберт Мальтус посетил лично. Каково по России ездить в 1799-1800? Перечитайте у Гоголя в поэме «*Мёртвые души*», притом Гоголь писал про 1840 год. Мальтус доехал не только до Петербурга, но и по уездам: собирал статистические данные об урожайности, рождаемости и смертности.[32]

Отсюда, в отсутствие всех ограничений, человеческая популяция может удваиваться примерно за 25 лет или чуть быстрее.

Неужто Мальтус, зная про Америку и Россию, не озаботился поглядеть данные о населении Англии? Нет, конечно! Приходские книги учёта рождений и смертей существовали в Англии примерно с XVI века, а уж в XVIII веке – загляденье! Ко всему прочему, Мальтус был священником, то есть коллегой именно тех, кто учётом населения и занимался.

Когда лукавые перцы свистят вам в ухо, что Мальтус-де считал время удвоения населения планеты Земля 25 лет, и обещал-таки всем к 1850 голодомор и вселенскую катастрофу с людоедством, трупоедством и зомбями на улицах, – не верьте! Ничего подобного Роберт Мальтус нигде не писал. Планета Земля в целом интересовала преподобного Мальтуса мало. Его заботила единственная нация – англичане и волновал единственный кусочек территории – Великобритания (в тексте он по традиции называет свою Родину «Острова»).



В Англии XVII-XVIII веков никаких удвоений за двадцать пять лет не наблюдалось.

32 Один камарад написал мне в блог, что Мальтус занимался пропагандой. Мальтус как раз науку двигал, построив первую математическую теорию популяции и ресурсов. Пропагандой занимались те, кто из математического трактата Мальтуса надёргал цитат без контекста, да ещё криво перевёл. Тут вам и Спенсер, и Ницше, и Горький, и Геббельс, и Суслов. Каждый уникален в своём репертуаре и доказывал своё что-то. На одних и тех же цитатах.

Год	1600	1630	1670	1700	1750	1801
Население, млн	4.81	5.60	5.77	6.05	6.52	16.35

По формуле {4.4} легко проверить, что с 1600 по 1750 T_2=342 года, и даже с 1750 по 1801, несмотря на «сельскохозяйственную революцию», турнепс и прочие достижения, время удвоения – 38 лет. Почему население Англии не удваивалось как в Америке? Совершенно справедливо, Мальтус понял, что ограничение – по пахотной земле. К 1600 свободной земли в Англии больше не было, даже пустоши (помните торфяные болота в «*Собаке Баскервилей*»?) были в чьей-то собственности.

Заслуга Мальтуса перед человечеством как раз в том, что он понял! Снизу на кривую народонаселения (популяции) давит экспонента, тупо связанная с инстинктом продолжения рода, то есть вторым постулатом. Однако сверху кривую нагибают **контролирующие факторы популяции** (positive checks в терминологии математика того времени), то есть первый постулат.

Я написал: «контролирующие факторы популяции». Это мерзкий перевод, калька с английского. Хотя, всё-таки лучше, чем в официозном переводе прямиком из Отдела Пропаганды ЦК КПСС 1980 года выпуска: «положительные факторы». А дальше – перечисление «положительных»: голод, война, проституция… (а гравитация у Ньютона — негативное явление, так-то).

Правильный перевод: «**естественные ограничители популяции**». Их Мальтус перечислил в книге:

1. Голод. Недостаток пищи для поддержания физиологических функций. Мрут все, от мала до велика.
2. Недоедание. Прожить-то хватает, но подорваны здоровье и иммунитет. Последствия ясны.
3. Перинатальная смертность. Пищи хватает, чтобы выжить, но недостаточно, чтобы выносить плод и родить здорового младенца.
4. Вызванная детская смертность. Пищи хватает взрослым, а детей отправляют по миру.
5. Сознательное прерывание беременности. В 1798 году услуги бабки-повтухи заканчивались смертью пациентки примерно в 3 случаях из каждых 5 абортов.
6. Сознательное воздержание от зачатия.
7. Пороки: пьянство, наркомания, проституция, от всего вышеперечисленного.
8. Преступность и бандитизм, вызванные недоеданием и пороками.
9. Болезни, проистекающие от скученности и недоедания.
10. Народные волнения, проистекающие от недоедания и болезней. «Геволюционная ситуация».
11. Войны, косвенно проистекающие от народных волнений.

12. Миграция населения, в том числе – насильственная (фермеры в Канаду, карманники в Австралию!) – из-за всего, перечисленного выше. Самое прикольное, многие «закоренелые преступники», пережив голод и цингу на кораблях Его Величества, по прибытии в Австралию становились честными фермерами. «Земельный вопгос погешали», как сказал бы Владимир Ильич.

Про микробиологическую природу болезней во времена Мальтуса ещё не знали точно, но уже догадывались. Ясно было, что распространение чумы, холеры, и прочих эпидемий как-то связано со скученностью населения. Даже дедушка Ньютон убежал от лондонской чумы к себе в поместье, чтобы там поиграть с призмами. Современный нам микробиолог сказал бы, что от скученности появляется вектор распространения инфекции.

Из-за ограничителей популяции (контролирующих факторов), и по рождаемости, и по смертности в Англии первой половины XIX века (в веке XVIII просто никто такое не считал) наблюдалась жуткая свистопляска. То каждая женщина вдруг хотела родить, то массово шли к повивальным бабкам за примитивным абортом. То белокурые и ярко-рыжие деточки-ангелочки играют у кромки поля, рядом с вяжущими снопы счастливыми отцами, то вдруг папочка упился в стельку, а отпрысков послал, куда подальше: в Лондон, просить Христа ради. То война. А революция? Так вот она: на той стороне Канала, который Ла-Манш.

Положений в книге Мальтуса было не два, а много, и все с доказательствами:

1. Без ограничений пищей и ресурсами, человеческая популяция имеет тенденцию размножается по экспоненте. По статистическим данным из 13 Северо-Американских Штатов, можно грубо принять время удвоения популяции за 25 лет. В Англии и Франции 1700-х годов экспоненты не замечено, так как свободной земли уже нет: всё в чьей-то собственности.
2. В странах, где свободной землицы уже нет, население таким образом приближается к критической плотности. Функцию критической плотности можно поднять путём применения новых технологий (кто сказал, что Мальтус не знал про технологии?) или хищнического землепользования (смотрим его пример с коровками и навозом). В первом случае можно какое-то время удваивать урожайность с гектара, но потом удвоения не получится, а будет, в лучшем случае, арифметический рост. А в случае сверх-интенсивного пользования, ещё хуже: эффект какое-то время будет положительный, а потом урожайность упадёт. В Англии применение новых технологий позволило почти удвоить производство жратвы за 50 лет (с 1725 по 1775 гг). 50 лет, как ни крути, — это вдвое больше, чем 25. Вы разве не согласны?
3. Когда плотность населения доходит до критической, народ в среднем продолжает размножаться. Почему? Смотрим второй постулат.

4. Население проскакивает оптимум, и наступает период, названный позже мальтузианской катастрофой: что бы Вы ни делали, какие бы кредиты ни раздавали, сколько бы ноликов к резаным фантикам ни добавляли, еды на всех не хватает.
5. После наступления мальтузианской катастрофы на народ слетаются напасти (в том, старинном, английском используется слово «misery»): голод, эпидемии, холод, война, революция, разруха. Народ расстраивается и предаётся пороку («vice»): деткам выдают суму для сбора милостыни и желают счастливого пути, жена идёт к повитухе, чтоб вытравить младенца (чаще со смертельным исходом для матери), мужик идёт к проститутке (у неё, потенциально, тот же исход, что и у жены), мужик с горя упивается в хлам. Как результат, население начинает сокращаться: не только младенцы, но и алкоголики тоже.
6. Население снижается до оптимального уровня, но не останавливается, а проскакивает ниже.
7. Дети, из тех что с сумой по миру, чуть взрослеют и нанимаются в батраки – кто выжил, конечно. Дешёвая рабсила идёт в производство. Мужички, кто не спился, трезвеют и принимаются за работу. Бабы, кто не умер, снова начинают рожать. Мальтузианская катастрофа заканчивается.
8. Далее смотрим пункт второй, по кругу. Это называется «мальтузианский цикл» или «цикл нищеты».

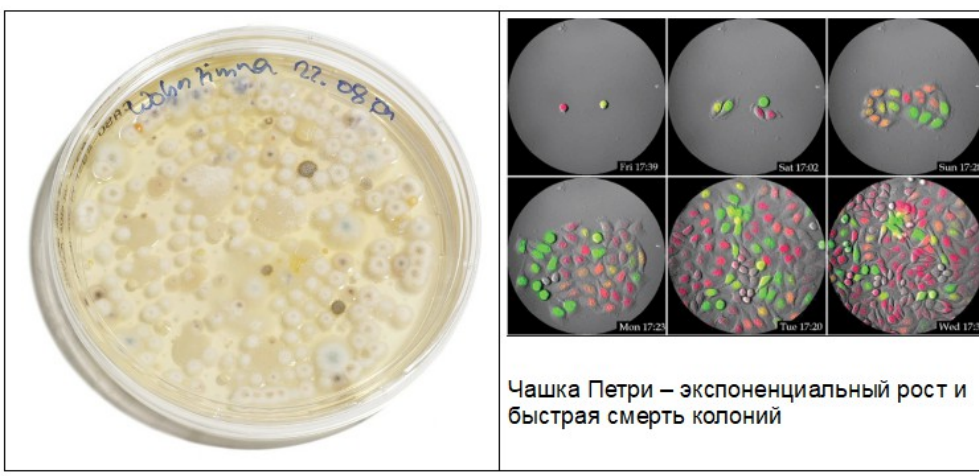


Для вас, жители XXI века, воспитанных на «научной» фантастике про зомби и пришествия марсиан. Мальтузианская катастрофа — не апокалипсис на весь мир, причём последний. Мальтузианская катастрофа – циклическое событие, которое было с человечеством с того дня, как у законных хозяев Адама и Евы

некто Б. отжал ОАО «*Эдем*». В истории человечества мальтузианские катастрофы происходили десятки тысяч раз. К счастью, пока вразнобой. Европа 1620 года ничего не знала про катастрофу на острове Пасхи – не открыли ещё. Большинство американцев, озабоченно читая новости Великой Депрессии, пропускали «трехстрочки» про голод в СССР 1932-33 годов, как, впрочем, и население СССР 1972 или 1986 года не особо волновали голодоморы в Сомали.

Мальтус смотрит на численность индейцев-охотников в Америке и оленеводов в Лапландии: там циклы! Он смотрит в книги регистрации рождений и смертей в Англии: циклы! Во Франции, Швеции – циклы. И в России циклы были. У нас мальтузианские катастрофы называли проще: «голодные годы».

Тут самое время отодвинуть на время Англию XIX века и поглядеть, как пруд номер три работает в биологии. Мальтус первый указал, что в разгонах и обвалах популяции играет роль именно биология, а не случайность или гнев богов. В современном мире есть тысячи лабораторий, где подобные же разгоны и обвалы популяции наблюдают по сотне раз за день. Речь идёт не об академической науке, а о практической медицине. В каждом приличном городе есть санитарно-эпидемиологическая станция, а при ней – бак-лаборатория.



Чашка Петри – экспоненциальный рост и быстрая смерть колоний

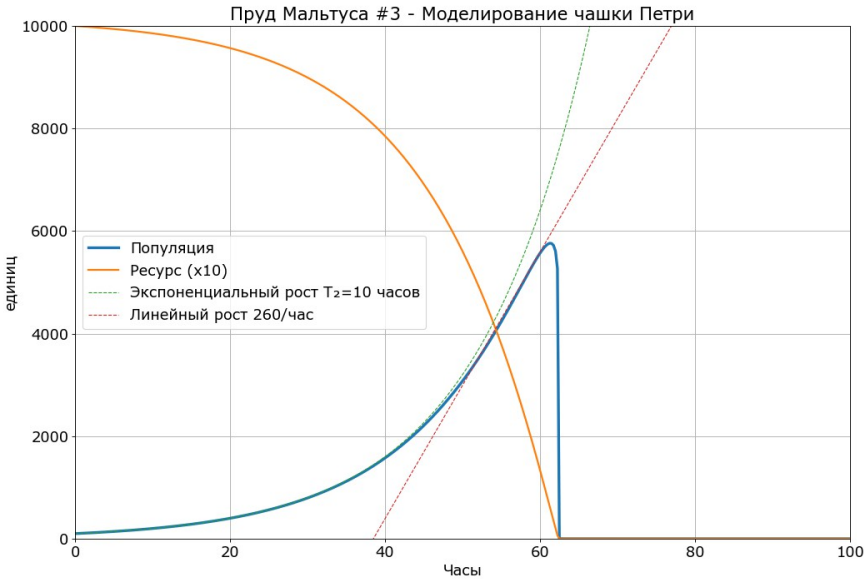
Пример в программе **\Chapter 04\Test_Malthus_6.py**

```
T  = np.linspace(0, 100, 401)
P1 = Pond_Population_3( 100, 100000, 0, 10, 0)
P1.Solve( T)
b = np.log(2) / 10
Exponent = 100 * np.exp( b*T)
Linear = (T-38.5)*260
```

Пусть в чашке изначально 100 тыс бактерий, а еды каждой бактерии достаточно на 1'000 часов. Насытившись, бактерия делится каждые 10 часов.

Что происходит? С нуля до примерно 40 часов бактерии размножаются по

экспоненте, и колония достигает 1'600 тыс особей. Далее начинают играть факторы ограничения популяции, кривая проваливается несколько ниже экспоненты и к 55 часам переходит к строго-линейному росту. В 60 часов вся поверхность заселена счастливыми бактериями, а всего в колонии их 5'600 тысяч. Через 63 часа после начала эксперимента колония кончается, так как весь агар съеден.



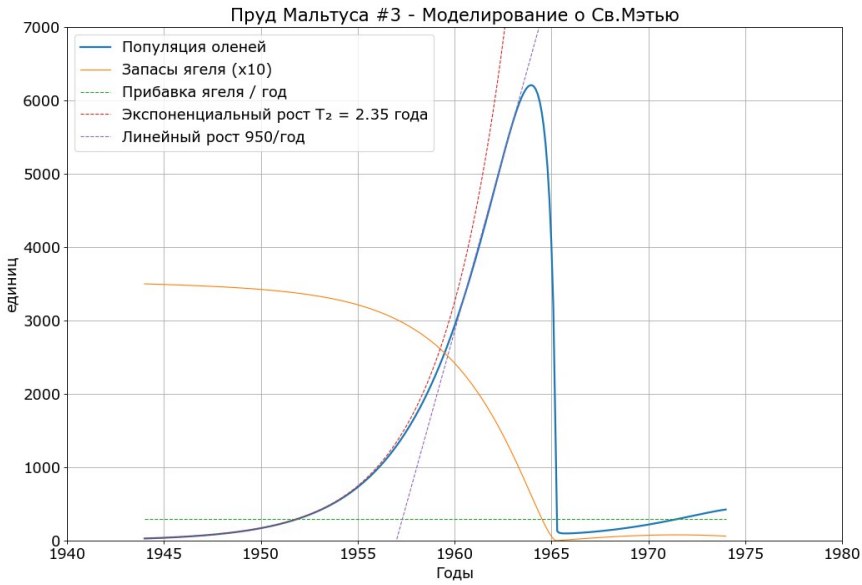
Во время Второй мировой на островке Св.Мэтью в Беринговом море американские морские пограничники расчистили взлётно-посадочную полосу и построили метеостанцию. Через Аляску перегоняли в Советский Союз истребители, новые с завода – всяко бывает. Помимо ящиков с консервами, завезли 29 живых северных оленей на случай если совершившим вынужденную пилотам захочется свежего мясца. В 1949 цирк с метеостанцией уехал, а олени остались. К 1963 году по острову гуляло более 6'000 оленей[33]. В 1965 осталось 42. Впрочем, такой скоростной обвал мог произойти из-за необычайно суровой зимы 1963-1964 годов (смотрим «неурожай» на примерах выше) либо из-за эпидемии какого-нибудь оленьего гриппа. Однако суровую зиму и холодное лето 1953 олени пережили великолепно и без заметного снижения численности.

Пример в программе **\Chapter 04\Test_Malthus_7.py**

```
T = np.linspace(1944, 1974, 301)
P1 = Pond_Population_3( 29, 35000, 300, 2.35, 0.01)
P1.Solve( T)
b = np.log(2) / 2.35
Exponent = 29 * np.exp( b*(T-1944))
Linear = (T-1957)*950
```

33 Площадь сурового северного острова – 357 км^2. В 1963, то есть в год обвала, на каждого оленя приходилось по 35700 / 6000 = 6 га, или 600 соток. В сто раз больше средней российской дачи. Запомним это число.

Пусть острове изначально 29 оленей, а запасов ягеля достаточно для 35 оленей на 1'000 лет. Более того, каждое лето прибавляется ягеля для прокорма 300 оленей. Если олени сытые, а хищников нет, популяция удваивается каждые 2.35 года (так примерно и есть в природе).



Что видим? С 1944 до примерно 1956, олени размножаются по экспоненте, колония достигает 970 особей. Далее начинают играть факторы ограничения популяции, кривая проваливается несколько ниже экспоненты и к 1960 году переходит к строго-линейному росту. В 1964 – пик популяции 6'200 особей. На следующий год – обвал. В отличие от бактерий в чашке Петри, популяция оленей не вымирает в ноль. В моём примере остаётся 108 оленей; в реальной жизни осталось вроде бы 42, но популяция уже слишком мала для статистических методов. Как видим, животные продолжают размножаться, проскакивая в 1972 году предел в 300 особей. Далее наверняка последовало бы несколько небольших мальтузианских катастроф, однако добрые люди оленей с острова вывезли.

Представленные выше графики получили в XXI веке красивое имя: «обрыв Сенеки». Название вроде бы придумал в 2011 Уго Барди для своей статьи на «*Oil Drum*»[34], хотя математики пользовались кривой добрые две сотни лет, называя её просто «акулий плавник». Для читающих по-английски рекомендую книгу Уго Барди [15].

Система {4.3}, а также её бесчисленные модификации, приводятся в книгах по Теории Катастроф под разными именами: «модифицированное уравнение Ферхюльста», «система Мальтуса-Ферхюльста» или «система Мальтуса». Технически имя Мальтуса следует ставить вначале. Пьер Франсуа Ферхюльст

34 См перепечатку: http://cassandralegacy.blogspot.com.au/2011/08/seneca-effect-origins-of-collapse.html

опубликовал своё аналитическое решение в 1845 году, то есть через 11 лет после смерти Мальтуса, а в момент публикации первого издания «*Теории популяции*» талантливого бельгийского математика ещё и на свете не было. Та же система {4.3} применяется при анализе коррекции возмущений. Когда вы летите на коммерческом самолёте, 95% времени рулит не лётчик, а автопилот. За то, что летательный аппарат привозит вас куда надо, скажите спасибо уравнениям Мальтуса.

Где ошибся Мальтус?

Сразу отбросим недобросовестные переводы-фальсификации с поеданием мозгов недоношенных младенцев в стиле Геббельса-Эренбурга или «*Сионских мудрецов*» (выделение перлов – моё):

«Мы должны, — писал Мальтус, — быть последовательными и способствовать действиям природы, вызывающим смертность; и если нас пугают слишком частые повторения голода в его ужасных формах, то мы должны усердно поощрять другие разрушительные силы природы, которые сами вызываем к жизни. Вместо того, чтобы проповедовать среди бедняков необходимость соблюдения чистоты, мы должны поощрять как раз обратные привычки. ***Надо делать в городах более узкие улицы, перенаселять дома и способствовать повторению эпидемии чумы.*** *Необходимо строить деревни близ непроточных водоемов и особенно способствовать заселению болотистых и вредных для здоровья мест. Но прежде всего нам* ***следует осудить применение особых лекарств для лечения смертельных болезней****, а также осудить тех добрых, но заблуждающихся людей, которые, изобретая способы искоренения определенных зол, думают, что оказывают услугу человечеству». [Где, в какой книге, какого издания, на какой странице нашли это? И фамилию «переводчика» отчего стесняетесь напечатать?]*[35]

Роберт Мальтус ненавидел не бедных, а бедность, не нищих, а нищету. Вот его реальная цитата. Несколько тяжеловато и напыщенно. XVIII век, однако:

Evil exists in the world not to create despair but activity. We are not patiently to submit to it, but to exert ourselves to avoid it. It is not only the interest but the duty of every individual to use his utmost efforts to remove evil from himself and from as large a circle as he can influence, and the more he exercises himself in this duty, the more wisely he directs his efforts, and the more successful these efforts are, the more he will probably improve and exalt his own mind and the more completely does he appear to fulfil the will of his Creator.
Зло существует в мире, чтоб создавать не отчаяние, но активность. Мы не станем терпеливо подчиняться злу, но трудиться, чтоб зла избежать. Не только желание, но и обязанность каждого человека, – делать всё возможное, чтобы удалить зло от себя и от всего, на что он в силах повлиять. Чем больше человек посвящает себя борьбе со злом, тем более мудро он направляет свои усилия, и тем успешней эти усилия, тем выше вероятность, что улучшит и возвысит ум свой, тем более исполнит он волю своего Создателя. [1-е издание, стр 126, перевод мой]

Вот такой человеконенавистник-мизантроп, мля.

Абортариев и тотального воздержания Мальтус не предлагал, в строительстве концлагерей и крематориев замечен не был.

Мальтуса совершенно несправедливо обвиняют, будто он хотел маленькую популяцию. Мол, меньше народу – больше кислороду. В корне неверно! Мальтус предлагал регулировать рождаемость так, чтобы численность населения никогда не превышала возможностей природопользования. На максимуме, но не выше! А маленькая популяция при нерегулируемой рождаемости не приводит ни к чему хорошему. Циклы делаются длиннее, зато

35 Скачано с http://www.medical-enc.ru/m/12/maltuzianstvo.shtml

круче, и в мальтузианских катастрофах вымирает больше голодных детишек. И ещё: свято место пусто не бывает. Если население вашей страны существенно ниже оптимального, на ваши земли позарятся жадные соседи.

Для регулирования рождаемости Мальтус предлагал ряд простых методов, например, расстреливать беременных картечью из пушек... Да нет же! Школы предлагал открывать. Обязательное всеобщее начальное образование, в том числе и для девочек. А что «начальное» – так извините. В Англии 1798 года были и университеты, но население читать умело процентов на десять-двенадцать от силы, причём главным образом мужчины. Мальтус прекрасно разобрался, что для предотвращения популяционного взрыва нужно сначала ввести всеобщее начальное, и только потом задумываться над всеобщим средним и очень высшим, а не наоборот.

Поздние браки следует всячески поощрять, а ранние по возможности откладывать. Да, когда женятся в двадцать пять лет, а не в пятнадцать, думают головой, а не... гормонами.

Натальное воздержание предлагал. С ударением на «натальное». Не знаете, что такое? Стыдно, батенька. Это когда муж и жена хотят ребёнка, жена рассчитывает «правильный день» в календарике. А если дети уже есть, сколько хочется, по тому же календарику можно рассчитать и другие дни – когда опасность «залёта» нулевая. В наши дни это называется «планированием семьи», но использование контрацептивов Мальтус осуждал. Опять-таки вспомним, что презервативы образца 1798 года делали из кишок животных или пропитанной химикатами льняной ткани; после их следовало стирать и сушить для повторного использования, а защита от беременности или сифилиса была разве что психологической[36].

Предлагал закрыть и запретить бордели, потому как грех и сифилис, а проституток – в деревню на перевоспитание. Секс до брака или вне брака? Низзя! Не утерпел и изнасиловал? Прямиком на виселицу, не пряник же тебе за такое геройство. А вы ждали от англиканского священника другой рекомендации?

Мальтус категорически отрицал прерывание беременности. Это сейчас можно спорить о праве женщины на аборт. На уровне медицины начала XIX века, аборт был не столько аморален, сколь ужасен, и недаром. На гравюрах Георгианской Англии вы найдёте и пивные, и опиумные курильни, и публичные дома, и прокажённых, но я долго искал и не нашёл ни одной гравюры, достоверно изображающую бабку-повитуху за работой.

Войны, бордели, периодический голод и эпидемии, а также смуту и революции Мальтус не приветствовал. Он просто объективно писал, что это всё есть и предлагал толковые методы, как этого ужаса избегнуть.

36 В Европе презерватив изобретён Габриэле Фаллопио в 1564 как защита от сифилиса. Для предотвращения беременности стали применять то же самое примерно с 1655 года. Мальтус про «итальянский мешочек» наверняка знал, но нигде в своих книгах не упоминает.

Импорт чёрного перца, какао и ананасов Мальтус в принципе не отвергал, но считал, что дешёвое американское зерно больно ударит по английским фермерам, которым и так жилось несладко. Научный оппонент Мальтуса – Давид Рикардо – полагал, что импорт зерна – это хорошо. Чем больше фермеров разорятся и уйдут с земли на шерстяные мануфактуры, тем больше будет сукна, чтобы торговать с аграрной Америкой. В нашем 2018 году мы бы назвали Рикардо «глобалистом», а Мальтуса – «антиглобалистом» и сторонником «органической экономики» и «импортозамещения».

Ага. Клоуны, называющие мальтузианцев глобалистами, а глобалистов – мальтузианцами, на деле доказывают: клоун-пропагандист думать не обучен. Может только как попка повторять, что ему по телевизору сказали лукавые перцы.

Ещё Мальтус предлагал, не платить беднякам «детские шиллинги». Была такая практика в Англии во времена Георга III – стране нужно пушечное мясцо! Мальтус был священник и видел собственными глазами, как папаши забирают эти гроши, чтоб упиться в стельку, а голодным детям – разве что леденец на палочке.

Говорят, что Мальтус не оценил новых технологий земледелия. Уважаемая английская «Википедия» даже обвиняет Мальтуса в незнании генетики (sic!) Как раз сельскохозяйственный потенциал Англии Мальтус оценил верно (а заявлений про планету Земля он никогда не делал, смотрите выше). Детство Роберт провёл в деревне, как растёт пшеница и откуда вылазят жеребята, телята, поросята, – разобрался. Про технологии природопользования Мальтус знал побольше, чем средний горожанин XXI века. Предсказания Мальтуса для Британии сбылись на 100%. Несмотря на все достижения агрохимии и механизации с генетикой, в которых тёмный, необразованный Мальтус ничего не понимал, – ну не придумали генетику в его-то время, до рождения Менделя ещё четверть века, – современная Великобритания производит продовольствия на 38 млн человек. Остальные 26 млн питаются с импорта, в основном из США, Канады и Бразилии. Что будет, если импорт временно прекратится, как случилось по воле капитанов немецких субмарин в 1940? Эрзац-омлет из отрубей – ещё не самое плохое блюдо.

И вообще, никакой полит-пропагандой Т.Р.Мальтус никогда не занимался, а преподавал в «Академии Восточно-Индийской Компании» и двигал науку. Книга о «*Принципах народонаселения*» выдержала ещё при жизни шесть изданий. В 1820 написал «*Принципы политэкономии*»[37]. Один из основателей «*Экономического Клуба*» (1821). Почётный член Британской Академии Наук (1827). Основатель и почётный член «*Статистического Комитета*» Англии (1834). Умер в возрасте 68, на своей профессорской кафедре, от сердечного приступа. А кто-то вам лапшу вешает, что наш доктор философии и магистр математики удалился в поместье, всеми забытый и покинутый, и оттуда вёл злобную пропаганду. Ага.

37 Из которой потом К.Маркс выдёргивал таблицы, «позабыв» указать источник.

Что сегодня можно применить из рекомендаций Мальтуса, выданных почти 250 лет назад? С поправками на развитие медицины и прочих наук о природе – почти всё. Если вы полагаете, что вашей дочери не к лицу пяти лет отроду помирать с голоду, что в четырнадцать лет она должна ходить в школу, а не с пузом, а в семнадцать – поступать в университет, а не в бордель, вы – мальтузианец.

Честную математическую критику популяционной теории Мальтуса можно разделить на три области:

1. Рождаемость **B(t)** и смертность **A(t)** – вообще-то независимые и нелинейные функции. Сводить их к линейному уравнению **b(1-P(t)/X)** – значительное упрощение. Человек не вступает в половую зрелость немедленно после рождения. Скажем, резкое увеличение рождаемости в году **z** приведёт к увеличению количества новых рожениц только лет через 15-20. Высокая детская смертность в неурожайный год **y** в модели Мальтуса приводит к увеличению рождаемости в годы после недорода, но никак не описывает «демографическую яму» начиная с года **y+15**.

2. В модели Мальтуса рассчитывается только уровень потребления продуктов питания, а материальное потребление индивидуума вообще не учитывается никак. На деле, с развитием цивилизации у ~~кадавра Выбегаллы~~ человека появляется всё больше материальных потребностей. Нельзя сводить человеческую цивилизацию к простой еде, как у диких животных!

3. Неясно, откуда взялась константа **O**, и отчего производительность земли нельзя увеличивать до бесконечности, пусть даже линейно. Чисто интуитивно, Мальтус сформулировал закон убывающей доходности, но математически обосновать не смог. В 1826, когда в Лондоне печатали шестое издание «*Теории народонаселения*», в семье ирландского учителя Джеймса Томсона подрастал двухлетний мальчик по имени Уильям, он пока играл в кубики и погремушки – и о Термодинамике ещё не задумывался.

Все три возражения – совершенно правильные. Впрочем, и сам Мальтус, и позже Ферхюльст неоднократно писали: их математическая модель – упрощение, чтобы хоть что-то аналитически решить, а первый (механический) компьютер Бэббиджа строили уже после смерти Мальтуса, да так полностью и не достроили.

Подведём итоги главы.

- Нами воспроизведена численная модель системы уравнений Мальтуса-Ферхюльста для ненулевых потерь.

- Определены термины: **органический рост**, **мальтузианская ловушка**, **мальтузианская катастрофа**, **бутылочное горлышко популяции**.

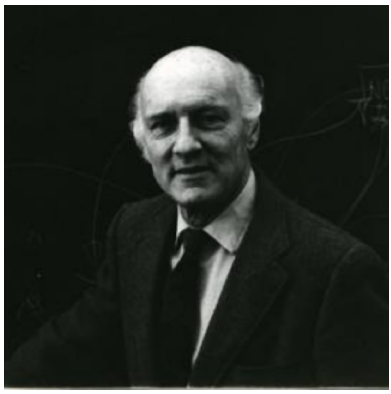
- На основании модели показано, что существует три вида решений для популяции: (А) плавная стабилизация из органического роста, соответствующая аналитическому решению Ферхюльста из 3-й главы, (Б) решение вида «мальтузианская ловушка» с плавной стабилизацией и (В) решение вида «мальтузианская ловушка» с осцилляцией. Какое решение произойдёт, зависит от уровня потерь **d**, максимального коэффициента воспроизводства **b** и ограничений, наложенных на минимум первой производной **P'(t)**.

- Показано, что каждый биологический вид проходит в своём развитии многие тысячи мальтузианских катастроф. Бутылочные горлышки популяции могут быть следствием как мальтузианских катастроф, так и внешних факторов.

- Приведена оценка максимальной величины **b**, как вычислено в «*Теории популяции*».

- Приведено два классических примера использования системы уравнений Мальтуса-Ферхюльста для описания динамики популяций: чашка Петри и остров Св.Мэтью.

- Приведено три недостатка классической модели Мальтуса. Как их обходят в современном динамическом моделировании, в том числе в модели *World3* из «*Пределов роста*», будет показано в следующих главах.



Глава 5.
А и Б сидели на трубе.

О сколько нам открытий чудных
Готовят просвещенья дух
И опыт, сын ошибок трудных,
И гений, парадоксов друг,
И случай, бог изобретатель.

(наше всё по заказу Гостелерадио)

Когда вещает с «ящика» Капица,
То мне до страсти хочется напиться,
Ведь сознавать ну так обидно:
Невероятное - на редкость очевидно.

(Вадим Золотарский, без заказа)

В ноябре 1960 два аспиранта Университета штата Иллинойс приготовили своему профессору ко дню рождения необычный подарок – научную статью[38], где утверждалось, что наша цивилизация кончится в один определённый день: 13 ноября 2026 года. Дата выбрана не случайно: 115 юбилей именинника, да к тому же «пятница, тринадцатое». Вкратце изложим математику в статье, используя обозначения, принятые в этой книге. В уравнении Мальтуса {3.3} положим:

$$A(t)=a=Const \qquad B(t)=b\,P^{1/k}(t)$$

Получаем так называемое уравнение фон-Фёрстера:

$$\frac{\partial P}{\partial t}=b\,P^{1+1/k}(t)-aP(t)$$

$$P(0)=P_0 \qquad \{5.1\}$$

Почему смертность константа? Естественно, все мы *внезапно смертны*™, а бессмертия, увы, пока не придумали. Почему рождаемость пропорциональна популяции в какой-то степени? Чем больше популяция, тем легче человеку найти себе подходящего партнёра для секса и для бизнеса, то есть всё больше детей и всё быстрее развитие технологии. Производство пищи и других материальных ценностей возрастает быстрее, чем популяция, то есть всем всегда всего вдосталь.

Уже позже немецкий астрофизик Себастиан фон-Хёрнер подвел обоснование из теории графов. Допустим, есть P абонентов телефонной сети. Количество возможных подключений возрастает: два абонента – единственная возможность соединения, три абонента – три соединения, пять абонентов – 10 соединений, и вообще:

38 Von Foerster, Mora, and Amiot, «**Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026**», Science, 132 #3436 стр. 1291-1295, 1960 г. См. также: Sebastien Von Hoerner «Population Explosion and Interstellar Expansion» Journal of the British Interplanetary Society (28): 691–712.

$$Количество\ возможностей = P\frac{(P-1)}{2} = \frac{P^2}{2} - \frac{P}{2}$$

В самом простейшем случае, примем в уравнении {5.1} k=1, и тогда получается P^2, как выше. Членом aP(t) можно пренебречь, так как при k около единицы он мал по сравнению с $P^{1+1/k}$:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = bP^{1+1/k}(t) \qquad P(0) = P_0 \qquad \{5.2\}$$

Вы ещё не разучились решать ОДУ методом разделения переменных, как описано в третьей главе?

$$P(t) = \frac{K}{(t_0 - t)^k} \qquad K = b^{-k} \qquad \{5.3\}$$

Константы K и t_0 находим подбором. Аспиранты вроде бы собрали данные по оценкам человеческой популяции из 24 источников, отрисовав их, по моде того времени, на билогарифмическом бланке. Обнаружилось наилучшее приближение:

$$P(t) = \frac{(1.79 \pm 0.14)\cdot 10^{11}}{(2026.87 - t)^{0.990 \pm 0.009}} \qquad \{5.4\}$$

Тут же рассчитали время Творения. Адам $P(t_{Творения})=1$ был создан в апреле 232'550'998'901 года до Рождества Христова и счастливо жил в Раю примерно 100 млрд лет, пока Господь не создал ему Еву. Далее пошло-поехало.

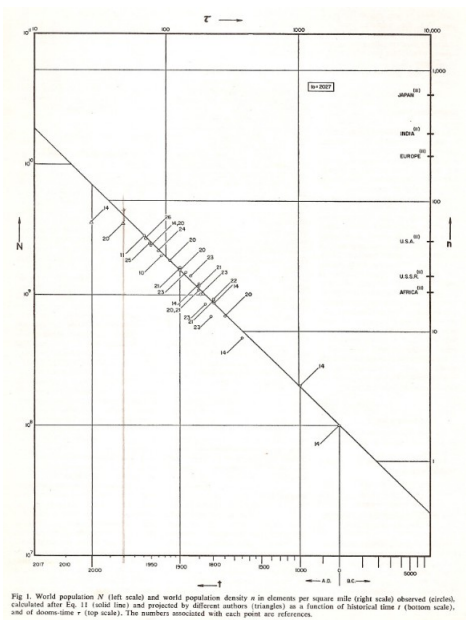
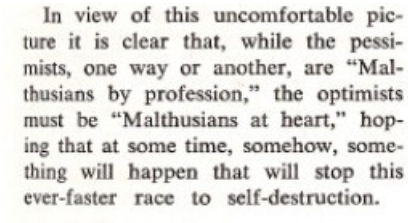


Fig 1. World population N (left scale) and world population density n in elements per square mile (right scale) observed (circles), calculated after Eq. 11 (solid line) and projected by different authors (triangles) as a function of historical time t (bottom scale), and of doomsday-time τ (top scale). The numbers associated with each point are references.

Проверили решение на устойчивость! Оказалось, что располагай Шарлемань[39] нашим уравнением, на своих статистических данных он бы вычислил приход Конца Света с точностью ±300 лет (если бы у него была статистика, ага). Елизавета I могла бы скомандовать своим статистикам, и установила бы дату с точностью ±110 лет, а Наполеон предсказал бы с точностью ±30. Со статистическими данными 1959 года точность предсказания куда лучше: ±10 лет.

39 Он же Карл Великий

Статья заканчивается пассажем (выделение моё):



In view of this uncomfortable picture it is clear that, while the pessimists, one way or another, are "Malthusians by profession," the optimists must be "Malthusians at heart," hoping that at some time, somehow, something will happen that will stop this ever-faster race to self-destruction.

Нельзя не согласиться с точкой зрения оптимистов, утверждающих, что Человек Разумный всегда найдёт новые технологии для дальнейшего роста[...] Мы с удовлетворением заключаем, что «принцип бесконечного развития технологии», будучи проверен на 100 поколениях наших предков, ещё три поколения продержится. Не стоит напрягать теорию, и рассчитывать пессимистические экстраполяции [развития человечества]. Пессимисты глубоко заблуждаются. Наши праправнуки не вымрут от недостатка пищи и ресурсов. Они задушат друг друга в крепких объятиях.

Глядя на такую перспективу, ясно: если считать пессимистов «мальтузианцами по профессии», оптимисты являются «мальтузианцами в сердце». Они несутся по всё-возрастающей кривой к самоуничтожению, но глубоко внутри уверены, что чудо спасёт.

Особенно смешно выглядит определение даты Судного Дня с точностью до сотой: 2026.87±5.50! Ничего не замечаете? Предыдущая «пятница 13 ноября» – в 2020 году, следующая – только в 2037. Вот зачем надо пять с половиной лет. А упоминание газетной утки 1956 года про «Отвратительного Угольного Человека»? А отрицание смерти «ввиду её незначительности»? А «статистическое усреднение по числам из статей нескольких авторов»?

Жанр этого текста: «физики шутят». Точнее не физики, а инженеры. Пранк изготовлен на факультете электроники и вычислительной техники УИ. Вся «математика» в статье – не более чем тонкий академический прикол, хорошо замаскированный под научность. Каждому в достаточной степени владеющему английским и теорией ОДУ ясно, что авторы «продёрнули» одновременно и хомячков М.К.Хабберта, вычислявших дату мирового Пика Нефти с точностью до дня и часа (один билогарифмический бланк чего стоит), и нео-кейнсианцев типа Р.Солоу, и вообще всех корпоративных «учёных», подгоняющих математику под желаемый ответ.

Через пятнадцать лет, когда иллинойсская реприза хорошо забылось, шутку воспроизвёл в Англии фон-Хёрнер[40]. Его прикол был рассчитан не на профессоров и аспирантов, а на более широкую аудиторию, оттого и математика попроще:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = bP^2(t) \qquad P(0) = P_0$$

$$P(t) = \frac{K}{t_0 - t} = \frac{2 \cdot 10^{11}}{2026.87 - t} \qquad \{5.5\}$$

Для достоверности пришлось пожертвовать Творением Адама в

40 Незадолго до смерти в 2012, С.П.Капица опубликовал ряд публицистических статей в Интернет, где по ошибке назвал решение фон-Хёрнера уравнением Мак-Кендрика. Пол Мак-Кендрик тоже демограф, и уравнение есть (матрица Лесли в дифференциальном виде), но к шуткам аспирантов УИ никакого отношения не имеет. В статье 1996 года 68-летний Капица называет фон-Хёрнера правильно. См. http://pikabu.ru/story/sergey_kapitsa_istoriya_desyati_milliardov_3995327

232'550'998'901 году до Р.Х. и Шарлеманем, зато в статье фигурировал Сумрачный Немецкий Гений. Добавьте к фамилиям фон-Фёрстер и фон-Хёрнер ещё и «фон-Браун»! В качестве «выхода» из «создавшейся ситуации» отец-основатель SETI предлагал (a) *куплять фанеру*™ («строить межзвёздные корабли и лететь отседа…», ага) и (b) *входить в сношения*™ с межзвёздными цивилизациями, кои нас спасут!

Конечно, к математическим шуткам надо относиться именно как к шуткам. Однако проверим. В качестве входных данных я взял, во-первых, оценки населения планеты разных авторов с 3000 года до Р.Х. по 1900 год, а во-вторых – статистику UNESCO с 1890 по 2015. Последнюю мы уже использовали в главе 3. Масштаб то вертикали логарифмический.

Красные границы допуска на графике – не математическая статистика, а просто разброс значений у разных авторов. Например, для года рождения Христа существует не менее 10 разных оценок популяции, с диапазоном значений между 170 и 330 млн, то есть разброс около 30% от «условно среднего» 250 млн, или в переводе на более русский – по воде вилами писано.

К сожалению, не все, кто ценит инконелевую английскую иронию, разбираются в ОДУ, и не все умеющие в ОДУ понимают юмор. Прежде чем рисовать, приведём полное решение уравнения фон-Фёрстера для **k=1**, если не «*пренебречь смертью, как подобает немецким учёным*»™:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = b\,P^2(t) - aP(t) \qquad P(0) = P_0$$

$$\ln\left[\left|1 - \frac{a}{bP}\right|\right] = a\,(t_0 - t)$$

$$P(t) = \frac{a}{b\left(e^{a(t_0-t)} - 1\right)} = \frac{a}{b}\,e^{-a\frac{t_0-t}{2}}\,Csch\left[a\,\frac{t_0-t}{2}\right] \qquad \{5.6\}$$

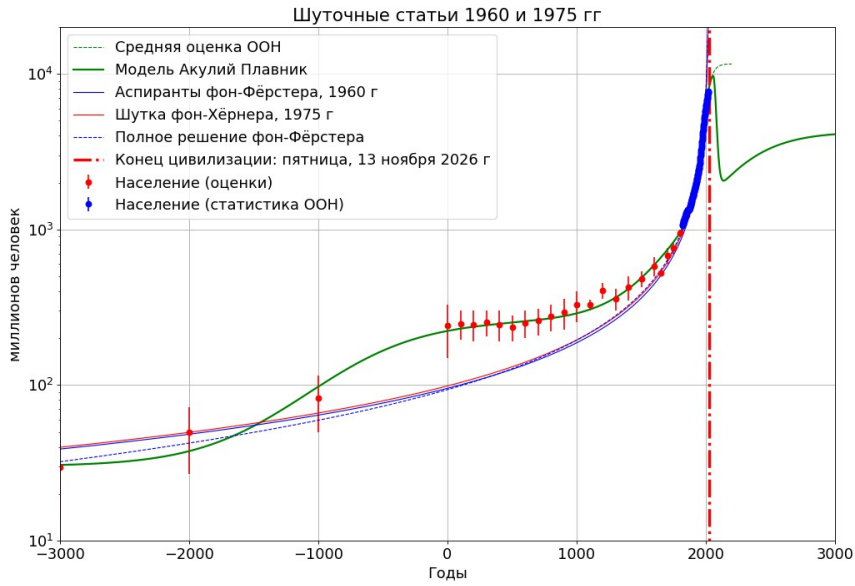
– то есть просто гиперболический косеканс, нормированный экспонентой.

Пример в программе **\Chapter 05\Test_Kapitsa_1.py**

Наблюдаем, что исторические данные с 3000 года до Н.Э. на модель шутников-аспирантов укладывается чуть лучше, чем никак. Две точки попадают на график лишь случайно: -2000 и +1650 годы. Естественно. Хитроумные студозиусы и не стремились ничего аппроксимировать. Вся затея состояла в том, чтобы «уложить» решение на специфическую дату: пятница, 13 ноября 2026 г, 115 юбилей уважаемого профессора.

Чисто для сравнения, на график наложена сумма решений, подобная острову Св.Мэтью, что мы разбирали в 4 главе. Я совсем не утверждаю, что у

человечества наступит обвал популяции ровно в 12:43:17 московского времени 1 мая 2056 года. Просто, если уж хочется аппроксимировать данные античных времён, можно сделать это куда более элегантно!



В 1996 году, внезапно, доктор физ-мат наук, вице-президент РАЕН, профессор и телеведущий Сергей Петрович Капица взялся выводить из полузабытого уравнения-шутки фон-Фёрстера «Феноменологическую теорию роста населения Земли»[41].

Уравнение {5.5} записалось в виде:

$$\frac{\partial P}{\partial t}=\frac{P^2(t)}{K}+\frac{1}{\tau} \qquad P(\infty)=P_{max}$$

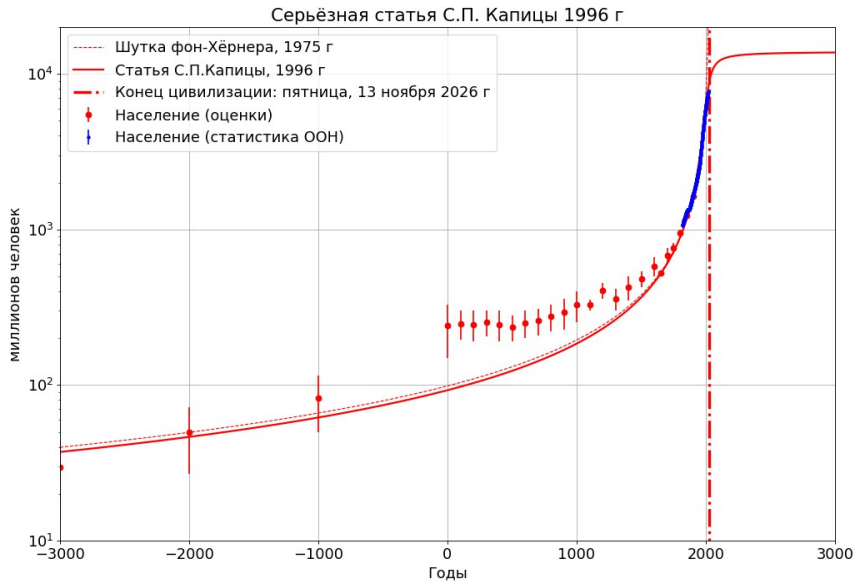
$$P(t)=\frac{K}{\tau}\cot^{-1}\left(\frac{t_0-t}{\tau}\right) \qquad \{5.7\}$$

Замена гиперболического косеканса на арккотангенс, в-общем, штука известная, ещё дед Сергея Петровича, генерал флота и академик А.Н.Крылов, такими заменами подарил нам Теорию Остойчивости. Пример в программе **\Chapter 05\Test_Kapitsa_2.py**

```
#
# Описывает популяцию по методу С.П.Капицы
# "Успехи физических наук" 139(1) 57-71, РАН, 1996
#
class Population_Kapitsa:
    def __init__( self, T0=2007, K=186e3, tau=42):
```

41 "Успехи физических наук" 139(1) 57-71, РАН, 1996

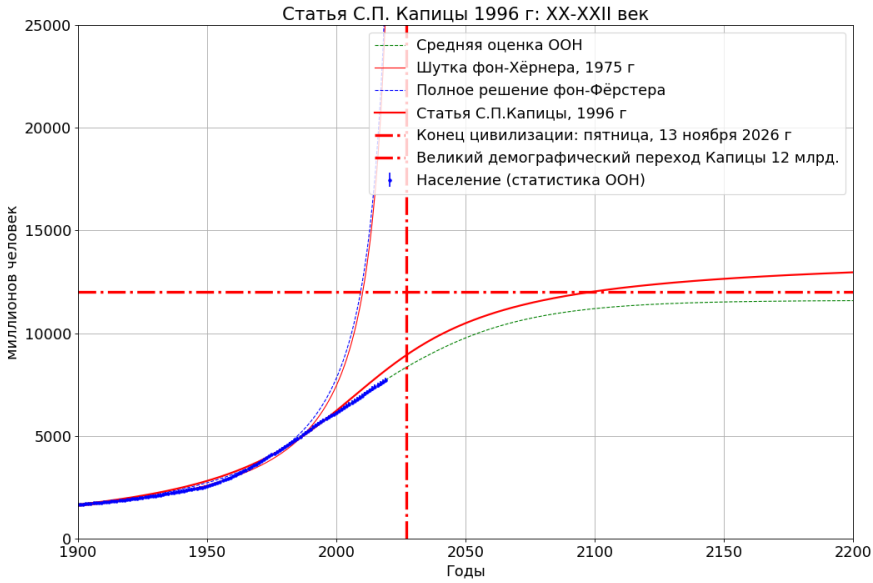
```
        self.T0 = T0
        self.K = K
        self.tau = tau
        return
    def Solve( self, t):
        self.Solution_Time = t
        self.Solution_P = self.K / self.tau
        self.Solution_P *= np.pi/2 - np.arctan((self.T0 - t)/self.tau)
        return
```



Чтобы не загромождать график, я оставил только шутку фон-Хёрнера, оценки народонаселения и данные ООН. Легко видеть, что для времён давних, то есть до 1890 года, умствования шутников из УИ и «гениальное решение» С.П.Капицы работают одинаково: никак. При этом, никакими ухищрениями «провал тёмных веков» с 300 по 800 годы не описать. Производная в уравнении {5.7} строго положительна, а значит функция **P(t)** может только расти.

Однако кого волнуют времена до XX века? Там и проверить-то нечем, оценки населения разнятся на десятки процентов. Посмотрим в будущее. Конечно, никакого выхода в бесконечность и взаимного удушения в объятиях, как в статьях-шутках, у Капицы нет, чего и хотелось. Уберём с графика ненужный более логарифмический масштаб и поглядим на наше время. **\Chapter 05\Test_Kapitsa_3.py**

Прикольные решения {5.4}, {5.5}, {5.6} описывают реальную популяцию Земли примерно с 1900 по 1950 годы. Далее они проваливаются ниже, а с 1970 – наоборот: взлетают в бесконечность. Ничего удивительного. По формуле {5.5} легко прикинуть, что для такой производной к 1990 году каждая женщина на Земле должна произвести 10 успешных родов, а с 2012 – рожать как рекордная свиноматка, по десятку детишек ежегодно!



В 1996 году С.П.Капица подбирал данные по статистическим данным до 1995 года, и константы легли так:

$$K = 186\,млрд \qquad t_0 = 2007 \qquad \tau = 42$$

Как видим, несмотря на недостаток данных, С.П.Капица успешно предсказал GFC, начавшийся в декабре 2007. Что же до величины **τ**, так это вообще мировая константа![42] Для 2015 года предсказание С.П.Капицы – 7'790 млн человек, а ООН отчиталась только о 7'383. Разницу в 407 млн (6%) от нас наверняка скрывают, но поглядев в «карты Гугл», я легко обнаружил пропажу.



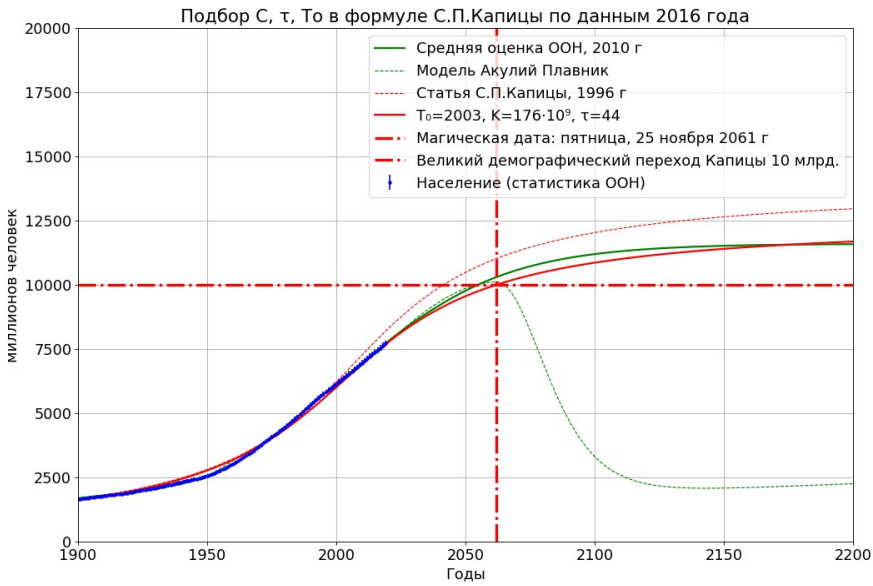
42 Полное описание: Adams D, **THGTTG, Phases 1 & 2**, BBC, MCMLXXVIII-XXX.

Теперь вы поняли, откуда в Америке 2010 года взялась дополнительная нефть?

«Великий демографический переход» случится ровно в 2100 году, когда население Земли достигнет ровно 12 млрд человек.

Конечно, шутка! В нашей суровой реальности «*внутре у неё неонка*»™. Никакого сакрального смысла константы в формуле Капицы не имеют, а просто двигают график арккотангенса. Константа **τ** изменяет наклон, точно так же, как σ меняет наклон сигмоиды в формуле {3.6}. Время t_o двигает график по горизонтали. ***K*** – подбирает желаемый масштаб по вертикали.

Подберём значения констант для реальных данных 2016 года **\Chapter 05\Test_Kapitsa_4.py**



Оказывается, до «великого демографического перехода» Капицы у нас ещё есть несколько лет. Переход 12 млрд настанет ровно в 6:32 утра по московскому времени, в пятницу, первого сентября 2311 года. Так-то. Впрочем, в своих более поздних статьях С.П.Капица стал настаивать, что 12 млрд в статье 1996 года – опечатка. Следовало читать: 10 млрд. Ну ладно, тогда переход будет после обеда, в пятницу 25 ноября 2061. Если не поняли шутки, перечитайте главу с начала.

Существует ещё много специальных функций, ограниченных сверху и снизу, а посередине довольно похожих на сигмоиду Ферхюльста. Например, табличная функция **Erf**. Попробуйте на досуге – у вас выйдет ничуть не хуже, чем у уважаемого Сергея Петровича. Потом можете сбоку прикрутить гвоздями и приклепать болтами философию: ведь первая производная **(Erf)'** есть функция нормального распределения, она же гауссиана! Ну и что?

А как же насчёт количества возможных взаимодействий? Да, количество взаимодействий растёт как P^2. Если население на какой-то площади удваивается, вчетверо легче двигать науку или искать подругу жизни. Однако так же вчетверо легче найти себе заклятого врага, попасть в аварию или подцепить какую-нибудь заразу. В среднем, эффект сначала положительный, а потом нулевой, а то и отрицательный. Впрочем, о законе убывающей доходности мы поговорим отдельно.

В этом месте самое время повторить последний вывод третьей главы: *Сама по себе, статистика о численности населения Земли не может быть использована для предсказания поведения кривой народонаселения. Всякая честно построенная модель должна включать независимые методы вычисления граничных условий справа.* Чем мы теперь и займёмся.

Модели, где энергия тратится не одновременно с её получением, а кривые роста и спада не симметричны, математики рассматривали давно. Для разминки – классическая задача про зайцев и лис, предложенная в середине 1920-х годов американским математиком и физ-химиком А.Дж.Лоткой (1880-1949) и независимо от него – итальянским физиком В.Вольтеррой (1880-1940). Десятилетием позже этой же системой уравнений занимался в Советском Союзе А.Н.Колмогоров (1903-87). Пусть P_h – количество зайцев в лесу, а P_f – количество лис. Естественно описать коэффициент рождаемости лис пропорционально наличию в лесу зайцев, а коэффициент смертности зайцев – пропорционально наличию лис.

$$\frac{\partial P_h}{\partial t}=\left[b_h-\alpha_h P_f(t)\right]P_h(t) \qquad P_h(0)=P_{h0}$$

$$\frac{\partial P_f}{\partial t}=\left[\beta_f P_h(t)-a_f\right]P_f(t) \qquad P_f(0)=P_{f0}$$

Здесь:

$\boldsymbol{\alpha_h}$ – нормированный коэффициент смертности зайцев, то есть вероятность неудачной (для зайца) встречи с лисой;

$\boldsymbol{\beta_f}$ – нормированный коэффициент рождаемости лис, то есть вероятность удачной (для лисы) встречи с зайцем.

Заметим, что оба уравнения есть не что иное, как слегка модифицированное уравнение Мальтуса-Ферхюльста {3.1}.

У системы есть тривиальное решение при $P_h=P_f=0$; если в лесу нет ни зайцев, ни лис. Есть одно нестабильное решение при $P_f=0$, $P_h>0$. Если в лесу совсем нет лис, популяция зайцев уходит в бесконечность по экспоненте. Есть и стабильное решение $P_{h1}>0$, $P_{f1}>0$, когда популяция животных не изменяется. Если численность не меняется, производные равны нулю. Отсюда:

$$b_h P_{h1} - \alpha_x P_{f1} P_{h1} = 0 \qquad \alpha_h = \frac{b_h}{P_{f1}}$$

$$\beta_f P_{h1} P_{f1} - a_f P_{f1} = 0 \qquad \beta_f = \frac{a_f}{P_{h1}}$$

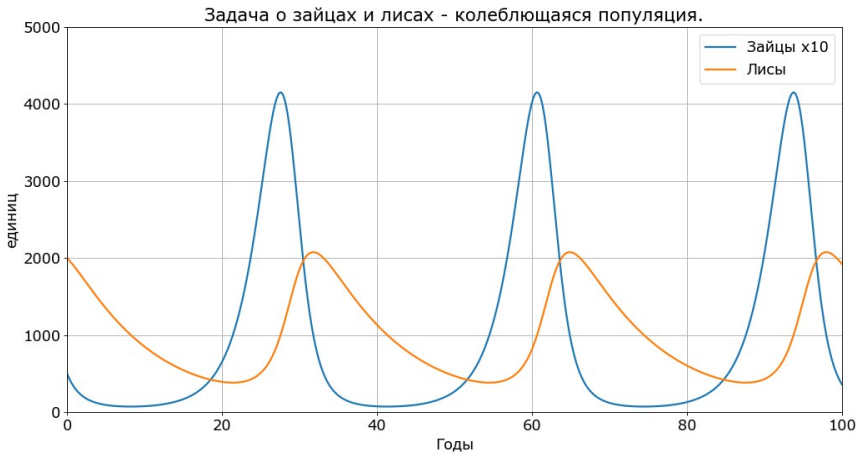
Тогда уравнения запишутся так:

$$\frac{\partial P_h}{\partial t} = \left[1 - \frac{P_f(t)}{P_{f1}}\right] b_h P_h(t) \qquad P_h(0) = P_{h0}$$

$$\frac{\partial P_f}{\partial t} = \left[\frac{P_h(t)}{P_{h1}} - 1\right] a_f P_f(t) \qquad P_f(0) = P_{f0} \qquad \{5.8\}$$

При малых отклонениях численности от (P_{h1},P_{f1}) популяция будет бесконечно колебаться по синусоиде, и для таких отклонений существует аналитическое решение, аналогичное уравнению Галилея для «длинного» маятника. Нам это решение не очень интересно, поэтому приводить его здесь не будем. Желающие могут заглянуть в любую книгу по уравнениям математической физики.

По следам Колмогорова, рассмотрим большие отклонения, когда колебания уже не синусоида; код нам ещё понадобится. Считать будем программой **Chapter 05\Test_05_Rabbits_and_Foxes.py**



Пусть средняя продолжительность жизни лисы – 10 лет (все числа условные), тогда $a_f = 0.1$; пусть популяция зайцев при отсутствии хищников, удваивается примерно каждые два года, то есть $b_h = 0.5$. Чтобы числа были реальны, примем, что в лесу могли бы равновесно сосуществовать 1000 лис и 10000

зайцев, а в начальный момент времени имеется 5000 зайцев и 2000 лис[43].

В такой постановке система будет колебаться вечно – вся энергия возобновляемая, травы в лесу столько, сколько зайцы съесть не могут. На кривой численности зайцев – относительно медленный подъём и относительно быстрый спад. На кривой лис – наоборот: относительно быстрый рост и медленный спад. Количество зайцев в лесу то сваливается почти в ноль, то взлетает до сорока с хвостиком тысяч. График численности лис отстаёт от заячьего примерно на треть периода.

От чашек Петри, островов с оленями и бескрайних лесов с зайцами и лисами перейдём к первобытным племенам.



Пусть у нас есть небольшой остров (вроде Пасхи, он же Рапа-Нуи, он же Чунга-Чанга)[44]. В нулевом году на остров высаживаются смелые переселенцы в количестве 500 человек. Богатая и разнообразная природа острова может

43 Как и в случае с популяцией карпов из третьей и четвёртой главы, положим, что численности «статистические», то есть очень большие; разрешено иметь «дробных» лис и зайцев. Если вас не устраивает «дробный заяц», считайте, что лес велик, а популяции измеряются не в тысячах, а в миллиардах особей.

44 Через месяц после публикации этой главы в блоге добрые люди подсказали посмотреть статью экономистов Джеймса Брандлера и Скотта Тэйлора из университета Калгари. Речь там шла о расцвете и коллапсе полинезийской цивилизации на острове Пасхи! Оказывается, кроме Рапа-Нуи археологи обнаружили ещё 12 (сейчас необитаемых) островов с аналогичной культурой – и полностью уничтоженными лесами. До сих пор неизвестно, привело ли разрушение экосистем к вымиранию населения, или какая-то часть сумела мигрировать на соседние острова. В работе Брандлера и Тэйлора используется система из двух дифференциальных уравнений, аналогичная, но проще, чем {5.9} ниже. Для читающих по-английски: James A Brandler and M. Scott Taylor, *The Simple Economics of Easter Island: A Ricardo-Malthus Model of Renewable Resource Use*, The American Economic Review, vol 88 issue 1, Mar 1998, 119-138.

прокормить в десять раз больше – 5'000. Максимальную скорость удвоения популяции примем как в Америке XVIII века – 25 лет, то есть b_p=0.0277. Кроме трёх переменных P, Q, O, нам понадобится ещё одна: F – плодородная территория. Запишем систему уравнений:[2]

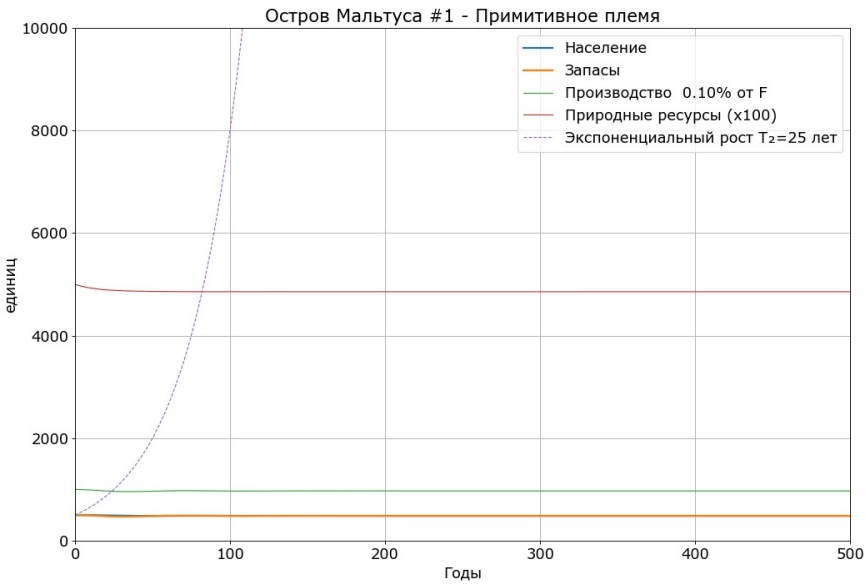
$$\frac{\partial F}{\partial t}=b_f\left[1-\frac{F(t)}{F_0}\right]F(t)-O(t) \qquad F(0)=F_0$$

$$\frac{\partial O}{\partial t}=b_o\left[1-\frac{O(t)}{jF(t)}\right]O(t) \qquad O(0)=O_0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}=O(t)-P(t)-dQ(t) \qquad Q(0)=Q_0$$

$$\frac{\partial P}{\partial t}=b_p\left[1-\frac{P(t)}{Q(t)}\right]P(t) \qquad P(0)=P_0 \qquad \{5.9\}$$

Здесь:
F_o – максимальная продуктивность природы острова (сельхозугодий);
j – эффективность ведения сельского хозяйства;
b_f – быстрота восстановления продуктивности;
b_o – быстрота восстановления урожайности.



Так как остров экваториальный и влажный, примем максимальную скорость удвоения плодородия за 10 лет. Так как племя примитивное, максимальная скорость удвоения урожайности – 5 лет, а годовое потребление составляет не

более 0.1% от природы острова. Пусть потери для начала – 100%, то есть никаких запасов переселенцы не делают вообще: увидел банан – съел, пошёл дальше.

Пример в программе **\Chapter 04\Test_Island_1.py**

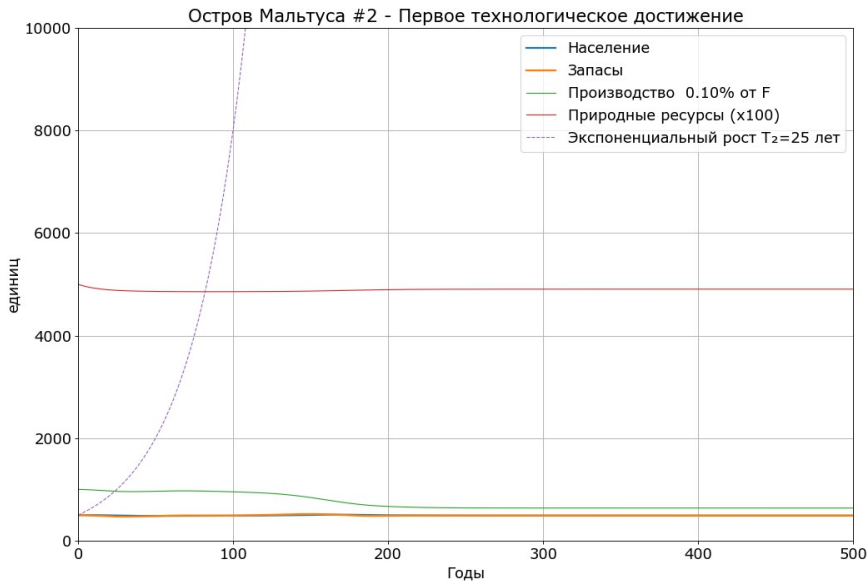
```
#
# Описывает популяцию в открытой системе
# Согласно системе уравнений Мальтуса
# P0 - начальная популяция
# Q0 - начальные запасы
# O0 - начальное производство
# F0 - начальные природные ресурсы
# T2_P - время удвоения популяции
# T2_O - время удвоения призводства
# T2_F - время восстановления ресурсов
# d_Q - процент потери запасов
# j_O - технологический коэффициент урожайности
# Популяция стремится к кажущемуся оптимуму Q
#
class Island_Population_1:
    def __init__( self, P0, Q0, O0, F0, T2_P, T2_O, T2_F, d_Q, j_O):
        self.P_Initial = P0
        self.P = P0
        self.Q_Initial = Q0
        self.Q = Q0
        self.O_Initial = O0
        self.O = O0
        self.F_Initial = F0
        self.F = F0
        self.B_P = np.log(2)/T2_P
        self.B_O = np.log(2)/T2_O
        self.B_F = np.log(2)/T2_F
        self.D = d_Q
        self.J = j_O
        return
    def dP_dt( self, t):
        tmp = max ( self.Q, 0.01)
        tmp = self.B_P * (1 - self.P / tmp)
        tmp *= self.P
        return tmp
    def dQ_dt( self, t):
        tmp = -self.D * self.Q # естественная убыль запасов
        tmp -= self.P          # убыль запасов на потребление
        tmp += self.O          # текущий урожай
        return tmp
    def dO_dt( self, t):
        tmp = max ( self.F * self.J, 0.01)
        tmp = self.B_O * (1 - self.P / tmp)
        tmp *= self.O
        return tmp
    def dF_dt( self, t):
        tmp = self.B_F * (1-self.F/self.F_Initial) * self.F
        tmp -= self.O       # убыль ресурса на пополнение запасов
        return tmp
    def _func( self, y, t):
        self.P = max( [y[0], 0])
        self.Q = max( [y[1], 0])
        self.O = max( [y[2], 0])
        self.F = max( [y[3], 0])
        f0 = self.dP_dt( t)
        f1 = self.dQ_dt( t)
        f2 = self.dO_dt( t)
        f3 = self.dF_dt( t)
        return [f0, f1, f2, f3]
    def Solve( self, t0):
        y0 = [self.P, self.Q, self.O, self.F]
        soln = odeint(self._func, y0, t0, h0=0.01, hmax = 0.025)
        self.Solution_Time = t0
        self.Solution_P = soln[:, 0].clip(0)
        self.Solution_Q = soln[:, 1].clip(0)
        self.Solution_O = soln[:, 2].clip(0)
```

```
        self.Solution_F = soln[:, 3].clip(0)
        self.P = self.P_Initial
        self.Q = self.Q_Initial
        self.O = self.O_Initial
        self.F = self.F_Initial
        return
```

Как и следовало ожидать, никакого удвоения населения за 25 лет (пунктирная линия) на графике не наблюдается. Это оттого, что переселенцы – племя примитивное: каждая женщина рожает пятнадцать раз, но тринадцати отпрыскам не хватает бананов. С нулевого года и до конца шкалы вроде бы никаких мальтузианских катастроф. Это представление неверно. На самом деле, маленькая катастрофа происходит регулярно, каждый год убивая самых слабых – младенцев и стариков.

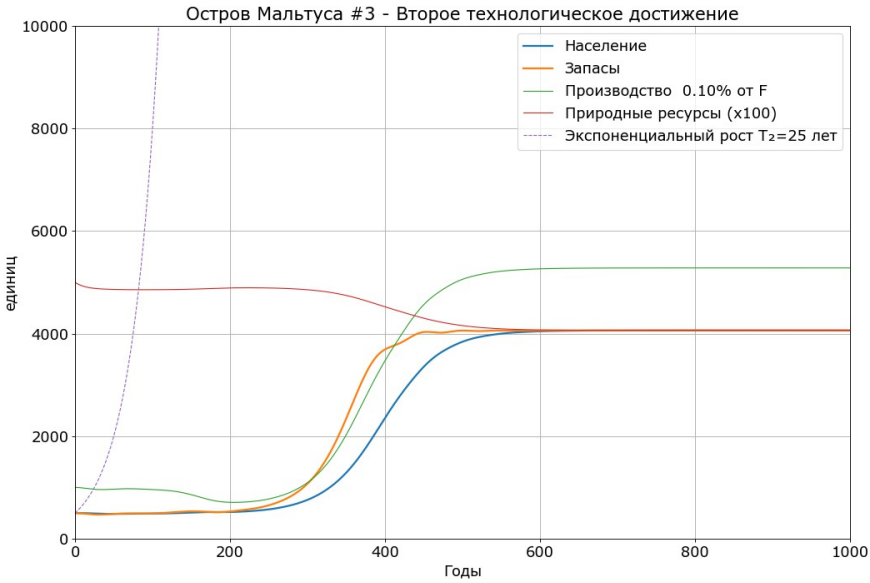
Что произойдёт, если в 100 году переселенцы начнут осваивать новые технологии земледелия? Скажем, открыли как хранить урожай, и снизили потери за 100 лет со ста процентов до тридцати? Игравшие в «*Civilization*» Сида Мейера наверняка вспомнят «технологию гончарного дела». В игре это открытие позволяет увеличивать население «городов».

Пример **\Chapter 04\Test_Island_2.py** идентичен предыдущему, но **d** меняется с 1.0 до 0.3 с 100 по 200 годы. Как ни странно, на равновесном населении острова такая «технологическая революция» отражается мало: всего пять человек прибавилось. Зато, определённо надо меньше собирать бананов: не 970 условных единиц, а всего 734. Оказывается, бережливый человек экономит не столько природные ресурсы, сколько свой труд. Технология сбора и хранения урожая освобождает рабочие руки и мозги, а уж они прикладываются к изобретению новых технологий.



```
        self.D = Sigmoid( 150, 0.05, 1, d_Q)
    def dQ_dt( self, t):
        tmp = -self.D.Compute(t) * self.Q # естественная убыль запасов
        tmp -= self.P           # убыль запасов на потребление
        tmp += self.O           # текущий урожай
        return tmp
```

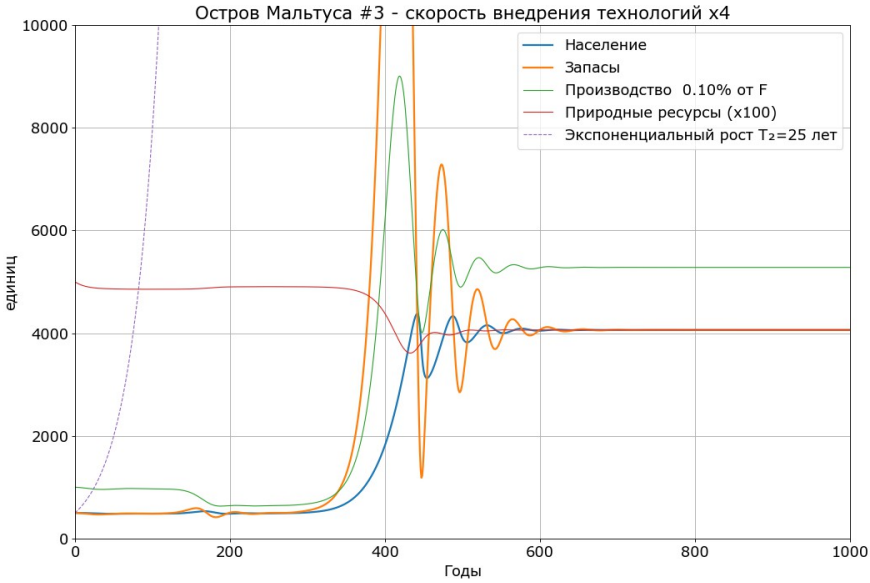
Итак, освобождённый гений-островитянин придумал вторую технологическую революцию: увеличим производство продовольствия, то есть урожайность, в десять раз, с **j=0.001** до **j=0.01**. Увеличение будет происходить постепенно, с 300 по 500 годы. **\Chapter 04\Test_Island_3.py**

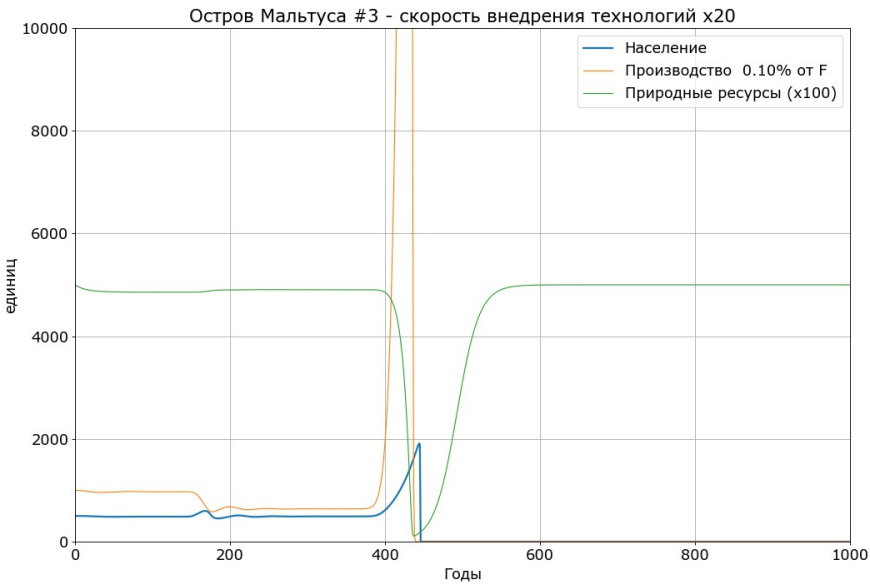


Население острова плавно выходит на «полочку», чуть выше 4'000 человек. Тут читатель может заметить, что мы плавно изменяли урожайность по сигмоиде, оттого и население росло по сигмоиде. Всё правильно. Поглядим, что будет с населением острова, если технологические революции произойдут в четыре раза быстрее: не за двести лет, а за 50. **\Chapter 04\Test_Island_4.py**

Наконец, что будет, если новую технологию земледелия привезли на остров умные католики-миссионеры, и изменение не за 50 лет, а за 10? **\Chapter 04\Test_Island_5.py** Ничего хорошего. Производство улетает в небеса, «бесполезное» красное дерево 50 лет меняют на «крутые» бусы или телевизоры, и для аборигенов всё кончается так же грустно, как у бактерий в чашке Петри.

Вообще, далеко не всё, что привозят цивилизованные белые люди, следует пускать в дело. На реальных атолловых островах в Тихом океане у аборигенов было принято, пардоньте, испражняться в океан. Не в атолл, что посередине, а в океан, который снаружи, ага!

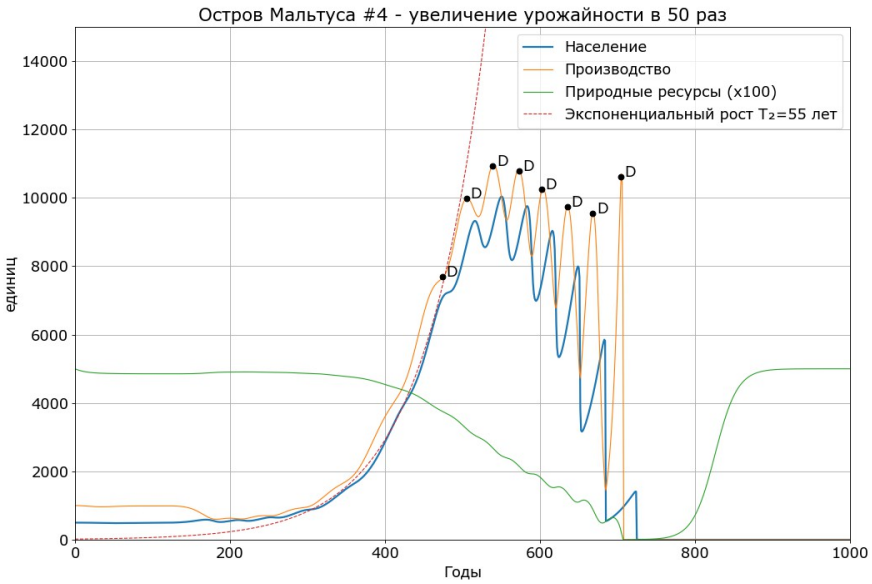




Приехали миссионеры и увидели, что это некультурно, не правда ли? Научили аборигенов строить туалеты класса сортир-с-дыркой™. Долбить известняк ломом – занятие не из лёгких, но чего не сделаешь ради цивилизации, тем более и новый пастор сам взял лом и личным примером показывает, как надо. Результат: на острове внезапно питьевая вода во всех колодцах пахнет дерьмом! Если не кипятить, получится холера, а кипятить нечем, так как

деревьев на островке: раз, два, десять. Уже потом приехали умные геологи и объяснили: трещиноватый известняк в зоне выветривания накапливает дождевую воду в трещинах и кавернах с характерными размерами от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Накапливает и отдаёт отлично, фильтрует – плохо. Привыкшие к суглинкам и песчаникам миссионеры как-то не подумали, что долбят яму туалета практически прямиком в колодец. Теперь на эти острова питьевую воду привозят специальным танкером. Что это делает с и так небогатым бюджетом каждого острова, и что будет, если в один прекрасный день танкер просто не придёт, догадайтесь сами.

А мы пока предположим, что изменения происходят медленно, но урожайность увеличивается не в 10 раз, а в 50. А.В.Чаянов в 1920 написал утопию[45], где в грядущем коммунизме семейный надел 3-4 десятины, а с каждой десятины собирают 500 пудов. В наших единицах: 380 соток и 82 центнера с гектара. Притом тракторов в утопии Чаянова не было, почти всё на лошадках. **\Chapter 04\Test_Island_6.py**



Из абсолютно спокойных входных данных получилась колебательная затухающая система. С 200 по 500 годы популяция увеличивается в 20 раз, далее происходит срыв. Амплитуда колебаний нарастает, вплоть до вымирания популяции, однако пики производства D видны на кривой и ранее.

Что это за пики? Ясно, кризисы перепроизводства! Производство продовольствия нарастает быстрее, чем население, накапливается слишком много лишней еды, цена падает... Короче, вы поняли картину.

45 http://royallib.com/book/chayanov_aleksandr/puteshestvie_moego_brata_alekseya_v_stranu_krestyanskoy_utopii.html

Великий критик мальтузианства К.Маркс писал [16]:

Every history of religion, even, that fails to take account of this material basis, is uncritical. It is, in reality, much easier to discover by analysis the earthly core of the misty creations of religion, than, conversely, it is, to develop from the actual relations of life the corresponding celestialised forms of those relations. The latter method is the only materialistic, and therefore the only scientific one. The weak points in the abstract materialism of natural science, a materialism that excludes history and its process, are at once evident from the abstract and ideological conceptions of its spokesmen, whenever they venture beyond the bounds of their own speciality.

Даже изучая историю религии, тот, кто не берёт в расчёт материалистической основы, не может религию критиковать. Гораздо легче обнаружить с помощью анализа земные последствия туманных творений религии, чем, наоборот, выводить из реальных жизненных отношений высшие формы небесных законов. Последний метод является единственно-материалистическим, и оттого единственно-научным. Слабость абстрактного материализма естественных наук, материализма, который исключает историю и процесс, немедленно можно наблюдать в абстрактных идеологических концепциях естествоиспытателей, всякий раз, когда они рискуют выходить за пределы своей специальности. [ссылка 4 в главе 15 первого тома «Капитала» «Машины и современная промышленность» страница 261.][46]

На самом деле это Маркс писал про Чарльза Дарвина, которого почитал настолько, что даже хотел посвятить автору «*Происхождения видов*» первый том «*Капитала*». Дарвин от такой чести благоразумно отказался – врагов эволюционной теории и без марксизма хватало.

Ясно, что на момент выхода немецкого издания «*Капитала*» 1867 года Маркс не удосужился ознакомиться с основными положениями теории своего естественнонаучного кумира, напечатавшего книгу 9 годами ранее. Ибо критиковать Мальтуса и возносить Дарвина – всё равно что славить Эйнштейна и Планка, одновременно проклиная Ньютона.

Чарльз Дарвин не просто упоминал Мальтуса в «*Происхождении видов*» [17]. Вся эволюционная теория построена на мальтузианских катастрофах. Раздел 3 главы 3 (стр 79 в моём экземпляре книги) так прямо и называется: «*Увеличение численности в геометрической прогрессии*», а первые три абзаца там – краткое изложение теории Мальтуса, причём со ссылкой на имя автора. Про «бутылочные горлышки» было упомянуто выше.

Об «альтернативных» теориях бесконечного экономического роста будет отдельная глава, а пока просто скажем, что популяционная теория Мальтуса подтверждает основные положения «*Капитала*», как бы ни ругался автор последнего. А то, что Маркс прочитал Мальтуса, да не понял математики, бородатому мыслителю простительно. Восьмым вранглером не был, в дифференциальные уравнения не умел, в университете, по причине неправильной национальности, – доучиться не дали[47].

Мы же воспользуемся уравнениями и компьютерами, чтобы сделать нашу

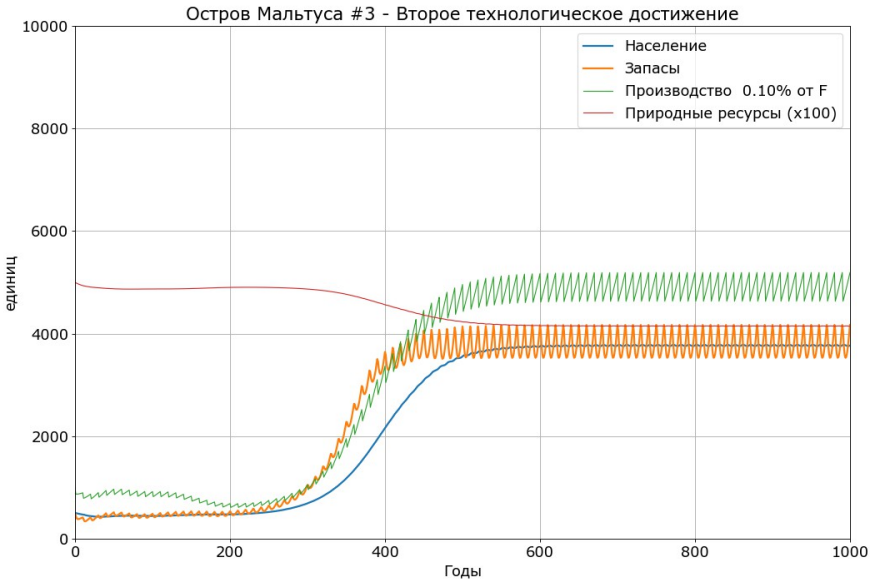
46 В русской версии «*Капитала*» такой ссылки вроде бы нет. Советское издательство «*Прогресс*» выпускало две версии Маркса: одну для проверенных совков, другую – для внешнего употребления.

47 Маркс великолепно осознавал свои пробелы в образовании и пытался их заполнить. Под самый конец жизни Маркс даже выдал классово-верный пересказ дифференциального исчисления! Надо сказать, сам классик писал в стол и печатать «математические эссе» не хотел, понимая свою некомпетентность в этом вопросе. После смерти Маркса Энгельс достал статьи из стола и долго проталкивал в печать, но напечатали лишь в 1932 году небольшими тиражами в СССР. Естественно, в русском переводе. По-немецки оригинал был опубликован 30 лет спустя, вызвав лёгкую улыбку у всех, кто профессионально занимается матаном. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0315086077900581

модель ещё более реалистичной. Известно, что погода на острове непостоянна, и, допустим, раз в десять лет случается неурожай. Один серьёзный неурожай – для карпов – мы моделировали выше, но тот действительно был катастрофическим – пять или десять лет вообще ни зёрнышка. В следующей модели неурожаи будут относительно небольшие (Чунга-Чанга же!) – каждый десятый год, при этом производство продовольствия 50% от нормального.

Сначала модифицируем плавное решение **\Chapter 04\Test_Island_3.py**, превратив его в **\Chapter 04\Test_Island_7.py**

```
def is_Drought( self, t):
    tt = int(t)
    if (tt%10) == 0: return True
    return False
```

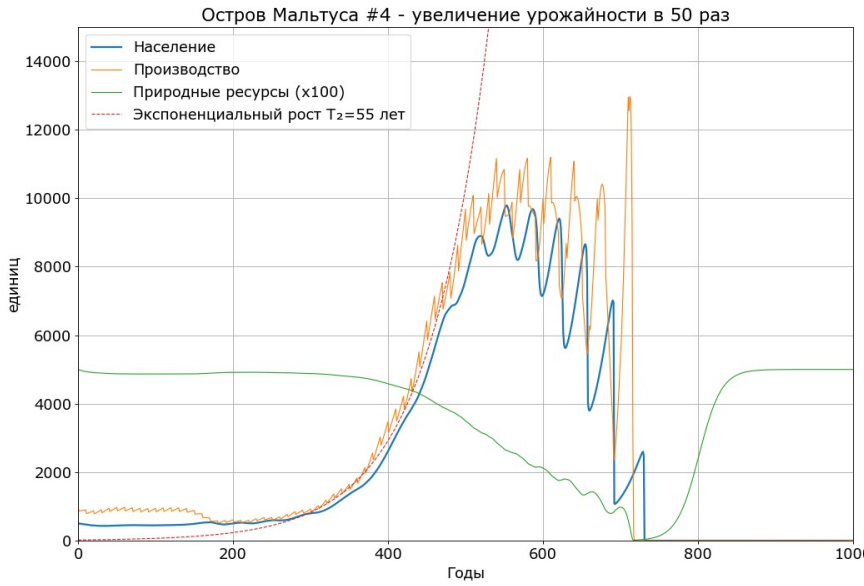


Как видим, решение остаётся достаточно устойчивым даже при внешних возмущениях. Теперь повторим то же самое для острова с 50-кратным увеличением урожайности. **\Chapter 04\Test_Island_8.py**

Нечто подобное происходит и на настоящем Рапа-Нуи. В 1722 году белые открыватели обнаружили на острове около 2'500 аборигенов, уже забывших, как строить огромные океанские плоты и перешедших от высокой культуры к каннибализму и кровавым кланово-племенным разборкам. Всего столетием раньше на острове жило более пятнадцати тысяч. Современное население острова – 6'150 человек.[48] Собственно, от полного вымирания аборигенов спас туризм. Прокрутите текст назад к картинке (и обратите внимание на бетонный

48 Площадь острова Пасхи – 163.6 км^2. Остров тропический (27.7º Ю.Ш.), климат ровный, тёплый и влажный: 18-24ºЦ, 1150 мм осадков в год. На пике цивилизации плотность населения превышала 90 человек на км^2, то есть 110 соток на человека. Запомним это значение.

пирс на заднем плане справа!) Именно так и выглядят современные жители чилийского острова Пасхи, когда выступают перед американскими туристами. Теперь поглядите на график и прикиньте, куда двинет синяя кривая, когда поток туристов вдруг иссякнет.



Итоги главы.

- Мы разобрали некоторые «альтернативные» способы задания функций **A(t)** и **B(t)**. Продемонстрировано на примере, в какие дебри заводит «феноменологический подход» без учёта материального баланса.

- Продемонстрирована классическая модель Лотки-Вольтерры с накоплением энергии в постановке Колмогорова. В этой модели использованы две функции (условные «зайцы» и условные «лисы»), и происходит перекачка энергии: сначала из окружающей среды в «зайцев», а затем из «зайцев» в «лис». Колебательное решение асимметрично для обеих функций.

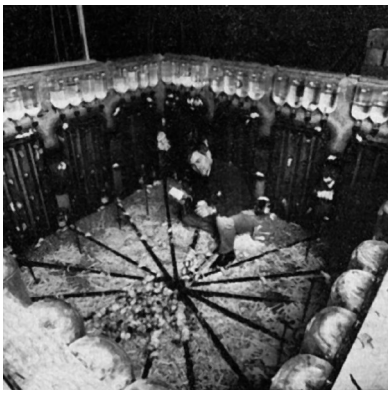
- Создана и испытана простая числовая модель, где при выходе за пределы природопользования происходит срыв в катастрофическую осцилляцию. Добавлено четвёртое решение системы Мальтуса. На той же модели исследована зависимость от технологий землепользования и скорости их ввода.

- Продемонстрирована устойчивость решений к циклическим возмущениям входных параметров, например, засухам.

- Показано, что для моделирования «кризиса затоваривания» АКА

«кризиса перепроизводства» необязательно вводить понятия стоимости. Достаточно моделировать население и материальный баланс производства/потребления.

- Независимо от Д.Адамса и других авторов, подтверждена мировая константа 42. А если серьёзно, я на 100% не уверен, однако сильно подозреваю, под конец жизни доктор-профессор Сергей Петрович Капица просто изящно обстебал доверчивых хомячков. Протащить «*Автостопом по Галактике*» на страницы «*Успехов физических наук*» – это уметь надо.



Глава 6.
Закрытие «Вселенной».

...затарахтел конвейер, и прямо на пол полился поток благоухающих селёдочных голов. Глаза кадавра сверкнули. Он пал на четвереньки, дробной рысью подскакал к окошечку и взялся за дело. Выбегалло, стоя рядом, хлопал в ладоши, радостно вскрикивал и время от времени, переполняясь чувствами, принимался чесать кадавра за ухом. Толпа облегченно вздыхала и шевелилась. Выяснилось, что Выбегалло привёл с собой двух корреспондентов областной газеты. Корреспонденты были знакомые – Г.Проницательный и Б.Питомник. От них тоже пахло водкой. Сверкая блицами, они принялись фотографировать и записывать в книжечки.

– А. и Б. Стругацкие «Понедельник начинается в субботу»

Представьте себя на заседании парламента небольшой страны. Обсуждается бюджет на следующий год. Натурально, шум, ругань, до кулаков дойти может. Выступает Министр Превентивной Обороны от партии Новаторов-Консерваторов: «Хочу противокорабельные ракеты и подводную лодку для защиты рубежей нашей Родины! Дайте три миллиарда!» Встаёт профессор-очкарик от партии Анархистов-Лейбористов: «Нельзя забывать про школы и академическую науку! Не дадите ещё миллиард – останемся без квалифицированных кадров, и некому будет обслуживать эти ваши противокорабельные…» Конечно, каждый на себя одеяло тянет, но говорят-то по делу и за страну болеют.

Внезапно подымается независимый депутат от партии Сине-Зелёных-в-Крапинку: «Положение в Уганде чрезвычайно меня беспокоит! Архиважно надобно обсудить».

Председатель: «Вы именно сегодня хотите обсуждать? Мы понимаем особенности вашего электората, но какое отношение Уганда имеет к годовому бюджету нашей страны?»

«Самое прямое! — орёт сине-зелёный, — Белых негров Уганды притесняют чернокожие белые расисты! Безобразие! Не могу молчать!»

Не знаю как вы, а я бы на месте председателя отключил оруну микрофон. Под дружные аплодисменты зала.

Так и с истощением природных ресурсов. Едва зайдёт разговор, откуда ни возьмись, выскакивает: «абиогенная природа нефти». Чтобы не обвинили, будто автор замалчивает величайшее открытие XXI века, придётся посвятить предмету дискуссии несколько страниц.

А собственно, отчего XXI? Каждый геолог, особенно «ру́дник» назовёт вам это имя: Георгиус Агрикола, отец современной минералогии, открыватель флюорита и висмута и вообще гений. В книге «*De Re Metallica*» 1556 года

упоминается жидкий минерал «нефть» и обсуждается его происхождение. Агрикола, правда, не решил, сделалась ли нефть из органических останков или из других минералов, а просто привёл доводы в пользу обеих точек зрения.

Что нефть и газ могут образовываться неорганическим путём, современные геологи согласились в конце XIX века, когда Генри Дрейпер изобрёл астрономический спектрограф, и астрономы попробовали приборчик на хвостах комет, атмосфере Юпитера и других интересных объектах Солнечной Системы и увидели метан. Мы знаем, что в природном газе есть следы водорода и гелия. Практически весь промышленный гелий добывают именно из газа.

Говорите: часть углеводородов образуется в мантии или прилетает на Землю с кометным материалом? Не возражаем. Это научный факт. Говорите: в ядре Земли есть металлический водород? Тоже не возражаем. Вполне может быть, хотя пока и не доказано. Фонд Карнеги в 2012 выдал грант нашему бывшему соотечественнику Александру Гончарову и его коллеге Стюарту Мак-Уильямсу из Университета Эдинбурга – как раз чтобы доказать химическую стабильность металлического водорода при высоких давлениях и температурах. Заметим сразу, грант в области химической физики, а не нефтяной геологии, и оба уважаемых доктора имеют степени по физике.



Говорите: нефть образуется только неорганическим путём? Вот тут позвольте с вами не согласиться. В горных породах есть органические останки – кероген. Под микроскопом видны волоски, пыльца, тычинки-пестики. Приводить бесчисленные микрофотографии не буду – возьмите в библиотеке любой достойный учебник палеонтологии. То, что из керогена при повышенных температуре и давлении образуются нефть и газ, тоже доказано. Эксперимент можно проделать в хорошей школьной лаборатории. Штуковина на врезке летала именно на пиролизном керосине, полученном напрямую из природного керогена, с волосками, листиками и пестиками. Короче, если вы ни разу в жизни не видели крокодила, не заявляйте, будто такого животного нет! Сходите в зоопарк, в конце концов.

В СССР идею Агриколы двигал в массы доктор геолого-минералогических наук Николай Александрович Кудрявцев (1893-1971). К чести сказать, он-то сам никогда не настаивал, что нефть образуется исключительно неорганическим путём. Он просто предлагал активнее искать залежи нефти в приразломных зонах, чем мы уже и так сто лет занимаемся.

В начале 1988 года морская буровая компании «*Вьетсовпетро*» бурила очередную разведочную скважину на пока безымянном Блоке 9-3. Вообще-то нефть на шельфе Вьетнама нашли в 1975 году геологи компании «*Mobil*», но война и революция помешали довести дело до конца.

Итак, на дворе стоял февраль 1988, а в феврале во Вьетнаме отмечают Новый Год по лунному календарю. Традиционно, все лежат в стельку, а таких мобильных телефонов, чтобы прямо с бодуна давать ЦУ на буровые, тогда ещё не придумали. Вот на виброситах забелел кварцевый песочек из зоны выветривания. Геофизики просчитались и предсказали гранито-гнейсовый фундамент метров на двести ниже, чем он оказался на самом деле. Гранит – не осадочная порода. Нефти там быть никак не может! Начальник буровой побежал в радиорубку звать кого-то к рации. Угадаем, кто и, главное, что ему ответил. Оказавшись в тяжёлой ситуации, начальник принимает решение: бурить до проектной глубины! Долото о гранит изнахратим, зато жизненно-важные органы останутся целы. Они не только целы остались, на некоторые органы были навешены ордена и медали. Потому что фундамент внезапно отрыгнул в смелых буровиков сначала газом, а потом и нефтью. А Блок 9-3 официально стал месторождением и получил имя собственное: «*Белый Тигр*» (*Bạch Hổ*). Почему белый? Помните песочек на виброситах, шкура тигра. Вот.

По поводу обнаружения нефти и газа в магматических интрузивных породах сторонники абиогенного происхождения нефти начали праздновать победу, но праздник получился недолгим. Уже к 1992 выяснилось, что нефть «*Белого Тигра*» всё-таки сделана из керогена. Просто в этих местах граниты выперло вверх и размолотило трещинами (правильно Кудрявцев советовал: ищите в приразломных зонах), а сверху перекрыло глинистыми отложениями. Нефть и газ из низин не могли прорваться вверх и мигрировали горизонтально, пока не добрались до вознесённого тектоническими силами трещиноватого фундамента. В нефти обнаружились биологические маркеры, в том числе хлорофилл. Палеонтологи даже определили, что жили древние организмы в пресноводных озёрах. Вьетнамскими коллегами вполне официально[49] заявлено: нефть из Тигра и из залежей осадочного чехла идентична по составу.

Позже к белому из семейства кошачьих добавились «*Дракон*», «*Рассвет*» и «*Рубин*» (*Rong*, *Rang Dong* и *Ruby)*. Аналогичные месторождения с трещиноватыми коллекторами были обнаружены в Таиланде, Австралии и в Канаде.

На прогнившем Западе к делу осчастливливания человечества бесконечными запасами углеводородов присоединился двойной соотечественник Шварценеггера астрофизик Томас Голд[50] (1920-2004). Он почему-то полагал,

49 См. Nguyen Du Hung and Hung Van Le, **Petroleum Geology of Cuu Long Basin - Offshore Vietnam** http://www.searchanddiscovery.com/documents/2004/hung/index.htm

50 «*Кто такой Джон Голт?*»™ А ещё Томас Голд пытался раздолбать теорию Большого Взрыва, однако сам раздолбался о реликтовый фон Гамова-Шкловского, открыл нейтронные звёзды и объяснил магнитные штормы. Он же сначала предсказал, что астронавты на Луне утонут в пыли (отсюда роман

будто тупые геологи за двести лет так и не научились искать продуктивные залежи. Надо признать, что Томас Голд, при всей эксцентричности, был настоящий учёный. Когда обнаружились ранние русскоязычные статьи Н.А.Кудрявцева, Голд не стал воевать за научный приоритет, наоборот, помогал переводить работы наших геологов на английский и проталкивал в журналы.

Как и Кудрявцев, Голд предлагал искать месторождения вблизи тектонических нарушений. В 1986 году, получив от правительства Швеции и частных инвесторов 40 миллионов американских долларов[51], он затеял бурить скважину глубиной 7.5 км в районе озера и метеоритного кратера Силйан Ринг (Siljan Ring). По идее Голда выходило, что из-за удара метеорита там существуют трещины прямиком в верхнюю мантию до глубин 45 км и более[52].

Бурение шло довольно успешно до глубины 5'000 м, а дальше скважина принялась выдавать аварию за аварией. Пробурили несколько боковых стволов, потеряв несколько километров бурильной колонны и компоновок. Самый глубокий ствол достал до вертикальной глубины «около 6.8 км». Читавшие настоящие буровые отчёты понимают, что писал ~~агроном~~ астроном, а не геолог. Глубина по стволу скважины 5'000 м измеряется с абсолютной точностью лучше 1 метра. И вообще, на геофизические исследования в скважине решили не тратить денег, и какая там была пористость и другие параметры пород, мы уже никогда не узнаем.

Вместо геофизических исследований Голд пытался скважину свобировать, то есть откачивать жидкость. Всего получилось около (опять это «около») 85 баррелей (13 м³) «маслянистой жидкости», а в ней «около 10 тонн магнетита и никеля». Потом ненавистники заявили, будто не нефть вовсе, а остатки от 500 баррелей дизтоплива, что закачали в скважину несколько ранее, пытаясь выдернуть застрявшую бурильную колонну. А «магнетит» – ржавчина с бурильных труб, изнахраченных о гранит.

Короче, к июлю 1990 (ровно 4 года тибидухались[53]), у Правительства закончились терпение, и скважину «Гравберг-1» ликвидировали. Тут же в 1991 заложили новую скважину и даже объявили, что вроде обнаружили нефть на глубине «около» 2.8 км. Но нефти той никто не видел, и в начале 1993 правительство Швеции мудро решило не продлевать агонию проекта. В 1992 Голд выпустил статью, а затем в 1999 и книгу «*Глубокая горячая биосфера*», где доказывал, что жизнь может существовать в нефтяных месторождениях на большИх глубинах. Нефтяники пожали плечами: чего доказывать? Сами не раз видали. Если в тропиках, только забудешь добавить к буровому раствору биоцид, там такая жизнь начнётся! Бактерии-нефтефаги. Будешь зелёную

Артура Кларка), но затем предсказал как раз обратное – просто на всякий случай, вдруг не утонут. Но всё это к нашей проблеме не относится.

51 Напомним, что в 1986 нефть стоила $17 за баррель, а за советский рубль ещё официально давали 60 центов.

52 См. https://www.ogj.com/articles/print/volume-89/issue-2/in-this-issue/exploration/sweden39s-siljan-ring-well-evaluated.html

53 Специалисты не дадут соврать: семь километров не сахар, но бурятся куда быстрее, чем 4 года.

слизь вместо нефти из скважины качать.

В 1984 году украинский доктор наук В.А.Краюшкин опубликовал книгу об абиогенном происхождении нефти[54]. Когда английский перевод должны были представить на конференции 2001 года, французский геолог Жан Лагеррер (*Jean Laherrere*) собирался выступить с критикой положений Голда и книги Краюшкина[55]. Как честный учёный, направил украинскому доктору наук неопубликованный черновик статьи. Украинский коллега немедленно своё участие в конференции отменил и на письма отвечать перестал. Француз обиделся:

If a scientist cannot or will not defend his theory against fair scientific scrutiny, then his argument is immediately cast into doubt

Если учёный не может или не хочет защищать собственную теорию перед лицом коллег по науке, его доводы сомнительны.

Почему происхождение нефти совершенно неважно для понимания конечности ресурсов нефти и газа? Тот же Кудрявцев заявлял, что для формирования нефтяной залежи требуются три условия:

1. Источник углеводородов. Неважно: биогенный или абиогенный;

2. Резервуар. Пористая или трещиноватая горная порода, чтобы накапливать нефть и газ;

3. Покрышка. Плохо проницаемая порода, например, глинистый сланец, чтобы нефть из резервуара не убежала. Когда нефть добирается до дневной поверхности, её с удовольствием лопают некоторые бактерии. Если до поверхности добирается природный газ – улетает в атмосферу.

Резервуар наполняется миллионы лет (да, скорость образования нефти в коре и мантии порядка 10^4 тонн в год, а человек потребляет порядка $4 \cdot 10^9$). Наступил 2030 год, у вас кончился, скажем, Самотлор? Без проблем. В 10'000'030 году новой эры можете смело бурить опять! Обещаю: месторождение будет как новое. Если вам от такой мысли легче.

Что особого в геологоразведке предлагал Кудрявцев? Бурить поглубже, «пока буровая позволяет, и есть надежда обнаружить резервуар». Геологи «*Mobil*» скважины бурили в миоцен, на глубину 2'800 м. Геологи «*Вьетсовпетро*» слегка промахнулись и забурили на 2'950. Вот и открытие. А на вертикальную глубину[56] 10 км надо бурить? Во-первых, страшно дорого. Во-вторых, суммарный объём пор там ничтожен, значит, ваша скважина плюнет в вас сотню баррелей – и ждите ещё тыщу лет. Вам надо 100 баррелей за сорок миллионов баксов?

54 Скачать (3-4 части вроде плохой RAR): http://www.deepoil.ru/index.php/bazaznaniy/item/123-%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%8E%D1%88%D0%BA%D0%B8%D0%BD-%D0%B2%D0%B0

55 Лагеррер Жан, «**Бесплатный сыр бывает только в мышеловке**», The Wilderness Publications, 2004. бесплатно: http://www.copvcia.com/free/ww3/102104_no_free_pt1.html

56 Горизонтальные скважины бурят и длиннее. Но их вертикальная глубина куда меньше 10 км.

Веб-ресурс Украинской Академии Наук[57] заявляет: на основании теории абиогенного происхождения «при поисках нефти и газа в недрах Луганской, Сумской и Харьковской областей обнаружено 25 месторождений». Нельзя не согласиться. Ниже краткий обзор с полей (выделение моё):

11:0509.02.2009 (обновлено: 04:36 04.03.2011) *«Компания «Укргаздобыча» открыла Мигринское нефтегазовое месторождение. В январе в 2009 года по результатам испытания поисковой скважины №2 "Мигринская" был получен промышленный прилив нефти дебитом* ***51 кубометр в сутки****. Дочка «Нафтогаз Украины» компания «Укргаздобыча» открыла новое нефтегазовое месторождение в Луганской области Украины, сообщает в понедельник пресс-служба «Нафтогаза». «Компания «Укргаздобыча» открыла Мигринское нефтегазовое месторождение на территории Станично-Луганского района в Луганской области. В январе в 2009 года по результатам испытания поисковой скважины №2 "Мигринская" был получен промышленный прилив* ***(sic)*** *нефти дебитом 51 кубометр в сутки», - говорится в сообщении. Бурение поисковой скважины №2 «Мигринская» началось в* ***июне 2008 года****. «Открытие Мигринского месторождения подтвердило высокую перспективность зоны соединения Днепровско-Донецкой впадины с Донецким складчатым сооружением и дает основание надеяться на открытие новых нефтегазовых месторождений в этом регионе», - отметил главный геолога «Укргаздобычи» Владимир Бенько. При этом пресс-служба не сообщает о перспективных объемах по добыче ресурсов в открытом месторождении.*[58]

Вот она, перемога! Шесть месяцев бурили скважину, получили «прилив дебитом» (как в океане, масло масляное, мля) 51 куб в сутки, на непонятно сколько суток.

14.09.2011 *В Луганской области нефть течёт рекой: уже больше 10 скважин*

Уникальная *для Луганской области добыча нефти происходит в Станично-Луганском районе. Об этом заявил лидер депутатской фракции «Реформы ради будущего» Игорь Рыбаков.*

«В Станично-Луганском районе успешно развивается добыча нефти. На территории более 10 скважин, каждая из которых приносит ***до 51 кубического метра*** *«чёрного золота» в сутки. Продолжая работать в этом направлении, Луганская область может не только улучшить уровень жизни для населения, но и сама подняться в общегосударственном рейтинге Кабинета Министров. А это значит, что будут появляться новые рабочие места на предприятиях, поддержка и строительство новых социальных объектов[...]» По словам Рыбакова, поиск подобных месторождений и развитие добычи нефти в Украине смогут снизить энергетическую зависимость страны.*[59]

О-па! Уже десять скважин, рекой течёт. Максимальный дебит тот же – 51 куб. Вероятно, та самая первая скважина «номер ждва».

01.08.2013 09:54 *Компания Serinus Energy (SE) с активами на Украине нашла залежи нефти на месторождении Северно-Макеевское в Луганской области. Положительный приток дала 3-я разведочная скважина NM-3, бурение которой проводилось 54 дня. Глубина скважины составила* ***2,426 км****. Ранее буровая установка бурила скважину О-15 на Ольговском участке недр в 10 км западнее NM-3, на корой в начале июля 2013 г был получен приток газа* ***42,5 тыс м³/сутки****. Впервые в Украине компания получила позитивный тест на наличие нефти. Во время тестов получено* ***0,5 м³*** *нефти плотности 37° API, с оптимизмом сообщает SE.*[60]

Ура! Ещё пол-куба в сутки (или за весь тест?)

14 февраля 2014 16:20 *При испытании скважины получен приток нефти* ***2 тонны/сутки****. Государственная компания «Укргаздобыча» открыла новое нефтегазовое месторождение в Луганской области. Оно расположено в районе сел Верхняя Ольховая, Пшеничное, Макарово в Станично-Луганском районе и получило название Ольшичное[...] По оценкам Украинского научно-исследовательского института природных газов, перспективные ресурсы углеводородов блока, который разведывается скважиной №1, составляют около 500 тыс. тонн условного топлива (****такие*

57 См. http://igs-nas.org.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=9&lang=ru
58 РИА Новости Украина: http://rian.com.ua/economy/20090209/78099573.html
59 Скачано 28 сентября 2016: http://mignews.com.ua/regiony/lugansk/1263878.html
60 http://www.unian.net/society/817908-v-luganskoy-oblasti-nashli-neft.html

месторождения считаются мелкими).[61]

И ещё два кубика в копилку.

Наконец, канадско-польская «*Serinus Energy*» в феврале 2016 списала украинские активы[62]. А ну их нафиг.

Но все описанные персоналии выше: от Кудрявцева до Лагеррера – всё-таки честные геологи. Ситуация с энергоресурсами *вна* Украине грустноватая, оттого и бурят залежи, куда от хорошей жизни никто бы ни в жизнь бурить не стал.

Плохо, что на волне «абиогенной нефти» из всех щелей лезут шарлатаны, как с геологическими дипломами, так и без. Этим нефть до фонаря. Им надо «получить-освоить», как уже освоили графены или онанотехнолохии. Деньги на «освоение» отрываются от дорог, поликлиник, школ, и даже от армии.

Некая скважина в Таиланде работает «импульсами». Полгода отдыхает, потом три месяца фонтан. Потом опять отдыхает, и опять фонтан. И так много лет. Во-первых, не в Таиланде, а на том же «*Белом Тигре*», во Вьетнаме. Во-вторых, уже таки сдохла совсем. В-третьих, к природе происхождения нефти отношения не имеет. Конфигурация трещин такая: «сифон», случайно вышло.

Знаменитая история как «Иван Петрович сказал, что ему передал Пётр Иванович, будто коллега того видел, как в Татарии / в Чечне / в Урюпинске такая-то скважина стояла 10 лет, и вдруг дала фонтан».

Докладываю: я сам такие скважины видел, и к сожалению не один раз. Стоит ржавая арматура (нефтяники говорят: «ёлка»). Какой-то гад в 1995 «ликвидировал» скважину, просто перекрыв задвижкой (хорошо если рукоятку снял). За двадцать лет всё сгнило, а бывает, приехали весёлые ребята на цистерне и задвижке слегка «помогли». В зависимости от объёма НКТ и проницаемости пласта, «фонтан» длится несколько минут или часов, заливая площадку нефтью. Отчего? Объяснять в этой книге – место не позволяет. Ежели вы специалист, вам и так уже ясно. Если нет – в техническую библиотеку, хватайте хорошую книжку по нефтяному делу, ищите главу про «конус обводнения». Она будет длинная и с формулами. Напрягитесь.

А я объясню по рабоче-крестьянски. Гололёд. Поскользнулись, упали, сильно болит рука. Перелом или растяжение? Идёте к доктору. Тот отправляет вас в кабинет со свинцовым экраном и табличкой «РЕНТГЕН НЕ ВХОДИ» на дверях. Через полчаса тот же Айболит вам улыбается и заявляет: «Вот и чудненько. Мы вас облучили надтепловыми нейтрино[63], переломчик залечился. Будет немножко болеть, вот таблеточки. Принимайте по мере надобности, и через недельку всё пройдёт. С вас двадцать тысяч за новый

61 http://economics.lb.ua/business/2014/02/14/255432_ukrgazdobicha_otkrila_neftyanoe.html
62 Заявление для инвесторов: http://www.serinusenergy.com/
63 Нейтрино, нейтрино. Так Айболит сказал.

метод лечения переломов».

Можете верить в надтепловые нейтрино или дать Айболиту по морде – мне всё равно. Но разговоры о положении негров в Уганде национальный бюджет вам не сделают.

Чем отличается настоящая наука от бесполезной траты денег?

В середине XX века эксперименты Джона Кэлхуна вызвали бурю диаметрально-противоположных умозаключений об этике и народонаселении. Кто-то вывел, что человеческая цивилизация обречена на гибель в ближайшие 50 лет. Кто-то наоборот, на тех же данных доказывает, что на планете Земля можно комфортабельно расселить триллион человек, и все будут счастливы. Образ учёного-крысолюба даже выведен в великолепной комедии «*I.Q.*» 1994 года. Оговорюсь сразу: за недостатком места я не стану обсуждать чисто-поведенческие эксперименты на норвежских крысах[64], а остановлюсь только на единственном и последнем «популяционном эксперименте» с лабораторными мышами 1968-1972 годов.

Журналисты называют эксперимент «*Вселенная-25*» уникальным, но ничего особо уникального в нём нет. Виварии с мышами существуют к каждом приличном биологическом институте; некоторые производят подопытных со скоростью до 10'000 особей в месяц. О правильном содержании мышей специалистам-зоотехникам известно, все параметры вроде оплодотворения, сроков беременности и вскармливания – вычислены.

Сочинениями Проницательных Питомников мы пренебрежём, а вытащим описание «*Вселенной-25*» прямиком из статьи Кэлхуна[65]. Квадратный в плане загон со стороной 2.57 м имел стенки высотой 1.37 м. Выполненные из оцинкованной стали верхние 43 см стенок не позволяли мышам покидать заведение. Каждая стенка разделена на 4 одинаковых сегмента шириной 64 см. Каждый сегмент включал четыре тоннеля, а в каждом тоннеле имелось 4 гнезда, достаточных для выводка одной самкой 15 отпрысков. Таким образом, всего гнёзд было на 16×4×4=256 самок, и достаточно для одновременного рождения 256×15=3'840 мышат.

Сразу отметим, что ширина тоннеля 7.6 см позволяла крупному самцу легко контролировать доступ к четырём гнёздам. В природе такое встречается крайне редко. Стандартной рекомендацией для вивария является селить вместе либо самца и самку, либо самца и двух самок. В последнем случае мышки-мамы беременеют по очереди и помогают друг другу ухаживать за сосунками. Четыре самки на самца – явный перебор. Отчего Дж.Кэлхун

64 Где-то проскочило, что «Эксперимент Вселенная-25 повторили 25 раз, и каждый раз результат был одинаков». Это творчество корреспондента Г.Проницательного (взявшего однажды интервью у дубля Ойры-Ойры!) На деле, Дж.Кэлхун никогда не повторял свои эксперименты. Каждый раз строил загон всё монструознее и монструознее: «Вселенная-1», «Вселенная-2»… Первые 24 загона использовались для изучения территориального поведения норвежских крыс, и ни к эксперименту «Вселенная-25», ни к предмету этой книги никакого отношения не имеют.

65 Копия статьи на http://physicsoflife.pl/dict/pic/calhoun/calhoun's-experiment.pdf

выбрал именно такую структуру тоннелей и гнёзд, до сих пор остаётся загадкой.

Каждый из 16 сегментов был укомплектован кормушкой и поилками. Всего в «столовых» могли одновременно питаться 6'144 мышей, а одновременный доступ к воде имели 9'500. Опять-таки, расположившись у входа в тоннель, сильный самец мог не допускать конкурентов к кормушкам и поилкам подконтрольной секции, однако контролировать широкие кормушки тяжелее, чем узкий тоннель. К тому же, иногда альфа-самец бывал внутри тоннеля, занят с самками, ну, вы поняли. Короче, к еде прорваться можно, а к самке – только через труп альфа-самца.

Зимой температуру поддерживали 20°Ц. Летом сложнее. Кондиционеры в то время были уделом богатеньких даже в США, поэтому температура гуляла «главным образом» (Sic!) между 21° и 32°Ц. Вероятно, были периоды, когда снаружи жара, а в «Мышином раю» – душегубка.

Загон убирали от мышиного помёта «каждые четыре-восемь недель» (Sic! Так в статье!) В нормальном виварии и сто лет назад за такое разгильдяйство смотрителей бы попёрли, а в 2019 году в толерантной Америке могут не только уволить, но и под суд отдать за издевательство над животными. По воспоминаниям одного из журналистов, запашок стоял такой, что войти невозможно.

При ближайшем рассмотрении «Утопия» и «Мышиный рай» превращаются в колонию общего режима. Да, пищи и воды вдоволь, заразных болезней и хищников вроде нет... и, пожалуй, всё. Соедините вместе мужскую и женскую зоны – тоже, наверное, «рай»?

Теперь немножко об «Адамах» и «Евах». Четыре самца и четыре самки белых мышек-альбиносов *Balb C mus musculus* были получены Кэлхуном из Всеамериканского института Здоровья (ВИЗ). Институт гарантировал, что мыши не заражены сальмонеллой или гельминтами, однако в статье я не нашёл никаких упоминаний, что первая восьмёрка не была из одного помёта или от одного самца. В руководствах для виварiев есть пункты по предотвращению близкородственного скрещивания, а для определённых экспериментов, наоборот, требуется однородный «вырожденный» материал, и тогда применяют как раз близкородственное. В любом случае, искусство подбора производителей стоит денег. Когда заказывают «четыре пары мышей-производителей для таких-то и таких-то целей», стоит раз в пятьдесят дороже, чем просто: «мне четыре пары белых для опытов».

Кэлхун указал параметры генотипа, использованного в эксперименте: менопауза наступает примерно на 560 день, максимальная продолжительность жизни – более 1000 дней.

Ход эксперимента описан в той же статье. Все восемь мышей были получены

из ВИЗ в возрасте 27 дней (ещё один звоночек, что все зверьки могут быть от одной мамы или одного папы). Мышки выдерживались порознь 21 день и 9 июля 1968 года были выпущены в загон в возрасте 48 дней от роду. Первый помёт был замечен только на 104 день эксперимента (21 октября); сколько мышат – не сообщается. Первое потомство в возрасте 152 дня? Самки белой мыши фертильны на 60 день после рождения и в виварiях начинают рожать на 80-90 день. Почему во «*Вселенной-25*» задержка два с половиной месяца? Объяснений может быть несколько: от некомфортных условий в «раю» (*тополиный пух, жара, июль*™), до того же близкородственного скрещивания. Самки мышей отгоняют братьев «покусыванием»! Вот что пишет автор: «Эти 104 дня характеризовались значительной социальной напряжённостью между восемью мышами, пока они не привыкли друг к другу и к окружающей среде». Почему тогда в виварiях «напряжённость» спадает через два часа после помещения самца в клетку к двум самкам? Может, «рай» не совсем райский?

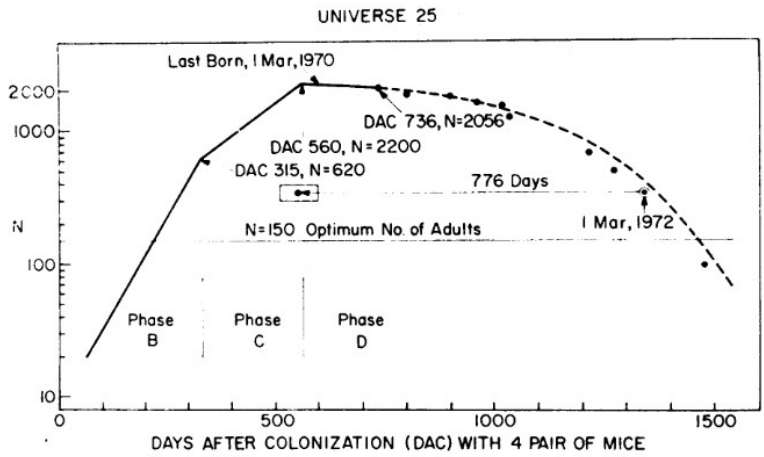


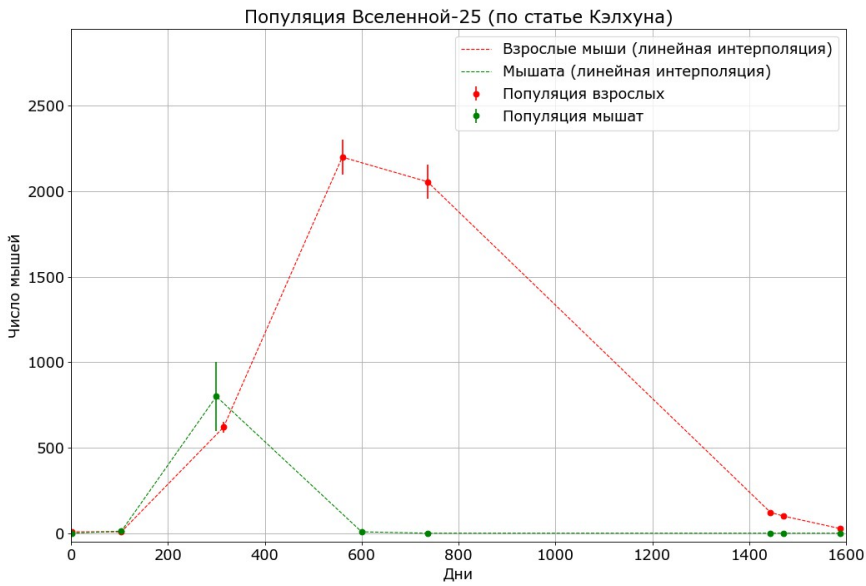
Fig 2 ***History of population of mice in a closed Utopian universe. Broken line represents an estimate of numbers made about 700 days after colonization on the basis of observed mortality to that time. Observed points after Day 1000 are slightly lower than projected due to removal of about 150 mice for other studies. A final point was added to the graph for Day 1471 when the population had decreased to 100. At final editing of this paper on November 13, 1972 (Day 1588) the inexorable decline brought the population to 27 (23 females and 4 males, the youngest of which exceeded 987 days of age)***

Так или иначе, к 315 дню во «*Вселенной-25*» находилось «около 620 взрослых мышей». Надо сказать, точных чисел мы не знаем совершенно и никогда не узнаем. В XXI веке в гнёзда поставили бы телекамеры или ещё какие-нибудь сенсоры, и считал бы компьютер, но в далёком 1968 это находилось за пределами любого бюджета. Полные пересчёты численности взрослых вроде бы проводились 14 раз; все кроме двух первых и трёх последних – приблизительные. Даже когда на тысячный день эксперимента отбирали кандидатов ~~в космонавты~~ для последующих опытов, отобрали «примерно 150 особей» (Sic!). Из 14 подсчётов только 8 представлены в статье в виде чисел;

остальные – просто точки на графике. Не буду настаивать, но сильно подозреваю, что точки с шестой по одиннадцатую – вообще не подсчёт, а просто «оценка на глазок» по пунктирной линии экстраполяции. Подсчёты мышат проводились с 86 по 338 день, таблица по дням в статье не приводится.

Номер точки	1	2	3	4	5	12	13	14
День	1	104	315	560	736	1'444	1471	1'588
Число взрослых	8	8	≈620	≈2'200	≈2'056	122	100	27
Число мышат	0	12	800±200	?	0	0	0	0

Нарисуем реальные данные без логарифмического масштаба (он тут как планка Пикатинни, прикрученная к швабре):



«Когда количество взрослых мышей достигло 620, – пишет Кэлхун, – скорость роста популяции резко упала: удвоение примерно за 145 дней[…] Во время пика популяции 2'200 особей была замечена тенденция набиваться в гнёзда в количестве более 15, но при этом 20% гнёзд оставались неиспользованными».

Посчитаем: 2'200/(256×0.8)=10.7. Возможно, несколько гнёзд и были заполнены более чем 15 мышами, но в среднем распределение вполне в пределах нормальной плотности стандартного вивария: «мама плюс десять отпрысков».

К 315 дню, в системе циркулировало около 310 взрослых самок возрастом от 365 до 50 дней и столько же взрослых самцов. Шестьдесят четыре наиболее сильных самца оккупировали 64 тоннеля, каждый защищал персональный

гарем из 1-5 самок, смотря по силе и потенции. Некоторые самки вынуждены были жить по две в одном гнезде, но 20% гнёзд остались пустые. У мышей нет ордера на жильё и домтовариществ, оттого некоторые самцы стойко обороняли тоннель с единственной самкой в четырёх гнёздах: «я сильный, но мне одной достаточно». Всего в гаремы попало, навскидку, от 200 до 240 самок (а посчитать и опубликовать точное число Кэлхун не удосужился). Примерно 240 самых слабых самцов и 80-110 молодых самок были «отжаты» в центральную часть загона, в очень некомфортные условия. Представьте себя бездомным бичом посреди переполненного вокзала, пусть даже летом. На полу дерьмо, а убирают раз в два месяца. Там, посреди «*Вселенной*», мышки-бичи и проводили время, пытаясь прорваться к кормушкам и поилкам сквозь оборону альфа-самцов.

В последующие 110-130 дней самки в гаремах произвели на свет следующее поколение мышат. Положенные 4 недели кормили, а потом всех молодых самцов выпнули. Результат: 64 гарема, в каждом 1-5 «старушек» и 4-20 молодых самок. А у мышей есть интересная биологическая особенность: когда много молодых самок собирается вместе, у большинства прекращаются менструации. Откуда мы это знаем? Из тех же институтских виварiев. Попробуйте посадить 10 самок в одну клетку и понаблюдайте месяц-другой. В тех тоннелях, где количество самок было поменьше, кто-то ещё умудрился забеременеть, но сёстры-соседки загрызли детёнышей. Далее и обороняющие тоннели самцы постарели. Защищать тоннель ещё сильны, но на секс уже не тянет.

1 марта 1970 года, на 600 день эксперимента, были зафиксированы последние живые роды (сколько родилось, не пишут), хотя последняя беременность была зарегистрирована на 920 день: с 600 по 920 день ни одна беременная мышь не смогла доносить до срока. На пике популяции, в 560 день эксперимента, взрослое население «адского рая» составляло около 2'200 особей. «Отжатые» к центру слабые мышки вели себя агрессивно. Некоторые продолжали отчаянные попытки выбить альфа-самцов из тоннелей и ходили в боевых шрамах. Другие тратили энергию только на еду и поддержание собственной чистоты, а на самок не обращали внимания. Таких Кэлхун назвал «красавчиками».

Большому количеству молодых особей не стало находиться места в социальной иерархии «мышиного рая», наметился недостаток социальных ролей в идеальных условиях с неограниченными ресурсами, возникло открытое противостояние взрослых и молодых грызунов, увеличился уровень немотивированной агрессии.[...] Растущая численность популяции, увеличение скученности, повышение уровня физического контакта привело к появлению особей, способных только к простейшему поведению. В условиях идеального мира, в безопасности, при изобилии еды и воды, отсутствии хищников, большинство особей только ели, пили, спали, ухаживали за собой.[...] Мышь — простое животное, для него самые сложные поведенческие модели — это процесс ухаживания за самкой, размножение и забота о потомстве, защита территории и детенышей, участие в иерархических социальных группах. От всего вышеперечисленного сломленные психологически мыши отказались.[стр 86]

Подчеркну, однако: ни о каком «гомосексуализме» среди мышей Дж.Кэлхун не писал! Это Проницательные Питомники так прочитали! Написано:

«гомозиготные мыши»[66], читается «гомосексуальные», не правда ли?

На 1'000 день эксперимент можно было смело прекращать и не мучить бедных зверьков, однако продолжили. Из популяции «отобрали примерно 150 особей». Почему примерно? Ладно, 2'200 снующих туда-сюда мышек фиг пересчитаешь, но отобранных могли бы рассадить по десятку в ящик?

«Примерно 150» (без определения половой принадлежности!) коллега Кэлхуна Хэлси Марсден перенёс в уменьшенную копию загона «*Вселенной-25*» (два сегмента вместо шестнадцати, то есть 32 гнезда вместо 256), и «с удивлением заметил», что мышки «отказываются размножаться». Конечно, отказываются! Самой молодой самке в этой компании было не менее 480 дней от роду, а менопауза у мышей – 560 дней, смотрим выше. В лучшем случае, можно было надеяться на пару удачных помётов от самок предбальзаковского возраста.

Но «перенесённым» ещё повезло: провели остаток дней в относительном комфорте. Социальный эксперимент в главном загоне «*Вселенной-25*» продолжался до почти полного вымирания.

Теперь задумаемся, как оценили бы значение «эксперимента» разные специалисты.

Математик или физик (думайте про бессердечного Кристобаля Хунту из эпиграфа): Это вообще не эксперимент. В экспериментах есть контрольная группа и точные подсчёты. А тут интерпретировать математической моделью нечего. Выше представлен график по всем числовым данным из статьи. Единственное, что можно из него вывести – рождаемость стала равна нулю к 600 дню «эксперимента». Далее мне неинтересно. (Уходит, кутаясь в норковую шубу и помахивая тростью со встроенной шпагой.)

Зоолог или квалифицированный зоотехник вивария (реабилитированный вурдалак Альфред): Мышам создали невыносимые условия для размножения. Какой «Рай»? Что с того, что еды и воды хватает? Дерьмо надо убирать хотя бы два раза в неделю. Вероятно, зимой 1969 года животным занесли какую-то инфекцию, например вирус папилломы. Переболев, самки потеряли способность к живым родам. (Отправляется заваривать чай. Есть сигналы: не чай он там пьёт.)

Генетик (слегка заикаясь, как Ф.С.Киврин): Б-бедняга, к-как же вы это? Нельзя же исключить неблагоприятную мутацию вследствие близкородственного скрещивания – инбредную депрессию! Четыре поколения – это 240-280 дней, значит, к 500 дню эксперимента, ¾ зверьков в популяции стало братьями и сёстрами по одной из линий. (Трансгрессирует.)

Зоопатолог или врач (У-Янус Полуэктович Невструев): Ладно бы не считали мышек, ладно бы инфекция или инбредная депрессия. Где анализы? Где

66 Несущие две одинаковые аллели в генах. Объяснять не буду, читайте прямиком у Менделя!

вскрытие умерших? В медицине «мёртвые служат живым», а у вас – не опыт, а пустая трата денег. (Обиженно звенит ключами от сейфа.)

Администратор (М.М.Камноедов): Вы мне эти штучки прекратите, товарищ Кэлхун! Планировать надо! Разбазарили мышей! Не умеете чучела? Обратитесь к Кристобалю Хозевичу! Не умеете в ЭВМ? У нас есть товарищ Привалов Александр Иванович! В таком вот *аксепте*. Бдительность должна быть на высоте. Доступно?

Выше приведены специалисты воображаемые, а ниже – реальные. Интересна не столько сама статья Кэлхуна, сколько протокол обсуждения, случившегося после доклада на симпозиуме «*Человек и его место в природе*» 1972 г. Сокращённый перевод с моими комментариями [*в скобках*]:

Председатель: я правильно понял, трупы мышей не убирались? Как это влияло на ситуацию?

Д-р Кэлхун: мы старались убирать большинство [*Sic!*] фекалий и подстилки каждые шесть-восемь недель [*в тексте статьи: «четыре-восемь недель», ага*]. Мы ничего не стерилизовали. Время от времени [*Sic!*] трупы забирали для осмотра. Однако продолжительность жизни мышей во «*Вселенной-25*» мало отличается от средней биологической.

Председатель: надо ясно заявить, что загрязнение было одним из факторов сокращения рождаемости. Там были гниющие остатки пищи, фекалии, моча и трупы. Я полагаю – решающий фактор.

Д-р Кэлхун: не думаю, что он был решающим. Мы не убирали специально, чтобы сделать обстановку похожей на реальную в природе.

Д-р Джон Ф. Стокс (Лондон): на диаграмме видно, что мышата рождались в основном в (условно, на диаграмме) «южных» и «западных» тоннелях; мыши плохо заселяли противоположные стороны квадрата. Отчего такое неравномерное распределение? [*В Москве все тоже хотят на Юго-Запад.*]

Д-р Кэлхун: возможно, социальная структура, возможно, статистическая случайность. Внешние факторы, например, вентиляция тоже могли иметь значение, хотя, я полагаю, социальная структура важнее [*проще говоря, с условного «юго-запада» дул вентилятор, и в тех тоннелях меньше воняло мочой и дерьмом. Оттого там и поселились самые сильные самцы с самыми красивыми самками, и мышата лучше выживали.*]

Председатель: Вы сказали, доминантные самцы были более активны. А как Вы это измеряли?

Д-р Кэлхун: Мы красили мышей в разные цвета и отмечали, где покрашенные бывают. Всего более миллиона наблюдений. Сейчас мы переносим данные с бумаги на магнитную ленту, чтобы обработать на компьютере. [*Да, в 1972 это*

было непросто! Впрочем, результатов обработки Кэлхун вроде бы не публиковал.]

Проф. Р.А.Уили (институт офтальмологии, Лондон): У мышей нет цветного зрения, однако покрашенная шерсть будет выглядеть иначе, чем белая. Вы не думаете, что мыши как-то на яркость шерсти реагировали?

Д-р Кэлхун: Мне часто задают этот вопрос. Я замечал, что мыши реагируют на покраску шкурки, но каков конкретно эффект, трудно сказать, пока не обработаем данные [*Те самые: на магнитной ленте!*] Впрочем, движения и поза мыши явно важнее цвета шерсти.

Проф. Мелланби: В 1984 году Англия достигнет максимальной плотности популяции [*Профессор Мелланби Дж.Оруэлла начитался! Плотность до сих пор растёт.*] Я жил в Лондоне в районах, где относительная плотность населения была не меньше, чем в вашей «*Вселенной-25*». Некоторые дети никогда не удалялись от дома и на полмили [*800 м*], разве что летом ездили в лагерь. Разве не проще вместо изучения мышей опросить жителей трущобных районов Лондона?

Д-р Кэлхун: Я думаю, 1984 годом рост не закончится! Дело не в плотности популяции, а в количестве и качестве социальных связей. Томпсон в 1969 показал, что высокая плотность популяции снижает количество зачатий. Кинкайд в 1965 показал, что процент мертворождённых тоже может возрастать от плотности.

Председатель (прерывает): Не надо прямо переносить аналогию с мышей на людей. Я бывал в Гонконге, там плотность гораздо выше, чем в трущобных районах Лондона, но, на мой взгляд, люди выглядят счастливее.

Д-р Кэлхун: Я не бывал в Гонконге, но бывал в Калькутте. Там ужасно! Человек, возможно, перестроится и многие будут жить как мыши-«красавчики», которые во «*Вселенной-25*» только питались и чистились, полностью устранившись от социальных связей [*Этому мышу уже 500 дней от роду, на самку не хочется совершенно. Воевать с сильным, чтобы попить с сестрой чаю? Так мыши чай не пьют.*] Думаю, что нечто подобное происходит в Амстердаме. [*Ну, мы-то знаем, отчего «красавчики» в Амстердаме. Пых-пых под кофий, и «устранился».*]

М-р Селуин Тэйлор (Лондон): Вы параметры эндокринной системы измеряли у мышей?

Д-р Кэлхун: Доктор Юлиус Аксельрод и доктор Ларри Нг проводили измерения для нескольких экземпляров, отобранных мною и доктором Марсденом. Я не специалист в нейро-эндокринологии, но по объяснениям понял, что наивысший уровень катехоломинов, то есть стресса, наблюдался у мышей, вытесненных в центр загона [*а вам приятно бичевать на вокзале, да ещё и без самки?*] У охранявших тоннели альфа-самцов и у «красавчиков» был

относительно низкий уровень стресса [*а эти уже удовлетворились или уже не хотят!*]

Председатель: А уровень стероидов проверяли? [*скорее всего, имеется в виду тестостерон*]

Д-р Кэлхун: Проверять уровень гормонов мы не планировали. Для этого надо изымать животных из загона, а это могло отразиться на истории популяции. Единственный способ поставить научный эксперимент – запустить параллельно несколько одинаковых «вселенных», останавливать их на определённой стадии развития и проводить вскрытия. Работа громадная! [*Далее читайте внимательно: докладчик сообщает суть своего открытия!*] Надо понимать, что «*Вселенная-25*» не является нормальной наукой, это не чистый научный эксперимент, а просто наблюдение за процессом.

Д-р Джеймс П. Хенри (Университет Южной Калифорнии): Мы уже десять лет проводим эксперименты над свободно-размножающимися группами грызунов, методом, похожим на метод Д-ра Кэлхуна. В наших колониях обычно от 17 до 50 мышей [*оказывается, гигантомания не нужна*]. Подвижность мы наблюдаем автоматически, при помощи магнитных меток [*оказывается, уже есть технология!*] У изгнанных из группы самцов постепенно повышался уровень адреналин-модуляторов, тиразин-гидроксилазы и фенил-таналомин N-метилтрасферазы. От этого у животных повышалось артериальное давление [*оказывается, можно делать анализы!*] После примерно 6 месяцев, если отделить животное от группы, уровень давления уже не восстанавливается [*оказывается, можно результаты напрямую переносить на людей-гипертоников!*] От повышенного давления у грызунов развивался атеросклероз сосудов головного мозга, фиброз желудочков сердца и проблемы с почками [*я не врач, переводите диагнозы сами!*] Всё опубликовано в 1967-1971 годах (перечисляет свои статьи) [*ещё и научный приоритет, хе-хе!*]

Д-р Кэлхун молчит. [*не дописать ли: «и нервно курит в сторонке»?*]

Д-р Джон Буркиншоу (Лондон): Похоже, у ваших мышек произошла какая-то мутация.

Д-р Кэлхун: Мы подозревали мутацию. Около десятка мышей постоянно кружились на месте. Но это возможно не мутация, а инфекция. [*Энцефалопатия вроде Куру, от каннибализма? А сам говорил, что инфекция не является существенным фактором?*]

Короче, эксперимент «*Вселенная-25*» ясно доказал:

1. Трахать свою сестру или дочь? Да Вы извращенец, батенька!
2. От дерьма и трупов на улицах ничего хорошего ждать не приходится. Чините канализацию. Закапывайте умерших.
3. Эксперимент без контроля – пустая трата времени и денег. Мышей

тоже жалко.

Впрочем, человечество и до Кэлхуна про это догадывалось лет этак с тысячу или чуть поболее. Например, в России запрещено регистрировать брак между единокровными братьями и сестрами, как и брак отца с единокровной дочерью. Вроде, не однополый брак, отчего же ЗАГС отказывает?

На этом научное сообщество эксперимент «Вселенная-25 Дж.Кэлхуна» отправило на помойку истории, как и «N-лучи Блондло», и «холодный термояд Фляйшмана», и «популяционную теорию С.П.Капицы», и «абиогенную теорию происхождения нефти». И только несчастные корреспонденты Г.Проницательный и Б.Питомник продолжают щёлкать вспышками и строчить в ~~блокнотах~~ Интернете всякую муру.

В блоге у меня спросили, не стоит ли повторить «популяционный эксперимент» Дж.Кэлхуна с учётом всех проблем и замечаний. Давайте спросим у тех же специалистов из «*Понедельник начинается в субботу*».

Кристобаль Хунта: Сомневаюсь, что на популяциях в несколько тысяч особей в одном загоне вам удастся что-то контролировать. Думаю, следует применить метод уважаемого коллеги Джеймса Хенри и работать с большим количеством маленьких групп в отдельных клетках, зато делать все анализы. А если хотите распространить полученные зависимости на миллиарды особей, рекомендую вам Сашу Привалова. «Алдан» – отличный компьютер, сам люблю в это дело.

Вурдалак Альфред (снимая перчатки и откидывая капюшон стерильного костюма): Вы меня учите разводить мышей? Некогда игрушками баловаться. Киврин хочет ещё две гетерозиготные линии ко второму кварталу. Подсказали бы, за кого эту красавицу выдать замуж? (Задумчиво отхлёбывает из носика чайника и открывает на экране личное дело юной самки-производительницы из клетки «С-134-верхняя».)

Ф.С.Киврин: Г-голубчик, мы изучаем на м-мышах биохимию, а не социологию. Н-надо же принять во в-внимание сложность человеческого поведения. В-ведь никто же не занимается, скажем, д-драконом в здании, х-хотя есть и огнеупоры, и… — У меня не дракон, у меня внеклассовый счастливый человек! — Г-голубчик, да дело же не в том, ч-что он внеклассовый, а в том, что он ядерную войну может устроить…

Академик Невструев: Да, для нужд медицины мышей приходится убивать тысячами. Но перед смертью мы их усыпляем. Как директор, эксперимент запрещаю! Требую зря не мучить животных.

М.М.Камноедов: Размножать мышей? Вас в бюджете нету. Средства отдали товарищу Корнееву на его реактор-размножитель. Наш коммерческий директор товарищ Невструев А-Янус Полуэктович сказал: в реакторе размножение полезней для экономики. Доступно излагаю?

Покойся с миром, «*Вселенная-25*», возвращаться больше не будем. А краткие итоги главы таковы:

- Учёные делают открытия, но иногда совершают ошибки. Это реальная плата за научный прогресс. Научное сообщество пытается эксперименты повторить, выводы проверяет, если надо, книжки и статьи критикует. Если гипотеза проходит проверку, то становится теорией. Это всё нормально, и к вопросу данной книги не относится. О научных парадигмах прочитайте лучше у К. Поппера.

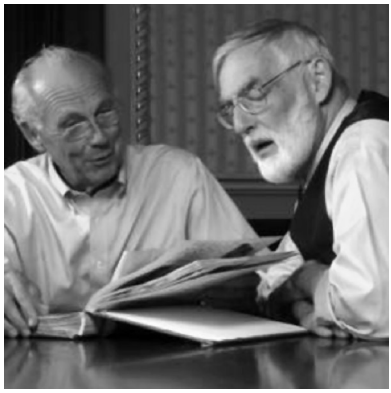
- Честные учёные и инженеры предлагают честные пути решения проблем, вставших на пути человечества. При условии достаточной научной экспертизы, можно пускать в дело. Тут и ITER и реакторы-бридеры, и солнечные панели с высоким КПД, и хлорелла. Характерно, что в проектах присутствуют реалистичные расчёты затрат и выгод, а научные положения не опровергают махом всю современную науку. Авторы никогда не обещают гор золотых завтра после обеда. Чаще решение получается всё более дорогим и всё более сложным.

- Некоторые перцы, с целью оболванивания необразованных инвесторов, пытаются свести проблему пределов роста человеческой цивилизации к внедрению какой-то простой-но-чудесатой технологии, опровергающей все устои физики. В 1960 году доктор Пупкин открыл, как сделать 1'000'000'000 кВт·ч из 16.5 граммов конского навоза. Дайте мне сто миллионов сегодня, а послезавтра я ~~буду в Рио~~ сделаю источник вечного электричества для каждого города на планете.

- Другие перцы менее прагматичны и сто лимонов не требуют. Обеспокоенное возможным коллапсом цивилизации население успокаивают: в 1970 доктор Калупкин доказал, что к 2020 население Земли устаканится, а все наши проблемы самозалечатся Солнцем и пирамидками: астрал, йога, отрытые чакры по фэн-в-куй!

- Пытаться ответить одной книгой на все «теории» затейников невозможно, да и не нужно. К тому же, большинство перцев вполне безвредны, если только не строят откровенные финансовые пирамиды и не воруют денег из государственных бюджетов. Креативными финансистами и реактивными торсионщиками должны заниматься правоохранительные органы (морзянкой стучу: «обратите внимание на И. Маска, гражданин следователь»).

- Подозреваю, что кто-то будет критиковать эту книгу так: «автор совершенно не осветил производство трёхколёсных велосипедов на Северном полюсе. Следовательно, его программки ошибочны». Если хотите критиковать математику – критикуйте математику. А по трёхколёсным я не специалист – пишите письма Санта-Клаусу.



Глава 7. Нематериальные материалисты.

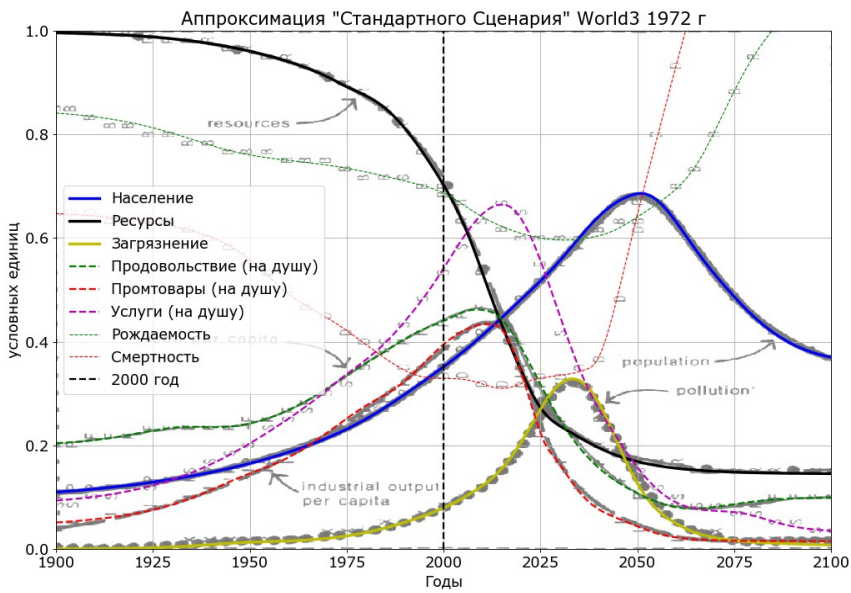
Максиму стало ясно, что проку от этой цивилизации будет немного, что это опять не то, что контакта лучше и не затевать, а надо проделать стандартные анализы, раза два облететь планету по экватору и убираться восвояси, и на Земле передать материалы серьёзным, много повидавшим дядям из Совета Галактической Безопасности и поскорее забыть обо всём.

Забыть обо всём...

А. и Б. Стругацкие «Обитаемый остров» (вариант 1971 г.)

К 2012 году из четырёх авторов «*Пределов роста*» активно занимался динамическим моделированием только один: Йорген Рандерс. Донелла Медоуз скончалась в ещё в 2001. Шестидесяти-семилетний Дэннис Медоуз в последний раз появился перед публикой в 2008, на конференции GPSO. Уильям Беренц, ровесник Дэнниса, из науки ушёл и сейчас строит ветряки и солнечные панели в США. Йорген, 1945 года рождения, официально вышел в отставку в 2010, но в 2012 выпустил книгу: «*2052: Глобальные предсказания на 40 лет вперёд*»[18].

Прежде чем разбираться самой книгой, вспомним вкратце, что предсказывали Медоуз со товарищи в далёком 1972 году. Чтобы не было подозрений, будто я высосал всё из пальца, пришлось оцифровать графики из самой первой книжки (программа **\Chapter 07\Prediction_01_BAU_1972.py**).



Светло-серая картинка на заднем плане взята со страницы 124 издания 1972 года. Цветные кривые – оцифровка. Напомним, что единицы по вертикали условные. В 1972 году авторы пытались дать качественную оценку, оттого не калибровали модель.

Тех, кто до сих пор верит нечестным журналистам, будто в 1972 году авторы «*Пределов роста*» предсказывали вселенскую катастрофу к 2000 году, убедительно просим закрыть листком бумаги правую часть графика до пунктирной линии «2000 год». Наблюдаем очень оптимистичную картину: смертность уменьшается быстрее рождаемости, благосостояние (в виде промышленных товаров, продовольствия и услуг на душу населения) – растёт. Да, есть две негативные тенденции: слегка уменьшаются природные ресурсы и немножко увеличивается загрязнение окружающей среды, но такова уж плата за прогресс.

Изменение направления графиков происходит на поколение позже – в первой трети или первой половине XXI века. В том, насколько были правы или неправы авторы нашумевшей книги, нам придётся убеждаться на своей шкуре.

Теперь антикварную картинку уберём и поглядим, как на кривые ложатся реальные данные мировой статистики из 2015-2019 годов (программа **\Chapter 07\Prediction_02_BAU_1972.py**). В качестве калибровок используем данные ООН о численности населения (обсуждавшиеся подробно в главе 3), данные «*BP*» по энергетике [10], данные ФАО по продовольствию[67] и данные по уровню CO_2 в атмосфере с метеостанции Мауна Лоа на Гавайи[68]. Окись углерода, конечно, отравой не является, но другой долгосрочной статистики по антропогенным загрязнителям в мире пока нет и вряд ли появится в обозримом будущем.

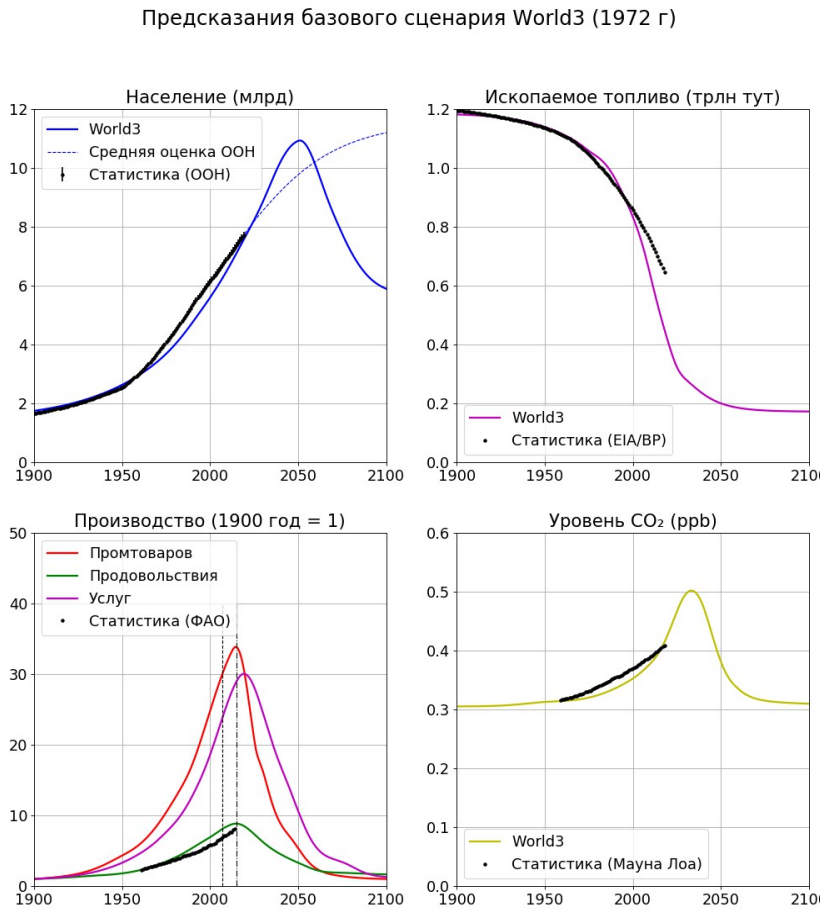
К 2019 году население планеты (синие графики) обогнало предсказание «*Пределов роста*» на 300 миллионов. Невозобновляемые природные ресурсы: нефть, уголь, газ – наоборот, расходуются существенно медленнее, чем предсказывала модель. Напомним, что расчёты проводились и книжка печаталась до энергетических кризисов 1973 и 1979 годов.

К сожалению, данные по производству продовольствия выдаются ФАО в виде «индексов», где 2005 год считается за 100. Производство продовольствия в «тоннах рисового эквивалента» не обновлялось с 2006 года. По факту мировое сельское хозяйство движется ниже предсказаний 1972 года и до сих пор не может обеспечить всех продовольствием. По данным того же ФАО, около 800 млрд человек в мире систематически недоедают.

Обратим внимание на две вертикальные метки: 2007 и 2015. Что происходило, надеюсь, объяснять не надо. Остаётся лишь присоединиться к мнению Грэхема Тёрнера[8] 2008 года. И через десять лет после выхода его статьи,

67 http://www.fao.org/faostat/en/#home
68 https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/

человечество развивается удивительно близко к базовому сценарию «*Пределов роста*» из далёкого 1972.



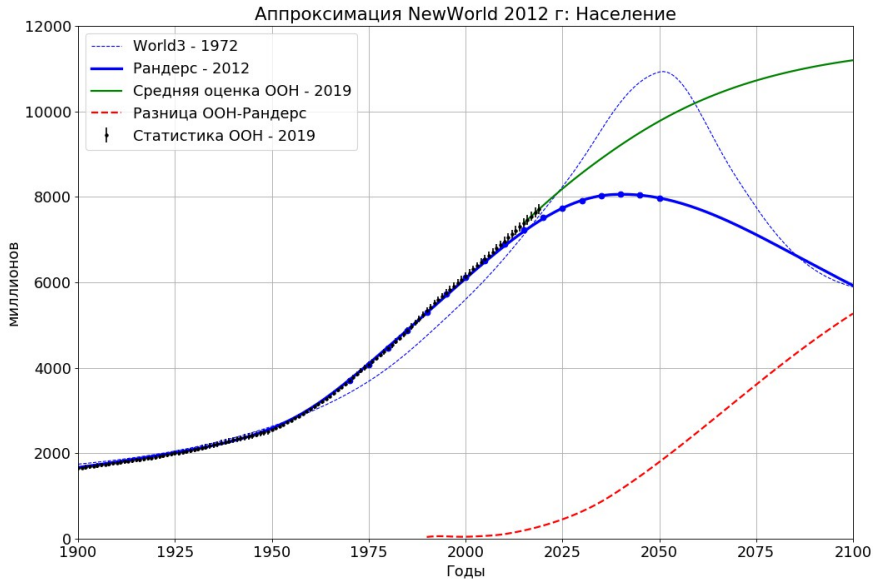
Прочитав это, магистры конспирологии начнут говорить, что мировая статистика подделана под книжку 1972 года. Совершенно непонятно, зачем тогда повсеместно ругали в восьмидесятые. То, что «*Пределы роста*» суть хитрый заговор капиталистов против СССР, – тоже не катит. Ругали-то как раз на Западе, а в Советском Союзе эту книгу читали единицы.

Впрочем, опыт первого издания «*Пределов роста*» Йорген Рандерс учёл. Сценарий полного коллапса рассчитывать не стал, а в таблицах остроумно обрубил предсказание даже не 2052, а всего лишь 2050 годом. Таблицы теперь сделаны в «Экселе» и простые как швабра, а модель зовётся не *World3*, а *NewWorld*. Подставьте своё и поглядите, что получится[69]. Кроме прочего, Рандерс привлёк к написанию книжки три десятка ведущих экологов, экономистов и философов (но никого из геологов). Каждому предложили написать сочинение на тему «Как я провёл лето 2052 года». По мере надобности буду вставлять в текст с указанием имени и профессии автора.

69 Веб-страница на английском: http://www.2052.info/download/

Итак, Й.Рандерс выдвинул 4 условия, как проскочить кризис, предсказанный в 1972 году:

1. **Ограничение рождаемости во всех странах мира.** Задача – удержать население на уровне не более 8.1 млрд человек (в 2040). Для сравнения показан пунктиром базовый сценарий 1972 года, а зелёной линией – «наиболее вероятный» от демографов ООН 2014 года (**\Chapter 07\Prediction_03_Randers_2012.py**). К 2050 году ООН отличается от сценария Рандерса почти на два миллиарда человек! За пять лет с момента публикации население планеты уже обгоняет первое условие Рандерса на четверть миллиарда. На этом можно было бы остановиться. Тот самый случай, когда генерал оправдывает своё поражение сотней причин, и первая в списке: «У нас не было пороха». Однако пойдём дальше.

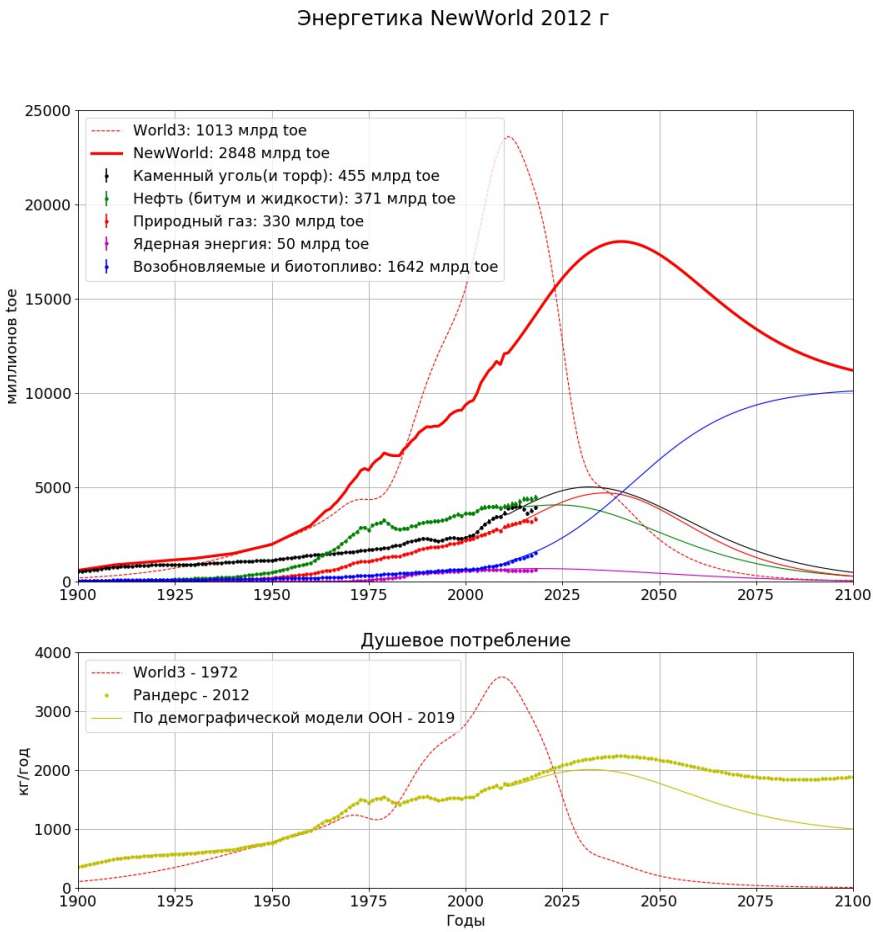


2. **Развитие возобновляемых источников энергии.** Задача – к 2050 году вывести производство концентрированной энергии из возобновляемых источников (включая биотопливо) на уровень не менее 6 млрд тонн нефтяного эквивалента (toe) в год. Много это или мало? Примерно в полтора раза больше, чем мы получали в 2012 из «нефти и жидкостей»[70] и примерно вдвое больше, чем тогда же из природного газа. К 2100 году в модели Рандерса производство возобновляемой энергии выходит на уровень 10 млрд toe в год.

Принимая теплоту сгорания нефти за 41 ГДж/т, 6 млрд toe в год – это мгновенная мощность $41 \cdot 6 \cdot 10^9 / 365 / 86.2\ 10^6 = 7.8$ ТВт, то есть на 70% больше технически-осуществимого максимума 4.6 ТВт, рассчитанного во второй главе этой книги. Например, если добывать эту энергию при помощи солнечных батарей в пустыне Сахара и с умопомрачительным КПД 30%, каждому жителю

70 То есть включая «широкие фракции природного газа» (ШФЛУ) и битум.

Земли понадобится 18 м² панелей, а в реальности – втрое-впятеро больше. Чтобы добыть эквивалент 10 млрд toe из ветра, надо не менее двенадцати миллионов башен «Vestas V164», описанных в той же второй главе. Программа **\Chapter 07\Prediction_04_Randers_2012.py**

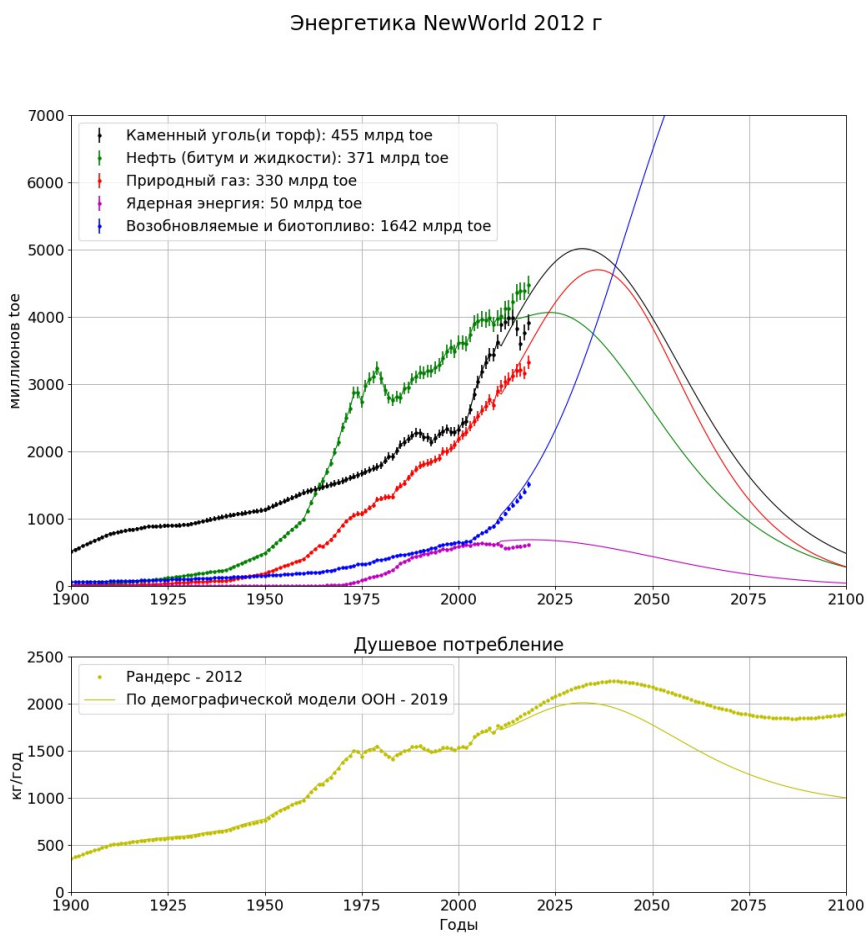


Как отмечалось выше, развитие энергетики после 1970 года было более консервативным, чем предсказывали «*Пределы роста*» (пунктирные линии на графике). В той книге авторы полагали, что к 2010 году средний землянин будет потреблять до 3'600 кг нефтяного эквивалента в год (в основном в виде ископаемого топлива), а на деле это значение не превышало 1'750. Общее количество добытого ископаемого топлива с 1900 по 2100 годы в «*Пределах роста*» и в «*2052*» достаточно близко: 1'010 и 1'160 млрд toe соответственно, а общие начальные извлекаемые запасы угля, нефти и газа идентичны в обеих книгах: по 1'200 млрд toe. Прогноз Рандерса по возобновляемой энергии оптимистичен – до 1'650 млрд toe дополнительной энергии за тот же период 200 лет. Но даже несмотря на фантастическое развитие ВИЭ, необходимо третье условие:

3. **Пик добычи угля и природного газа не ранее 2035 года.** На нефть и

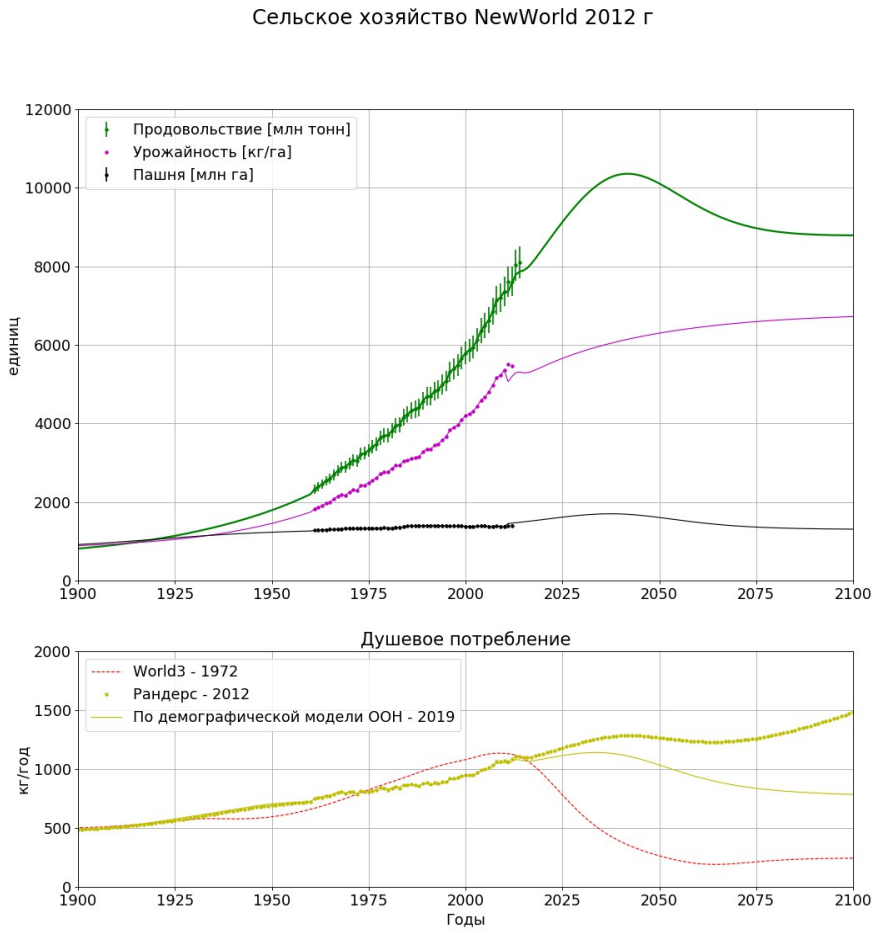
ядерную энергию Рандерс особенно не закладывался. Главное, чтоб устояли на «полочке» до 2025. Однако добыча каменного угля должна увеличиться на 25, а природного газа – на 30 процентов. И это всего за 15 лет, то есть по 1.5-1.7% годового прироста.

Программа **\Chapter 07\Prediction_05_Randers_2012.py**



У газа надежда ещё есть, хотя слегка отстаёт от модели, а вот уголёк демонстрирует обратную динамику: добыча в 2013 составила 4'006 млн ТУТ, а в 2016 – всего 3'656. В год вместо полуторапроцентного прироста – трёхпроцентная убыль. Порадовали «сланцевой» нефтью США и битумом – Канада, но огорчила ядерная энергетика. В модели Рандерса потребление энергии остаётся примерно постоянным на уровне 2'000 кг нефтяного эквивалента на человека в год. Если вместо плавно сокращающегося населения в модели Рандерса принять «среднюю» модель ООН, душевое потребление энергии к 2100 году сократится до 1'000 кг/год, вернувшись на уровень 1960 года. Делать выводы пока рано, но концентрированная энергия нужна не сама по себе, а для продуктивности сельского хозяйства, откуда четвёртое условие:

4. **К 2050 году среднемировая урожайность не менее 6.5 тонн рисового эквивалента (tre) с гектара**[71]. Программа **\Chapter 07\Prediction_06_Randers_2012.py**



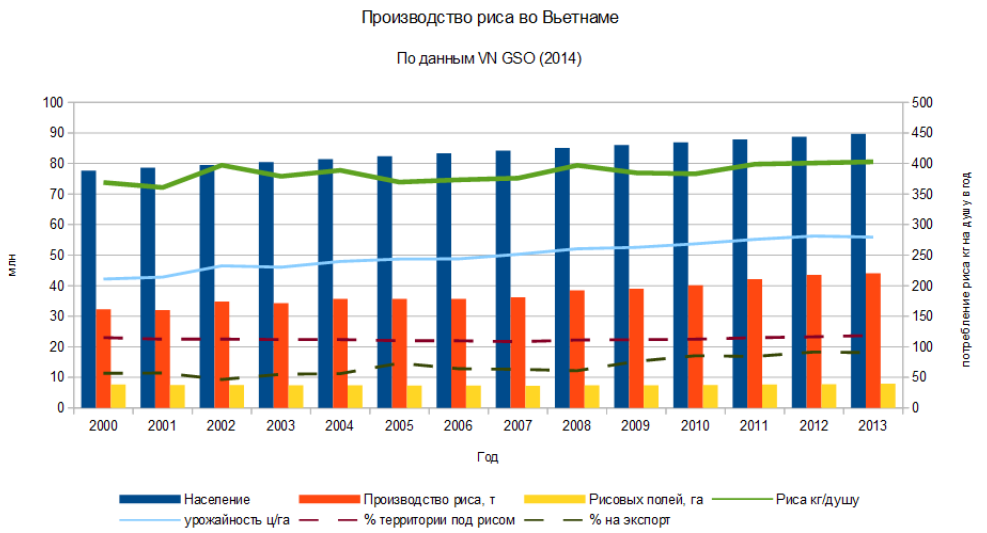
Максимальные мировые достижения – более 100 центнеров с га, но это с применением огромного количества удобрений и горючего, оттого возможно в Ирландии, Бельгии, Голландии, но никак не в Гондурасе, и уж тем более не в Судане. Типичная урожайность в мировой пшеничной житнице России составила в благодатном 2008 – 24.5 ц/га, а в весёлом 2012 – всего 17.7. А вот какую динамику землепользования демонстрирует рисовая житница – Вьетнам.

За 13 лет урожайность выросла с 42 до 55 центнеров с гектара, то есть линейно (как Мальтус и предсказывал) – по 1 ц/га за год[72]. Если так пойдёт и дальше, к 2050 вполне может получиться 85 ц/га, но лишь при условии использования

71 ООН считает по «рисовому эквиваленту», 1 кг зерновой пшеницы = 0.93 кг сырого риса.

72 Пик урожайности в 56 ц/га пришёлся на 2013 год. В 2015 и 2016 – отчёты VN GSO (Государственного Статистического Комитета Вьетнама) вышли почему-то без данных по площадям и урожайности. Sapienti sat.

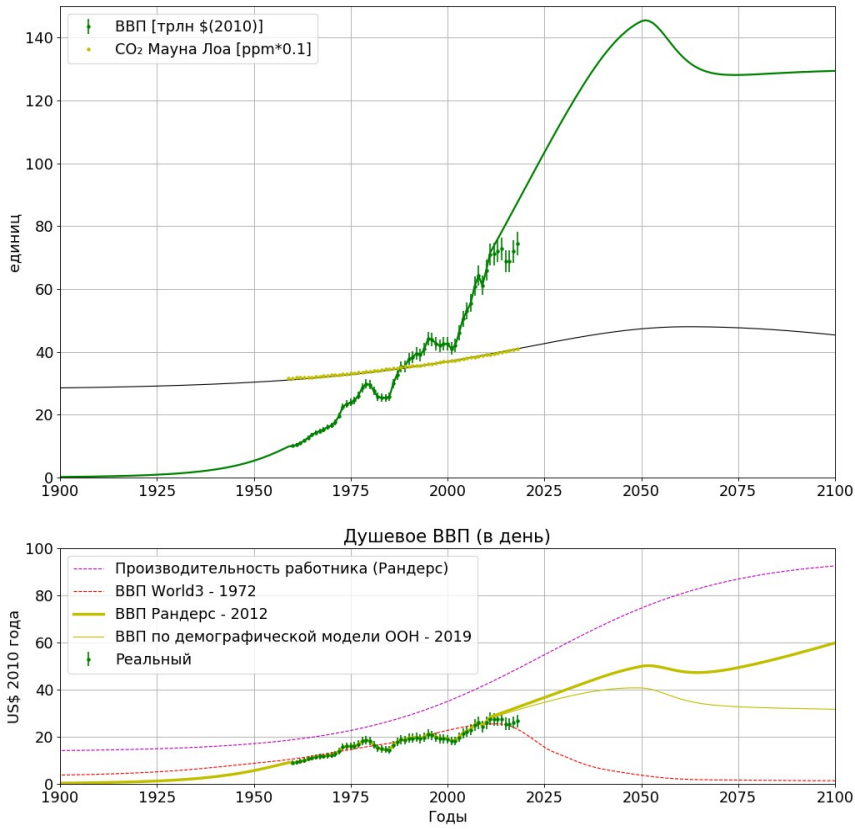
генетически-модифицированных семян, «стального буйвола» (это такой трактор для рисовых чеков) и огромного количества агрохимии, то есть смотри пункты 2 и 3 выше.



Под рисовые чеки занято уже 24% общей территории страны, то есть более ⅔ потенциальных сельхозугодий, и число это за 13 лет оставалось постоянным. Новой земли взять неоткуда: леса остались только в горах, а одним рисом сыт не будешь. Но главное: даже в дождливом Вьетнаме не хватает пресной воды на орошение! Несмотря на увеличение урожайности риса, потребление внутри страны балансирует на уровне 370-400 кг в год на душу населения, а весь «излишек» – 18% от производства – направляется на экспорт. Без концентрированной энергии урожайность грохнется обратно к традиционным для трудолюбивых рисоводов 35-45 ц/га, что приведёт как к прекращению экспорта в голодный Бангладеш, так и к дефициту риса на внутреннем рынке.

Заметим, что по продовольствию предсказания Рандерса гораздо оптимистичнее базовой модели «*Пределов роста*». Там с 2050 года человечество переходило на нищенскую диету по 700 г рисового эквивалента в сутки. Это голодный паёк 1'800-1'900 ккал, включая 10-20 г незаменимых протеинов (мяса, птицы, яиц или рыбы) в день. Для сравнения, Википедия утверждает, что узники Освенцима получали в день около 700 ккал, то есть 250 граммов рисового эквивалента в сутки, что всего за несколько недель приводило заключённых к состоянию апатии – таких доходяг охранники называли «мусульманами».

Если четыре условия Рандерса будут выполнены, всё не так уж страшно. К 2035-2040 году человечество выйдет на «полочку» и вероятно сможет без особых эксцессов дотянуть до коммерческого термояда и тому подобных технологий. Помимо энергоресурсов и продовольствия, Рандерс приводит и скорректированный за инфляцию ВВП: в условных долларах США 2010 года. Программа **\Chapter 07\Prediction_07_Randers_2012.py** .



Интересно, что в абсолютных числах и на душу населения ВВП уже снижается и близок к предсказаниям 1972 года[73]. Чтобы не пугать народ, Международный Банк придумал статистику по «покупательной способности», где числа пока растут.

Отдельной строкой идут климатические прогнозы: в 2050 концентрация CO_2 в атмосфере 490 частей на миллион (объёмных), температура на 2º выше базовой 1900 года, а уровень океана повысится не более чем на 0.8 метра, а скорее всего на 0.4. Подробно останавливаться не будем.

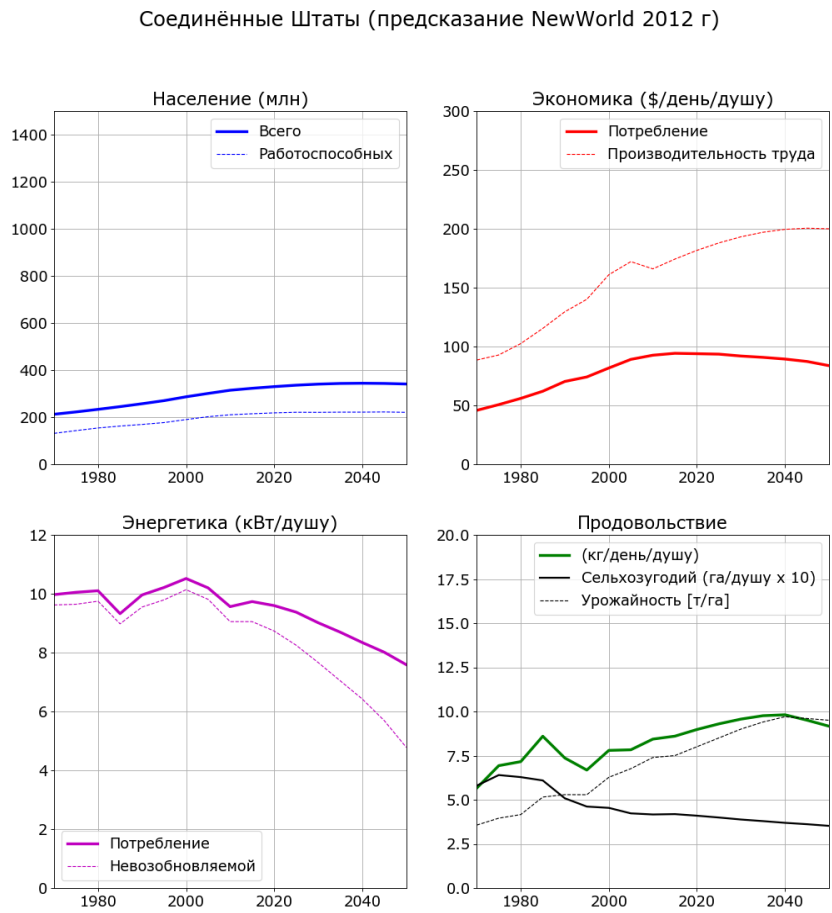
При чтении книги меня неотвязно преследовала мысль, что уважаемый автор специально сделал базовый сценарий почти «хорошим и добрым». Научен горьким опытом, три раза на грабли наступал. Книгу всенепременно будут громить, банкет оплачен. Ангажированные журнашлюхи далее третьей главы не читают. Следовательно, в первой части подлецам не надо давать ни строчки, за что можно глазом зацепиться. Пусть отрабатывают свои

73 Данные World Bank: https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD , данные по покупательной способности доллара – https://www.usinflationcalculator.com/inflation/consumer-price-index-and-annual-percent-changes-from-1913-to-2008/

сребреники!

В отличие от четырёх изданий «*Пределов роста*», в книге Рандерса содержатся предсказания по отдельным группам стран. На моих графиках все числа взяты с веб-ресурса автора.

Начнём с США:



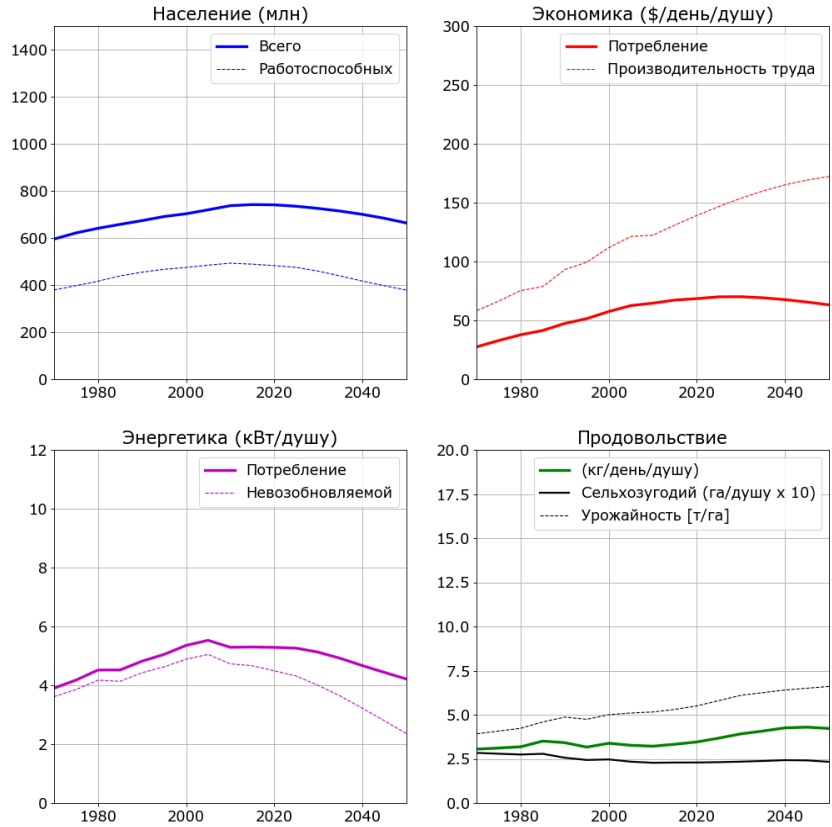
Население стабилизируется на уровне 340 млн человек при высоком уровне потребления. На каждого – более 7 кВт энергии (15 кг условного топлива в день; 70% всё так же из минерального сырья) и более 9 кг условного продовольствия[74]. Потребление на уровне $90 в день[75]. Благополучие достигнуто благодаря сельхозугодьям, которых в Америке пока достаточно: около 40 соток на душу. Даже с такой территорией требуется повышение урожайности до 90-95 ц/га.

74 Напомним, что килограмм условного «мяса» равен 6 кг условного продовольствия, а хроническое недоедание начинается с уровня 1.4-1.5 кг условного продовольствия в сутки. 9 кг условного продовольствия на душу не значит, что это надо непременно сожрать. Часть продовольствия пойдёт на экспорт в обмен на природные ресурсы, часть – на производство биотоплива для автомобилей.

75 Все доллары в модели скорректированы за инфляцию и приводятся к уровню 2010 года.

Несколько хуже держатся 34 развитые страны Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР или OECD). Я специально оставил вертикальный масштаб. Суммарное население ОЭСР по мнению Рандерса должно пройти пик 735 млн в 2025 году. Потребление энергии снизится с сегодняшних 5.5 кВт до 4.1. Продовольствия тоже вдвое меньше, чем в США: менее 5 условных кг в сутки. Ну и уровень благосостояния на ⅔ от американского: $60 в день.

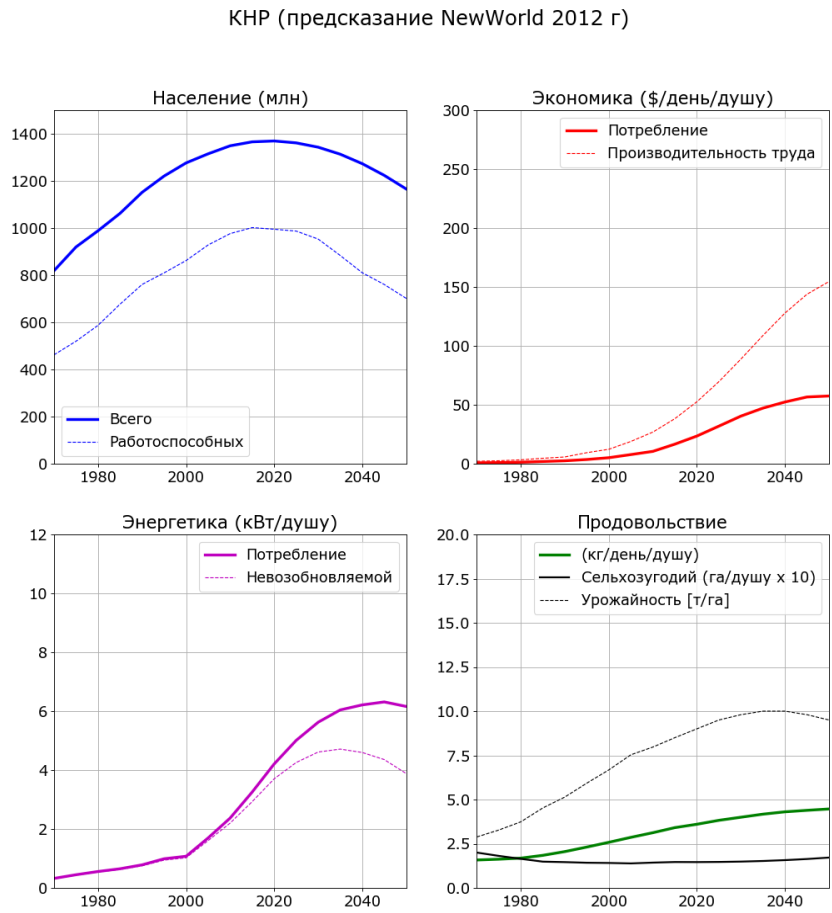
Страны OECD, кроме США (предсказание NewWorld 2012 г)



Страны ОЭСР (вместе с входящими в организацию Соединёнными Штатами) по факту составляет «золотой миллиард с хвостиком». Остальные страны в «золотой миллиард» не попадают.

Население Китая должно пройти пик 1.37 млрд человек в 2020 году, а к 2050 снизится то 1.17 млрд. Этому миллиарду, по мнению Рандерса, родное правительство к 2040 году обеспечит уровень жизни, сравнимый с европейским: потребление по $55 в день, 6 кВт энергии (около 25% из возобновляемых источников), 4.5 кг условного продовольствия. Китай продолжит оставаться «мастерской планеты», с рабочей силой около 700 млн

человек. Правда, площадь сельхозугодий на душу населения – менее 19 соток[76]. Напомню «оценку Джевонса» из 3 главы: на веганской диете, 10 соток – абсолютный минимум. Рандерс полагает, что урожайность в Китае образца 2040 года будет не меньше 100 ц/га.

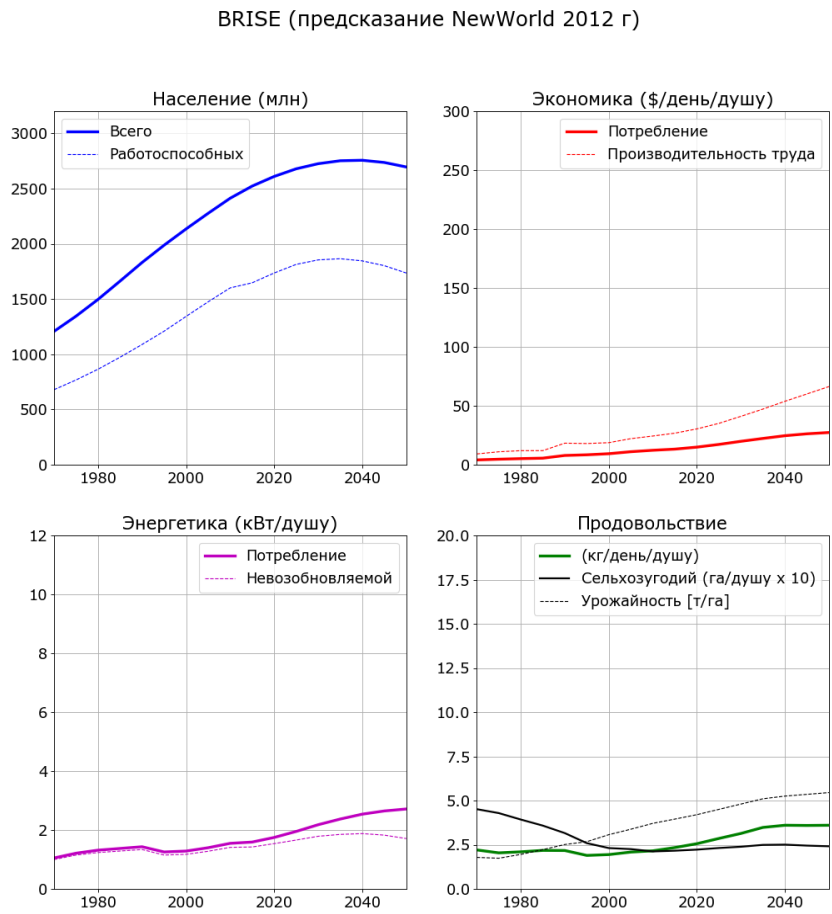


Итак, к «золотому миллиарду» ОЭСР добавился «стальной миллиард» китайцев.

Четвёртую группу Рандерс обозвал «BRISE»: Бразилия, Россия, Индия и «сильные экономики»: от Аргентины до ЮАР. Честно говоря, я в такую «статистику» не верю, и уж никак не отношу Индию к «сильным экономикам». Скорее, это «экономика, подвязанная шпагатом»: инфраструктура разваливается, а у 570 миллионов населения нет доступа к чистой воде и,

76 Мне неизвестно, откуда Рандерс 19 соток взял. По состоянию на 2013 год, население КНР 1'357 млн, общая территория 95'970 млн соток, то есть по 71 сотке общей площади на душу. Однако в качестве оценки площадей под сельскохозяйственными культурами Википедия даёт 10'650 млн соток, ФАО – 10'630 млн соток, то есть по 7.8 сотки на душу. Площадь, включая леса и пастбища, по данным ФАО за 2015 г – 51'540 млн соток, 38 соток на душу. Надо учитывать, что в креативной китайской статистике «пастбищем считается любой участок сельскохозяйственного назначения, если он не пашня», то есть пустыни и солончаки – тоже «пастбище».

извините, (любому!) туалету. Ну да ладно: так у автора.

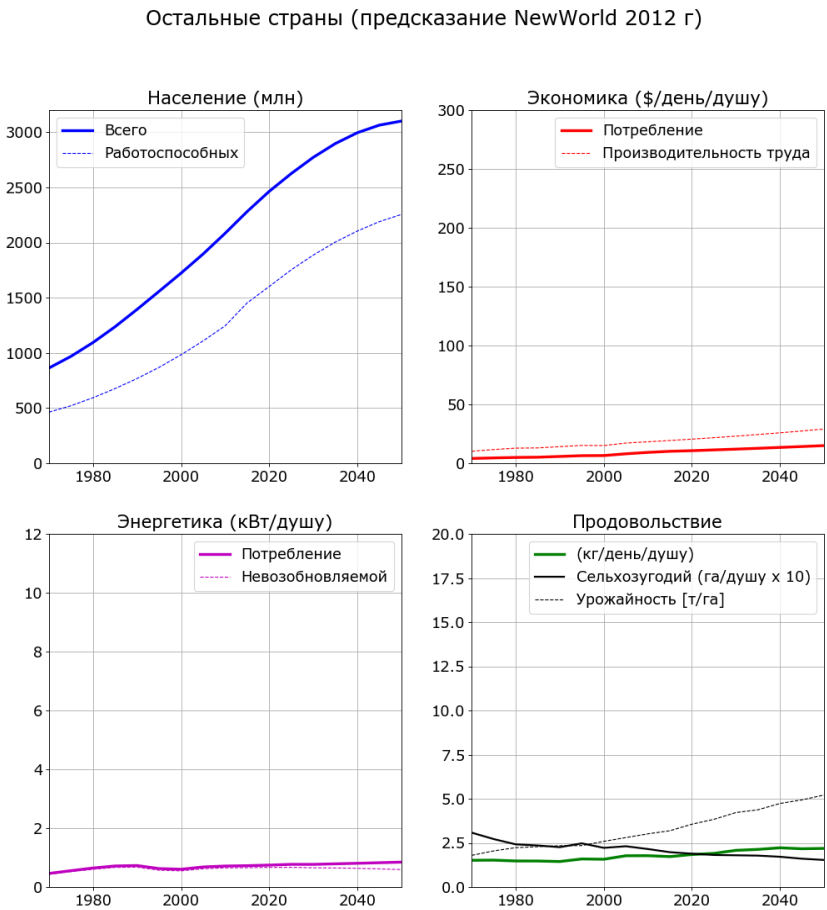


Население проходит пик 2.76 млрд в 2040 году. Уровень жизни: потребление по $27 в день (в России образца 2015 года ВВП меньше $24 на нос, притом в виде средне-легальной зарплаты – всего $10; есть куда расти, есть), 2.7 кВт условной энергии – вдвое меньше, чем сегодня в Европе, 3.7 кг условного продовольствия. Из-за включения в группу Индии, средняя площадь сельхозугодий на душу населения – всего 24 сотки. Требуемая урожайность – не меньше 55 ц/га.

Наконец, сухой остаток, называемый ROW: Rest of the World или попросту «остальные». Заметим, как грациозно автор обошёл понятие «развивающиеся страны». Действительно, в его модели «развиваются» только Китай и BRISE. Страны «экономического сотрудничества и развития» в лучшем случае цепляются зубами и ногтями за существующий высокий уровень жизни, что же до «остальных», то они цепляются за существующий низкий.

Население 3.1 млрд в 2050 году, и всё ещё растёт. Уровень жизни: потребление по $15 ВВП в день, менее 1 кВт энергии – практически только на обогрев и

приготовление пищи, 2.1 кг средне-условной брюквы. Это на 600 г больше уровня, откуда начинается систематическое недоедание; причём мяса, птицы или рыбы менее 700 г в неделю. С 17 сотками сельхозугодий на нос диета получается практически веганской, и то при урожайности не меньше 50 ц/га. Как такой урожайности добиться без химических удобрений и пестицидов, автор умалчивает.



В целом, даже для «трёх навозных миллиардов», прогноз до 2050 не такой уж суровый. Во всяком случае, Рандерс не предсказывает массовых голодоморов. Что население ROW будет делать после 2050 года – на всё сокращающихся сотках – автор мудро оставил за кадром.

Вот что думает по этому поводу экономист Карлос Джоли, профессор нескольких университетов, «парень» (fellow) Кембриджа, частный инвестор, и один из авторов включённых в книгу «сочинений» про холодное лето 2052.

2-1: Новые Тёмные Века: нищета почти для всех и невероятное богатство у немногих избранных.

Положительная социальная мобильность была всемирным явлением с 1945 до примерно 1990 года. За одно-два поколения, многие семьи шагнули из пролетариев или мелких ремесленников на уровень «среднего класса» и даже выше. В Соединенных Штатах, на фоне ускоренного

развития высокотехнологичных отраслей, открылся широкий доступ к университетскому образованию. Профсоюзные лидеры выторговали наёмным работникам невиданные социальные гарантии: «Медикэр», частное страхование от потери кормильца, и тому подобное. В Западной Европе, социал-демократические экономики и их эквиваленты в Европейском Союзе построили хорошо налаженные государства всеобщего благосостояния, обеспечивающих не только сытую жизнь, но и широкий выбор карьерного роста для выходцев из всех слоёв общества. Рабочее время укорачивалось, а оплаченные отпуска – удлинялись. Покупательная способность росла, а здоровые и ещё молодые пенсионеры наслаждались «золотым возрастом».

Однако последние двадцать лет ситуация начала коренным образом меняться. В странах развитой экономики благосостояние в лучшем случае не растёт. У населения этих стран есть все основания для пессимизма. В ближайшее время будет только хуже.

Как я это вижу, мы стоим на пороге растущей поляризации: экономической, социальной, культурной, экологической. В странах с развитой экономикой будет преобладать «отрицательная социальная мобильность», в основном за счёт пауперизации «среднего класса» при обогащении немногих счастливчиков. В развивающихся странах мы сначала увидим некоторое уменьшение бедности, подобное социальной эволюции в Европе и США после Второй мировой войны. В конце концов уровни жизни «бедного юга» и «богатого севера» примерно сравняются. Общим для всех станет ухудшение условий жизни: загрязнение окружающей среды, увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений. Придется научиться справляться с последствиями изменения климата. Как растить сою и пшеницу при изменении количества осадков в аргентинских пампасах? Как предотвращать разрывы трубопроводов в тающей вечной мерзлоте русской Сибири?

Я не жду, что международное сообщество договорится сокращать выбросы. В лучшем случае, найдутся средства для ликвидации последствий стихийных бедствий, но не на изменение инфраструктуры. Как ни странно, зрелые экономики будут отставать от молодых в области внедрения ресурсосберегающих технологий: перестраивать всегда сложнее, чем строить с нуля. [...]

Я ожидаю, ресурсы будут направлены не на сокращение выбросов, а на адаптацию. Последуют безуспешные попытки смягчить последствия: ураганов, засух, наводнений, аномальной жары и аномальных холодов, изменения сезонности осадков и так далее.

Изменения коснутся не только сельского хозяйства, но расположения городов и новой инфраструктуры. Например, туристические места и вся с связанная туризмом экономика будут затронуты очень сильно. Некоторые «классические» места отдыха в Средиземноморье станут слишком жаркими и засушливыми в летний период, а курорты европейцев, вероятно, переедут подальше на север и поближе к дому: в страны Балтии и на юг Скандинавии.

«Корпоративная социальная ответственность», «разумное инвестирование», добровольная экологическая эффективность, «торговля выбросами углерода», и проста романтическая охрана природы не решат проблемы изменения климата точно так же, как «Глобальный Договор», «Повестка Дня на 21 Век» и прочая подобная болтовня не решили проблемы бедности. Саморегуляция рыночной экономики – не более чем устаревшая догма 1990-х. От правительств потребуются усилия не меньшие, чем во времена принудительного развёртывания военной промышленности в годы Второй Мировой, или Плана Маршалла – немедленно после. Надо прекратить лепить на раковую опухоль лейкопластырь и подумать о радикальной хирургии.

В развитых странах политики и парламенты будут продолжать заблуждаться, настаивая на сохранении загрязняющих окружающую среду отраслей промышленности вместо сокращения выбросов. Развивающиеся страны по понятным причинам будут настаивать на развитии своей экономики, чтобы обеспечить всё большему числу людей жилье, транспорт и медицинское обслуживание, а экологические проблемы будут игнорироваться. Финансовые и инвестиционные рынки этих стран будут так же преследовать краткосрочные интересы, как и рынки стран развитых. Таким образом, я считаю, что изменение климата в 21 веке предотвратить невозможно. Оно затронет все страны, но с разной скоростью и с разными последствиями, в зависимости от природных и социальных условий, инфраструктуры и оставшихся в наличии ресурсов. К сожалению, человеческая цивилизация умеет реагировать только на немедленную и явную опасность, а если проблема подкрадывается медленно и не вызывая драмы – никто не замечает. Изменение климата достанет нас не как глобальная напасть, а как ряд относительно малых локальных катастроф.

С фондовым рынком за рулём, человечество продолжит мчаться по опасному серпантину непрерывного экономического роста. Правительства просто не в состоянии представить себе другие способы создания рабочих мест или наполнения бюджетов. Как результат, к 2052 году, развивающиеся страны станут чуть богаче, а развитые – сильно беднее. Оба процесса будут проходить на фоне увеличения социальной напряжённости, роста экономического неравенства

классов, необратимой деградации окружающей среды.

Искренне надеюсь, я ошибся в своём прогнозе. Как писал романист XIX века Ромен Роллан: «Пессимизм ума не исключает оптимизм воли».

Чандраин Наир, инвестор, основатель консалтинговой компании, высказался проще:

2-2. Азия вынужденно сократит потребление

В 2011 году мир стал свидетелем еще одной конвульсии на глобальных рынках из-за долговых проблем США и разваливающейся экономики Европы. Несколько десятилетий бесхозяйственности и отрицания очевидного коренятся в неуместной уверенности, что рост на основе бесконечного кредитования обеспечит всеобщее процветание навсегда.[...]

Летом 2011 пресса обсуждала беспрецедентные беспорядки и грабежи, которые произошли в городах Великобритании. В качестве причин называли и слабость полиции, и деградацию гражданских ценностей, и отсутствие уважения к законам. Но мало кто заметил, британцы рисковали жизнью не потому, что голодные, как кое-кто на Ближнем Востоке. Протестующие боролись против завышенных цен кроссовок «Найк», сделанных в дешевой Азии![...]

На нашей планете попросту нет места для ещё двух-трех стран с уровнем потребления как в Северной Америке. Экономисты ввели в заблуждение шесть миллиардов человек. Теперь все верят: на планете нет естественных ограничений, а человеческая изобретательность всегда придет на помощь.

Как бы ни отрицали факт политики, бизнесмены и другие сторонники поддержания статус-кво, если следующие сорок лет Азия продолжит увеличивать потребление до уровня современных американцев или чуть более экономных европейцев, глобальная экономика рухнет. Планета Земля не рассчитана на такой уровень потребления. Пока неясно, где коллапс произойдёт сначала: будет ли это в Азии, в США или в Европе. Также неясно, с какой скоростью пойдёт разрушение уровня жизни. Однако вне зависимости от конкретных предсказаний, к середине 21 века подавляющее большинство населения планеты будет по-прежнему жить в условиях нищеты.

Меньшинство, возможно, два миллиарда, кое-как приспособится к новым условиям на планете и обеспечит себе минимально-приемлемый образ жизни (в основном за счёт остальных). Во второй половине 21 века, однако, и перед «счастливчиками» забрезжит перспектива коллапса. Впервые в истории технологического развития цивилизации, люди начинают осознавать, что непрерывный «прогресс» (по сегодняшнему определению слова) принесёт огромные страдания очень многим из нас. Но мы пашем дальше.[...]

А вот как высказалась по поводу базовой модели Рандерса известная пессимистка Гайл Тверберг[77]. Её к писанию «школьных сочинений» не привлекали:

Почему я не верю книге «2052: Глобальные предсказания на сорок лет вперёд».

Если сравнить новую книгу Й. Рандерса с выпущенными 40 лет назад «Пределами роста», находим удивительные различия. В 1972 году анализ показал: серьезные проблемы истощения ресурсов планеты начнутся примерно сейчас, в первой четверти XXI века. В модели NewWorld, текущее состояние дел выглядят куда лучше. Рандерс полагает, рост мирового ВВП будет продолжаться вплоть до 2050 года, а потребление энергии на душу населения в модели растёт до 2040. Снижение добычи нефти происходит постепенно, причём не раньше 2025. Человечество плавно перейдёт на другие источники энергии, по-видимому, без каких-либо проблем для индустрии и сельского хозяйства. Производство из возобновляемых источников энергии будет нарастать куда быстрее, чем сегодня, и к 2030 году станет больше, чем мы сегодня добываем из нефти. [...]

К сожалению, в книге Рандерса не указаны изменения, сделанные в блоке невозобновляемых природных ресурсов модели World3, но благодаря информации на TheOilDrum.com, опубликованной работавшей над моделью Долорес «Доли» Гарсия[78], можно прикинуть предположения, принятые автором. Существует также веб-сайт (www.2052.info), где Рандерс выложил результаты численной модели в виде таблиц. Можно заключить, автором выдвинуто

77 Скачано 20 декабря 2016 с её блога: https://ourfiniteworld.com/2013/09/25/why-i-dont-believe-randers-limits-to-growth-forecast-to-2052/

78 Аспирантка Й. Рандерса.

предположение о медленном снижении мировой добычи нефти, скомпенсированное быстрым ростом как возобновляемых источников энергии, так и угля и природного газа. Это первая, и главная, причина, отчего я не верю этому предсказанию.

Вторая причина, почему я не верю в прогноз Рандерса, связана с ограничениями первоначальной модели World3. Модель 1972 года не учитывала финансовые механизмы, и об этом ограничении совершенно явно написано в книге. В то время, в условиях изобилия невозобновляемых ресурсов, финансовые потоки не играли такой уж важной роли. Сейчас надо учитывать не только что люди хотят потребить, но и сколько могут купить, в том числе и с учётом ценовых механизмов и кризиса кредитования [примечание М.Якимова: в модели 1972 не рассчитывался ВВП, и вообще не было ни одного числа с единицей измерения «деньги». А Рандерс в 2012 считает ВВП в долларах вместо промышленного производства в условных тоннах.]

Третья причина, отчего я не верю в прогноз NewWorld, – отсутствие в модели факторов эскалации. Разберём на примере истощения нефтяных месторождений Египта, Сирии или Йемена. Каждая из этих стран какое-то время была экспортёром нефти. Когда месторождения были выработаны, обнаружилось, что население выросло сверх возможностей сельского хозяйства. Доходов от экспорта больше нет, а голодные рты никуда не делись. К сожалению, без экспорта нефти, невозможно обеспечить уровень импорта и субсидий на продукты питания, к которым население привыкло. Результат: социальный конфликт и гражданская война, грозящая выйти за пределы региона [М.Я.: а голодные рты сотнями тысяч рвутся в Европу!] В книге «Пределы роста» 1972 года явно указано: решение «плавное», модель не рассматривает войны, гражданское неповиновение и тому подобное. Рандерс использует ту же «гладкую» модель, но никаких оговорок в своей книге не делает, будто упрощений нет вовсе.

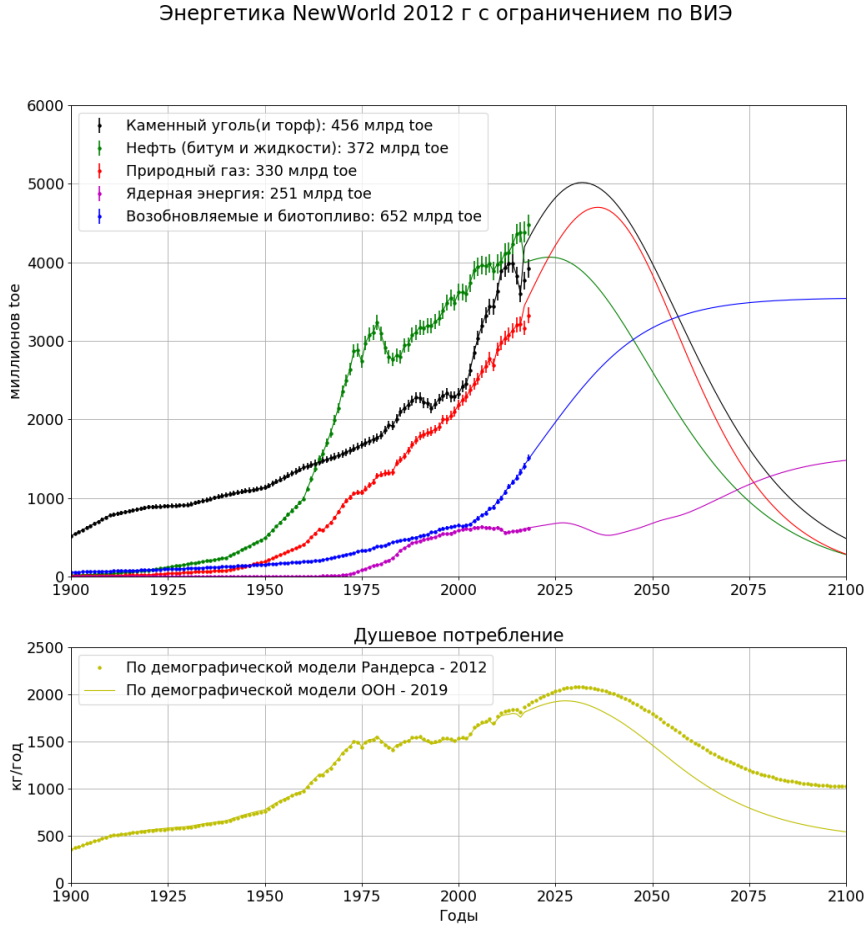
Наконец, четвёртая причина. Й. Рандерс делает в книге допущения вроде приведённого на стр. 56, в секции «Детерминистская основа»: автор специально ищет «наиболее плавное решение» для функций населения, производительности труда, потребления энергии и ВВП. На странице 61 автор утверждает: «Я верю, что технологические открытия и социальное развитие общества в следующие сорок лет будут идти тем же темпом, что и с 1970 по 2010 годы. Это оттого, что мотивация населения и социальные структуры не могут меняться скачкообразно.» То есть, автор как-бы заранее знает, что быстрых изменений функций не будет. Проблем тут нет – до тех пор пока математика отражает зависимости реального мира. Однако я с недоумением отношусь к заведомому отрицанию более «жёсткого» поведения функций.

Я тоже предсказаниям из книги «*2052*» не сильно верю, но раз Йорген Рандерс выдал нам свой *NewWorld* в «Экселе» – грех не воспользоваться, тем более я уже с третьей главы убеждаю читателей установить себе «Питон» и проверить мои вычисления собственноручно!

Оставив пока без изменений предположения 1, 3 и 4 (о населении, производстве ископаемого топлива и урожайности), изменим кривую ввода в строй возобновляемой энергетики. Программа **\Chapter 07\Prediction_13_Limited_Renewable.py** . Наша кривая тоже оптимистична: троекратный рост с 2015 по 2055 годы с выходом на технологическую «полочку» 4.6 ТВт (3.55 млрд toe в год), как показано во второй главе. Безудержная экспонента из книги Рандерса превращается в куда более реалистичную сигмоиду.

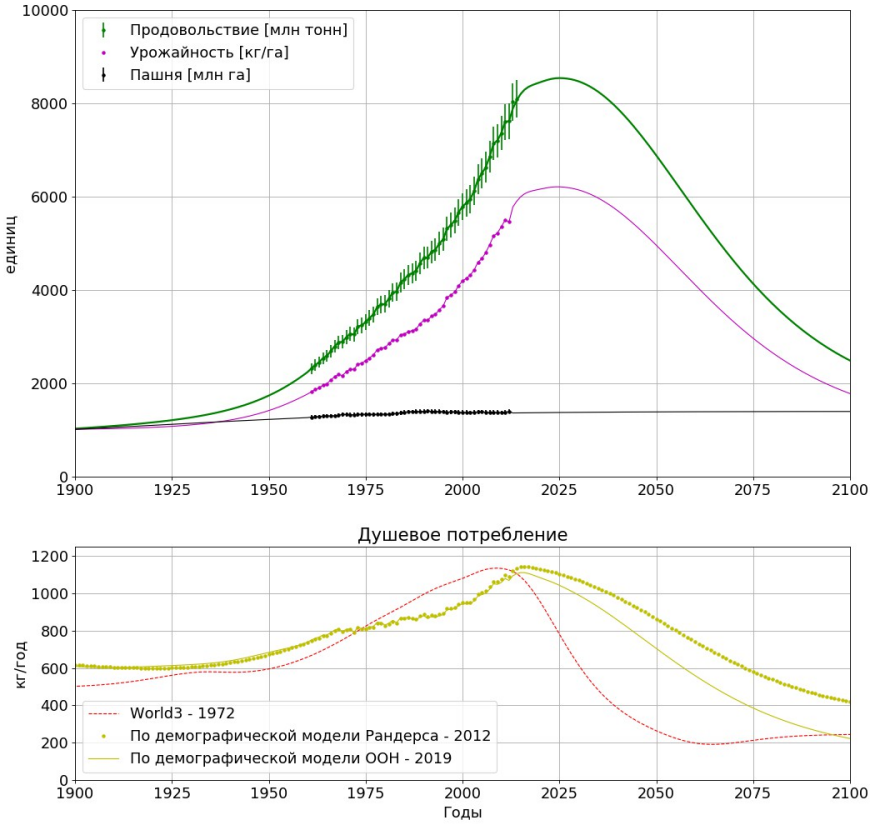
Общее потребление природных углеводородов (с 1800 по 2200 годы) не изменилось: 1'158 млрд toe против 1'156 в книге Рандерса, однако возобновляемой энергии за тот же период – всего 652 млрд toe против 1'642 в базовом сценарии у автора. Потребление энергии «высокой концентрации» на душу населения в год достигает к 2030 году максимума – 2'075 кг нефтяного эквивалента. Это 2.7 кВт мгновенной мощности, то есть меньше, чем сейчас в Китае и на 7% меньше, чем насчитал Рандерс для своего 2038 года. Однако у Рандерса в модели потребление после 2038 остаётся примерно на уровне 2'000

кг/год, а в модифицированной модели – снижается за 70 лет до 800. Это если принять предположение Рандерса номер один о населении планеты не более 8.1 млрд. Если же использовать «средний сценарий» ООН с 11.5 млрд населения, на душу выходит чуть больше 400 кг, то есть сколько было в среднем по планете до Первой мировой войны.



Ежели энергии высокой концентрации на душу как в далёком 1950, урожайность сельского хозяйства не может быть как в 2020. Оптимистично предположим выход на «полочку» 60 ц/га к 2020, а затем очень-очень плавный спуск. Кстати, у Рандерса 60 ц/га достигается всё в том же 2038. Программа **\Chapter 07\Prediction_14_Limited_Yield.py** .

Даже такой сценарий продолжает оставаться оптимистичным. Если принять демографическую модель Рандерса, выработка продовольствия на душу населения возвращается к показателям 1900 года в 2070 году. Если же принять «среднюю» модель населения ООН, к 2100 на душу будет не более 0.7 кг условной пищи в сутки, то есть эквивалент трёхдневного пайка в Освенциме. Что, впрочем, лучше, чем в базовой модели 1972 года, где тот же концлагерный уровень предсказывали к 2055 году.



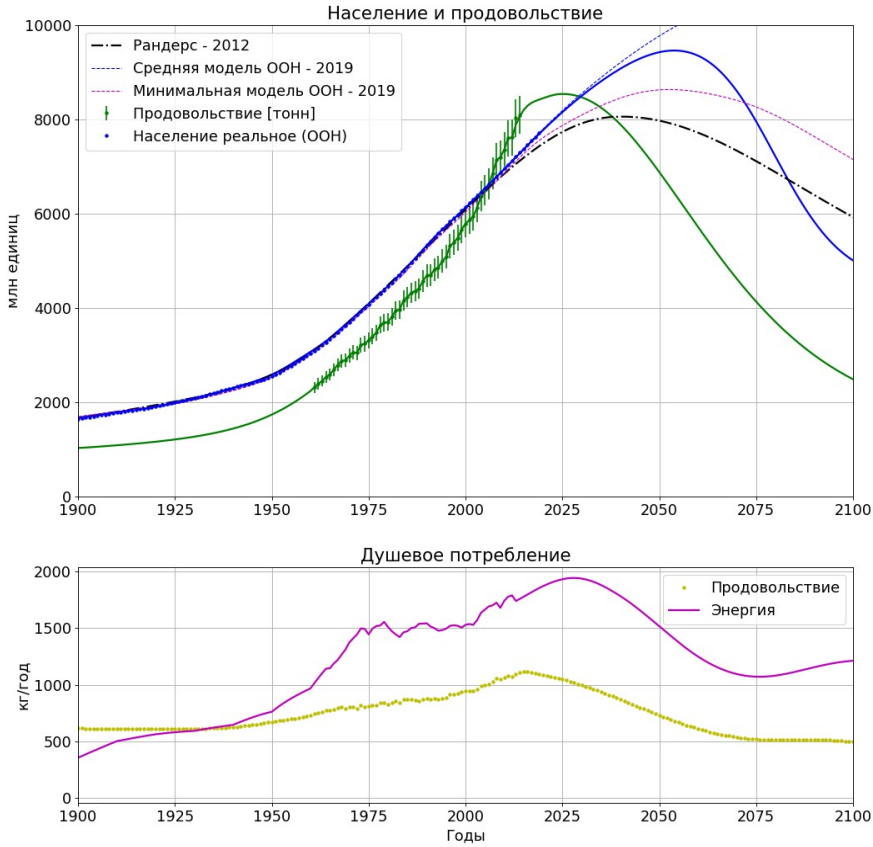
Даже такой сценарий продолжает оставаться оптимистичным. Если принять демографическую модель Рандерса, выработка продовольствия на душу населения возвращается к показателям 1900 года в 2070 году. Если же принять «среднюю» модель населения ООН, к 2100 на душу будет не более 0.7 кг условной пищи в сутки, то есть эквивалент трёхдневного пайка в Освенциме. Что, впрочем, лучше, чем в базовой модели 1972 года, где тот же концлагерный уровень предсказывали к 2055 году.

Естественно, это означает, что ни «средний» сценарий ООН, ни базовый сценарий Рандерса реализоваться не смогут, а вероятно получится вариант со снижением населения как показано на картинке из программы **\Chapter 07\Prediction_15_Population_Estimates.py** . Наша модифицированная модель к 2100 проходит на 2 млрд человек ниже «минимального» сценария ООН и на 1 млрд ниже модели Рандерса 2012 года. Разница со «средней» моделью ООН – около 7 млрд. По данным ФАО[79], индекс обеспеченности продовольствием на душу населения достиг максимума 112.2 единицы в 2013 году (2005 год =

79 Скачано в марте 2018 г: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QI

100 единиц). В 2014 году статистика показала 111.8 единиц… и уважаемая организация прекратила дальнейшую публикацию индекса. Как упоминалось ранее, от вычисления реальных калорий на душу к условному индексу перешли в 2004. Сейчас в спешном порядке изобретают «новую, правдивую, статистику». Чтобы зря не пугать народ.

Население NewWorld 2012 г с ограничениями по ВИЭ и урожайности



Теперь следует отметить принципиальную разницу между первым предположением Рандерса в книге 2012 года и нашим расчётом. Модель Рандерса:

1. Население «стран ROW» урбанизируется. Например, в Индии уже почти половина населения живёт в городах, большинство в условиях крайне скученных, без годной воды, огородов и даже туалетов. Рандерс без тени смущения употребляет слово slum, то есть «городские трущобы»[80]. Ниже показано, как живут в Маниле. Кстати, район на снимке официально «трущобами» не считается. Тут проживают «люди среднего достатка» – по филиппинским меркам, естественно[81].

80 Понимающие в английский – смотрите: https://www.youtube.com/watch?v=73X8R9NrX3w

81 «Трущобы», по определению местных бюрократов, – незаконный землеотвод. А тут улицы имеют



2. В городских трущобах дети не нужны для ведения сельского хозяйства, оттого женщины не хотят много рожать. Например, в той же Индии, количество детей на женщину упало с 6.5 в 1970 году до 2.5 в 2012, оттого что более 500 млн живёт в трущобах[82].
3. Оставшиеся в деревнях имеют больше земли на нос, организуют кооператив, покупают трактор и переходят к индустриальному сельскому хозяйству, отчего растёт урожайность с гектара.
4. Компании (за деньги, конечно) добывают для тракторов нефть, газ, уголь. Если не хватает – оклеивают планетку солнечными батареями и ветряками.
5. Жителям трущоб соответствующие правительства обеспечивает подобие занятости в обмен на абсолютный минимум материальных благ.
6. Население Земли плавно снижается.

В нашей модифицированной модели, всё происходит существенно иначе.

1. Компании добывают нефть, газ, уголь. Начинает не хватать – пробуют разные заменители, в том числе, возобновляемые источники. Но есть физический предел, который мы обсуждали во второй главе.
2. От недостатка энергии высокой концентрации падает урожайность в сельском хозяйстве. Народ пытается бороться, отжимая «лишнее» сельское население в города. Недостаток продовольствия приводит к (чаще сознательному) снижению рождаемости и (чаще случайному)

названия, дома – номера, вполне легально проведено электричество, телефон, Интернет. Есть водопровод по норме «одна водоразборная колонка на 175 человек» (вода платная, у колонок сидят дяденьки). Мусор перерабатывается на месте, канализация и «ливнёвка» отсутствуют как класс, ибо выдумка зажравшихся капиталистов. Но жить можно.

82 Знаю, что арифметика не работает, но так в книге. Вероятно, опечатка.

увеличению смертности, в том числе детской.

3. В городах отжатое население оседает в трущобах, без всяких перспектив и на минимуме продовольствия. Оттого рождаемость падает ещё больше, ну и эпидемические заболевания, загрязнение воздуха-воды, высокая преступность – играют роль.
4. Правительства по мере сил пытаются ослабить социальную напряжённость. Иногда работает, иногда – не очень. Например, как в той же Индии в семидесятых, когда Индира Ганди вынужденно объявила «Особое управление» и массовые стерилизации.
5. Население региона снижается до уровня, обеспеченного продовольствием. Кое-где снижение плавное. Кое-где – катастрофическое, как в Сирии и Йемене прямо сейчас.
6. Вне всякого сомнения, журнализды и политеги станут объяснять локальные мальтузианские катастрофы классическими «напастями»: недостатком чистой воды, голодом, ухудшением экологической ситуации, гражданским неповиновением, преступностью, войнами. Но вместо первопричины – плотность населения выше энергетического предела, примутся искать крайнего, например злых жидомасонов в Европе или злых белых колонизаторов в Африке.

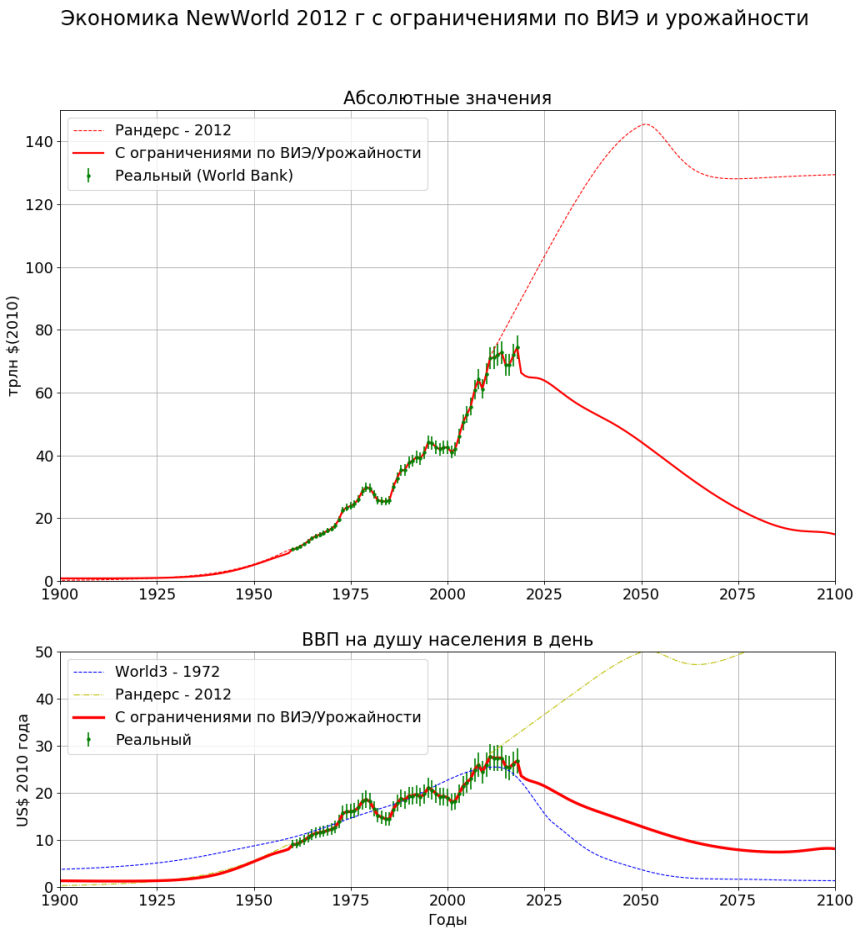
Не знаю как вам, а мне второе объяснение кажется материалистическим, а первое – идеализмом. Нет сомнения, что люди не выбирают городские трущобы от хорошей жизни.

Конечно, помимо трущоб существуют – к счастью – и другие факторы снижения рождаемости: от карьерных устремлений женщин в странах «золотого миллиарда» до намеренной государственной политики «одна семья – два ребёнка», как в КНР или Вьетнаме. К несчастью, именно в «странах ROW», где эти факторы почти не действуют, сейчас происходит наиболее значительный рост населения, и там же будет происходить самый резкий обвал.

Ну и для полноты картины приведём сравнение ВВП по книге Рандерса и по нашей модифицированной модели (программа **\Chapter 07\Prediction_16_GDP_Estimates.py**).

В модели 1972 года из «*Пределов роста*» понятие «ВВП» вообще не использовалось, поэтому для сравнения пришлось создать синтетическую кривую по сумме промышленных товаров, услуг и продовольствия на душу населения. Авторы «*Пределов роста*» объясняли, что методики подсчёта ВВП несовершенны, оттого не учитывают хозяйство, не включённое в рынок, например, продовольствие с приусадебных участков и фермерских хозяйств, использованные для личного потребления. С другой стороны, современный ВВП включает продукты нематериальные, с большим упором на «услуги», оттого, вероятно, завышен. Я не знаю, что побудило Йоргена Рандерса изменить своё мнение о ВВП и добавить его в модель 2012 года. В этой книге

мы этот показатель использовать в дальнейшем не будем из-за проблемы необъективности калибровки.



Последние два графика демонстрируют уровень жизни среднего землянина в 2052 году при условии реалистичного предела развития ВИЭ и урожайности.

Итак, 2052 год.

На планете проживает 9.5 млрд человек, из них порядка 4 млрд живёт в городских трущобах. Качество жизни в последних варьирует от «почти цивилизованное место, только за водой полкилометра на колонку» до «откровенная клоака».

Среднее потребление энергии высокой концентрации прошло пик в 2028 году (около 1'900 кг нефтяного эквивалента в год на душу) и с тех пор снизилось до 1'450 кг. Примерно 2.5 миллиарда землян, в том числе из бывшего «золотого миллиарда» и Китая, потребляют порядка 5 кВт мгновенной мощности на душу, а остальные 7 млрд человек довольствуются мощностью не более 0.5 кВт. Крупная тяжёлая промышленность (химическая, сталелитейная, цветные

металлы) осталась лишь в КНР и некоторых странах ОЭСР – и вероятно в России – а весь остальной мир осваивает мелкосерийное и полукустарное производство, в том числе из вторсырья.

Пик производства сельхозпродукции на душу населения прошёл по факту в 2013 году (1'100 кг рисового эквивалента на душу в год), и с тех пор производство снизилось до 700 кг, то есть к уровню 1950-1955 годов. Как и в 1950-х, продовольствие распределяется крайне неравномерно. Около 4 млрд землян потребляют комфортабельные 3 кг в сутки, даже используя часть этой еды для международной торговли и производства биотоплива. Остальные 5.5 млрд имеют в день по 2'000 ккал и минимум белка. Но и тут распределение неравное: кому-то 2'700 ккал, а кому-то 700, как в Освенциме. Приблизительно 1 млрд человек (половина из них в Африке) находятся на грани голода, а международные организации отказывают в продовольственной помощи («самим не хватает!»), что на отдельных территориях приводит к регулярным голодоморам. Несмотря на голод и высокую детскую смертность, общее население планеты начнёт снижаться не ранее 2055 года, так как на волне кризиса 2030-х резко увеличилась рождаемость, особенно в малоразвитых странах.

Пик ВВП на душу населения прошёл по факту в 2012 году (28 американских долларов образца 2010 года на душу в день). В 2052 году средний землянин имеет товаров, продовольствия и услуг на $13, то есть «средний» уровень жизни вдвое ниже, чем в 2012. Конечно, понятие «средний уровень жизни» в условиях непрерывно сокращающихся природных ресурсов применимо плохо, оттого возрастает и социальное неравенство. Практически, 0.5 млрд имеют доходов по $80 тыс в год, а остальные 9 миллиардов – доллар в день и банан в качестве премии.

Нарисованная выше картина вам не нравится? Мне тоже! Но поспешу вас заранее огорчить: реальная ситуация может оказаться ещё печальнее. Дело в том, что приведённые расчёты требуют соблюдения одного условия: пик добычи угля и природного газа не ранее 2035 года. Как именно обстоит дело с этим условием, рассмотрим ниже, а пока можно подвести итоги главы:

- В 2012 году Й.Рандерс опубликовал тотально переработанную модель *World3*, названную *NewWorld*. Основной целью работы было донести до общественности печальный факт, что развитие человечества идёт близко к базовой модели 1972 года, и коллапс начнётся в пределах жизни этого поколения.
- Чтобы не вызвать у целевой аудитории реакцию отторжения, как с предыдущими книгами, автор применил хитрый приём: намеренно ввёл в модель сверх-оптимистичные предположения в области контроля рождаемости, развития возобновляемых источников энергии, отсроченного «Пика нефти» и почти неограниченного повышения урожайности в сельском хозяйстве. Прогноз в книге намеренно

«обрублен» 2050 годом. Потенциальные критики книги привлекались к написанию отдельных эссе, включённых в общий текст.

- Даже в оптимистичных предположениях, уровень жизни «золотого миллиарда» заметно снижается, а более 3 миллиардов населения Земли – в так называемых «странах ROW» – проваливаются в полную нищету на грани физического выживания. В относительном выигрыше окажется только Китай и некоторые «страны с сильными экономиками», в том числе Россия. Уровень жизни в России образца 2052 года будет примерно как в Китае-2010, а уровень жизни Китая – как в России 2010 года.
- Если применить в модели реалистичные предположения о технологической доступности возобновляемых источников энергии (не изменяя оптимистичные прогнозы нефти, газа и угля), к 2100 году вероятен коллапс населения планеты до 4-6 миллиардов, из которых теперешний уровень жизни сохранят всего сотни миллионов.
- В следующие 40 лет социальная стратификация будет нарастать. Мы увидим отрицательную социальную мобильность (так называемый «социальный мусоропровод» – в противоположность «социальным лифтам» – например, из «среднего класса» в пролетарии), размывание государственных социальных гарантий и обнищание большинства населения. При резком обогащении немногих избранных.
- Как и модель *World3*, модель Рандерса «гладкая», то есть не учитывает вероятные социальные потрясения, избежать которых будет достаточно сложно.
- «Средняя» демографическая модель ООН вряд ли реализуется в любых предположениях. Скорее всего, население Земли не превысит 9.5 млрд человек. Вероятно, в следующие 20-30 лет население будет следовать чуть ниже «средней» модели ООН (2014 года), а обвал популяции наступит после 2055. Важнейшим фактором ограничения популяции в беднейших странах с населением около 4-5 млрд человек будет недостаток продовольствия.



Глава 8. Заколдованный пик

Я включил двигатель, и машина весело покатилась к холму. Спидометр принялся отсчитывать километры, шины шуршали по колючей траве... Так мы ехали минут двадцать. Когда спидометр показал, что пройдено пятнадцать километров, Хлебовводов спохватился:

— Что же это получается? — сказал он. — Едем, едем, а холм где стоял, там и стоит. Поднажмите, товарищ водитель, что же это вы, браток?

— Не доехать нам до холма, — кротко сказал комендант. — Он же заколдованный, до него и не дойти... Только бензин даром сожжём.

– А. и Б. Стругацкие «Сказка о тройке»

Неоднократно заявлялось, в том числе и уважаемыми авторами «*Пределов роста*», что «точного» значения доступных человечеству геологических ресурсов мы не знаем. Это, конечно, правда, но правда не вся. Разберём на примере.

Когда я вижу незнакомую канистру для бензина, не могу сказать точно: двадцать литров или тридцать. Более того, не прикасаясь к канистре, не могу сказать: бензина на донышке или под пробку. Я же не Вольф Мессинг! Одно знаю железобетонно. Кубометра бензина в канистре нет. Для этого Альбертом Эйнштейном быть не надо, а можно вспомнить арифметику из начальной школы. Кубометр – это кубик с размером ребра 1 метр, а незнакомая канистра – явно меньше метра по каждому из трёх измерений.

Спорить с приятелем, сколько в канистре бензина: пять литров или двадцать пять – непродуктивно, но хотя бы интересно. Спорить, есть ли там 1'000 литров или всего 990 – глупо.

Теперь представьте, я уже повертел канистру в руках, ознакомился с надписью на пробочке: «25 литров», пару раз заправил лодочный моторчик. Можно спорить, осталось ли в канистре 14 литров бензина, или всего 10. «Точно» мы не знаем. Споры могут быть жаркими и вполне конструктивными: каков объём бака у мотора? Сколько там было до первой заправки? Каков расход на сто километров плавания? Можно усовершенствовать технологию наших оценок: померить уровень палочкой, либо взвесить канистру (тут же споры об арифметической точности и плотности горючего). Вдруг, кто-то наивный заявляет: «В канистре – бесконечное количество бензина! Мы же заправились два раза – бензина хватило. Значит, и дальше будет всегда хватать. Исторический опыт». Ошибку формальной логики найдите сами.

Определившись с объёмом канистры и длиной маршрута, пессимист станет готовить потихоньку вёсла, чтоб когда бензин кончится, догрести куда требуется. Реалист достанет вёсла сразу: и упражнение, и сэкономим бензин

на всякий пожарный случай. Оптимист отправится в плавание без вёсел вообще, в надежде, что посреди озера дежурят спасатели с запасной канистрой бензина.

В этой главе мы будем употреблять геологические термины, которые требуют пояснения для не-геологов (а геологи могут до формулы {8.1} пропустить, но прочитайте-таки определение «месторождения»).

Нефть не сидит под землёй в пещерах, а распределена по объёму. В горных породах (не употребляйте слово «камни») существуют пустоты: поры и трещины. Объём соединённых пор в среднем на кубометр породы называется эффективной пористостью и измеряется в безразмерных единицах. Например, φ_e=0.100 означает, что в кубометре породы ровно 100 литров соединённых пор[83]. В порах сидит, в основном, вода, а углеводороды присутствуют по желанию. Объём воды, поделенный на объём пор, называется **водонасыщенностью** и тоже записывается в безразмерных единицах. В России использовалась буквочка $К_в$, но мы будем использовать международное обозначение S_w. Если S_w равно 0.300, то при пористости 0.100 в кубометре породы (1-0.3)×0.1×1'000=70 литров нефти (или газа). Это называется **геологические запасы**.

Если порода глинистая, часть воды может быть извлечена только выпариванием, либо помещением породы в вакуум или ультрацентрифугу. Этот объём называется **остаточной водонасыщенностью** S_{wirr} ($К_{во}$). Наконец, часть нефти тоже крепко цепляется за породу и может быть извлечена лишь с использованием большого количества энергии (например, размолоть породу и полить щелочью). Называется **остаточной нефтенасыщенностью**, S_{or} ($К_{но}$)[84].

Наконец, нефть сидит под землёй при повышенных температуре и давлении. Когда выходит на поверхность и остывает – меняется в объёме. Каково изменение – зависит от вида нефти и глубины залежи. Коэффициент B_o варьирует в широких пределах: от 1.0 для «мёртвой» нефти на малых глубинах до 3.0 у лёгких и летучих сортов на больших[85].

Если S_{or}=0.400, то всего можно извлечь (1-0.3-0.4)×0.1×1'000=30 литров нефти. Это – **технически извлекаемые запасы**. Отношение технически-извлекаемых и геологических называется **техническим коэффициентом извлечения нефти**, $КИН_т$. В нашем примере $КИН_т$ = 30/70 = 0.43.

Любой объём горной породы, где $1-S_w-S_{or} > 0$ – называется **продуктивной залежью** (ещё используются термины «пласт» и «продуктивный горизонт», хотя и не совсем верно). Геологические запасы[86], технически-извлекаемые запасы и $КИН_т$ выражаются формулами:

83 Есть ещё не соединённые поры (ваги), но они роли не играют.

84 Для газа условно считается, что остаточные объёмы определяются атмосферным давлением.

85 Есть ещё формулы для газа и газового конденсата, но мы загромождать книгу не будем. Желающие могут обратиться к специальной литературе.

86 Геологические запасы ещё называют STOIP (Stock Tank Oil In-Place)

$$UR = \frac{V \cdot \varphi \cdot (1 - S_w)}{B_o}$$ – геологические запасы (ultimate reserves)

$$URR = \frac{V \cdot \varphi \cdot (1 - S_w - S_{or})}{B_o}$$ – технически-извлекаемые (ultimate recoverable)

$$КИН_T = \frac{URR}{UR} = max\left(0, 1 - \frac{S_{or}}{1 - S_w}\right) \quad \{8.1\}$$

Одна или несколько продуктивных залежей, собранные в какой-либо географической точке, называются **месторождением**. В этом месте чистая геология кончается, и начинается экономика и инженерное дело. Представьте себе одинокую залежь размерами 500×500 м и **мощностью** (у геологов слово «толщина» зарезервировано для троллей) 10 м. Пусть пористость, S_w и S_{or} – как в примере выше. Тогда технически-извлекаемые запасы 500×500×10×30=75 млн литров, или 470 тыс баррелей. Для простоты положим, что всю нефть можно добыть одной скважиной за 40 лет (о дебитах реальных скважин поговорим позже). Является ли залежь месторождением?

Пусть текущая цена нефти $50 за баррель, а географическая точка залежи – на кукурузном поле Джо Смита, в штате Юта. 470 тыс баррелей = $23.5 млн. в текущих ценах. Дорога? К ферме Смитов уже проложена дорога. Электричество? Вот сельская ЛЭП. Жильё? У Джо – большой дом. Транспорт? На ферме есть трактор и два грузовика. Продовольствие? Я же сказал: «на кукурузном поле». Привезти простейшую буровую и пробурить скважину – скажем, миллион долларов. Ещё миллион – оборудование скважины: обсадная колонна, насосно-компрессорные трубы, насос-качалка, сепаратор и так далее. После сдачи скважины в эксплуатацию стоимость добычи определяется текущим ремонтом и ценником цистерны-нефтевоза, три раза в неделю забирающего продукт. Джо считает чистую прибыль: более $20 млн за 40 лет, то есть по пол-лимона в год. Недурственно! Залежь является месторождением, и нужно бурить. Более того, после бурения эта залежь будет оставаться месторождением при любой цене нефти на рынке. Если невыгодно продавать, Джо просто на какое-то время остановит скважину. Охрана оборудования и ремонт фермерской дороги выполняются параллельно с обработкой кукурузного поля.

Теперь предположим, что залежь находится не в Юте, а на ~~*планете Шелезяка*~~™ Аляске. До ближайшего жилья – 300 км, до ближайшей дороги – 100 км по безлюдной тундре, ЛЭП нет, *ничего нет*. Естественно, кроме буровой понадобится ещё бригада строителей, чтобы отсыпать грунтовку. Возить нефть на вездеходе или на вертолёте или разгребать зимник – себе дороже. Стоимость бурения выше, арктическое оборудование тоже стоит больше. Скажем, освоение и эксплуатация обойдутся не в 3.5 млн баксов, а в 10. При цене нефти $50 за баррель залежь кое-как является месторождением.

При цене $20 за баррель заморачиваться не стоит, только деньги потратите. Более того, если дорога уже построена, а скважина пробурена – оборудование посреди арктической пустыни требует ухода и охраны. Летят вертолёты – *привет ~~Мальчишу~~*™ техникам, охранникам, дорожникам и прочим вахтовикам. А что им ещё в тундре делать, не оленей же пасти… Если цена нефти упадёт ниже критической – вахтовиков увольняют, оборудование ломается или его разворовывают на запчасти. Когда цена вернулась обратно, запускать единственную скважину может стать неинтересно – смотря что своровали и насколько развезло дорогу. Залежь-то осталась, а месторождение – закончилось.

Наконец, наша маленькая залежь может оказаться посреди Тихого океана, с глубиной воды 3 км. Ясно, ни при какой цене нефти эту залежь разрабатывать не станут. Энергия в дизтопливе для буровой, топочном мазуте для пароходов, керосине для вертолётов, угле для выплавки стали и так далее намного превышает энергию 470 тыс баррелей, что можно из залежи добыть. Шансов превратиться в месторождение у этой одинокой залежи нет. Ни при каких обстоятельствах[87].

С твёрдыми энергетическими ископаемыми: углём и битумом – ситуация точно та же, что и с жидкими и газообразными, только формулы подсчёта немного другие. Залежь угля 500 тыс тонн безусловно является месторождением, если на глубине 200 м в индустриальной Англии. Она же, расположенная на глубине 600 м посреди «задворков» Австралии (до ближайшей автодороги – 450 км) может быть, а может не быть месторождением в зависимости от текущей цены энергоресурсов. И она же никогда не станет месторождением, если расположена под километровым панцирем льда в Антарктиде.

В своей знаменитой статье 1956 года [19], Марион Кинг Хабберт[88] сформулировал три условия, которым должна удовлетворять кривая добычи (геологи говорят: «дебита») отдельной нефтяной скважины, залежи, месторождения, всех месторождений одной страны или всей планеты. Как и с «*Эссе о природе народонаселения*» Мальтуса, статья Хабберта быстро обросла мифами и городскими легендами. Цитировать не умеющих читать «последователей» мы не будем, а обратимся к первоисточнику, лишь добавив данные, добытые геологами за прошедшие с момента публикации 60 лет. Вот три условия, как изложено в статье:

1. На минус бесконечности по времени дебит равен нулю.
2. На плюс бесконечности по времени дебит равен нулю.
3. Функция дебита ограничена в любой момент времени. В самом деле, скважин или месторождений с бесконечно большим притоком быть физически не может.

87 Надо ли объяснять, что доставка энергетических полезных ископаемых на Землю из космоса имеет смысл лишь для какого-нибудь тития?

88 M.K.Hubbert. Существует русское написание «Хубберт». С точки зрения произношения и стандартной транслитерации это неверно. Тогда английская фамилия писалась бы «Hoobbert».

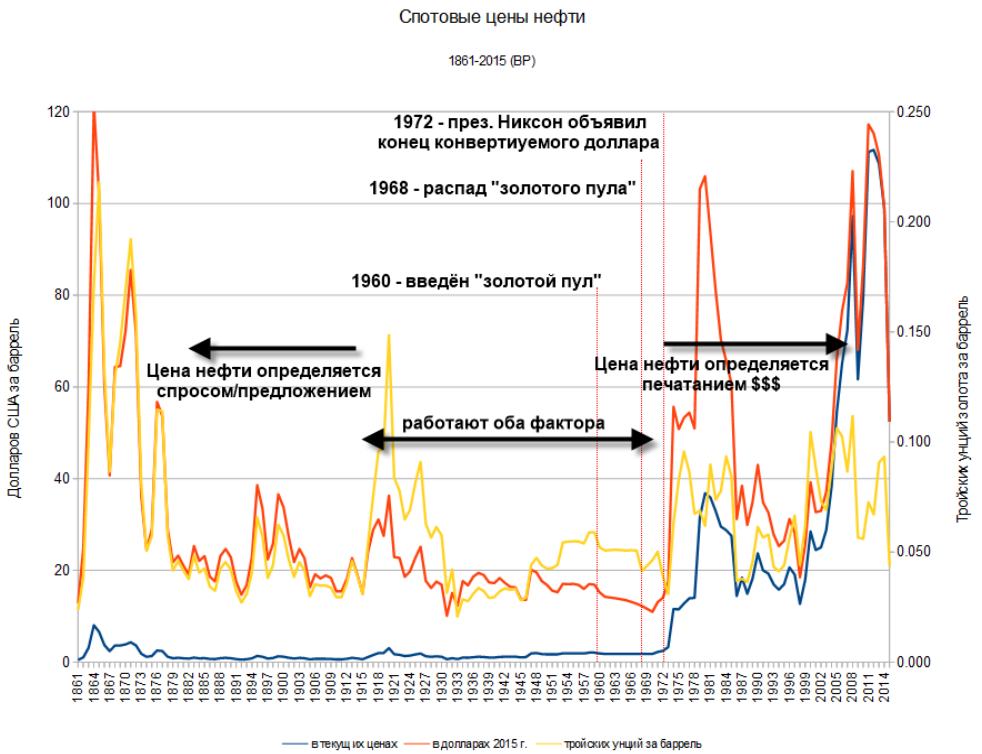
Отсюда следует очевидный математический вывод для максимальных извлекаемых запасов (UUR):

$$URR = Q_{\infty} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial Q}{\partial t} dt \quad \text{– ограничен} \qquad \{8.2\}$$

Для помнящих теоремы Вейерштрасса, написанное выше – не более чем математическая тавтология, однако даже некоторым инженерам образца 1956 года это не было очевидно. Не очевидно это многим и 60 лет спустя.

Отсюда простое следствие: если в вашей системе дифференциальных уравнений производная извлечения минеральных ресурсов от времени не обращается в ноль на плюс и минус бесконечности – реальную природу ваша модель не описывает, как бы вы не старались.

Всё выше сказанное не относится к сфере финансов. После того, как бумажные деньги оторвали от золотого эквивалента, бумажек можно напечатать очень много. А теперь ассигнации заменили электронными импульсами в памяти компьютера – и любая бесконечность стала доступна. Ниже приведена цена нефти на спотовом рынке с 1861 года. Красная кривая – в пересчёте на доллары образца 2015 года, с учётом инфляции. Жёлтая – цена нефти в тройских унциях золота.

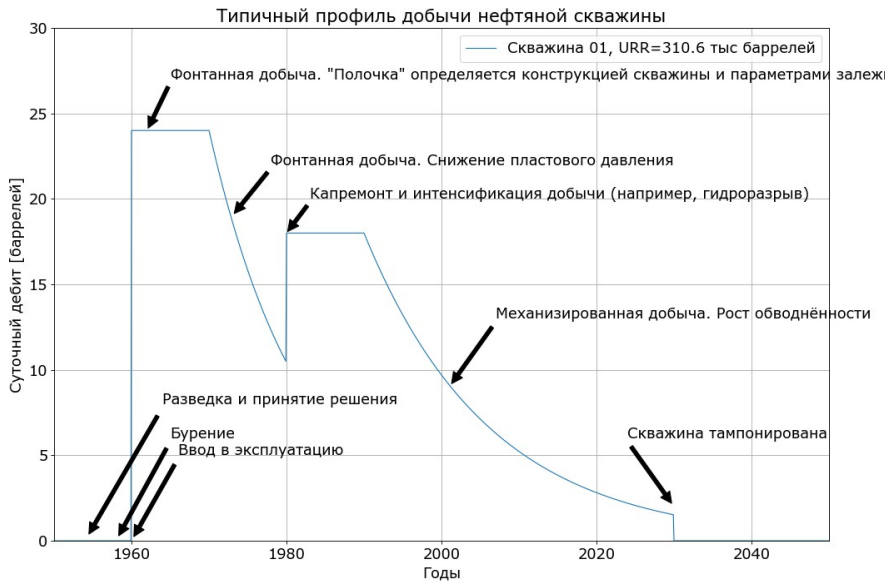


Кто сказал, что $50 за баррель – «дёшево»? «Дёшево» – это $10.98 в 1970 году[89]. Кто сказал: «скачок цен на нефть в 2007»? После Первой Мировой цена в золоте была выше.

Первое следствие постулатов Хабберта: цена (денежное выражение) стоимости минеральных ресурсов зависит как от добычи/потребления, так и от скорости увеличения денежной массы. То есть, творчески меняя скорость печатного станка, ценник минерального ресурса можно сделать абсолютно любым.

В Интернете, да и в серьёзных экономических статьях, циркулирует множество заявлений «экспертов», начинающих комментарии словами: «Если цена нефти пойдёт вверх, то…» или, эквивалентно: «Если цена нефти двинет вниз, тогда…» После этих слов можно найти даже вполне достойные предсказания. Когда читаете такое, заменяйте контекстно: «цена нефти» на «денежная эмиссия США» – и картина мира моментально прояснится. Например заявление: «Если цена нефти пойдёт в верх, «сланцевые» компании выживут» следует читать: «Если США объявит новый QE, «сланцевые» компании выживут, а если не объявит – сдохнут».

Установив, что цена нефти в долларах важна, но не является истиной в последней инстанции, вернёмся к условиям Хабберта. Далее мы будем полагать, печатный станок работает в штатном режиме, а все деньги приводятся к условным долларам 2015 года. На нашем месторождении дяди Джо в Юте, единственная скважина может работать, как показано в программке **\Chapter 08\Test_01_Well.py**



В 1955 году сейсморазведкой обнаружили потенциальную структуру, но есть

89 Или $1.80 в долларах 1970 года. Это не за три литра нефти, а за 159.

там нефть или нет – неизвестно. В 1960 тридцатилетний фермер Джо принял решение: бурить! Пошёл в банк и взял ссуду. Приехала буровая бригада с вышкой и за несколько недель сделала требуемую дырку в земле. Из дырки вытекает каждый день по 24 барреля нефти. Называется «фонтанная добыча», хотя никакого фонтана нефти на кукурузном поле, конечно, нет. Фонтаны били в 1870, когда на экологию всем было плевать, а в 1960 это означает, что нефть течёт в сепаратор сама, подталкиваемая из залежи пластовым давлением. Ограничение в 24 барреля – от мощности (толщины) пласта, проницаемости пород и конструкции скважины.

Сразу заметим, что профиль добычи единственной скважины Джо удовлетворяет условиям Хабберта: до 1960 – ноль, и после 2030 – тоже ноль, а сверху дебит ограничен 24 баррелями в сутки.

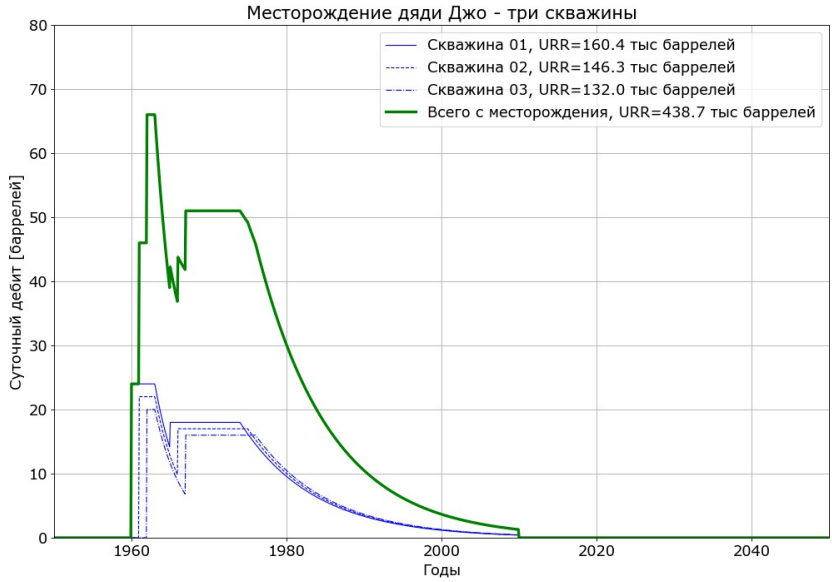
Если Джо ничего не знает про нефтедобычу, он предположит, что 24 барреля в сутки будут течь, пока нефть не кончится, то есть 470'000/24=19'500 дней, или 53 года. Как видим, его хитрый план получать по пол-ляма в год уже накрылся, но и $440 тыс – вполне приличные деньги. Однако в 1970 Джо обнаруживает, что нефти добывается всё меньше и меньше. Из-за понижения пластового давления, диаметр скважины и мощность пласта перестали быть ограничителями. В 1980 (двадцать лет прошло) бодрый пятидесятилетний Джо Смит из накопленных денег проводит гидроразрыв пласта и ставит насос-качалку с электроприводом. До 1990 скважина даёт по 18 баррелей в сутки, то есть стабильный доход $330 тыс в год.

Далее начинается неуклонный спад производства. Насос-качалка по-прежнему подымает в сутки 18 баррелей, но там всё меньше и меньше нефти и всё больше и больше воды. В 2000 году сорокалетний Бубба Смит-младший, сын-наследник умершего в семьдесят лет Джо Смита, добывает менее 10 баррелей ежедневно, и его доход – $180 тыс годовых. В 2020 скважина будет добывать менее 3 баррелей в сутки и официально станет «стриппером», то есть умирающей скважиной, а Бубба – типичный богатенький пенсионер среднего класса с годовым доходом около $50 тысяч. Наконец, в 2030 насос-качалка в последний раз сломается, чинить бесполезно. Семидесятилетнему Смиту-младшему придётся выложить последние сбережения, чтобы привести территорию в порядок и подчистить розливы. Сорокалетний Джо Смит III получит в наследство всё то же кукурузное поле, а посередине – стальной обрубок обсадной колонны. И станет снова фермером.

Общая добыча из скважины составит 310 тыс баррелей, то есть реальный «экономический» $КИН_э$ = 310/1'100 = 0.28, что гораздо меньше чем подсчитанный выше $КИН_т$ = 0.43. Чистая прибыль за 70 лет – $13 млн. Что можно сделать, чтобы повысить $КИН_э$? Провести повторные гидроразрывы, а ещё лучше – пробурить ещё две скважины, как в программе **\Chapter 08\Test_02_Well.py**.

В 1962-1964, Джо Смит имел миллионные доходы, да и до середины

восьмидесятых совсем не бедствовал. Зато в 2000 году Буббе Смиту-младшему старик оставил три «стриппера» посреди кукурузного поля, доход в $65 тыс годовых и расписку, что сынок приведёт природу в порядок. Вплотную заняться сельским хозяйством семейке Смитов придётся уже в 2010, а Джо Смит III вырастет не миллионером, а обычным деревенским пацаном (надеемся, дедушка не потратил всё на баб и «Феррари», а отложил внуку полмлимона баксов). Заметим, что в маленькой залежи (500×500 м) две жадные соседки отобрали у первой скважины около 150 тыс баррелей суммарной добычи.



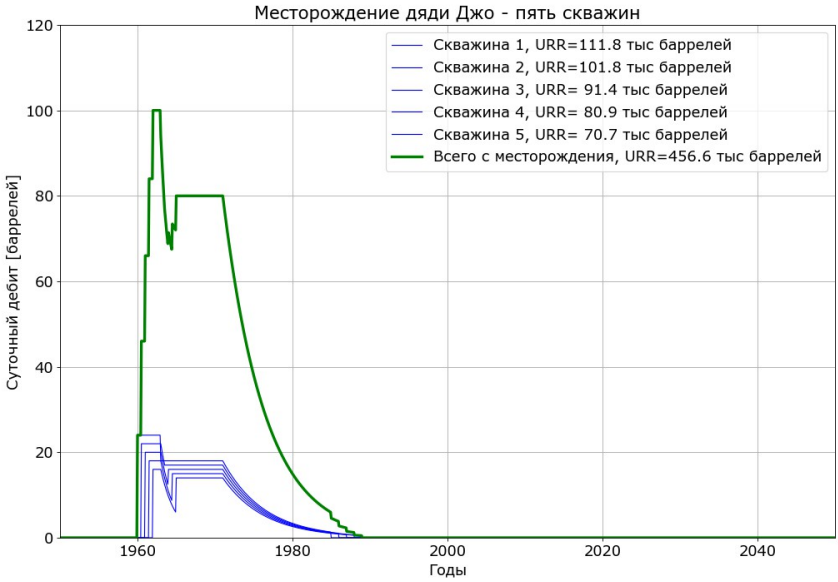
На две лишние скважины и дополнительное оборудование потрачено ещё три миллиона. Общая добыча составила 440 тыс баррелей, реальный $КИН_э$ = 440/1100 = 0.40. Чистая прибыль за 50 лет – $15.7 млн, то есть деньги потрачены не зря! Опять-таки, зелёненькая кривая добычи асимметрична, но удовлетворяет условиям Хабберта.

Что произойдёт, если пробурить не три, а пять скважин? Программа **\Chapter 08\Test_03_Well.py**

Получается, последние две скважины мы бурили за 18 тыс дополнительных баррелей добычи. Общая добыча из 5 скважин составила 457 тыс баррелей, реальный $КИН_э$ = 457/1'100 = 0.42 – выше головы ($КИН_т$) не прыгнешь. Чистая прибыль за 25 лет – $13.4 млн. Помните, что наши деньги условные, и всё приводится к долларам 2015 года? Значит, на двух дополнительных скважинах мы потеряли деньги, а программа бурения трёх скважин была оптимальна.

Предположим, Джо Смит в 1955 структуру открыл, но бурить не стал. В 2010 Бубба Смит-младший продал унаследованную ферму нефтяной компании. Эти

не стали бурить ни пять скважин, ни три, а пробурили одну «суперскважину», слегка сэкономив время и деньги на бурении, но не жалея денег на гидроразрывы и обсадную колонну[90].



Давайте поглядим, что получится, если применить «новейшие» технологии[91]. Программа **\Chapter 08\Test_04_Well.py**

Горизонтальная скважина пронзает нашу залежь из конца в конец, немедленно после спуска колонны выполняется 10-стадийный гидроразрыв, то есть наша единственная скважина эквивалентна как минимум сорока «классическим» скважинам Джо Смита из 1960 года, а начальный дебит – 1000 баррелей в сутки. На дебите 200 – спускают погружной электронасос.

Извлечено меньше, чем тремя скважинами. Через десять лет на кукурузном поле торчит тот же стальной обрубок… Я сказал: «кукурузном поле» – и поторопился! При многостадийном гидроразрыве под землю закачали пару тонн метанола и десять тонн лигроина. Потом, согласно технологии, вода с химией вернулась на поверхность! Что метанол делает с природой? Спросите у знакомого химика.

Если вы считаете эту историю грустноватой, не печальтесь. Семейка Смитов в одном поколении была миллионерами. А мы перейдём к месторождениям в 10

90 Стоимость колонны пропорциональна длине скважины, а не вертикальной глубине. В вертикальной скважине делают один гидроразрыв, а в горизонтальных – несколько (так называемых стадий). Экономится несколько часов «постановки на скважину», а рабочее время на каждую «стадию» и химикаты – те же, что и для одиночного разрыва вертикальной скважины. И вообще, одна технически-сложная горизонтальная скважина необязательно дешевле нескольких простых вертикальных с тем же суммарным дебитом.

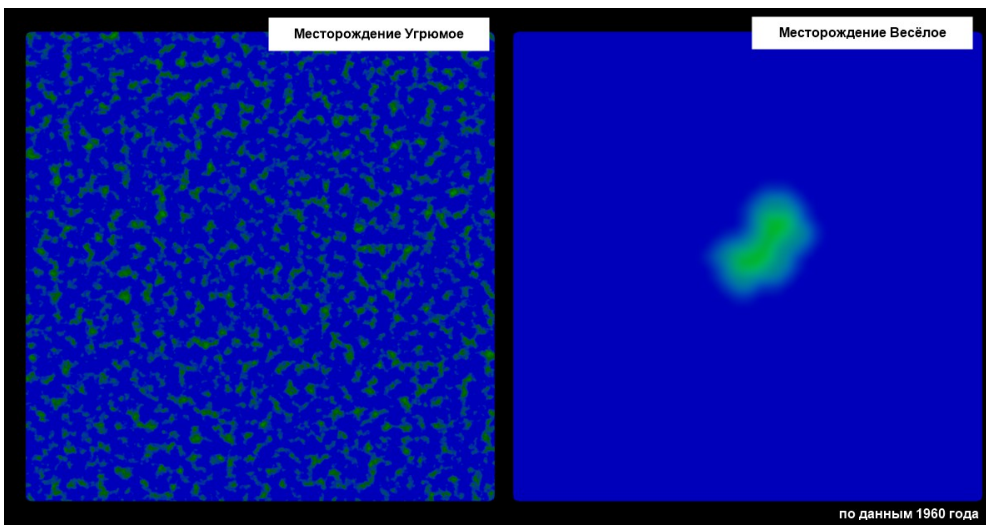
91 Ниже будет показано, «новейшие» они условно. Гидроразрыв известен Прогрессивному Человечеству с середины XIX века.

раз больше по линейным размерам.



Итак, месторождение Весёлое состоит из одной залежи размерами примерно 5000×5000 м и мощностью 100 м. Пусть эффективная пористость 0.200, S_w=0.300 и S_{or} = 0.300, а B_o=1 – для простоты вычислений. По формулам {8.1} подсчитаем:

- Геологические запасы. 5000×5000×100×0.2×(1-0.3) = 350 млн кубометров, или 2.20 млрд баррелей.
- Технически-извлекаемые запасы. 5000×5000×100×0.2×(1-0.3-0.3) = 200 млн кубометров, или 1.25 млрд баррелей.
- Предельный $КИН_т$ = 200/350 = 57%



Месторождение Угрюмое тоже имеет 1.25 млрд извлекаемых, но представляет собой 2500 маленьких залежей класса «дядя Джо» из примера выше, по 0.5 млн баррелей каждая. Залежи разбросаны на площади 250×250 км. Геологические запасы Угрюмого даже выше, чем у Весёлого: 2.90 млрд баррелей. Это оттого, что $КИН_т$ ниже: 0.43 – как в прошлом примере.

Ясное дело, Угрюмое может надёжно считаться «месторождением» только в местах, где есть дороги, жильё и прочие прелести цивилизации – например, в штате Юта. На Аляске та же группа залежей может быть, а может не быть месторождением, а посреди Тихого океана – это и не месторождение вовсе, смотрим логику выше. Весёлое является «месторождением» и в обжитой Юте, и в приполярной Аляске независимо от рыночной конъюнктуры, а в Тихом океане может быть, а может не быть месторождением, в зависимости от текущей цены ресурсов.

Какое месторождение будем разрабатывать первым?

Тут мы подходим к ещё одной интересной аналогии: о плотности энергии. Представьте, что вам надо поставить избушку-пятистенку посреди строевого леса. Строевого – как в армии. Ровненькие сосны стоят поротно. «Управление прямо, остальные напра-а-во!» При наличии нескольких мускулистых парней, растущих из плеч рук и бензопилы (с той самой канистрой) – задачка имеет, как говорят математики, нетривиальное решение. За конечное время **Т**, валим конечное число сосен **С** и строим ненулевую избушку **И**.

Теперь представьте, вы ведёте строительство не в строевом лесу, а в лесостепной зоне. Для простоты те же звенящие на ветру сосны, но расстояние между отдельно-окопавшимися деревьями – 500 метров. Повалили первую сосну, уложили в сруб три бревна. Дальше, надо с бензопилой на плече пройти полкилометра, чтоб повалить вторую сосну. Ещё надо доставить брёвна к месту строительства. При том же количестве пряморуких мускулистых сапиенсов, за время **Т** повалить **С** не удастся. Ненулевая избушка **И** таки получится, но после огромных усилий, и покрыв лесоповальной активностью и брёвнотаскальным потом территорию в несколько квадратных километров.

Усложним задачу, как в армии. Даю вводную: вражеские сосны окопались с интервалом 5 км. Мне не нужно быстро и хорошо, мне нужно, чтоб ты… короче, ты понел. Тяжело в ученье – легко в бою. Но это в армии. Математик подсчитает, что та же бригада пряморуких прямоходячих будет строить избушку ну очень долго. Чтоб получить ненулевую **И** за приемлемое **Т**, бригаде понадобится четвёрка лошадей, или лучше – трактор.

Наконец, вводная из серии «миссия невыполнима». Пустыня Кирдык-Курум! Вместо строевых сосен, с интервалом 50 м произрастают кустики верблюжьей колючки. Кто сказал: древесина закончилась? Древесины ещё навалом,

ножками не ленись! Вот только при помощи одной бензопилы построить нетривиальную избушку-пятистенку из верблюжьей колючки тяжело. Решение **И** получается нулевым. При любом **Т**. Не оттого, что руки не оттуда, а потому что количество «концентрированных» сосен стало менее необходимо-достаточного **С**.

Оптимист заявляет: применим новые технологии. Великолепно. Размолоть колючку в щепки, залить эпоксидной смолой, наделать как-бы «брёвен»… Конечно. Только, на какой территории придётся проводить заготовки древесины, и сколько на это понадобится тракторов, лошадей и разумных сапиенсов? Избушка получается золотой, точнее, платиново-иридиевой. С брюликами.

В первую голову, решают трудозатраты. Хотя в реальной жизни надо ещё много чего учесть: политическую ситуацию в стране, наличие или отсутствие пресной воды в районе разработки, сейсмическую активность и так далее.

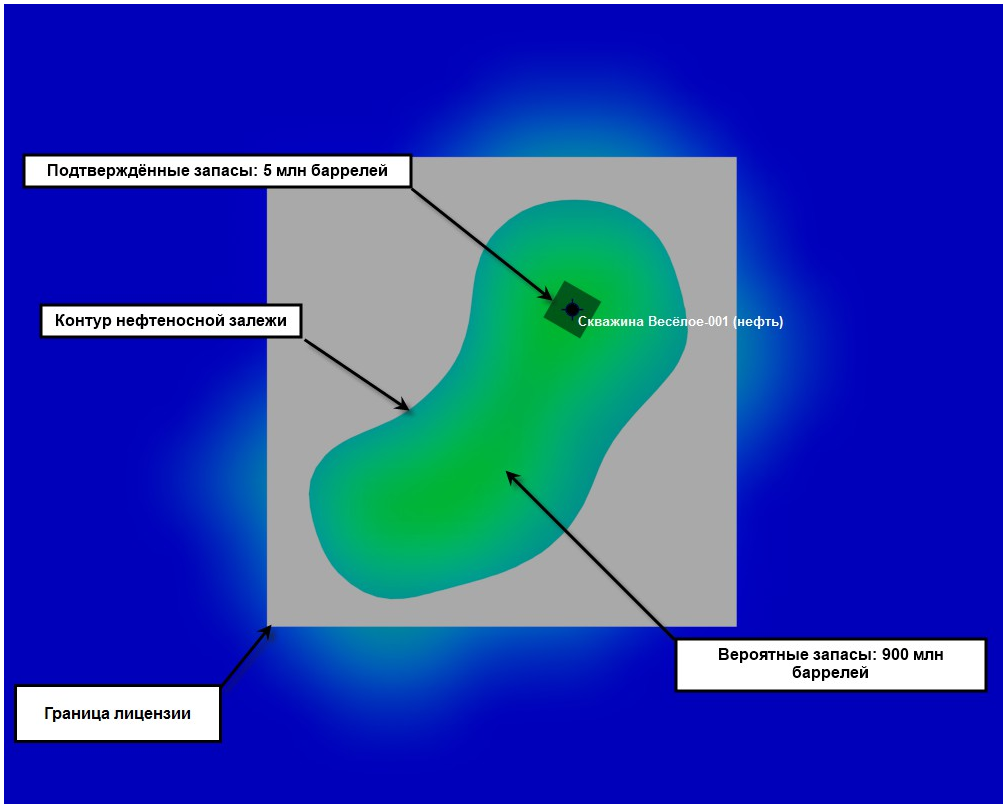
Если и Весёлое, и Угрюмое находятся в Юте, решение однозначно: Весёлое разрабатывается первым! Если Угрюмое в Юте, а Весёлое – в Тихом океане, Угрюмое опередит наверняка. А если Угрюмое в Юте, а Весёлое – на Аляске, возможны варианты.

Просто для примера, начнём с Весёлого (на Аляске). В 1960 году по данным сейсморазведки определили потенциальную структуру. В 1965 пробурили первую скважину. Эта скважина – разведочная, и нефти из неё добывать не станут. Точнее, добудут десяток тысяч баррелей и сожгут ярким факелом – называется **опробование**.



По данным геофизических исследований в скважине и опробования прикинут запасы залежи. В газете «*Нью-Йорк Таймс*» на второй странице статья: «Компания *Весёлая Нефть* открыла на Аляске месторождение с запасами более 2 млрд баррелей!» Заметим, что число в статье несколько меньше, чем посчитанные нами 2.2 млрд баррелей геологических запасов, но гораздо больше, чем 1.25 млрд запасов технически-извлекаемых. Вообще, слово «геологические» от «запасов» куда-то пропало. Публике про «извлекаемые» знать ни к чему. Однако и сказать: «мы нашли 10 миллиардов» нельзя. За намеренный обман инвесторов в Америке сажают.

Если бы месторождение Весёлое находилось в джунглях Амазонки, а компания называлась «*Дивертидо-Петролео*», газеты в Рио напечатали бы «НЕВЕРОЯТНОЕ ОТКРЫТИЕ!!! 200 МИЛЛИАРДОВ БАРРЕЛЕЙ!!!». В Латинской Америке ~~врать лохам~~ сообщать достоверную информацию уважаемым инвесторам – признак хорошего тона. А найдись Весёлое на просторах Западной Сибири, газета «*Известия*» написала бы просто: «Вчера в Кремле состоялось вручение Орденов Ленина геологам Пупкину и Калупкину за открытие крупного месторождения нефти». Циферки геологических запасов в СССР, и где что лежит – государственная тайна; за разглашение – сам поедешь на Колыму что-нибудь геологическое открывать.

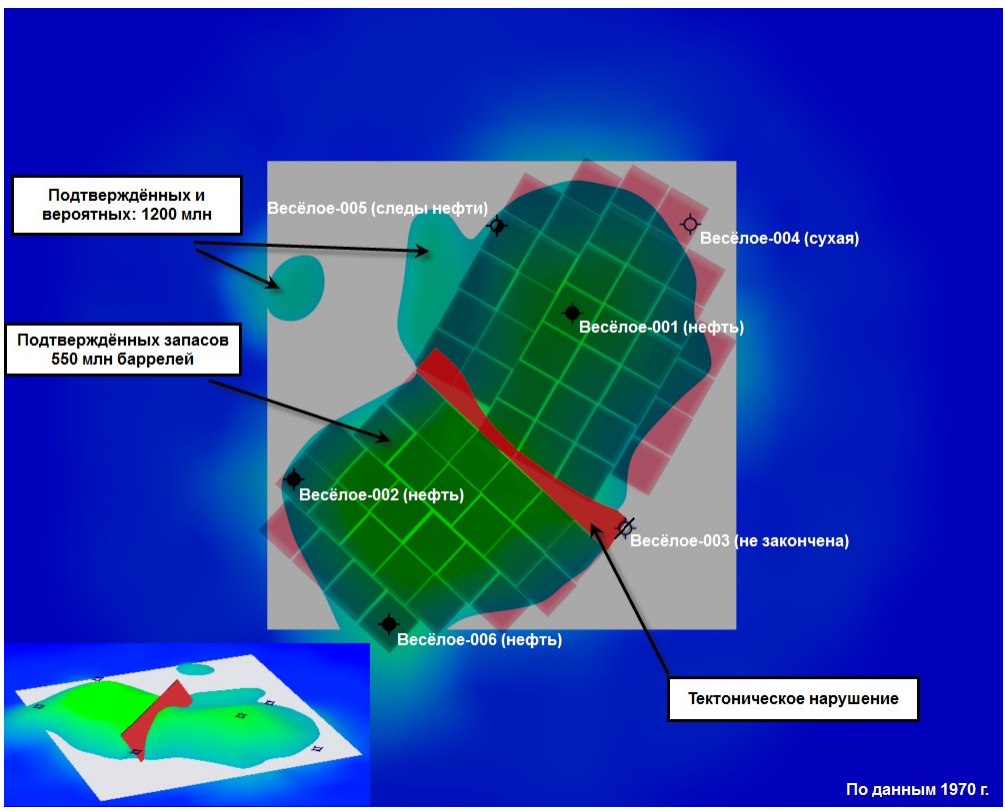


Но мы с нашим примером пока останемся на Аляске 1960-х годов. Помимо

громкой, но пустой статейки в «*Нью-Йорк Таймс*», компания «*Весёлая Нефть*» подаёт вполне официальные отчёты в геологическую службу USGS и в Комиссию по ценным бумагам SEC. Что там написано? «*Подтверждённые* извлекаемые запасы: 5 млн баррелей».

Всего пять миллионов баррелей? Ага. По правилам SEC 1960 года называть «подтверждёнными» можно лишь там, где у вас есть опробованная скважина! Причём, именно квадрат, а не круг или эллипс. Инженер-разработчик образца 2017 года заливается весёлым смехом: вот идиоты, они думают, что нефть течёт по квадратикам! Не хохочи, – говорит коллега из далёкого 1960, – мне бы твои компьютеры. Компы пока для военных и космоса, а мы считаем на арифмометрах, оттого и квадратик. Упрощение.

Более того, SEC всегда требовала (и сейчас требует), чтобы подтверждённые запасы были железобетонные! Вероятность добыть не меньше подтверждённых запасов в 1960 году была 100%. Больше добыть имеешь право, меньше – ни в коем случае. Если чуть меньше – штрафы, если сильно меньше – тюрьма. Не говоря уж о полном крахе геологической карьеры: если раз по-крупному соврал, в нефтяную компанию даже дворником не возьмут. На рубеже XXI века требование снизили. Теперь хотят вероятность 90%. Офисного планктона хватает, мало настоящих инженеров. За регулярное всовывание шеи в петлю платят неплохие деньги!

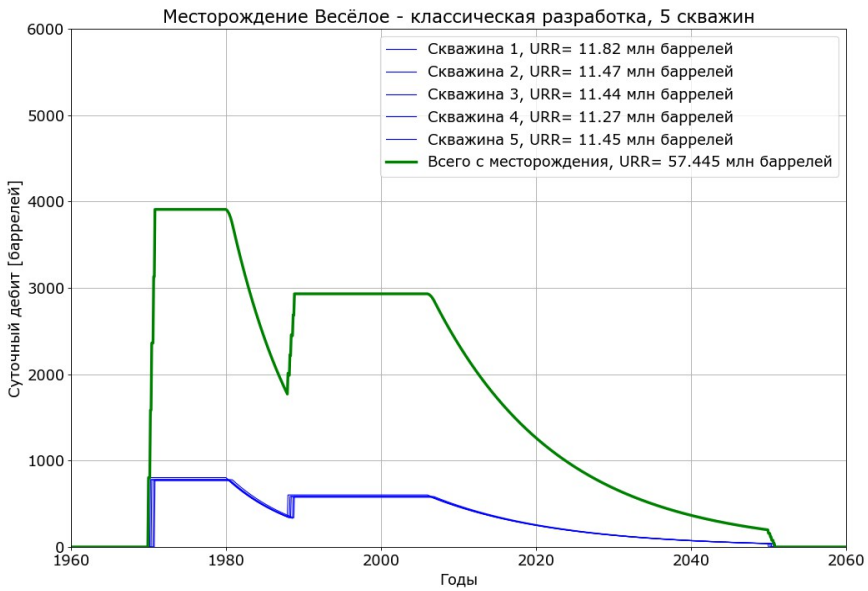


Однако время движется. В 1966-1967, Компания «*Весёлая Нефть*» подтаскивает к месторождению пару разведочных буровых и бурит ещё пять скважин **оконтуривания**, с опробованиями. Скважина номер 004 попадает в воду, на 005 – лишь следы нефти. Скважину 003 вообще не добурили из-за аварии, зато она обнаружила тектоническое нарушение – разлом, позже интерпретированный по сейсмике. Вероятные запасы подтверждаются, хотя и несколько не так, как представлено на картах 1960 года.

Далее следует планирование разработки, прокладка автодороги и трубопровода, отсыпка площадок, строительство заводика: установки комплексной подготовки нефти (УКПН), и тому подобное техническое творчество. В 1970 бурят первую добычную скважину, и далее каждые полтора-два месяца (а то и быстрее) – по новой дырке в земле. Добыча нарастает.

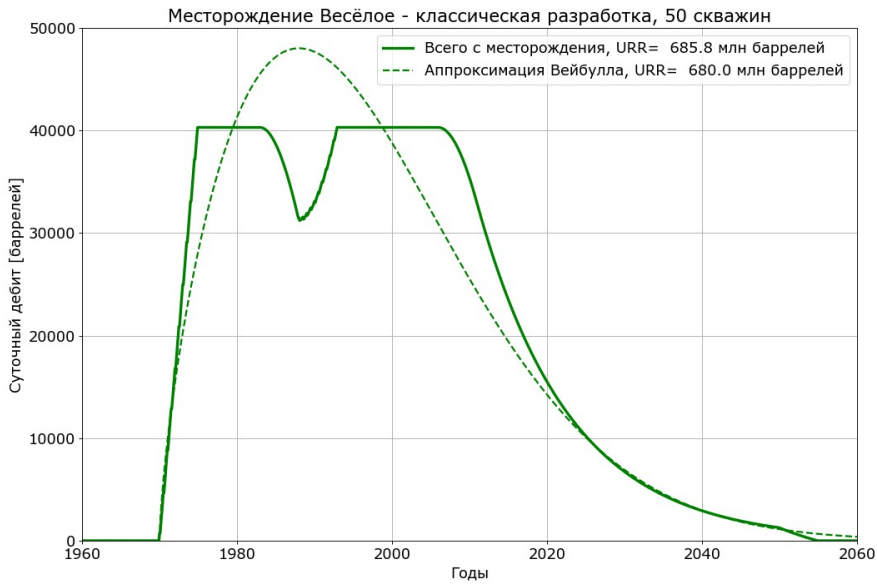
А сколько нужно скважин? В классической нефтянке используется понятие выработки ресурса. Всё крупное оборудование: обсадные колонны, задвижки, сепараторы и так далее, имеют характерную продолжительность жизни 40 лет[92]. Именно на это время и рассчитывают в среднем «полочку» добычи месторождения. Хотя, последние десять лет правило нарушают сплошь и рядом, но об этом ниже.

Считаем программкой **\Chapter 08\Test_05_Field.py** Если на Весёлом пробурить всего пять скважин, ничего хорошего не выйдет. КИН$_э$ ≈ 57.9/1'800 ≈ 3%. Слишком много нефти остаётся в земле!



92 Если хотите, можно использовать мировую константу 42, рассчитанную вице-президентом РАЕН С.П.Капицей.

Попробуем 50 скважин (индивидуально скважины рисовать не будем, чтобы не загромождать график). Программа **\Chapter 08\Test_06_Field.py**:



Уже получается вполне прилично. Общая добыча 680 млн баррелей за 90 лет, к 2050 году КИН$_э$ ≈ 680/1800 ≈ 38%. Консервативная нефтяная компания может принять проект за основу. Определился диаметр нефтепровода и производительность УКПН: 40 тыс баррелей в сутки. Подтверждённых запасов отрапортовано всего 550 млн, мы их добудем легко, SEC не оштрафует.

В нашем упрощённом примере, мы провели планирование разработки за четверть часа. На деле это может занимать пару лет интенсивной работы группы специалистов. Расписание бурения и положение скважин «полируют» до абсолютного оптимума; до хрипоты спорят, сколько скважин надо: 48 или 50, бурить ли скважину Весёлое-028 после Весёлое-022, или после Весёлое-039, и так далее. Самое интересное, что когда начинают бурить, все эти хитрые планы не работают. «*Первая жертва войны: ваш хитрый план боевых действий*», – как сказал Черчилль.

В бурении и освоении случаются аварии и прочие досадные промахи, оттого не всё идёт строго по плану, «фронт» слева несколько менее крут, и кривая статистически выравнивается. Валлоди Вейбулл в 1951 году предложил удобную кривую для описания реальной добычи из месторождения:

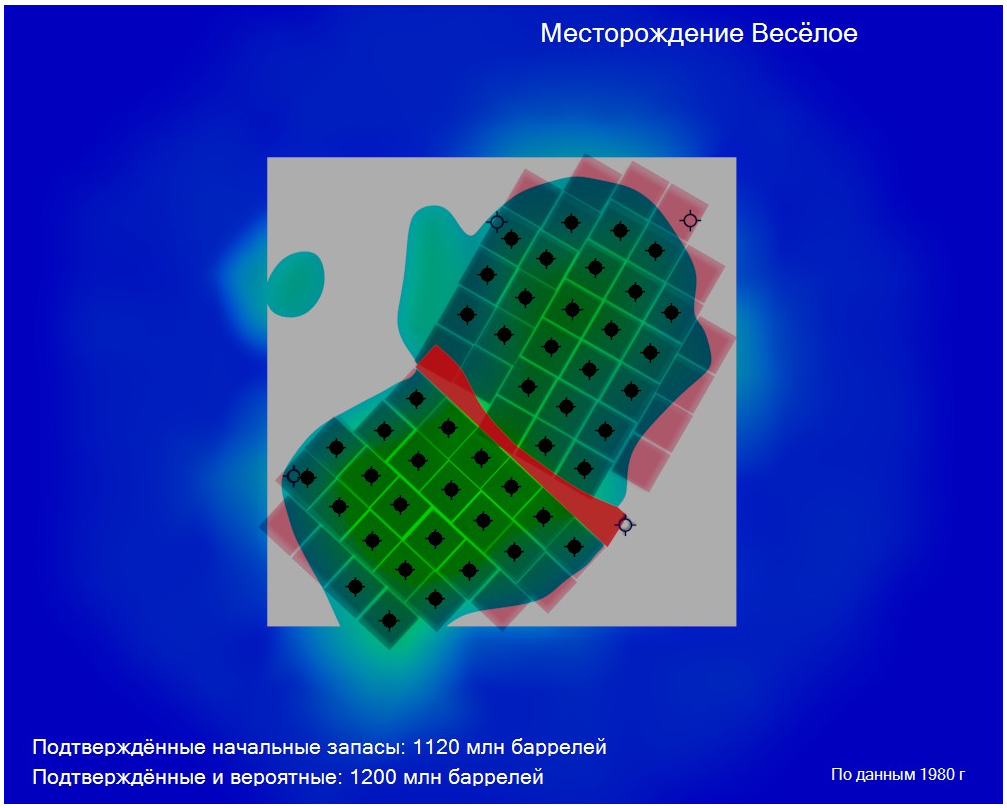
$$Weib(t)=\begin{cases} bk\left(b\left(t-t_o\right)\right)^{k-1} e^{-\left(b\left(t-t_o\right)\right)^k} & t-t_o\geq 0 \\ 0 & t-t_o<0 \end{cases} \qquad \{8.3\}$$

Здесь:

t – время в годах;
t_0 – начало промыслового бурения;
k – параметр формы;
b – вертикальный масштаб.

Заметим, что функция Вейбулла удовлетворяет критериям Хабберта {8.2}. Удобна она тем, что добыча месторождения начинается с конкретной даты (в нашем числовом примере – с января 1970 года). Хотя даже для месторождений на 50 скважин, функция Вейбулла не учитывает технических ограничений, например диаметра трубопровода или размеров сепараторов на УКПН.

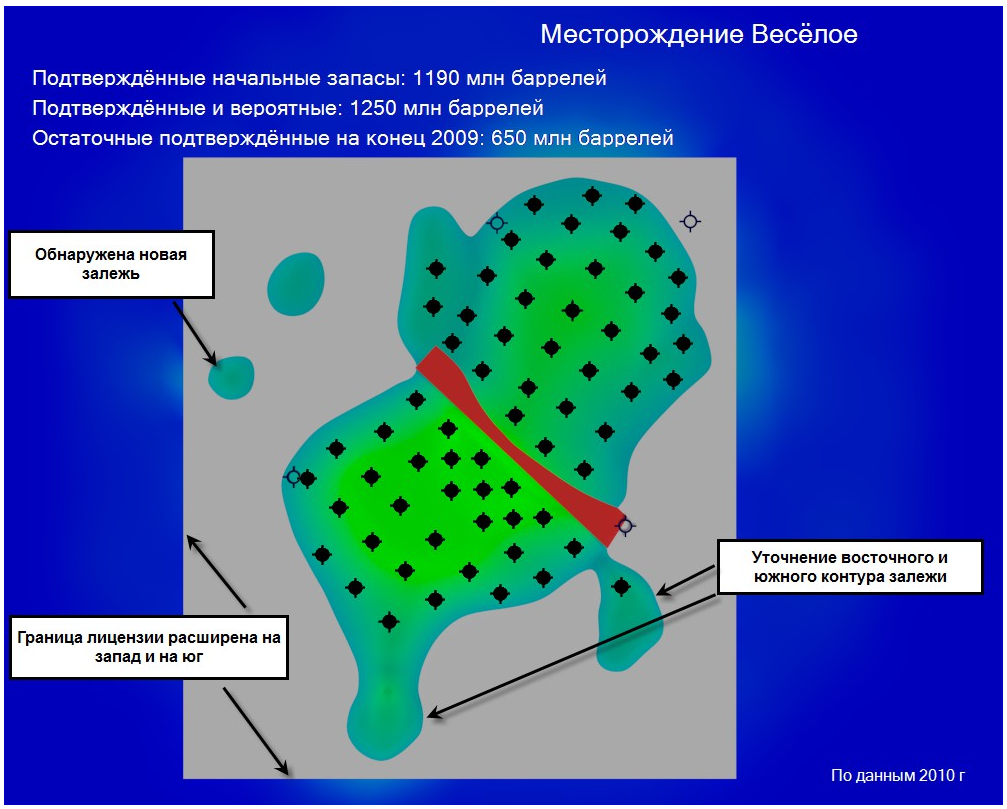
Каковы трудозатраты на разработку месторождения? Пятьдесят скважин за пять лет можно сделать двумя арктическими буровыми. Четыре вахтовые буровые бригады по сто человек, плюс всякие прочие подрядчики-дорожники и трубопроводчики. Пусть в долларах 2015 года одна скважина стоит те же 10 миллионов, отстегнув на дорогу, трубу и вагончики для нефтяников. Тогда освоение всего месторождения – порядка $500 млн. Надо накинуть $100 млн на разведку и прочие удовольствия. При добыче 40 тыс в сутки и цене нефти $50 за баррель, компания «*Весёлая Нефть*» отобьёт свои инвестиции с 1965 по 1972 менее чем за год, и в 1974 уже начнёт получать чистую прибыль (за вычетом расходов на логистику и текущий ремонт). На самом деле, всё не просто хорошо, а ещё лучше. Вот как выглядит отчёт SEC в 1980 году:



Во-первых, добычных скважин не 50, как запланировано в 1969 году, а всего 45. Инженеры – народ консервативный; лучше перебдеть, чем недобдеть. Когда запустили в работу сорок пятую, общий дебит с месторождения превысил 40 тыс баррелей в сутки, а больше нам и не надо: труба не позволяет.

Во-вторых, на той же геологической карте подтверждённые запасы скакнули с 550 млн баррелей до 1'120. Чудо? Конечно, нет! Когда писали отчёт 1970 года, в большинстве квадратиков пористость поставили не 0.200, а 0.160, а водонасыщенность – не 0.300, а 0.450. Если бы поставили больше, аудиторы SEC выписали бы штраф за обман инвесторов. На основании одной скважины в центр залежи и пяти по краям ничего иного поставить и нельзя. Правила SEC простые: в квадрате, где есть скважина – ставьте по факту. В остальных – минимальные запасы по данным самой плохой контурной скважины, в нашем случае Весёлое-005. К 1975 разбурено 45 «квадратов», проведены геофизические работы в скважинах. Значит, в этих квадратах разрешается ставить факт.

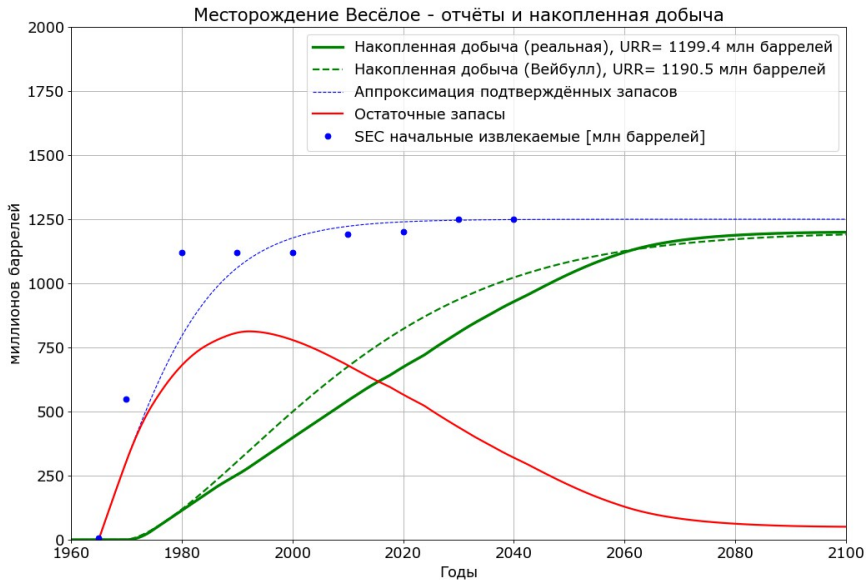
Как выглядит отчёт «*Весёлой Нефти*» в 2010? Тут ещё интереснее.



Подтверждённые запасы скакнули до 1'190 млн баррелей. Квадратики исчезли. Это оттого, что в 2010 году вместо квадратиков SEC принимает «оценку P-90». На рабоче-крестьянский это переводится так: «С вероятностью 90% в месторождении есть 1'190 млн баррелей». Циферка 1'250 – это «оценка P-50»

(либо есть 1'250 баррелей, либо нет – то есть, *либо встречу динозавра, либо не встречу*™). Заметим, что часть прироста запасов появилась из-за расширения границ лицензии на запад и юг, а на западе обнаружили маленькую залежь класса «дядя Джо». Если бы не было большого месторождения посередине, с этой малявкой на Аляске никто бы не заморачивался. Однако к 2010 на большом месторождении есть труба и УКПН, проложены дороги, стоит вахтовый посёлок, работает ТЭЦ. Это автоматически переводит ближайшие залежи класса «дядя Джо» в разряд месторождений. Причём, вряд ли компания *«Весёлая Нефть»* будет писать SEC отдельный отчёт ради пары скважин. Запасы найденной маленькой залежи просто добавят к запасам большой.

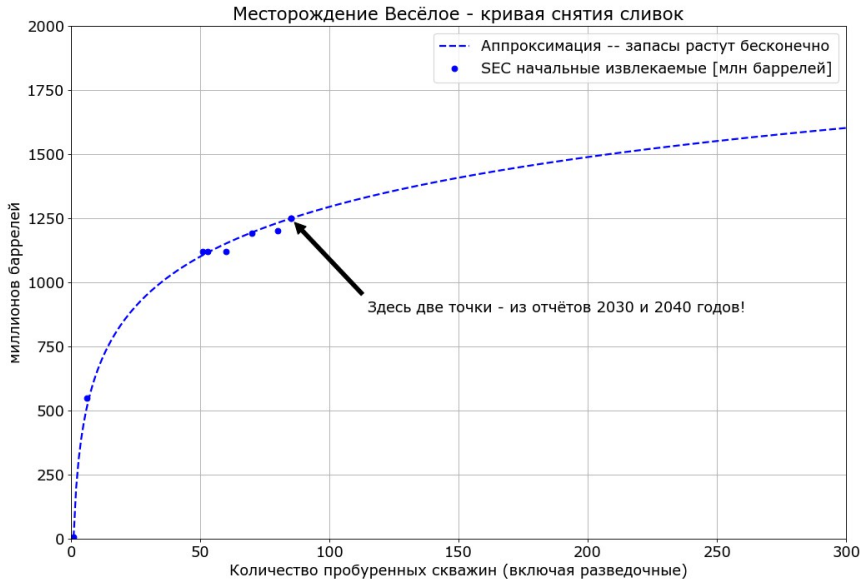
Считаем программкой **\Chapter 08\Test_07_Creaming.py**



Синие точки – наши отчёты в SEC. Тут возникает один способ ~~развода неграмотных лохов~~ привлечения новых инвесторов, которым невозбранно пользуются многие нефтяные компании, в том числе очень солидные. Если рисовать точечки по времени разработки месторождения, как выше, всё встаёт на свои места. Сразу после открытия запасы консервативно занижены, далее, по мере освоения месторождения, мы узнаём что там под землёй всё точнее и точнее, и наконец оценка выходит на «полочку», выше которой не будет.

В семидесятые годы прошлого века кто-то придумал рисовать по горизонтальной оси не время, а количество пробуренных скважин. В программе **\Chapter 08\Test_08_Creaming.py** показано, как это делается. Как видим, кривая увеличения запасов «визуально» превратилась в логарифм! Далее немедленно следует вывод, что если пробурить не 85, а 300 скважин, запасы станут свыше 1'600 млн баррелей. Хитрым перцам ясно, что не только

300, но и сто скважин никто бурить не станет, потому что бесполезно: месторождение вышло на кривую безудержного спада добычи.



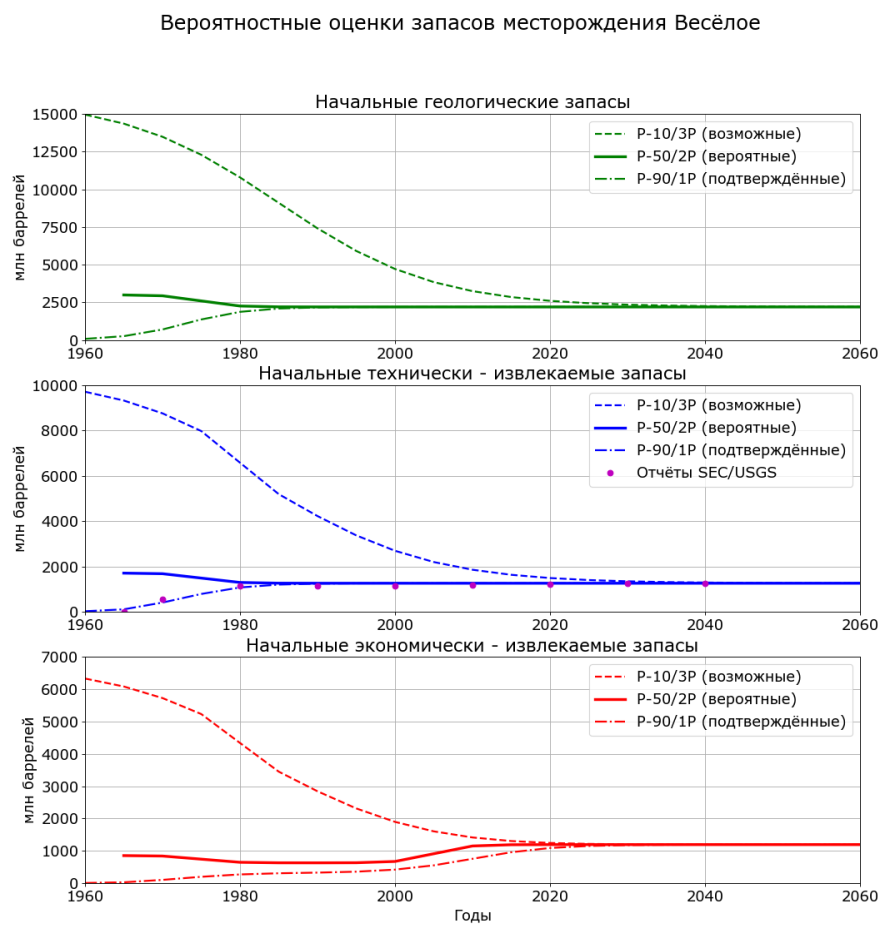
Для полноты картины покажем, как менялись оценки запасов месторождения Весёлое от времени.

Надо сказать, что в таком виде геологи представляют данные крайне редко и исключительно для внутреннего употребления компании. Действительно, для нашего учебно-тренировочного месторождения Весёлое подобную картинку имеет смысл рисовать лишь в 2010 или в 2020 году, когда всё уже давно пробурено и все инвестиционные решения так или иначе сделаны. Кого волнует, что там посчитали геологи в далёком 1965? Нам, однако, картинка будет интересна чуть позже, когда от Весёлого мы перейдём к прикидкам запасов углеводородов для планеты в целом.

На картинке три комплекта графиков: зелёные – геологические запасы, синие – технически-извлекаемые запасы (по формулам {8.1}), и красные – экономически-извлекаемые запасы в соответствии с планом разработки. Каждый комплект кривых имеет три линии: толстая сплошная – начальные запасы с вероятностью 50%, штрих-пунктир – те же начальные с вероятностью 90%[93] и наконец пунктирные линии для вероятности 10%. На математическом сленге геостатистиков эти кривые называются P-50, P-90 и P-10. Для менеджмента существует и упрощённая номенклатура: P-90 называется «1P», от английского «proved/proven», то бишь «подтверждённые». P-50 носит имя «2P», от «proved and probable» – это «подтверждённые и вероятные». Наконец,

93 Большинство западных нефтяных компаний пользуется «отступом» 10% и рассматривает вероятности P-90, P-50 и P-10. Некоторые компании используют отступ 5%, другие – 15%, но таких «отступников» от негласного стандарта немного.

P-10 называется «3P», то есть «proved, probable, and possible» – «подтверждённые, вероятные и возможные». У западных нефтегеологов есть пословица (на мотив стишка о волшебных кольцах у Толкина): «1P – для финансистов, чтоб платить, 2P – для инженеров, чтобы добывать, 3P – для ~~инвесторов~~ лохов, чтобы надувать».



В 1960 году на Весёлом верхняя оценка геологических запасов была 15 млрд баррелей, а нижняя – ноль. По данным сейсмики было известно, что под землёй есть «геологическое тело» площадью около 65 км². Это число довольно точное. Однако абсолютные глубины залегания и мощности пластов по сейсмике могут быть оценены лишь приближённо, а главное неясно, есть ли в породе вообще нефть.

Скважину Весёлое-001 пробурили в 1965 году, причём в месте, которое по данным сейсморазведки казалось тогда наиболее удачным. Скважина не только обнаружила нефть, но и позволила геофизикам «откалибровать глубины». Появилась достаточно надёжная оценка реальной нефтеносной

площади и мощности пласта, а также параметры пласта для уравнения {8.1}. На графике появилась первая точка P-50, минимальная оценка отлепилась от нуля и двинулась слегка вверх (5 млн баррелей), а верхняя оценка слегка опустилась, так как стало ясно, что нефтеносная площадь быть 65 км² никак не может – нижняя часть залежи до такой-то глубины заполнена водой.

С 1965 по 1970 год ведётся доразведка и планирование разработки. Оценки P-90 продолжают расти, а P-10 – снижаться. Выполнена лабораторная обработка керна и шлама из разведочных скважин, построена динамическая модель месторождения, разработчики и экономисты прикидывают, сколько потребуется скважин и сколько всё удовольствие может стоить.

С 1970 года начинается добычное бурение, и геологические модели еженедельно пополняются данными из новых добывающих скважин. По мере накопления данных меняются оценки. Заметим интересную картину: внутренние (для служебного пользования) оценки технически-извлекаемых запасов по P-90 и P-50 к 1980 году почти сравнялись (оценка P-90 несколько ниже, как ей и положено быть), а вот P-10 по-прежнему показывает более 6 млрд баррелей извлекаемых запасов. Такая асимметрия вызвана прагматическими причинами. Если «банкирская» оценка 1P и инженерская 2P сильно неверны (как в большую, так и в меньшую сторону), легко можно остаться банкротом. А если просчитались с оценкой 3P – не страшно. Лохи на то и лохи, чтобы покупаться на непроверенные оптимистичные данные. Естественно, главбух требует от геолога уточнить 1P, главный инженер – 2P, а уточнение 3P производят, если осталось время, желание и деньги в бюджете главного геолога.

Медленнее всего сходятся оценки экономически-извлекаемых запасов. На примере Весёлого, в 1970 году геолог может быть уверен, что без капитального ремонта скважин (КРС) и гидроразрывов не обойдётся, однако понятия не имеет, начнут ли программу КРС в 1980 или в 1995 году. В 1988 (по факту) инженерная команда планирует КРС, да обвалилась цена нефти, и главбух росчерком пера переносит упражнение на 1991. Короче, с экономически-извлекаемыми вопросов всегда чуть больше, чем есть ответов у начальства.

Однако через 55 лет после открытия, в 2020 году, с месторождением так или иначе всё ясно, а оценки 1P, 2P и 3P становятся уже почти одинаковыми.

Небольшое лирическое отступление о недавнем прошлом. В СССР ~~секса~~ банкиров, как известно, не было. Лохи и в XXI веке не перевелись, но тогда они ещё не были инвесторами. Оттого в СССР 1P, 2P и 3P не применяли, а использовали категории A, B, C_1 и C_2. «A» – детально разведанные (чаще уже находящиеся в разработке). «B» – предварительно разведанные запасы полезных ископаемых. Категория «C_1» – запасы разведанных месторождений сложного геологического строения и слабо разведанные запасы по экстраполяции геологических данных с детально разведанных участков месторождений. Наконец, «C_2» — перспективные, неразведанные запасы на

основании общих геологических соображений с учётом аналогичных подробно разведанных залежей.

Находись Весёлое не на Аляске, а в Западной Сибири, в 1950 году «из общих соображений» насчитали бы 3 млрд тонн (25 млрд баррелей) C_2. В 1965, пробурив первую скважину, отрапортовали бы 400 млн тонн (геологических, в СССР их также звали «балансовыми») C_1. Окончив оконтуривание и приступив к добычному бурению – 200 млн т (извлекаемых) категории B, а с примерно к 1985 году всё месторождение стало бы категорией A со 160 млн т (1.2 млрд баррелей) начальных извлекаемых запасов, и чуток на неразбуренных флангах осталось бы в категории B.

В 1990-х западные ~~лохи~~ инвесторы отчего-то полагали, будто $A+B+C_1+C_2 \approx 3P$, а $A+B+C_1 \approx 2P$. Советские геологи не спешили их разубеждать, тем более что все реальные числа запасов – не только нефти – были всё равно секретны. На самом деле $A+B+C_1 \leq 3P$, а C_2 – это просто «общие соображения» на предмет ещё не состоявшейся геолого-геофизической разведки. Как результат, многие инвестиционные решения западников в постсоветских республиках оказались неоправданно рисковыми – и закономерно провалились. О приключениях одного из инвесторов – компании «*Серинус Энержи*» – *вна* Украине я подробно писал в главе 6. Канадско-польская фирма имела честь убедиться, что категория C_2 – это всего лишь C_2, пусть даже «общие соображения» прямиком от Кудрявцева и Голда.

Помимо деления на геологические и извлекаемые, связанные строгой формулой {8.1}, бюрократы разных стран высасывают из частей тела разные другие определения. В СССР, помимо C_2, были ещё и «перспективные» C_3, а также «региональные» D_1, D_2, D_3. В частных нефтяных компаниях США бывает деление запасов на «разбуренные», «ещё не разбуренные», «добываемые», «условные». В Евросоюзе деление ещё сложнее: есть «перспективные», «индикативные», «измеренные», «выверенные», «предполагаемые», ну и ещё с десяток терминов.

Основная цель этих «категорий» – офисная имитация бурной деятельности и развод инвесторов на деньги. О категориях запасов можно писать отдельные книги, и много даже написано[94], но подавляющему большинству читателей они неинтересны. Когда о «подтверждённых запасах» нефти, газа или угля рассуждает специалист-геолог, он имеет в виду чиста-конкретные запасы, то есть пользуется одним из бюрократических определений. А вот когда с веб-страницы Интернет про «подтверждённые» поёт песнь специалист-пиарщик – враньё может быть абсолютно любое. Даже у бюрократов уши вянут.

Почему SEC и USGS требуют консервативного подхода в оценке запасов? Инженеры вообще консервативны по природе, в отличие от ура-экономистов навроде Р.Слоана, Дж.Саймона и Б.Ломборга. У экономистов «исторический опыт» кончается данными прошлого десятилетия, а технари помнят ошибки

94 Гутман И.С. «Методы подсчета запасов нефти и газа» М.: Недра, 1985.

предшественников.

В 1861 году 32-летний горный инженер и геолог Эдвард Халл написал монографию об угольных запасах Великобритании [20]. Детально разобраны все 17 угленосных провинций Англии и отдельно – Шотландия, с геологическими колонками, устройством шахт и прочими прелестями. Наши предки кое-что понимали в горном деле. Приведём сводную таблицу[95], как в книге на странице 187.

Провинция	**Каменноугольный период**		**Перекрытые отложения**	
	Площадь, кв миль	**Подтверждённые запасы угля, англ. тонн**	**Площадь, кв миль**	**Вероятные запасы угля, англ. тонн**
Англесия	9	незначительные	неизвестно	неизвестно
Бристоль и Сомерсет	45	746	105	1'742
Коалбрук	28	28	неизвестно	неизвестно
Кумберленд	25	97	неизвестно	неизвестно
Денбингшир	47	490	20	412
Дерби и Йорк	760	8'800	400	8'000
Дурхам и Нортумбленд	460	4'270	225	3'000
Флинтшир	35	20	неизвестно	неизвестно
Дин	34	561	неизвестно	неизвестно
Уир		незначительные	неизвестно	неизвестно
Ланкашир	217	4'010	25	500
Лейстершир	15	1'618	30	400
Сев. Стаффордшир	75	1'618	20	619
Юж. Стаффордшир	93	973	неизвестно	неизвестно
Шревсбури		незначительные	неизвестно	неизвестно
Юж. Уэльс	906	16'000	неизвестно	неизвестно
Уоррикшир	30	417	107	1'767
ВСЕГО Англия и Уэльс	**2'779**	**38'080**	**Более 932**	**Более 16'440**
ВСЕГО Шотландия	**1'720**	**25'323**	**неизвестно**	**неизвестно**
ВСЕГО	**4'499**	**63'403**	**Более 932**	**Более 16'440**

По подсчётам Э.Халла, месторождения угля занимали не менее 5'431 квадратных миль, то есть 6% площади Великобритании, и содержали не менее

95 Длинная английская тонна 1'020 кг. В пределах погрешности можно считать равной метрической тонне.

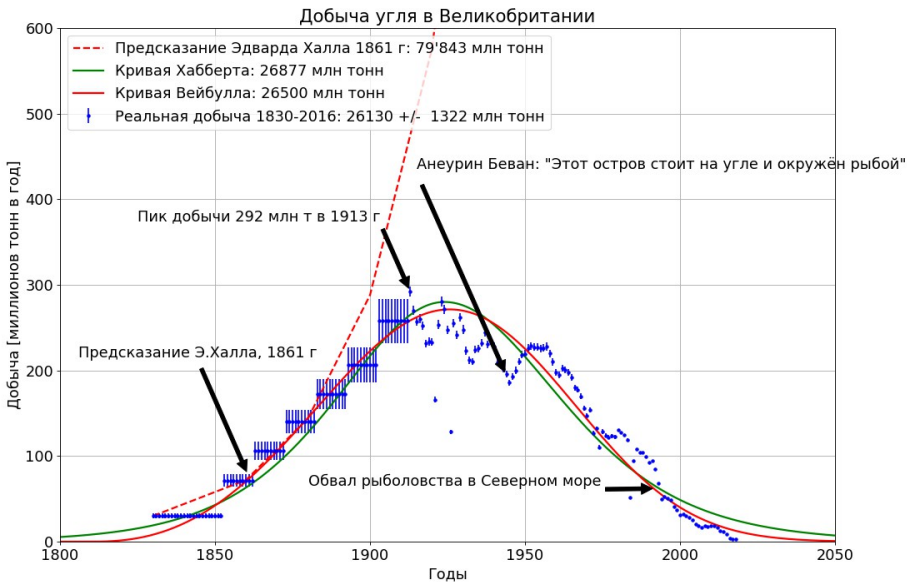
79'843 миллионов тонн угля. Нас, воспитанных на математической статистике и физике, точность до одного миллиона тонн, конечно, смешит, но так у автора.

Геолог знал, что в 1860 Великобритания добывала 72 млн тонн угля в год, значит, 79'800 миллионов тонн хватит на 1'100 лет. Конечно, заявлял учёный, добыча будет возрастать! Известно, что в 1830 году Британия добывала только 30 млн тонн. Можно прикинуть, на сколько хватит запасов угля, если добыча станет удваиваться каждые 20 лет (стр 237).

Год	Добыча, млн тонн	Год	Добыча, млн тонн
1860	72	1960	2'304
1880	144	1980	4'608
1900	288	2000	9'216
1920	576	2020	18'432
1940	1'152	2033-2034	42'979

В таком случае, писал Халл, прогноз будет пессимистичен. Великобритании хватит собственного угля лишь до 2034, то есть на 172 года[96]. Впрочем, нестрашно: уголь можно везти морем из Америки и Австралии! Притом учитывается только уголь до глубины 4'000 футов, то есть 1'220 метров. Если применять стальную крепь вместо деревянной и научиться охлаждать забой, шахты можно делать существенно глубже.

Посмотрим, что получилось в Великобритании на самом деле. Программа **\Chapter 08\Test_09_Hull_UK_Prediction.py**



96 У Халла в книге арифметическая ошибка. На самом деле при удвоении добычи каждые 20 лет разведанных запасов должно было хватить лишь до 1962 года, то есть ровно на столетие.

Эдвард Халл прожил долгую и продуктивную жизнь: был избран членом Британской Академии Наук в 1867 и президентом Ирландского Геологического Общества в 1873. Уже выйдя в отставку, добился прекращения детского труда на угольных шахтах Британии (в 1900 году). Умер в почтенном возрасте 88 лет, пережив британский Пик Угля на четыре года. Да, самое главное предсказание не сбылось. В 1913 году британская угольная промышленность поставила рекорд: добыто 292 миллиона тонн. Во время Первой Мировой последовал спад, в 1923 добыча восстановилась до 280 млн тонн – и немедленно покатилась под горку. Показатель 2015 года – 8.6 млн тонн, то есть втрое меньше, чем в 1830. В 2017 «*BP*» запустила дезу, будто закрылась последняя шахта и выведены в резерв две последние угольные ТЭЦ. Через год выяснилось, что под шумок Брексита обе ТЭЦ великолепно работают, а добыча угля в 2018 году – 2.6 млн тонн.

Каковы запасы угля в Британии-2019? В 2018 та же «*BP*» заверяла, что в наличии стратегический запас антрацита[97] в Южном Уэльсе: 250 млн тонн, то есть ровно одна годовая добыча рекордного 1911 года. В 2019 году выяснилось, что стратегических запасов… всего 29 млн тонн, и их, при существующей добыче, хватит лет на десять. Остальные месторождения технически выработаны «в ноль». Общая добыча с 1830 года – 26'120±1'322 млн тонн, то есть 33% от расчётных запасов Э.Халла.

Где ошибся наш геолог? Очень просто: он полагал, что каждая «залежь» есть «месторождение» и не учитывал затраты энергии на добычу (говоря грубо, спутал геологические запасы с технически извлекаемыми). В Англии 10-сантиметровый пропласток угля на глубине 50 метров от поверхности является месторождением. Такой же пропласток на глубине 1'200 м является бесполезной залежью, и так ей навсегда и останется, какой бы ни была цена. Вы можете привезти в Англию рабов или послать восьмилетних пацанов обратно в шахты, но энергия добытого угля меньше энергии, потраченной на добычу.

А вот с максимальной глубиной угольных шахт в 1220 м горный инженер из далёкого 1861 почти не ошибся. Самая глубокая угольная шахта «*Джунрих II*» находилась в Чехии: 1550 метров, выработана «в ноль» и закрыта в 1991. Следующая самая глубокая – в Англии, городок Клок-Фэйс, 1400 м. Тоже «в ноль» и тоже закрыта – в 1966 году. Шахта Спригхилл в Канаде – 1350 м, закрыта в 1958. А вот ещё работающие: «*Комсомольская*» (Россия) – 1200 м, «*им. В.М.Бажанова*» (Донецкая обл. Украины; в 2011 произошло обрушение копра, вроде бы остановлена в 2014) – 1200 м, «*им. А.А.Скочинского*» (Донецкая обл. Украины) – 1200 м, «*Прогресс*» – 1340 м, и почти побившая рекорд Чехии «*Шахтёрская Глубокая*» – 1546 м (правда про эту тоже неизвестно, работает или нет, может кто подскажет?)

Вообще за золотом, цинком, никелем шахтёры лезут и куда глубже: «*Мпоненг*» в Южной Африке уже на глубине 3900 м. Но это золото. Там можно строить

97 Тот самый «кардифф» на дредноутах Первой мировой, ага.

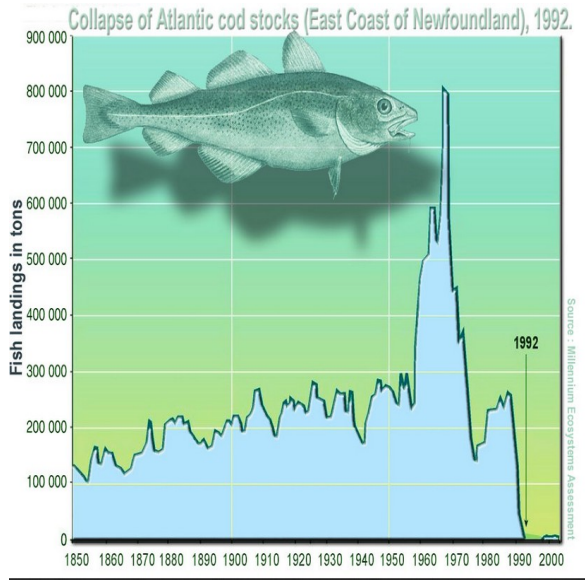
железобетонные тоннели, прокладывать двадцатидюмовые трубы и качать ледяную воду для аир-чиллеров по двадцать тонн в секунду. Кстати, система дублированная. Если обе холодильные линии встанут на сорок минут, шахтёры буквально сварятся заживо. Если такие же холодильники ставить в угольной шахте, «чёрное золото» выйдет по цене жёлтого.

Кстати, на 2015 год, средняя глубина шахты в Китае уже превышает 600 м, а до глубины 100-120 м все известные месторождения выработаны «в ноль».

Однако простим геологу XIX века вполне честную ошибку. Второе начало термодинамики было сформулировано Клаузиусом и Кельвином только в 1850 году. Хотя и спустя сто лет некоторые перцы термодинамику не всосали. Британский политик Анеурин Беван в 1945 году просвещал выбравших его шахтёров Уэльса:

This island is made mainly of coal and surrounded by fish. Only an organising genius could produce a shortage of coal and fish in Great Britain at the same time.

Этот остров [имеется в виду Великобритания] сделан из угля и окружён рыбой. Нужно обладать завидным организационным талантом, чтобы сделать в Британии нехватку рыбы и угля одновременно. [речь в Блэкпуле 24 мая 1945; перепечатано «Дейли Геральд» 25 мая]



Вылов атлантической трески (в тоннах в год) показан на врезке. Не могу не согласиться с великим лейбористом: организационный талант в Британии в избытке, нехватку таки устроили. Ценная треска обвалилась в 1992, а за ней лосось и тунец. К 2003 году осталась только килька на шпроты, а в ней обнаружились ртуть и ДДТ. Что одновременно происходило с углём – смотрим выше.

Кроме условий {8.2} М.К.Хабберт предложил и фундаментальное решение, удовлетворяющее таким условиям. Запишем обыкновенное дифференциальное уравнение (геологи зовут его уравнением Хабберта, а врачи и химики – уравнением Ричардса):

$$\frac{\partial Q(t)}{\partial t} = j\left[1-\left(\frac{Q(t)}{Q_\infty}\right)^\gamma\right]Q(t) \qquad Q(-\infty)=0 \qquad \{8.4\}$$

Здесь:
Q – некий минеральный ресурс: нефть, газ, уголь, золото, как функция от

времени; производная – это добыча в год;
$\mathbf{Q}_\infty$ – весь ресурс в месторождении или на планете;
$\boldsymbol{\gamma}$ – показатель возрастания сложности добычи при истощении ресурса.
j – коэффициент продуктивности, зависящий от технологии добычи.

Логическое обоснование простое. Сначала производство минерального ресурса растёт по экспоненте: чем больше производство – тем больше спрос. Затем приходит примерно половина добычи – «Пик», и поиск сырья становится делом всё более трудным. Несмотря на спрос, добыча падает.

Заметим, что уравнение {8.4} – математически похоже на уравнение Мальтуса-Ферхюльста {3.4}, только буквы поменялись, да появилась степень. Приведём аналитическое решение. Заменим:

$$U(t)=\left(\frac{Q(t)}{Q_\infty}\right)^\gamma \qquad Q(t)=Q_\infty U^{\frac{1}{\gamma}} \qquad \frac{\partial Q(t)}{\partial t}=\frac{Q_\infty}{\gamma}U^{\frac{1}{\gamma}-1}\frac{\partial U}{\partial t}$$

Подставляя полученное в {8.4}:

$$\frac{Q_\infty}{\gamma}U^{\frac{1}{\gamma}-1}\frac{\partial U}{\partial t}=j\left[1-U(t)\right]Q_\infty U^{\frac{1}{\gamma}} \qquad \frac{\partial U}{\partial t}=j\,\gamma\left[1-U(t)\right]U(t)$$

Последнее уравнение решил за нас Ферхюльст, а решение приводилось в главе 3 – формула {3.5}.

$$U(t)=\left[1+e^{-\gamma\, j\,(t-t_0)}\right]^{-1} \qquad Q(t)=Q_\infty\left[1+e^{-\gamma\, j\,(t-t_0)}\right]^{-\frac{1}{\gamma}}$$

Чаще нас интересует не сама функция Q(t), а сколько можно добыть за год:

$$Hubb(t,\gamma)\equiv\frac{\partial Q(t)}{\partial t}=j\,Q_\infty\frac{e^{-\gamma\, j\,(t-t_0)}}{\left[1+e^{-\gamma\, j\,(t-t_0)}\right]^{\frac{1}{\gamma}+1}} \qquad \{8.5\}$$

При $\boldsymbol{\gamma = 1}$ кривая упрощается:

$$Hubb(t,1)\equiv q_{peak}\frac{4e^{-\sigma(t-t_0)}}{\left[1+e^{-\sigma(t-t_0)}\right]^2} \qquad \{8.6\}$$

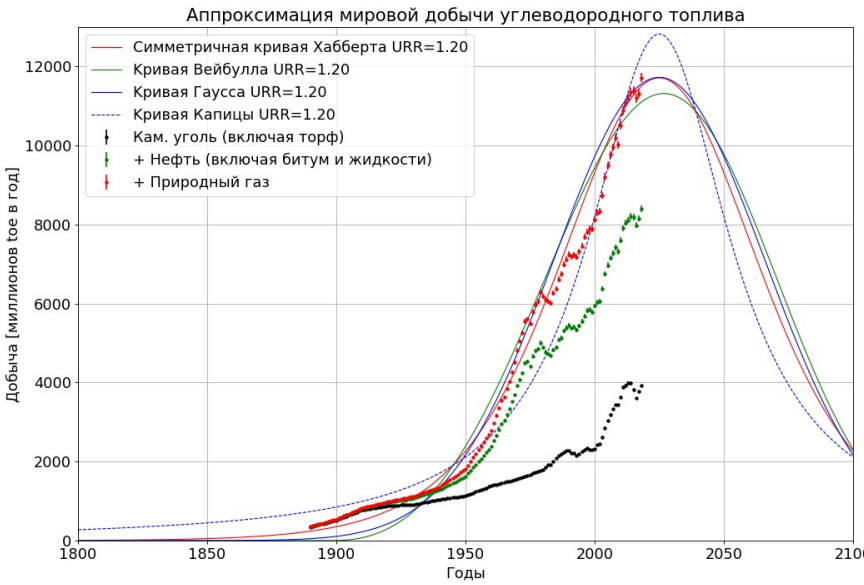
Здесь:
$\mathbf{q_{peak}}$ – расход (добыча за единицу времени) на пике;
$\boldsymbol{\sigma = j\,\gamma}$ – наклон кривой;
$\mathbf{t_0}$ – точка пика.

Кривая {8.6} носит название функции Хабберта, или **хаббертианы**, хотя математики использовали её и до Хабберта. Хаббертиану часто путают с похожей кривой Гаусса из математической статистики.

$$Gauss(t) \equiv \frac{\partial\, Erf(t)}{\partial t} = q_{peak}\, e^{-\sigma(t-t_0)^2} \qquad \{8.7\}$$

Подобие и правда есть, но **гауссиана** к решениям уравнения Мальтуса отношения не имеет. Нельзя не отметить, однако, что и «капициана» из пятой главы, и гауссиана – удовлетворяют условию Хабберта {8.2}.

Как хаббертиана накладывается на реальную добычу угля в Великобритании – мы показали выше. Теперь посмотрим, как для планеты всей. Используются те же данные по добыче ископаемого топлива, что и в предыдущей главе. Сборка по производству угля, газа и нефти составлена по данным отчёта BP 2017 года [10] с добавлением «хвоста» с 1890 по 1964 по данным американского EIA. Все данные пересчитаны в тонны условной нефти по методике BP. «Нефть» включает газовый конденсат, NGPL («широкие фракции природного газа») и нефть из битума («синкруд»), но не включает биотопливо. «Уголь» включает все градации, в том числе суббитуминозный уголь и лигнит. Программа **\Chapter 08\Test_10_Hubbert.py**



По абсолютным величинам тройка «уголь-нефть-газ» вроде бы прошла пик в 2013 году, хотя газ продолжает расти, а нефть остаётся на «полочке» 4'250 млн тонн в год. Снижение производства – по углю, причём в основном в Китае. Напомним, что де-факто снижение производства угля в Китае пошло примерно с середины 2013 года, когда никто ещё не слышал ни про нефть по двадцать пять баксов, ни про Китайский Биржевой Коллапс, ни про Китайские Экологические Инициативы, ни про Внезапный Переход Китая к Технологическому Развитию. Похоже, правительство Китая задним числом прикручивает объяснялки к суровой геологической действительности. Про истощение китайских запасов угля упоминалось выше, и на нём мы

остановимся подробнее в последующих главах.

Кривая Хабберта лучше всех укладывается на данные, хотя и не описывает их идеально. Гауссиана и кривая Вейбулла занижают добычу до 1940 года, а кривая Капицы – наоборот, завышает. У всех трёх кривых одинаковая величина URR = 1.2 триллиона тонн нефтяного эквивалента (toe).

Подведём итоги:

- В 1956 году М.К.Хабберт сформулировал условия, применимые к функции дебита (или годовой добычи) в реальных геологических моделях отдельных скважин, месторождений, стран или всей планеты.
- Функция «хаббертиана» с одним выраженным пиком не обязательно есть единственное решение. Критериям Хабберта удовлетворяет множество функций, в том числе функция Вейбулла, гауссиана, или функция Капицы. Сумма этих функций тоже может удовлетворять критерию.
- Нами рассмотрен пример малого месторождения с извлекаемыми запасами менее 0.5 млн баррелей. Показаны три возможных кривых добычи, объяснены геологические термины.
- Далее, рассмотрен пример среднего месторождения с извлекаемыми запасами более 1 млрд баррелей. Продемонстрировано, как меняются со временем: (а) геологическая модель, (б) подтверждённые ресурсы, (в) дебит.
- Продемонстрирована так называемая «кривая снятия сливок» и объяснено, что под «сливками» хитрые геологи понимают не нефть, а денежки из карманов необразованных инвесторов.
- На примере среднего месторождения показано, как изменяются вероятностные оценки запасов от времени и полученных геологических данных.
- На примере реальных данных Великобритании показано прохождение Пика Угля и полное исчерпание ресурса в «технологический ноль» за примерно 200 лет активной добычи.
- Приведены данные по добыче каменного угля, «нефти и жидкостей» и природного газа в мире. В первом приближении, они лучше всего описываются хаббертианой с $URR=1.2\cdot10^{12}$ тонн нефтяного эквивалента. Однако и другие разобранные кривые с тем же URR достаточно хорошо ложатся на калибровку.
- Те, кто называет сторонников Пика Хабберта мальтузианцами, – совершенно правы. «Пикники» – мальтузианцы не только по духу, но и в строгом математическом смысле, так как используют уравнение Мальтуса-Ферхюльста.



Глава 9.
Прогнозы и пиво.

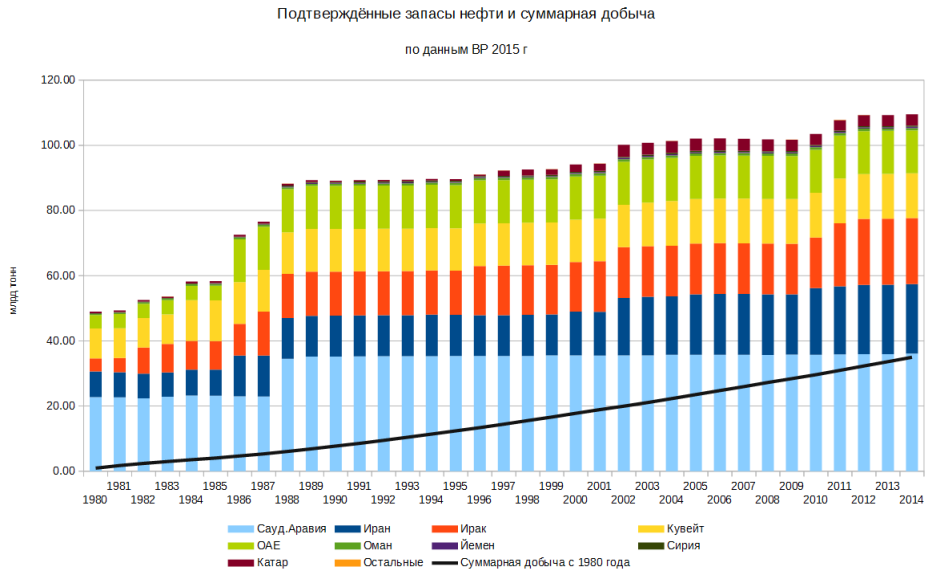
Теория простая. Каждый, кто пил пиво, знает: стакан сначала полный, а потом – пустой. Чем быстрее пьёшь – тем быстрее кончается.

– Колин Дж. Кемпбелл, нефтегеолог
«Конец дешёвой нефти»

В предыдущей главе мы разобрались, как рассчитывается добыча и запасы одного месторождения. Теперь расширим те же расчёты на ресурсную базу всей планеты.

Аналогия из эпиграфа проста как грабли: надо знать, сколько у вас есть природных ресурсов, и с какой скоростью вы их используете. К сожалению, объёмы месторождений на планете Земля куда больше пивного стакана, а стенки – категорически непрозрачные.

В Интернете часто пишут, что статистика в отчётах «*BP*» и таблицах американской EIA – поддельная. Вряд ли речь идёт о международном заговоре злых нефтяников. Информацию о добыче, потреблении, запасах «*British Petroleum*» получает от правительств и частных компаний. Команды Джеймс-Бондов, чтобы вламываться в секретные сейфы китайской «*CNOC*», у отдела Экономических Исследований «*BP*» просто нет. Вот как выглядит исторический график подтверждённых запасов стран OPEC из отчёта 2015 года:



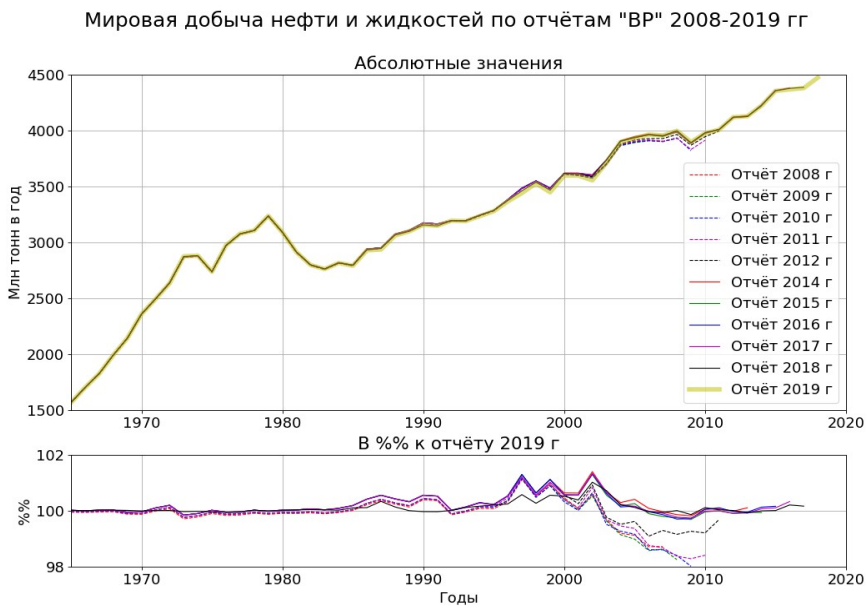
Скачок запасов 1986-89 годов – это вообще не открытия новых

месторождений, а так называемая «гонка за квотами». На собрании OPEC решили, что квоты на добычу станут выдавать пропорционально подтверждённым запасам. Соответственно, подтверждённые стали немедленно расти (главным образом, за счёт оптимистичного увеличения КИН). В отличие от американской SEC, в OPEC нет аудиторов, и заявления правительств или национальных нефтяных компаний никто не проверяет.

«*Сауди Арамко*» рисует константу по подтверждённым запасам последние 27 лет, однако вроде как собирается продаваться. Компании продаются, когда месторождения либо ещё не бурились, либо уже почти выработаны. Продавать разбуренные месторождения с запасами – как жарить курицу, которая несла вам золотые яйца Вексельберга.

Ясно, что цифрам подтверждённых запасов в отчётах «*BP*» верить надо очень осторожно[98]. Но стоит ли доверять числам добычи? С какой точностью статистикам «*BP*» известна фактическая добыча нефти, газа, угля?

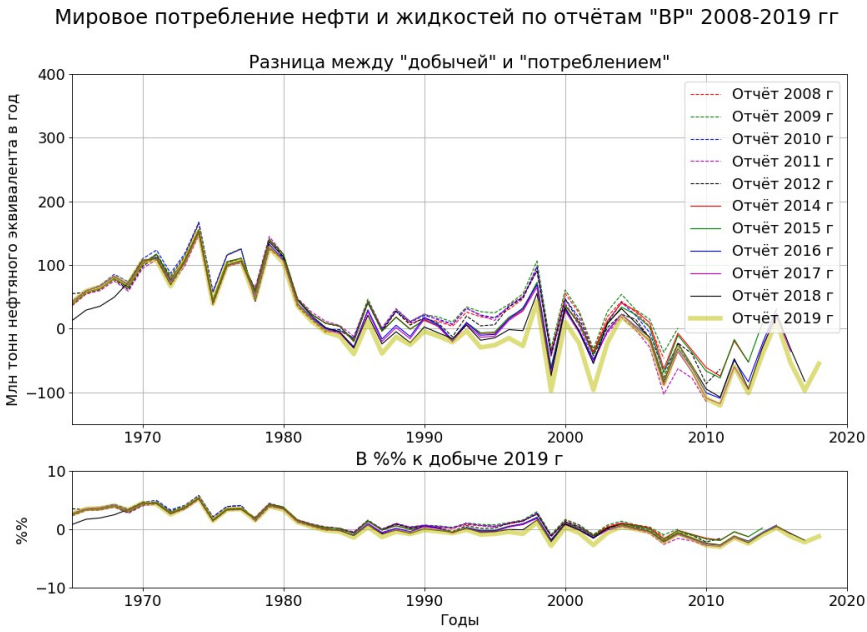
Сравним отчёты «*BP*». Автор накопил публикации компании, начиная с 2008 года. В моём распоряжении нет лишь числовой части отчёта за 2013 год: таблица с данными была резво удалена с сайта компании, а чуть ниже я выдвину предположение, почему. Отрисуем сначала данные по добыче нефти (программа **\Chapter 09\Test_01_BP_Oil_Data.py**):



Отчёты 2008-2012 годов шли нос-к-носу, но с 2013 «*BP*» принялась корректировать исторические данные по добыче. Общая коррекция данных за

98 Во время пресс-конференции по «*Энергетическому отчёту BP*» 13 июля 2017 г. главный экономист «*BP*» Спенсер Дэйл на вопрос инвестора о надёжности данных по запасам нефти и газа на Ближнем Востоке заявил, что числовым данным по запасам государственных компаний «доверять лучше с оглядкой».

2010 год превысила 1.5%, или 60-70 млн тонн. После 2015 ситуация «выправилась», и коррекции исторических данных снова не превышают долей процента. Кроме добычи, «*BP*» выдаёт также данные по потреблению нефти. Не будем повторять график уважаемой компании, а отрисуем программой **\Chapter 09\Test_02_BP_Oil_Data.py** разницу между «добычей» и «потреблением»:

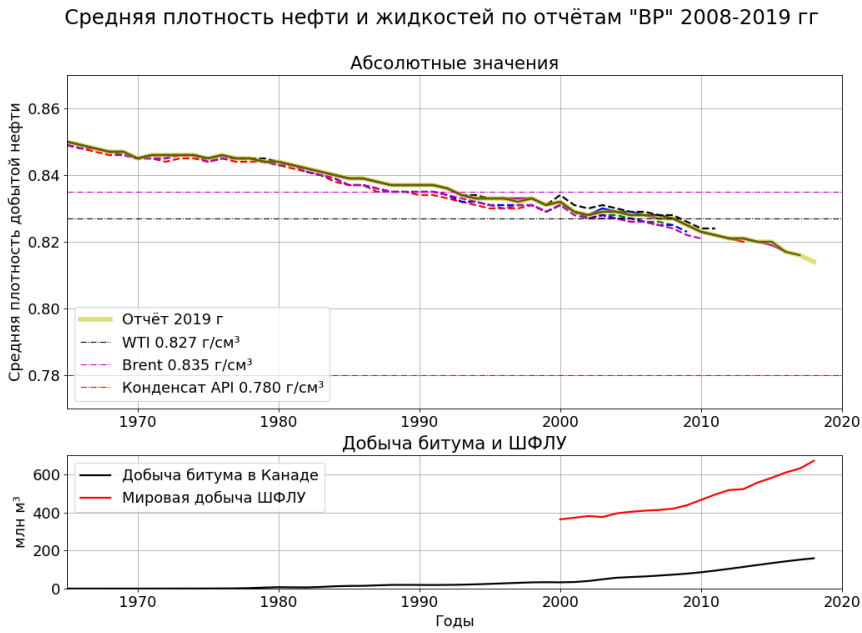


Наблюдаем интересную картину. До 1985 года производство по данным «*BP*» систематически превышало потребление на примерно 100 млн тонн в год, то есть 5% нефти с месторождений не доходило до потребителя. После 2000 годовое потребление в среднем превышает добычу на 50-70 млн тонн ежегодно. Если считать, что разница компенсировалась стратегическими хранилищами, к 2000 году в хранилищах имелся бы резерв около 1'400 млн тонн, к 2015 сократившийся до 780 млн. Семьсот восемьдесят миллионов тонн – очень много. США этого количества хватило бы на 11 месяцев. Из открытых источников, весь стратегический резерв США – самый крупный в мире – составляет «всего» 727 млн баррелей, то есть около 100 млн тонн. «Википедия» указывает, что совокупные стратегические резервы во всех странах мира – около 550 млн тонн, из которых 190 млн контролируются правительствами, а остальные – частными компаниями. Естественно, 1'400 млн тонн никто не накапливал, а большую часть разницы между производством и потреблением следует считать статистической погрешностью в данных отчёта.

Нефть в отчёте «*BP*» приводится как по массе – в миллионах тонн в год, так и по объёму – в тысячах баррелей в сутки. Это очень удачно: позволяет прикинуть среднюю плотность добываемой нефти и жидкостей, что мы и

сделаем программой **\Chapter 09\Test_03_BP_Oil_Data.py** Плотность считаем формулой:

$$\rho = \frac{1000 \cdot M\,[\,млн\ т\ в\ год\,]}{0.159 \cdot V\,[\,тыс\ баррелей\ в\ день\,] \cdot N\,[\,дней\ в\ году\,]}$$



«Среднемировой баррель» нефти легчает; не помогают даже «нефтяные пески» Канады с их тяжёлым битумом[99]. В 1965 году усреднённый баррель весил более 135 кг, а в 2018 – менее 130. Теплотворная способность горючего измеряется не от объёма, а от массы – спросите любого химика. Значит, баррель образца 2018 года при сгорании выделит на 4.2% меньше энергии, чем баррель из 1965.

Отчего легчает наша нефть? Креативная статистика для тупых инвесторов! К «классической» сырой нефти ещё в шестидесятые начали добавлять «лицензионный» газовый конденсат, то есть жидкости, выпавшие из природного газа в сепараторах на месторождении (в Техасе говорят: «на лицензии», откуда и название). Ничего крамольного в этом не было. Конденсат – ценное нефтехимическое сырьё, хотя баррель конденсата и даёт несколько меньше горючего, чем баррель «Средней Западной» WTI. Плохо то, что вслед за конденсатом «нефтью» стали называть вещества, вообще непригодные для производства жидкого моторного топлива, например, пентан, отделяемый от природного газа не на месторождении, а на нефтехимическом заводе. Сейчас уже в годовых отчётах некоторых компаний и бутан считают

99 Кроме Канады, природный битум добывают в небольших количествах в России (шахта Ярега в Коми добывает по 6 млн т сверхтяжёлой нефти в год), в Китае и в Венесуэле; эти объёмы добычи пока на два порядка ниже канадских, поэтому в расчётах ими можно пренебречь.

дважды: сначала как «кубические футы газа», а затем как «баррели нефти», простите, «жидкостей». Самое интересное, для налоговой инспекции двойной счёт отчего-то не применяют, считая «широкие фракции природного газа» (ШФЛУ, Natural Gas Plant Liquids, NGPL) и автомобильный пропан-бутан (Other liquids) всё-таки «газом».

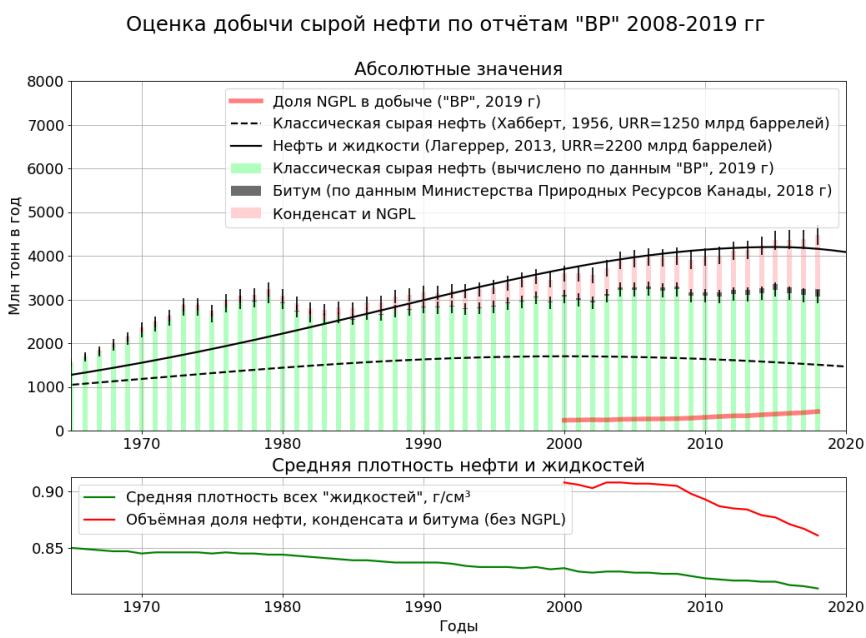
Знаменитая «сланцевая нефть» США на 90% состоит из газового конденсата и NGPL, а «нефтью» её назвали, чтобы получать разрешения на факельное сжигание газа там, куда газовую трубу прокладывать нерентабельно.

По данным «*BP*» можно грубо прикинуть количество конденсата и NGPL в мировой добыче (программа **\Chapter 09\Test_04_BP_Oil_Data.py**):

$$V = V_{crude} + V_{gc} + V_{tar}$$

$$M = M_{crude} + \rho_{gc} V_{gc} + \rho_{tar} V_{tar}$$

$$M_{crude} = \frac{\left(1 - \frac{\rho_{gc}}{\bar{\rho}}\right) M - (\rho_{tar} - \rho_{gc}) V_{tar}}{\left(1 - \frac{\rho_{gc}}{\rho_{crude}}\right)} \qquad \{9.1\}$$

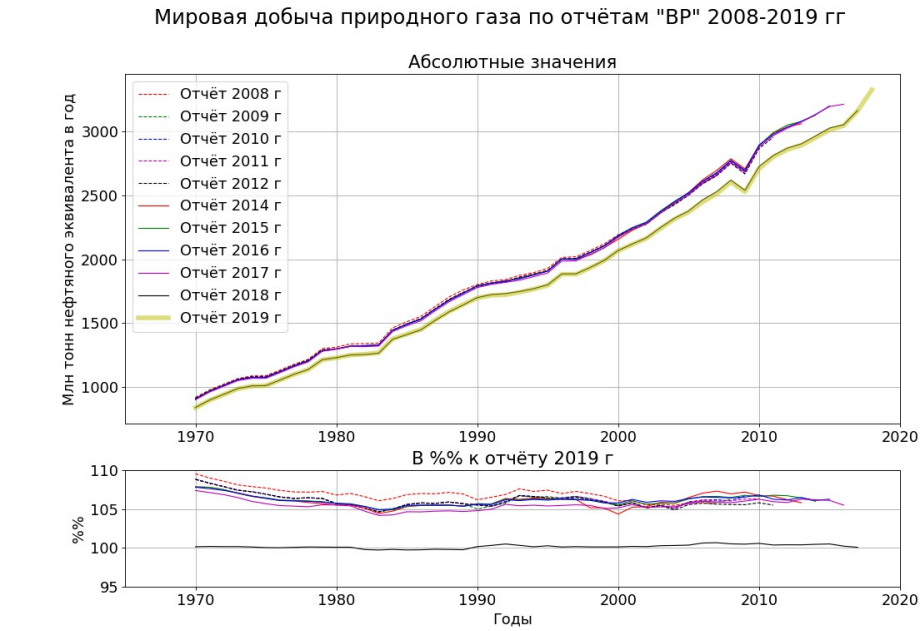


С 2005 года прироста «классической нефти» нет, а всё увеличение добычи происходит за счёт газового конденсата, в том числе «сланцевой нефти» США, да битума канадской Атабаски.

В далёком 1956 году М.К.Хабберт оценивал исключительно запасы «сырой

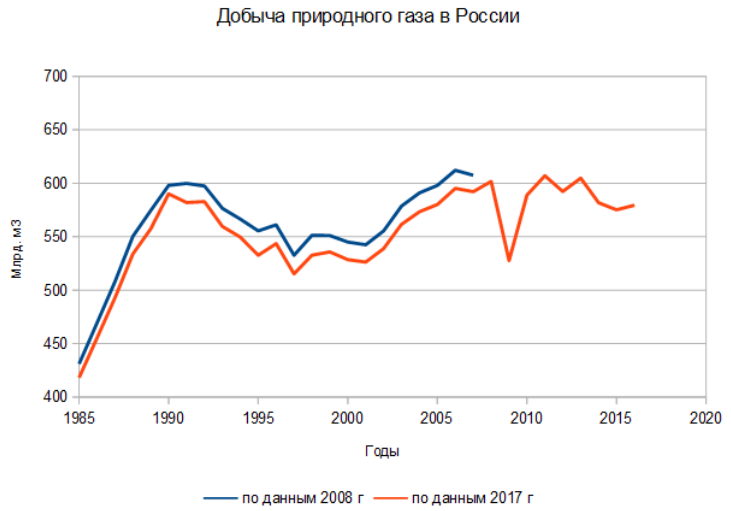
нефти» – конденсат тогда в статистике вообще не учитывался. Хабберт получил оценку мировых запасов 1'250 млрд баррелей, или 170±40 млрд тонн, в том числе 120±35 млрд тонн в ещё не найденных (на то время) месторождениях. Знаменитый график «Пика нефти» был рассчитан как один из вероятных сценариев, при условии абсолютной величины пика в 1% от общих извлекаемых запасов, или 1.7 млрд тонн в год в 2000 году. По факту мировой пик добычи «классической» сырой нефти наступил между 2000 и 2010 годами (скорее всего, в конце 2005), на дебите 3.2 млрд тонн, а к 2017 году общая накопленная добыча составила 170±8 млрд тонн. Те, кто заявляет: «Хабберт наверняка ошибся», явно имеют машину времени. А если без шуток, точность «оценки Хабберта» достоверно определится лишь к 2030 году. Пока мы можем лишь с некоторой надеждой заявлять, что нижняя оценка Хабберта, к счастью, не реализовалась, а начальные экономически извлекаемые запасы «классической чёрной нефти» вероятно ближе к верхней оценке в 210 млрд тонн, из которых более 80% уже исчерпано.

Перейдём к данным «*BP*» по природному газу (программа **\Chapter 09\Test_05_BP_Gas_Data.py**):

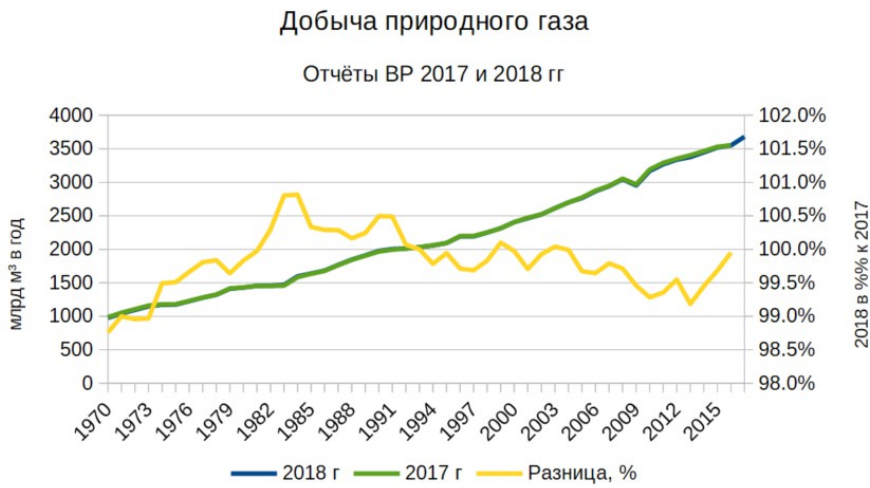


Как и с нефтью, данные по газу в отчётах последних четырёх лет были подвергнуты жестокой корректировке. Особенно досталось отчёту 2008 г, где почти все значения были уменьшены на 2%. Крупнейший производитель газа, российский «*Газпром*», внезапно изменил исторические значения добычи, уменьшив все числа на 2-4%! Общественность так и не поняла, что было: то ли желание замаскировать катастрофическое падение добычи в 2009 г, то ли публикация по ошибке конфиденциальных «внутренних» данных компании.[100]

100 В блоге проскочило предположение, что изменение данных «*Газпром*» связано с переводом российских «стандартных условий» (1 атмосфера, 20ºЦ) в «международные» (1 атмосфера, 15ºЦ). Но при таком

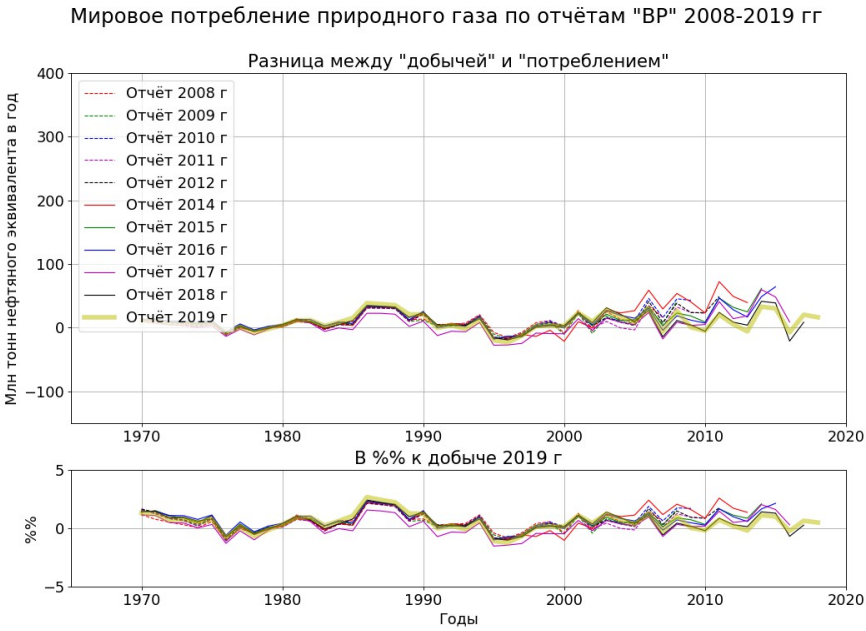


Но самый большой сюрприз произошёл в 2018 году: «BP» внезапно поменяла пересчётный коэффициент из кубометров газа в условные тонны нефти! Если в отчёте 2017 года он составлял 0.904 toe/1000 м³, то в отчёте 2018 – всего лишь 0.860 toe/1000 м³. Изменения по добытым объёмам – в пределах обычных для «BP» ±1.2%. С точки зрения энергетики газ внезапно «полегчал» на 4.5%, что отражено в таблице «Приблизительные коэффициенты пересчёта». Отчего произведено такое резкое изменение статистики, в тексте отчёта не объясняется. В качестве рабочей гипотезы, уважаемая компания внезапно решила приводить газ не к условной, разбавленной конденсатом нефти «образца 2010 года», а к реальной нефти 1965.

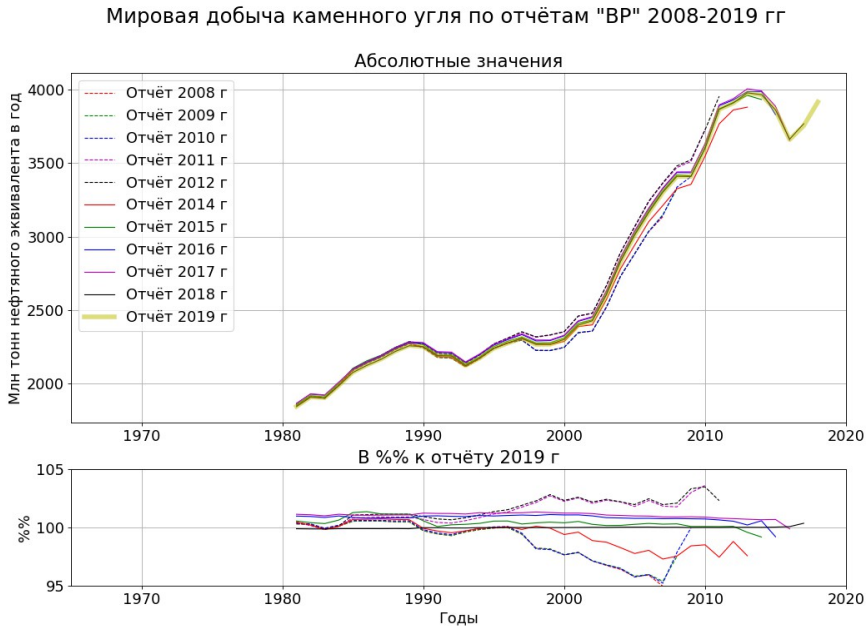


Аналогично нефти, сравним данные по добыче и потреблению природного газа программой **\Chapter 09\Test_06_BP_Gas_Data.py**

переводе изменение составило бы около 5/(273+20) = 1.7%. К тому же, «*BP*» работает в России с конца девяностых и была партнёром российской «*ТНК*». В «*BP*» знают разницу между российским ГОСТ и международными «стандартными условиями»!



Систематическая погрешность между добычей и потреблением – около 2%. Некоторые страны имеют хранилища природного газа, но в отличие от нефти эти запасы не стратегические, а сезонные (например летом закачиваем, зимой сжигаем). Ясно, что 2% следует считать статистической погрешностью отчёта.



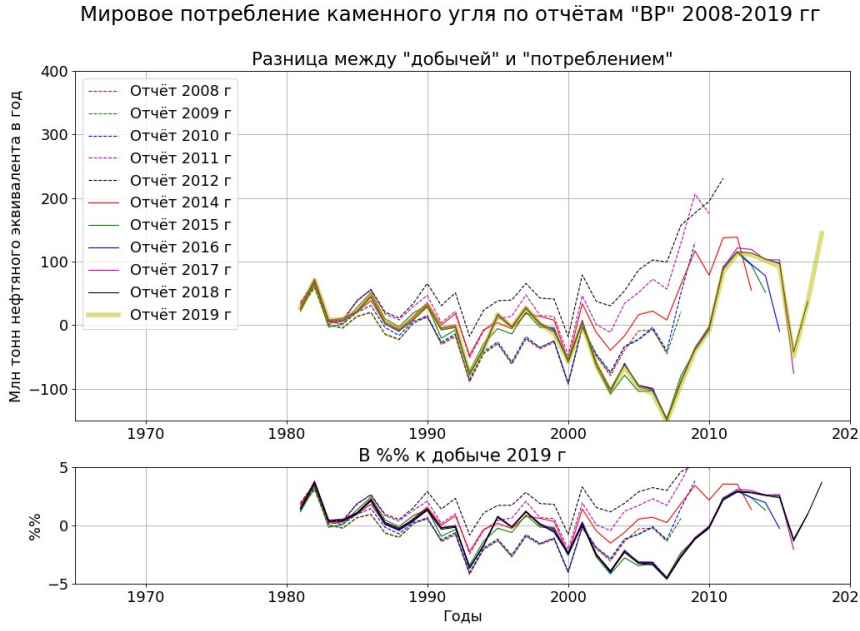
Наихудшее положение с точностью данных в отчёте «*BP*» – по каменному углю. В понятие «каменный уголь» компания включает энергетический бурый

уголь и торф. Программа **\Chapter 09\Test_07_BP_Coal_Data.py**

Возможно, перед нами пик мировой добычи угля! Если снижение в США с 1'063 млн тонн (597 млн toe) в 2008 г до 702 млн т в 2017 году обусловлено в основном сокращением реального сектора американской экономики и переводом генерирующих мощностей на подешевевший природный газ, то в Китае обвальное падение добычи с 3'974 млн тонн (1'895 млн toe) в 2013 до 3'411 млн т в 2016 году – в среднем по 5% снижения в год – вряд ли можно считать намеренным. В США добыча снижалась на фоне одновременного снижения потребления и импорта энергоресурсов. В КНР снижение добычи собственной нефти на 7% сопровождалось увеличением потребления на 3%, увеличение добычи газа на 1.5% – увеличением потребления на 8%, снижение добычи угля на 9% – снижением потребления всего на 4%. В 2018 году КНР (включая Гонконг) импортировала 71% потреблённой нефти, 44% природного газа, 4% каменного угля.

КНР не публикует официальных данных по запасам полезных ископаемых. Можно высказать осторожное предположение, что Китай в 2013 году прошёл пик добычи угля на своей территории, и далее добыча будет снижаться подобно Великобритании: в среднем по 2-4% за год, вплоть до полного прекращения промышленной разработки угля в пятидесятых или шестидесятых годах XXI столетия.

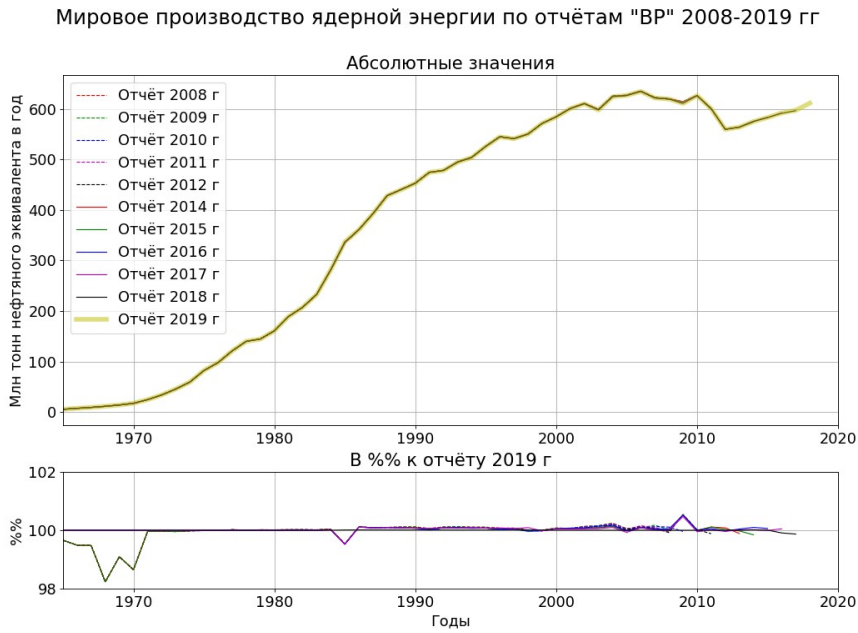
Программа **\Chapter 09\Test_08_BP_Coal_Data.py** сравнивает таблицы «*BP*» по добыче и потреблению угля. Наблюдаем разброс данных ±5%, что и следует считать статистической надёжностью данных по углю.



Для полноты картины приведём данные «*BP*» по ядерной энергии, гидроэнергии и «прочим возобновляемым». В последние «*BP*» включает

солнечную энергию, ветрогенераторы, приливную и геотермальную энергию, сжигание биомассы[101].

С точностью данных (программа **\Chapter 09\Test_09_BP_Nuclear_Data.py**) по ядерной энергии в отчёте «*BP*» дело обстоит великолепно. Кроме «*BP*», за ядерными станциями глядят в оба представители МАгАтЭ, да и количество ядерных держав в мире не так уж велико. В отчёте 2018 года непонятно отчего появились небольшие «выбросы» в 1985 и 2009 годах. Если полагаете, что 1985 из-за Чернобыля – ошибаетесь. Разница между отчётами 2018 и 2017 года – по Японии и Южной Африке. Наверное, там в 1985 году были другие киловатты.



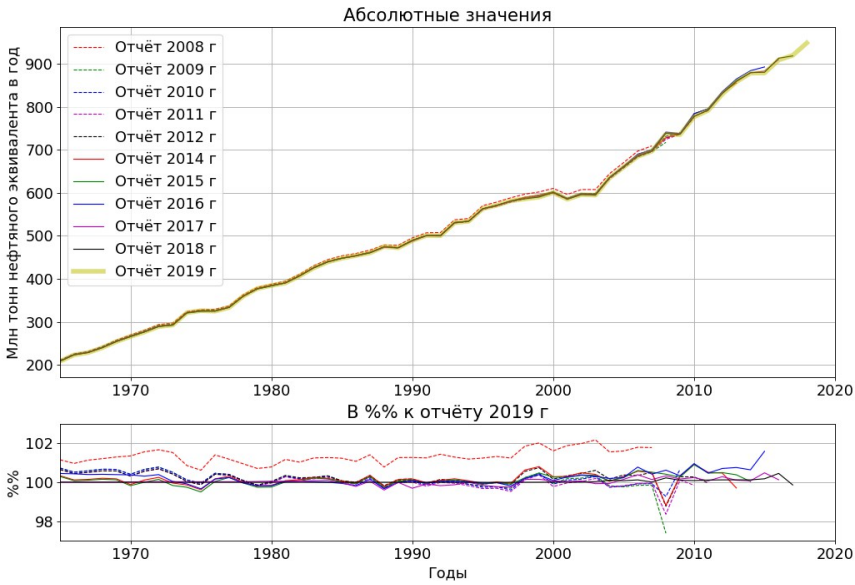
Несколько хуже с гидроэнергетикой (программа **\Chapter 09\Test_10_BP_Hydro_Data.py**): разброс в данных около ±2%. Лишь отчёт 2008 года был фундаментально переделан (скорее всего, изменением среднего условного КПД тепловых станций).

Наконец, данные по «прочим возобновляемым» (программа **\Chapter 09\Test_11_BP_Renewables_Data.py**) публикуются лишь с 2011 года (частично) и с 2014 года полностью. Статистический разброс составляет около ±5%, при этом прошлые отчёты систематически корректируют в сторону уменьшения! Глядя на график производства «прочих возобновляемых», оптимисты видят стремительно растущую экспоненту, а пессимисты смотрят на вертикальный масштаб. Действительно, на графиках добычи нефти, угля, газа – по вертикали порядка 4'000 млн toe. У гидроэнергии – четвертушка:

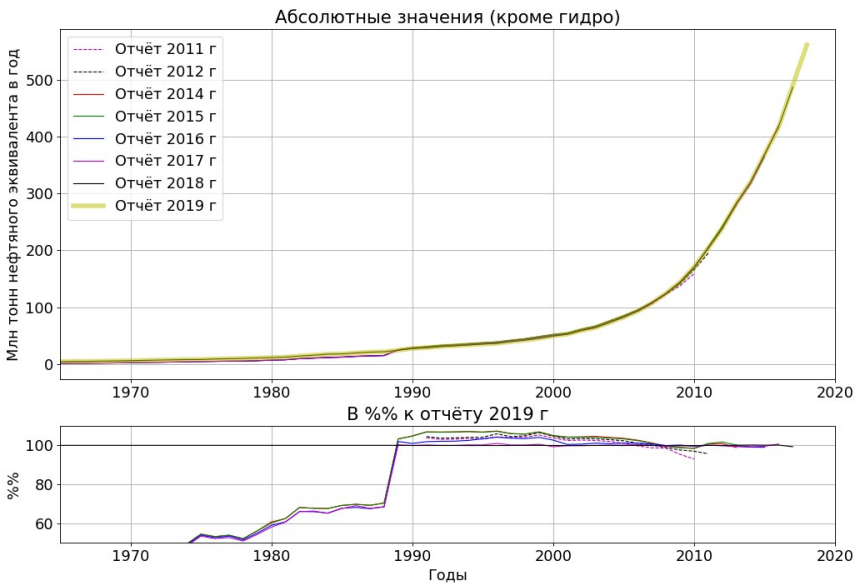
101 При пересчёте выработанной электроэнергии в toe «*BP*» принимает КПД тепловых станций 38%. Если же переводить по тепловой, значения ВИЭ в отчёте следует делить на 2.632.

1'000 млн, у ядерной – пятая часть: 700 млн. А весь график «прочих возобновляемых» умещается в диапазон 0-500 млн toe, то есть 10% от нефтяного, газового или угольного. Обратим внимание, что в 2018 году «*BP*» резко изменила данные по возобновляемым за период с 1965 по 1989 годы.

Мировое производство гидроэнергии по отчётам "BP" 2008-2019 гг



Мировое производство возобновляемой энергии по отчётам "BP" 2008-2019 гг



Общее производство «прочих возобновляемых» в 2017 году не превышает 1/3

от статистической погрешности данных по добыче нефти, газа и каменного угля. Общее потребление «энергии низкой энтропии» на душу населения за последние 7 лет – около 2.3 кВт мгновенной мощности, из которых наше теперешнее Солнце, в виде гидроэнергии, ветра и солнечного излучения, поставляет не более 10%, а около 2.0 кВт – это энергия того же Солнца, накопленная за миллионы лет в виде энергетических полезных ископаемых: нефти, угля и газа.

Параметр	По отчёту 2017 года	По отчёту 2018 года	По отчёту 2019 года
Пик энергии из ископаемого топлива на душу населения	1'996 Вт в 2012 году	1'965 Вт в 2012 году	1'969 Вт в 2018 году
Пик энергии из ископаемого и ядерного топлива на душу населения	2'098 Вт в 2012 году	2'067 Вт в 2012 году	2'073 Вт в 2018 году
Глобальный пик энергии, включая ВИЭ	2'311 Вт в 2015 году	2'287 Вт в 2017 году	2'330 Вт в 2018 году
Потребление в 2015 г	2'311 Вт	2'279 Вт	2'278 Вт

Согласно отчётам «*BP*» 2017-18 гг, глобальный пик добычи энергии из ископаемого топлива (торфа, угля, нефти и природного газа) прошёл в 2012 году: 1'996.1 Вт либо 1'965 Вт на душу населения соответственно. В том же 2012 был и пик по сумме ископаемого и ядерного топлива: 2'098 либо 2'068 Вт. По сумме ископаемого, ядерного топлива и всех ВИЭ – пик был либо в 2015, либо в 2017 годах. По мнению Джеймса Бонда из отчёта «*BP*» 2019 года пик энергии пока не наступил. Правда, теперь наш Бонд снизил оценку потребления в 2012 году. Оказывается, в 2012 мы жили на 2.2% хуже, чем сами же мы полагали год назад. Вероятно именно с целью успокаивающей статистики «*BP*» решила в отчёте 2018 года заранее поменять переводной коэффициент для газа. Пусть новая статистика покажет, что в 2012 году мы жили на 2.2% хуже, зато можно честно написать, что потребление «пока растёт».

На самом деле уровень мгновенной мощности на душу населения стагнирует (в пределах погрешности статистики) на уровне пост-кризисного 2010 года.

Чтобы не возникало лишних иллюзий, нарисуем сравнение всех видов доступной человечеству низкоэнтропийной энергии по данным «*BP*» с указанием вычисленной нами статистической погрешности программой **\Chapter 09\Test_12_BP_Energy_Uncertainty_Data.py**

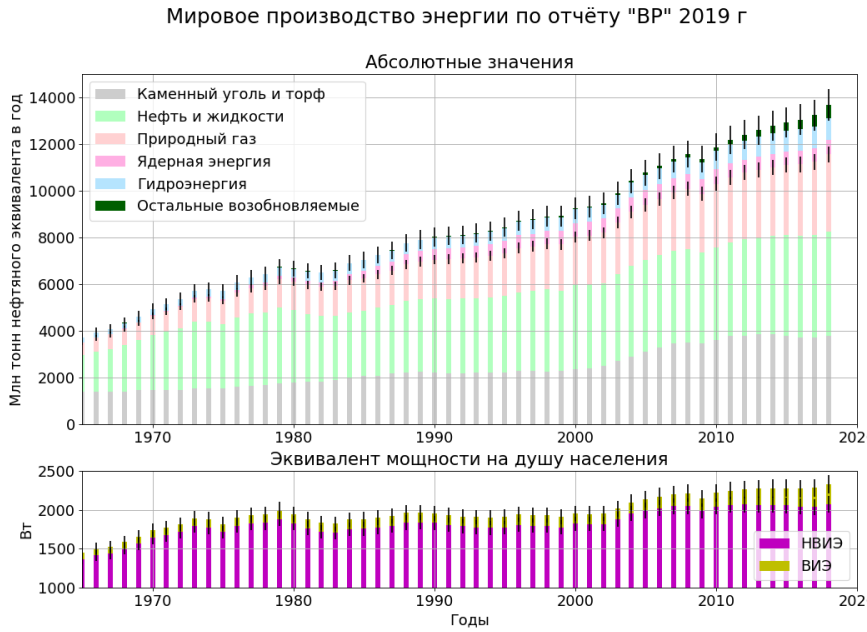
Часто встречается аналогия, что нефть, уголь, газ – «рабы современного человека». Мол, раб может поставлять мгновенную мощность, скажем, 75 Вт, значит на каждого жителя Земли приходится по 25-30 «рабов». По моему мнению, аналогия неверная и даже вредная. Чтобы разобраться досконально, задайте себе три вопроса:

1. Сколько рабов должно «крутить ручку» (без угля и прочих ископаемых

источников энергии), чтобы выплавлять 1 тонну стали в сутки? Дневная выплавка на планете Земля – около 4.4 млн т.

2. Сколько нужно солнечных батарей (на любителя: ветряков), чтобы выделять 1 тонну алюминия в сутки? Дневная переработка планеты (включая вторсырьё) – около 0.16 млн т.
3. Какова мощность гидростанции, чтобы из атмосферного воздуха и речной воды (на любителя: из свежего сена) делать ежедневно 1 тонну полиуретана? В день население Земли потребляет 1.0 млн тонн различной пластмассы.

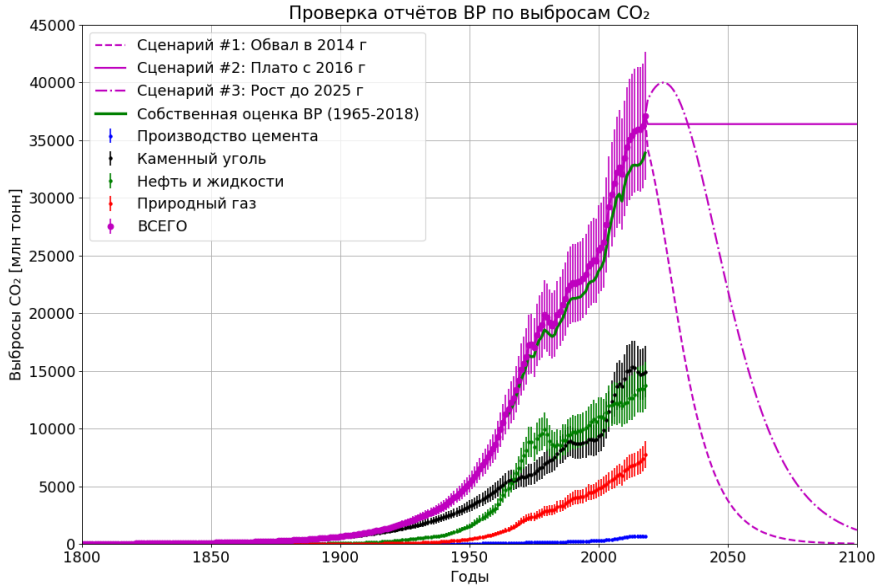
Предупреждаю сразу: все задачки с подвохом, а количество «рабов» заключённых в 11.5 млрд toe нефти, газа и угля внезапно измеряется многими сотнями миллиардов. На каждого жителя Земли – от Билла Гейтса до последнего индийского нищего – приходится в среднем до тысячи «углеводородных рабов», и никакие ветряки их полностью не заменят.



О возобновляемых источниках энергии подробно будет в отдельной главе, а пока попробуем откалибровать энергетические отчёты «*BP*» по независимым данным. Специально для климатически озабоченных заранее поясняю: в этой главе я не буду делать никаких выводов о глобальном потеплении или похолодании. Просто хочу убедиться, что правительства и нацкомпании не сильно врут уважаемой «*British Petroleum*».

На картинке ниже (программа **\Chapter 09\Test_13_CO2.py**) представлен расчёт для периода 1965-2017 на основании данных «*BP*» и EIA о добыче угля, нефти и газа. Начиная с 2018 года представлены три сценария:

1. «Обвал» индустрии в 2015 году (о котором нам пока не сообщают);
2. Выход на «полочку» потребления природных углеводородов;
3. «Углеродная экономика» продолжает расти до 2025 года.



Основное использование угля, нефти и природного газа на планете Земля – в топку! При сгорании выделяется углекислый газ. Сколько конкретно? Напишем химические формулы:

$$C^{[12.01]} + O_2^{[32.00]} = CO_2^{[44.01]}$$

$$C\,H_4^{[16.05]} + 2\,O_2^{[64.00]} = CO_2^{[44.01]} + 2\,H_2O^{[36.04]}$$

$$C_7H_{16}^{[100.23]} + 11\,O_2^{[352.00]} = 7\mathrm{CO}_2^{[308.07]} + 8\mathrm{H}_2O^{[144.16]}$$

При сгорании 1 т графита, метана и гептана выделяется соответственно 3.66, 2.74 и 3.08 т углекислого газа. На тонну реального каменного угля приходится несколько меньше, чем у графита, так как кроме углерода в угле есть несгораемые остатки (зола). На тонну природного газа – несколько больше, чем у метана, так как присутствуют более длинные алканы. Наконец, тонна нефти может давать несколько больше или несколько меньше, чем тонна гептана, в зависимости от состава на конкретном месторождении.

По энергии, однако, тонна угля грубо эквивалентна 0.48 тонны нефти, а тонна метана при стандартных условиях – это 1'525 м³ газа, то есть 1.37 тонны нефтяного эквивалента. Отсюда, на тонну нефтяного эквивалента сгоревшего угля, газа и нефти должно выделяться около 7.63, 2.00 и 3.08 тонны CO_2 соответственно. С другой стороны, уголь, нефть и газ не обязательно сжигают. Часть углерода из угля уходит в производство стали, часть углерода из газа – в

пластмассы и прочую нефтехимию, а значит в атмосферу (по крайней мере сразу) не попадает. «*BP*» в своих расчётах использовала коэффициенты 3.96, 2.35 и 3.07 тонн на toe.[102] Ещё одним антропогенным источником CO_2 на планете является производство цемента, с выбросами газа до 735 млн тонн в 2015 году. По мнению IPCC, уничтожение лесов производит в год от 1.8 до 9.1 млрд тонн лишней углекислоты, но мы пока этот вклад учитывать не будем.

По данным той же «*BP*», в 2017 году человечество потребило 3'732 млн toe угля, 3'156 млн toe газа и 4'622 млн тонн нефти. Если всё это сжечь с нашими коэффициентами 7.63, 2.00 и 3.08, получится 48.8 млрд тонн углекислоты, с коэффициентами «*BP*» – 36.4 млрд тонн, а сама «*BP*» отрапортовала в том же году 33.4 млрд тонн. Неопределённость в расчётах довольно высока, а выбросы мы знаем не лучше, чем с точностью ±15%. Примем в качестве оценки по порядку величин 36±4 млрд тонн углекислого газа[103].

На середину 2017 года в атмосфере 406±4 ppmv (частей на миллион объёмных) CO_2, а масса атмосферы $5.1480 \cdot 10^{15}$ тонн. Чтобы определить вес углекислоты в атмосфере, надо перевести объёмные единицы в массовые, поделив на средний молярный вес воздуха 28.97 г/моль и умножив на вес CO_2 44.01 г/моль. Итого: $406 \cdot 10^{-6} \cdot 44.01/28.97 \cdot 5.1480 \cdot 10^{15} = 3.2 \cdot 10^{12}$ тонн. Значит, в 2017 году человечество выбросило в атмосферу $3.6 \cdot 10^{10} / 3.2 \cdot 10^{12} = 1.1 \pm 0.2\%$ от массы атмосферной углекислоты[104] или дополнительные 4.6 ppmv.

Куда углекислый газ девается из атмосферы? Постоянная секвестрация обеспечивается двумя геологическими процессами:

1. Захоронением биомассы с последующим превращением в кероген, далее в уголь, нефть или природный газ. Фактически, процесс обратный сжиганию ископаемого топлива;
2. Биогенным и хемогенным осаждением в виде карбонатов, например тех же коралловых рифов или панцирей фитопланктона. Самый известный карбонат? Известняк! Осаждение карбонатов есть процесс, приблизительно обратный производству цемента.

Есть ещё несколько способов надолго затолкать углекислый газ в земную кору, например вморозить в ледники, но в текущий геологический период они существенной роли не играют.

А всякие леса, джунгли, бескрайние колхозные поля и прочие «лёгкие

102 Methodology for calculating CO_2 emissions from energy use. https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-carbon-emissions-methodology.pdf В 2017 году компания стала учитывать, что часть углерода использована для химического синтеза и в виде CO_2 в атмосферу не попадает.

103 Все вулканы мира производят ежегодно не более 0.32 млрд тонн: https://www.skepticalscience.com/volcanoes-and-global-warming.htm Конечно, год на год не приходится, и в иные годы вулканическая активность может быть сравнима с выбросами человека. Однако такие супер-извержения бывают всего лишь несколько раз в столетие.

104 Международные организации приводят CO_2 как «выброс углерода», базируясь на идее, что надо учитывать метан и прочие газы, содержащие углерод. Однако наша калибровка именно по углекислоте. Для перевода тонн CO_2 в «тонны углерода» делите на коэффициент 2*16/12.01 + 1 = 3.66

планеты»? Они-то как раз углекислый газ никуда не заталкивают, а просто гоняют по бесконечному кругу. Если по-простому: выросла травка, пришёл барашек, скушал, выдохнул. Человек съел барашка, тоже выдохнул. Что вылезло из противоположного отверстия – переработали бактерии. Всё. Океанская вода тоже хранилищем в геологическом смысле не является, а просто огромный аккумулятор – забирает и отдаёт в зависимости от температуры и текущей концентрации в воздухе. Строевые сосны секвестрируют CO_2 примерно на 150 лет (время долгое, но не геологическое): сто лет растут до небес, а потом в брёвнах избушки-пятистенки, что обсуждали в прошлой главе. Избушка сгнила от старости, либо – не дай Бог – сгорела, углекислота вернулась в атмосферу.

Если бы геологические процессы секвестрации не работали совсем, с 1800 года в атмосферу добавилось бы от сжигания угля, нефти и газа $1.62\pm0.25\cdot10^{12}$ тонн углекислоты, то есть $1.62\pm0.25\cdot10^{12}\cdot0.658/5.1480\cdot10^{15}=207\pm30$ ppmv. Концентрация углекислоты до индустриальной эпохи по данным гляциологов составляла 280±15 ppmv, значит сегодня обсерватория на Мауна Лоа[105] показывала бы нам 487±45 ppmv, на 81 больше, чем на самом деле.

К счастью, образование керогена и известняка продолжается, и земная кора отбирает углекислоту у атмосферы. Чтобы посчитать тренд, применим дифференциальное уравнение:

$$\frac{\partial Q}{\partial t}=q(t)+\delta\left(1-\frac{Q(t)}{Q_0}\right) \qquad Q(0)=Q_0 \qquad \{9.2\}$$

Здесь:

Q(t) – концентрация вещества от времени

Q_0 – равновесная (начальная) концентрация

q(t) – поступление (или убыль) вещества от времени

δ – скорость химической реакции от концентрации

Если концентрация в точности равна равновесной, то вся прибавка (либо убыль) зависит от q(t). Если концентрация Q(t) выше равновесной, система поглощает / разлагает вещество, и наоборот, если концентрация Q(t) ниже равновесной, система выделяет или синтезирует вещество. Функция q(t) задаётся численно – это наш график антропогенных выбросов углекислоты.

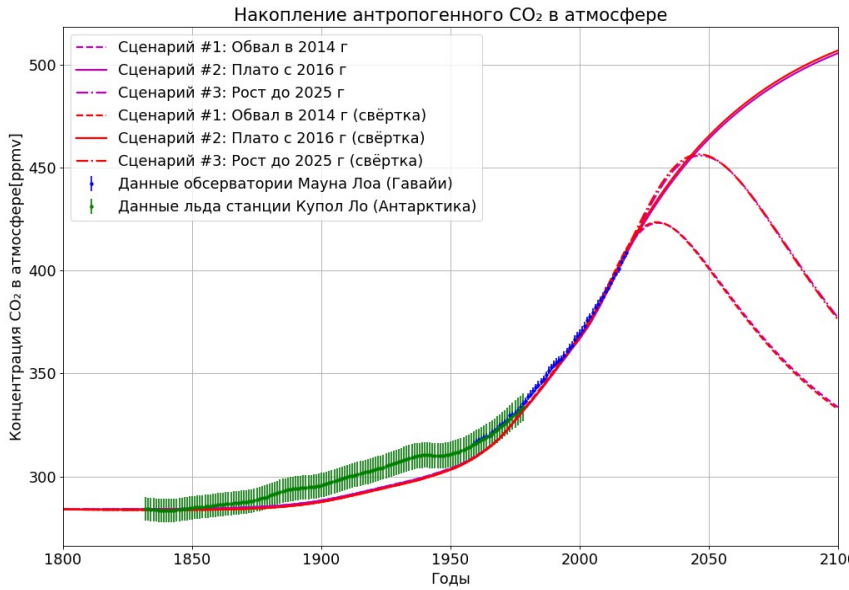
Решение также можно найти в виде функции свёртки (чисто-аналитическим оно не является, так как функция q(t) – произвольная дискретная):

$$Q(t)=Q_0+q(t)*e^{-\sigma t}=Q_0+\int_{-\infty}^{+\infty}q(\tau)e^{-\sigma(t-\tau)}d\tau \qquad \{9.3\}$$

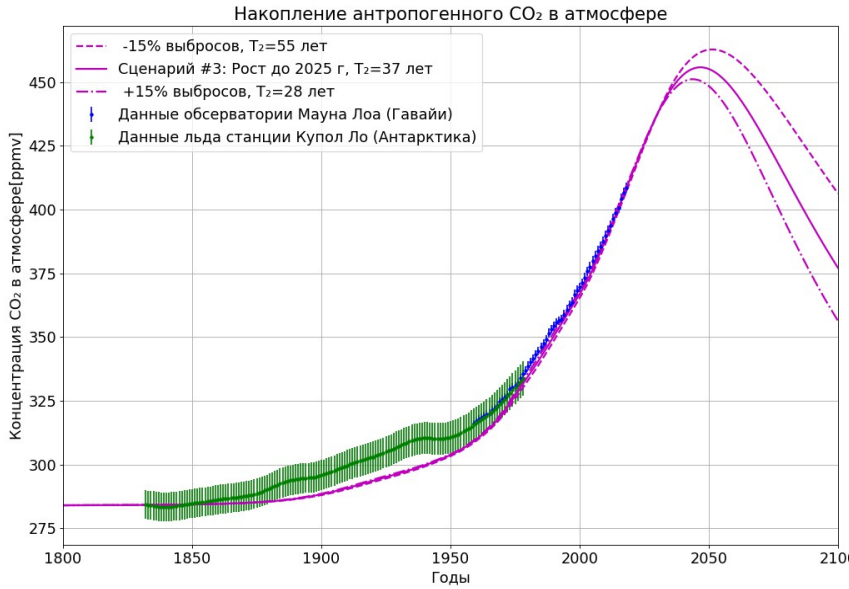
105 В реальном времени: http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/

$$\sigma = \frac{\delta}{Q_0}$$

Программа **\Chapter 09\Test_14_CO2.py**:



Что если мы ошиблись, и выбросы CO_2 на 15% выше или ниже? Программа **\Chapter 09\Test_15_CO2.py** моделирует неопределённость для сценария 3:



Хорошие новости: время двукратного снижения «лишнего» CO_2 в атмосфере – от 28 до 55 лет (наиболее вероятное 37 лет), что примерно соответствует работе фитопланктона и коралловых. Всю углекислоту учли парой простых

уравнений; корреляция с химией и с данными по добыче – вполне удовлетворительная. Инопланетяне углекислый газ не воруют, но и свой к нам не сбрасывают. Интересно относительное повышение CO_2 по сравнению с моделью в период 1875-1960. Вероятно, совпадает с активной распашкой прерий в США и целины в Казахстане, хотя и трудно сказать однозначно.

В сценарии 3 концентрация углекислоты в атмосфере не превысит 460 ppm, что на 30 ppm ниже, чем в базовом сценарии Й. Рандерса из главы 7. Увеличение концентрации CO_2 в атмосфере, вне всякого сомнения, – дело человеческой промышленности, однако влияние человека на глобальный климат, вероятно, преувеличено.

А вот новости плохие: на основании исключительно наблюдений CO_2 различить три сценария («обвал», «полочка», или «дальнейший рост») и определить, куда пошла планета после GFC 2008 года, к сожалению, пока невозможно. Мы узнаем это достоверно лишь лет через десять-пятнадцать.

Итак, о добыче углеводородов с 1965 по 2019 годы уважаемая «*Бритиш Петролеум*» нам сильно не врёт. Бумага всё стерпит, но одновременно подделывать данные измерения углекислоты в десятках международных обсерваторий, в том числе на нашей станции «*Восток*» в Антарктиде – требуются герои покруче Джеймс-Бондов. Это вам не в сейфах «*Сауди Арамко*» шуровать.

Количество отпитого из нашей пивной кружки мы кое-как знаем.

Теперь возьмём одно из крупнейших месторождений – шестое в мире по извлекаемым запасам нефти – настоящее нефтяное сокровище: Самотлор, открытое в 1965 году. Посмотрим, можно ли определить извлекаемые запасы исключительно по кривой добычи, а потом сравним с официальной оценкой компании.

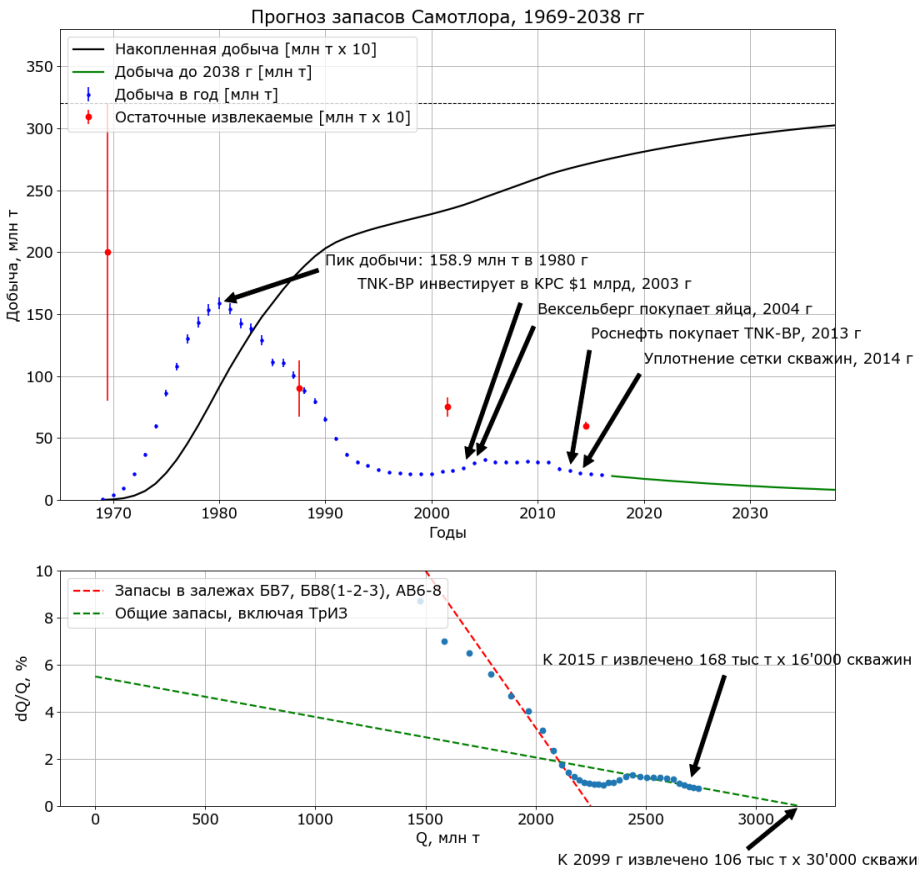
Заявления об открытии месторождений можно почерпнуть из газет, а в некоторых странах есть и доступные для публики официальные данные по геологическим и извлекаемым запасам. Конечно, далеко не во всех газетных статьях численные значения отражены правдиво, а в правительственной информации могут быть и весьма консервативные – заниженные – оценки. В некоторых странах, например в России, данные по запасам и добыче на конкретных месторождениях рассекречивают спустя десятилетия. Наконец, есть страны, в том числе Саудовская Аравия и КНР, где все данные по индивидуальным месторождениям со времён Второй Мировой считаются государственной тайной, за разглашение – расстрел (или декапитация, если вам больше нравится) по приговору закрытого суда.

На «*Весёлом*» отчёты мы несли в американскую геологическую службу USGS, а также в Комиссию по Ценным Бумагам SEC. В СССР похожие документы отправляли в Комиссию по Запасам. Если бы СССР стоял по сию пору, точные

числа из тех отчётов мы бы узнали году примерно в 2065. Однако с Самотлором нам повезло. В 2003 была сформирована, а в 2013 году – продана «*Роснефти*» компания «*TNK-BP*», и смелые британские учёные информацию слили газете «*Нью-Йорк Таймс*»[106].

Год отчёта	Геологические (балансовые) запасы STOIP, млн т	КИН$_т$	Остаточные извлекаемые запасы URR-Q, млн т	Накопленная добыча Q, млн т
1969	3'600	56%	2'000	0
1987	5'200	52%	900	1'800
2002	6'100	51%	750	2'350
2015	7'100	46%	600	2'700

Данные отрисованы программой **\Chapter 09\Test_16_Samotlor.py** :



По форме график добычи несильно отличается от разработки гипотетического месторождения «*Весёлое*», что мы обсуждали в предыдущей главе, только на

106 Kramer, Andrew E. "Mapmakers and Mythmakers: Russian Disinformation Practices Obscure Even Today's Oil Fields," *New York Times* (1 December 2005)

«*Весёлом*» у нас было 2 млрд баррелей геологических запасов, а в реальном Самотлоре – больше: 53-55 млрд баррелей. Соответственно и по вертикальной оси теперь отложены не баррели в сутки, а миллионы тонн в год. Желающие могут подогнать к данным вейбуллиану по формуле {8.3}.

Добычное бурение на Самотлоре началось в 1969 году; до этого бурили разведочные скважины. Процесс, ничем не отличающийся от нашего гипотетического «*Весёлого*», только масштаб побольше. За четыре года геологические запасы C_1 были доведены с «чегой-то есть» до 3'600 млн тонн, из которых 2'000 признали технически извлекаемыми. По мере бурения добычных скважин, категории залежей менялись на А и В, а числа уточнялись. В 1981 г Самотлор отчитался о миллиарде тонн накопленной добычи, и по имеющейся в распоряжении геологов (на тот момент) информации, в залежах месторождения оставалось не менее 1'700 млн т.

В олимпиадном 1980 году добыча Самотлора достигла пика 158.9 млн тонн – и немедленно покатилась под горку[107]. В начале 90-х добыча вышла на «колеблющуюся полочку» 25-30 млн т в год. И старые, и новые хозяева пытались вносить оживляж. Программа капремонта скважин (КРС), в том числе с использованием гидроразрывов, началась ещё в 1995. В 2003 подсоединилась «*BP*», инвестировавшая в КРС и дополнительное бурение $1 млрд. Характерно, что один из совладельцев – Виктор Вексельберг – одновременно инвестировал десятую часть этой суммы не в парней из «*Шлюмберже*», а в пасхальные яички от «*Фаберже*». В реальность восстановления добычи до уровня 100 млн т в год Вексельберг вряд ли верил: удалось удержать «полочку», и достаточно. Ещё до покупки «*TNK-BP*» «*Роснефтью*» в 2013 году добыча сошла с «полочки» и принялась падать по 7-8% ежегодно.

В 2014 году дочкой «*Роснефти*» – АО «*Самотлорнефтегаз*» – начата программа уплотнения сетки: более 570 новых скважин за 3 года. Успехи впечатляют. Удалось снизить спад добычи «всего» до 4% в год[108].

Это совершенно не значит, что Самотлор следует списывать со счетов. С годовым дебитом 18-20 млн тонн, даже при цене нефти $50 за баррель, АО «*Самотлорнефтегаз*» добывает нефти на $5 млрд ежегодно, а задолженность по кредитам – около $13.7 млрд. Лицензии на добычу – до 2038 года, есть план продления жизни месторождения до 2099. К тому времени месторождение будет выглядеть примерно как показано на картинке ниже. На снимке – Охинское нефтяное месторождение на Сахалине, где нефть открыли в 1880 году, а крупномасштабная разработка начата японцами в 1920. Накренившаяся насос-качалка и «пьяные столбы» – не ошибка фотографа. Болото же, а зимы суровые!

---

107 Для желающих – взгляните снова на графики добычи угля и атлантической трески в стоявшей, как известно, на угле и несомненно окружённой рыбой Великобритании – страницы 159-160.

108 Интервью гендиректора «*Самотлорнефтегаз*» Валентина Мамаева агентству «*Рейтер*». Скачано 21 июля 2017 с https://ru.investing.com/news/



Площадь Самотлора относительно невелика: 1'751 км². На каждом квадратном километре, таким образом, находилось изначально 1'850 тыс тонн извлекаемых запасов. Всего к 2015 году пробурено почти 16 тыс скважин; каждая добыла в среднем 168'000 т нефти. Сетка скважин довольно плотная – по 9-10 скважин на км².

Как по данным ежегодной добычи прикинуть общие извлекаемые запасы: URR? Если спад добычи следует кривой Хабберта {8.6}, то:

$$Q(t)=Sig(t)=\frac{URR}{1+e^{-\sigma(t-t_0)}}$$

$$Q'(t)=Hubb(t)=\sigma\frac{URR}{\left[1+e^{-\sigma(t-t_0)}\right]^2}\left(1+e^{-\sigma(t-t_0)}-1\right)$$

$$\frac{dQ}{Q}=\frac{\sigma}{URR}\left(URR-Q\right) \qquad \{9.4\}$$

То есть касательная к графику пересекает ноль в точке (URR, 0). Метод носит имя «линеаризация Хабберта», хотя придумал его не Хабберт, а последователи.

Кривая добычи Самотлора – не хаббертиана, а решений два: 2'300 и 3'200 млн тонн накопленной добычи. Это оттого, что в пределах месторождения не одна залежь, а много. Условно их можно разделить на две группы. В первую входит «кормилица наша» – залежь пласта БВ8[1-2-3] мегионской свиты нижнемелового периода[109]. К ней примыкают, хотя и не на всей площади

109 Чтобы не было разночтений, номенклатура геологических объектов по отчёту «*Самотлорнефтегазгеология*» 1987 г. Для не-геологов: в нефтянке середины прошлого века пласты обозначались буквами и цифрами, нумерация по алфавиту и сверху вниз. Когда после уточнения геологического строения надо было разбить, скажем, пласт БВ7 на два, им давали имена БВ7[1] и БВ7[2], чтобы не переименовывать нижележащие. Надстрочные индексы изображались поворотом барабана

месторождения, БВ7[1-2] и АВ6-8. В этой группе содержалось более 1'900 млн т извлекаемых запасов. В прошедшем времени – оттого что залежи практически выработаны. На некоторых скважинах на тонну добытой нефти приходится 25 кубометров воды. Вылить загрязнённую нефтью воду нельзя, оттого проходится тратить энергию, закачивая обратно в пласт.

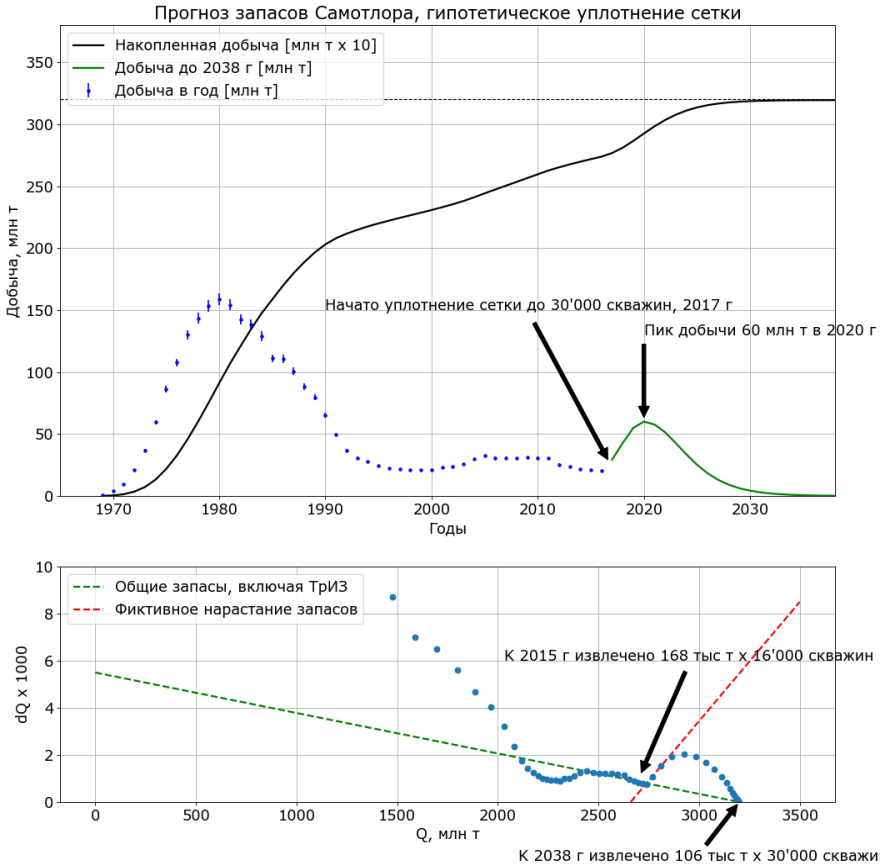
Сейчас добыча Самотлора ведётся в основном из второй группы залежей, и там-то полный зоопарк. Границы месторождения расширяли малопродуктивными залежами класса «Дядя Джо», точно так же, как мы с вами делали на гипотетическом «*Весёлом*». Самый крупный объект в пределах собственно Самотлора – залежь пласта АВ1[1-2], с тонкими глинистыми пропластками – так называемый «рябчик» – содержит основную остаточную нефть, которая по российским инструкциям проходит как ТрИЗ – Трудно Извлекаемые Запасы. Новая скважина без гидроразрыва даёт тут 3-5 тонн нефти в сутки, но при этом вместе с нефтью на поверхности сразу же появляется до 25% воды. После гидроразрыва из скважины можно получить и 50 тонн в сутки, однако гидроразрывы часто уходят в обводнённые пласты, и тогда скважина становится бесполезна, ну разве что под закачку воды поставят. Именно из «рябчика» на Самотлоре добывают до 50% сегодняшней нефти. Естественно, ни одна пробуренная в АВ1 скважина 168 тыс т не даст; в лучшем случае речь идёт о 10-15 тыс тонн при времени жизни скважины 20-25 лет. Однако много скважин умирает, не дотянув до этого почтенного возраста. Из-за этого показатель **«средняя добыча на скважину»** падает.

У линеаризации Хабберта есть огромный недостаток: он работает только при снижении добычи. Предположим, что в 2017 году «*Самотлорнефтегаз*» получил кредит $60 млрд, привёз буровые и пробурил за три года 13-14 тыс новых скважин, уплотнив сетку примерно вдвое. Предположим также, что проблему утилизации огромного количества загрязнённой воды как-то порешали и ударным трудом довели добычу до 60 млн т в 2020 году. Хотя такой сценарий экономически несостоятелен (денег не дадут), технически ничего невозможного в нём нет: платите реально большие бабки, буровики понаедут. Программа **\Chapter 09\Test_17_Samotlor.py** .

На кривой dQ/Q появляется скачок, и какое-то время возникает впечатление, что запасы месторождения возрастают бесконечно. После 2025 года геология всё расставит на свои места, но лет 8-10 можно втирать инвесторам. Как результат, в 2038 году продлевать лицензию не потребуется, а в среднем каждая из 30'000 скважин добудет те же 106 тыс т нефти.

После извлечения «извлекаемых» запасов, под землёй останутся «неизвлекаемые». На Самотлоре числа огромны: до 4'000 млн т. Технически извлечь их можно, и человечество уже таковыми технологиями располагает. Да простят мне коллеги-нефтяники «научную фантастику низкого прицела» в стиле А.П.Казанцева.

пишущей машинки «на щелчок». Однако крутить туда-сюда было неудобно, оттого появлялись имена типа БВ71 и БВ72.



На поверхности (за бюджетные деньги) построены ядерные реакторы. Электрическая энергия идёт в шахты. Там, на глубине 2-3 км, бесплатно (коммунизм же!) трудятся наши герои-шахтёры. Породу вынимают угольными комбайнами, мельчат, промывают раствором каустической соды, жидкость откачивают в отстойники. Нефть отслаивается, а каустик – качаем обратно под землю. Отработанным шламом можно заполнять старые выработки. Каждый из элементов технологии ещё в XX веке вполне освоен и есть примеры применения. Золотые шахты в ЮАР – уже куда глубже 3 км. Отмывка нефти – канадские «нефтяные пески». Про ядерные реакторы и угольные комбайны и говорить нечего. Одна проблема: не хватает пока героев!

Подкрутив колёсико фантастической реальности, заменяем ядерные реакторы на термоядерные, или реакторы-бридеры, героев – на роботов. Хотите антиутопию? Заместо героев – рабы, вместо комбайна – отбойный молоток. Или лучше так. Физик Пупкин изобретает генератор торсионного поля. Установка размером с пачку сигарет работает от трёх пальчиковых батареек. Приехав на месторождение и хорошо прицелившись, жмёт кнопарь… и

торсионное поле выключает смачивание! Нефть бодро отрывается от стенок пор и несётся к ближайшей скважине: «Бери меня, человек! Я твоя навеки».

Вы думаете, я просто ёрничаю? Ничего подобного. Прогуглите: «микролептонные генераторы, нефтедобыча». А если серьёзно, то технологии **интенсификации** в современной нефтянке условно делятся на пять групп:

1. Увеличивающие КИН$_т$. Открытые карьеры, как на разработке битуминозных песков к Канаде. Подземное расплавление нефти паром – Steam Assisted Gravity Drainage (SAGD) – для сверхтяжёлых нефтей. Закачка поверхностно-активных веществ (ПАВ) или углекислоты – это уже не десятки процентов, а лишь 1-2% КИН; хотя на огромном Самотлоре даже 1% – это 70 млн т дополнительной нефти. Такие технологии неизбежно затрачивают огромное количество энергии, сравнимое с энергией получаемой нефти: карьерному самосвалу требуется куда больше, чем насосу-качалке, ПАВ делают из природного газа и так далее.

2. Увеличивающие дебит из скважин, возможно при некотором снижении КИН$_т$. Добудем извлекаемые на сто лет раньше, но кое-что придётся в земле оставить. Типичный представитель – гидроразрыв пласта. Сюда же относя: кислотная обработка (особенно в карбонатных породах), различные методы поддержания пластового давления и т. п. Энергии и материалов тратится меньше, чем в первой группе, однако тоже много.

3. Увеличивающие время продуктивной работы скважины за счёт сокращения износа оборудования и удлинения периода между КРС. Здесь и антикоррозийные покрытия, и анодная защита, и фильтры от выноса песка, и ультразвуковые излучатели для срыва парафиновых бляшек с насосно-компрессорных труб, и более живучие центробежные погружные насосы – всего не перечислить.

4. Удешевление и ускорение бурения и КРС. Увеличение точности и информативности геологоразведки. Любые разумные предложения, как сэкономить бабки и энергию, или не бурить лишних скважин – принимаются!

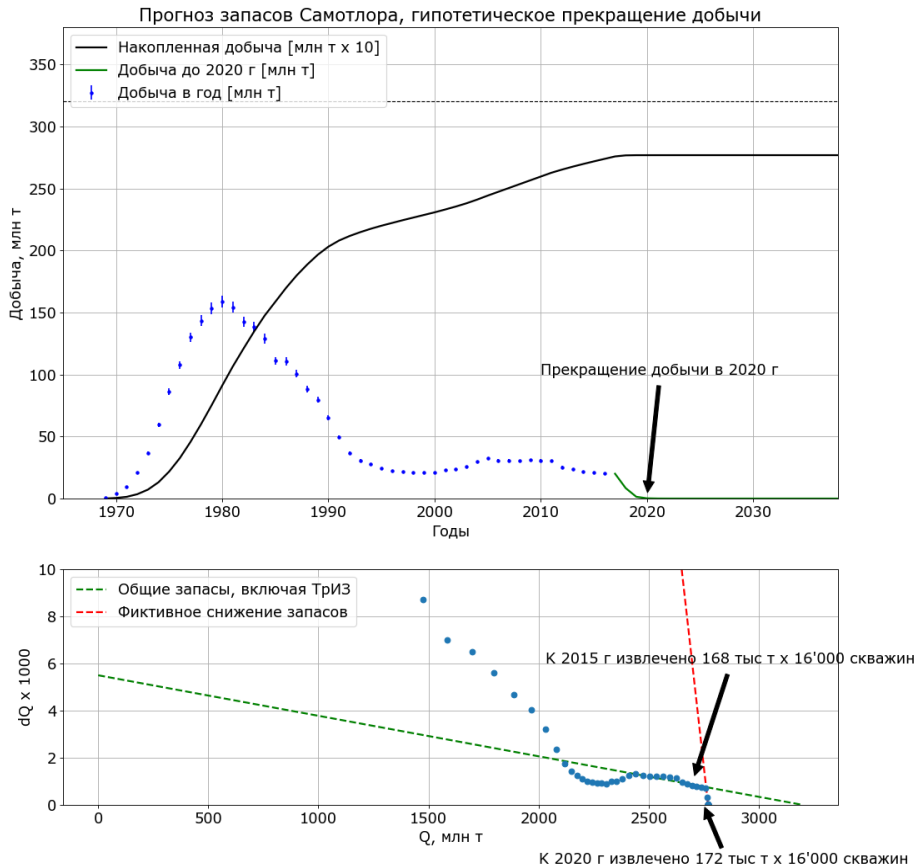
5. Наконец, шаманские танцы с бубном. Эти «технологии» хотя и стоят приличных денег, энергии потребляют совсем немного. Скважинам они почти не вредят, правда и на дебит не влияют. Зато начальник может отчитаться о внедрении новой техники, офисный планктон на презентации отдохнёт душой да премии себе выпишет, ну и проф. Выбегалло будет сыт-одет-обут и в шоколаде. Про такие технологии было в главе 6, хотя все разоблачать – никакой книги не хватит.

Так что, когда сообщают, что «существующими технологиями из Самотлора можно извлечь ещё 3 млрд тонн нефти», вам не врут совершенно. Забывают только разъяснить затраты: «За каждую тонну в сутки будут горбиться

одиннадцать зэков в шахте. При этом, из каждой тонны добытой нефти шахта будет потреблять на собственные нужды 900 кг».

Ясно, что никаких зэков и шахт на Самотлоре не будет; добывать будут и дальше скважинами и насосами (качалками или погружными, неважно). Можно предложить и альтернативный сценарий: в «*Роснефти*» кто-то большой решил, что надо оставить 600 млн тонн нефти в «рябчике» будущим поколениям. Поднял трубу, по-геологицки вякнул. По столу кулаком – брякнул: «Увольняйте шесть тысяч народу, закрывайте скважины, мать-перемать!» Экономически, опять же, такое произойти никак не может, но технически – запросто. Прекращать добычу проще, чем поддерживать.

Программа **\Chapter 09\Test_18_Samotlor.py**



В этом случае посчитанные по методу «линеаризации Хабберта» извлекаемые запасы дадут всего 2'770 млн тонн при $КИН_Э$=39%. Это не означает, естественно, что под землёй не осталось ни капли извлекаемой нефти. Сам Хабберт от огульного использования линеаризации предостерегал! Писал всегда и везде, что критериям, кроме хаббертианы, удовлетворяет ещё масса функций, а также любая сумма этих функций.

Заметим, что в случае прекращения разработки месторождения одна скважина в среднем извлекает не 106 тыс тонн, как в примере выше, а 172 тыс тонн. Умножение какой-то средней производительности на будущее количество производственных единиц – типичная ошибка, которую делают перцы и классические экономисты.

Задачка из начальной школы. «Сборщик Василий собрал за 4 часа 9 велосипедов. Сколько велосипедов соберут Василий, Пётр и Сергей за полную рабочую смену 8 часов?»

Чего тут считать? Один сборщик делает за смену 9x2=18 велосипедов, 18x3=54.

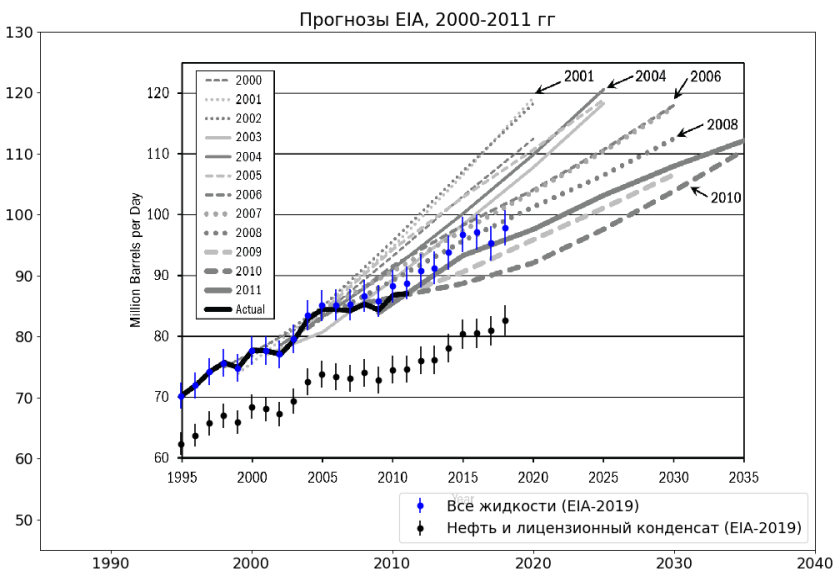
Вы не дочитали условия задачи, дорогой экономист! «Известно, что Василий после обеда обычно употребляет, и ему уже не до велосипедов. Пётр – не сборщик, а поросёнок. Он хороший парень, притом не пьет ни грамма, но копытцами собирать велосипеды несручно».

Внезапно, от посчитанных вами полусотни велосипедов осталось 27.

Вы опять не дочитали, дорогой перец! «Сергей – ударник ~~коммунистического~~ капиталистического труда. Он за смену собирает 150% нормы». Ага, значит, 36. Правильный ответ?

«Но на завод привезли только 33 передних колеса». И так далее. Проблема не так тривиальна, как может показаться, а производство зависит от массы параметров.

Рассмотрим прогнозы мировой добычи нефти, которые выдаёт американская EIA. Программа **\Chapter 09\Test_19_Prediction_EIA.py**



С 2000 по 2007 год прогнозы выдавались оптимистические, и каждый год добыча до них не доставала. В 2009 году на волне глобального экономического кризиса наступил перелом сознания, и прогнозы пошли в пессимистическую сторону. Самый плохой прогноз был в 2010, но к счастью, не оправдался. Самый точный прогноз пока – 2008 года, то есть в год кризиса.

Тем не менее, он предсказывает 110 млн баррелей в сутки к 2028 году, и это вряд ли сбудется. Экономисты EIA никогда это официально не признают, но просто анализируя данные, можно прикинуть алгоритм подобных прогнозов:

1. На основании данных по потреблению нефти и данных ООН по численности населения Земли посчитать среднее производство нефти на душу населения за последние 3 года.
2. Домножить полученное значение на прогноз ООН по населению и пересчитать в баррели в сутки.
3. PROFIT.

Так как население Земли последние 25 лет растёт линейно по 83 млн человек в год, то и прогноз получается всегда приблизительно линейный, а наклон графика отражает экономическую активность землян за предыдущие три года. В этом смысле «реалисты» из EIA ничем не отличаются от «оптимистов» из IEA[110]. Последние в прогнозе 2000 года утверждали, что в 2016 году из планеты удастся выкачать 5'400 млн тонн нефти, то есть те же 110 млн баррелей в сутки.

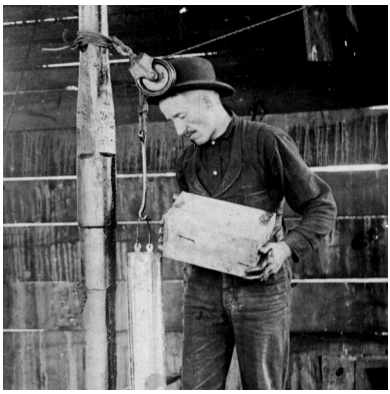
Когда экономисты говорят, мол сторонники Пика Нефти «постоянно ошибаются в прогнозах», следует перцев самих ткнуть носом в прогнозы бесконечного линейного развития, которые сбываются лишь случайно.

Итоги главы:

- По данным отчётов «*BP*» за 2008-2018 годы проведена грубая прикидка статистической точности. Погрешность данных в отчётах «*BP*» (и американской EIA) – не лучше ±3%, по-видимому, до ±5%. Так как исторические данные по добыче до 1965 года имеют разброс тоже около ±5%, наше определение суммарной накопленной добычи нефти, газа и угля не может быть точнее.
- Абсолютные значения в отчётах «*BP*» проверены по независимым данным – накоплению антропогенного CO_2 в атмосфере по наблюдениям станций Мауна Лоа и ледового керна станции Купол Ло. В пределах заявленной погрешности ±5% данные «*BP*» по добыче достоверны. Характерное время двукратного сокращения антропогенного углекислого газа в атмосфере – от 28 до 55 лет (наиболее вероятное 37 лет).

110 См. график в главе 2 на странице 36.

- На примере разведанного месторождения Самотлор показана невозможность определения извлекаемых запасов нефти на основании лишь данных по добыче (например, по методу «линеаризации Хабберта»). Для определения запасов требуются геологические данные, которые для большинства месторождений (за пределами США, Канады и ещё нескольких стран), к сожалению, являются секретными.
- Показана порочность методик предсказания объёмов добычи и потребления невозобновляемых ресурсов на основе линейной регрессии.



Глава 10. Сказки для взрослых.

Ленное право баронов Пампа обходилось Арканарским королям в двенадцать пудов чистого серебра ежегодно, поэтому каждый очередной король, вступив на престол, собирал армию и шел воевать замок Бау, где гнездились бароны. Стены замка были крепки, бароны отважны, каждый поход обходился в тридцать пудов серебра, и после возвращения разбитой армии короли Арканарские вновь и вновь подтверждали ленное право баронов Пампа наряду с другими привилегиями, как-то: ковырять в носу за королевским столом, охотиться к западу от Арканара и называть принцев прямо по имени, без присовокупления титулов и званий.

– А. и Б. Стругацкие «Трудно быть богом»

Примерно с 2011 года в СМИ появилась такая сказка:

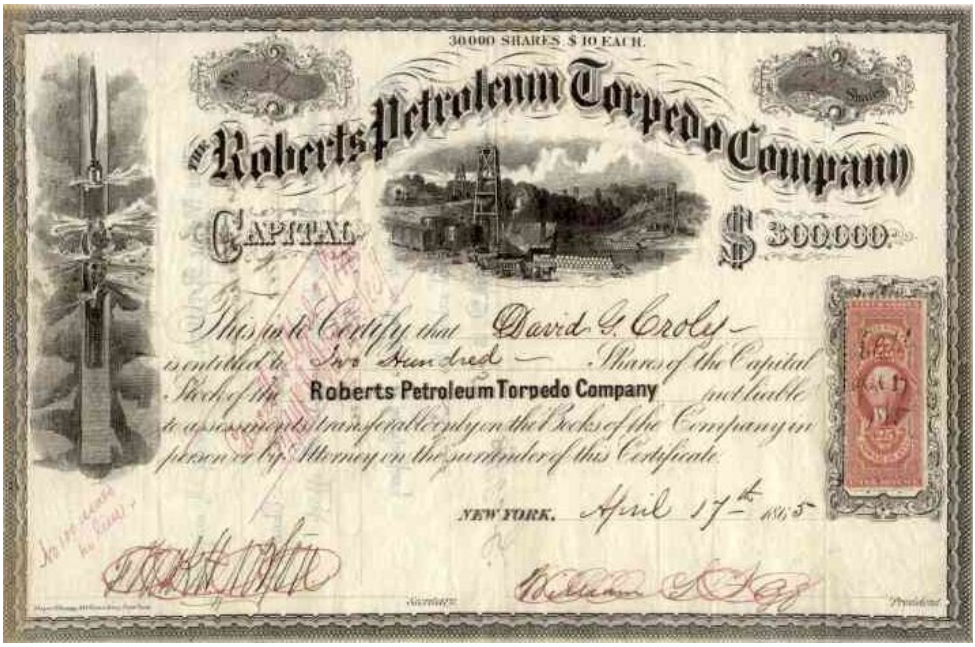
В некотором царстве-государстве США в 2010 году подходила к концу нефть. Кинул Президент Обама клич на весь мир: «Кто поможет проблему решить, дам дочку Малию в жёны и ~~полцарства~~ Пуэрто-Рико в придачу!» Набежали со всего мира ~~славные витязи~~ умные дяди в белых халатах и придумали Новую Технологию: «гидроразрыв пласта». Тут же подскочили хитрые волшебники-геофизики, да нашли под забедневшей страною моря-океаны «сланцевой нефти»: тут тебе и Барнетт, и Баккен, и Иглфорд с Пермским! Фракнул Обама раз, перекрестился, фракнул второй: как пошла нефть из-под земли по всему королевству! И настала «сланцевая революция»! И стали все жить-поживать, да нефть добывать. Тут и сказочке конец, кто поверил – молодец.

В реальности всё гораздо серьёзнее. Примерно как в настоящих, а не адаптированных для детей сказках братьев Гримм: спящую красавицу добрый молодец будит не поцелуем в губы, а, скажем, посредством других частей тела; злым сёстрам Золушки добрая мамаша отрубила пятки – чтобы натянуть-таки туфельку; шаловливая Златовласка не сбежала от трёх медведей, её догнали, и стала ужином… Ну так вот сказки.

Сказка первая. Кто подставил ~~кролика Роджера~~ полковника Робертса, или отчего американцы называют подработку «работой при луне».

В некотором царстве, свободном ~~государстве~~ штате Нью-Джерси жил-был полковник Эдвард А. Л. Робертс. Напали как-то в 1862 году свободные американцы на соседний штат Северную Вирджинию, где засели злобные рабовладельцы-конфедераты. Во время битвы при Фредериксбурге наш бравый полковник заметил, как весело разорвалась артиллерийская бомба в узком водоотводном канале водяной мельницы, отчего по берегам пошли трещины. Гражданская война закончилась, полковнику заплатили как положено – и попёрли со службы. Закупив из военных излишков чёрного пороха и нитроглицерина, Робертс принялся за эксперименты и получил в ноябре 1866 года американский патент № 59,936 на «нефтяную торпеду».

Кстати, слово «торпеда» в военно-американском языке того времени обозначало любой фугас с дистанционным запалом, а полковник лишь добавил прилагательное «нефтяная».



Сыграла роль элементарная удача. Просто заливать нитроглицерин в стальную трубу полковник Робертс опасался, ибо знал, что чревато. Взял две трубы, заполнив промежуток между стенками песком для амортизации. Получилось великолепно: после разрыва пласта, давление в скважине загоняло часть песка в трещины, не давая им схлопываться. Позднее песочек получил техническое имя: «проппант», от слова «подпорка»[111].

Получив патент, полковник основал «*Компанию нефтяных торпед Робертса*». За работу брал всего-ничего: $200 за каждый «выстрел», да 1/15 от прироста добычи за первый год. В современных нам долларах, двести – не так уж много: около $3'000. А вот с одной пятнадцатой хозяева скважин были категорически не согласны. В некоторых скважинах торпеды увеличивали дебит на 1'200%, и приходилось отдавать пройдохе-полковнику кучу капусты.

К несчастью для Робертса, после Гражданской войны в США осталось много невостребованных героев, умевших обращаться со взрывчаткой. История, как некий полкан наливает в трубы нитроглицерин и подымает нехилый баблос, немедленно разошлась в солдатско-офицерские массы, и появились

111 В английском под словом «проппант» понимают все материалы: природные (разделённый по фракциям песок), природные модифицированные (тот же песок с химическими покрытиями) и искусственные (например, керамические шарики). В русском языке слово «проппант» пока не устоялось. Некоторые российские нефтяники настаивают, что природные проппанты надо называть просто «песок», а «проппант» – это искусственный либо модифицированный продукт. Не будем участвовать в терминологических спорах, они не принципиальны.

последователи и подражатели. Самым подражателем был некто Уильям Рид, основавший «*Торпедную компанию Рида*». Там в Уставе было чёрным по белому: «Компания имеет целью опротестовать через суд и уничтожить патент Робертса 1866 г». Рид проиграл в суде, но подражатели не унимались.

Робертс потратил $250'000 (это три с половиной лимона в наших деньгах) на частных детективов Пинкертона, выслеживавших нарушителей патента. В ответ ребята начали работать по ночам. Но освещение было так себе, оттого приходилось ограничивать работы ночами ясными и лунными. Так в американской мове появилось выражение «moonlighting», то есть «работа при луне». Вот как описывал работу специалистов Джон Мак-Ларен в книге «*Зарисовки из истории нефтедобычи*» 1896 г.:

Пламя или электрическая искра не всегда взрывают нитроглицерин, но ежели парень уронит торпеду… Перед ночной работой лучше завещание составить, да сигарную коробку заказать! На гроб тратиться не надо: всё, что от тебя по округе плачущие родственники соберут, в сигарную коробку как раз поместится.

В 1881 году Эдвард Робертс помер, а наследники продали всё двум сотрудникам «*Компании нефтяных торпед Робертса*»: Отто Куплеру и Рику Таллини. Первый рассорился со вторым и распилил предприятие пополам, образовалась «*Компания торпед Отто Куплера*». Эти две компании так и стреляли скважины на нитроглицерине более ста лет. Семья Куплеров даже владела нитроглицериновыми заводами в Титусвилле, штат Пенсильвания; последний из которых взорвался в 1978 году. А последний «выстрел» на нитроглицерине прогремел в мае 1990.

«Нефтяные торпеды» на порохе (вместо опасного нитроглицерина) стреляют до сих пор; в России метод известен под именем ТГХВ – термогазохимическое воздействие[112]. Пороха чаще используются специальные, с замедленной скоростью сгорания. Изменилась и конструкция торпед: электрозапал вместо раскалённого гвоздя Робертса, бескорпусные торпеды, и так далее, но принцип действия не отличается от метода 1866 года.

Сказка вторая. Почему «*Халлибёртон*» не «*Станолинд*».

Проблема с технологией полковника Робертса проста. Нитроглицериновая торпеда не может быть слишком крупной. Абсолютный технический предел где-то 10 метров в длину при диаметре 10 см. Если сделать больше, скважина обрушится. Плотность энергии нитроглицерина в пластовых условиях – 9'800 МДж/м³. Всего в «торпеде» $9'800 \cdot 10 \cdot 3.14 \cdot 0.05^2 = 770$ МДж энергии[113], из которой с пользой для дела – на производство трещины – расходуется около 20%, или примерно 160 МДж.

112 См., например: «Большая энциклопедия нефти и газа» http://www.ngpedia.ru/pg0135qxA8t6D4Z193i3N60044083401/

113 Для сравнения: самая крупная современная торпеда имеет заряд 500 кг при удельной теплоте сгорания пороха около 4 МДж/кг. Итого, энергия современной торпеды – порядка 2'000 МДж. Почти втрое больше, чем у полковника Робертса. Дополнительное преимущество – больше CO_2 в пороховых газах.

В 1947 году инженеры Флойд Фаррис и Эверетт Джонсон из нефтяной компании «*Станолинд Ойл*» решили применить вместо традиционного нитроглицерина ставшие доступными после войны высокодебитные насосы. «*Станолинд*» экспериментировал с закачкой в подземные пласты соляной кислоты с середины тридцатых годов, но цены на двигатели в 500-2'000 лошадиных сил тогда были запредельные, оттого технология выходила малорентабельной. Во время Второй мировой войны Детройт клепал впрок авиамоторы и морские дизели, а верфи не поспевали строить подводные лодки и торпедные катера. Война внезапно кончилась, образовался избыток мощных моторов, их продавали как «военные излишки». Видите аналогию с полковником Робертсом?

Расчёт «*Станолинд*» был прост. Пусть двигатель от подлодки даёт 500 механических «лошадок», то есть 373 кДж в секунду. Насос имеет гидравлический КПД около 80%, из которых 20% или чуть больше уходит в энергию трещины. Тогда каждую секунду растущая трещина получает $0.373 \cdot 0.8 \cdot 0.2 = 0.06$ МДж. Эквивалент «классического» нитроглицеринового разрыва достигается за 160/0.06 = 2'700 секунд, то есть ¾ часа. Однако кто запрещает нам купить вместо одного дизеля к подлодке три движка от корабля-охотника? Четыре с половиной тысячи «лошадок» будут выполнять работу сверхкрупной нитроглицериновой торпеды каждые пять минут!

Ясно, такими насосами можно рвать больше и чаще, а главное – безопасней. Домой не привезут в сигарной коробке.

Самый первый в мире гидравлический разрыв пласта – на картинке ниже.



«*Станолинд*», основанная ещё в 1931 году дочка «*Стандарт Ойл*», была компанией нефтяной, а не сервисной. В штате не было ни механиков, ни

чернорабочих. Чтобы провести полевые испытания, требовался подрядчик, и таковой был найден в лице цементной компании «*Howco*» (Halliburton Oil Well Cementing Company). Цементажники умеют эксплуатировать насосы, правда? В 1948 году в «Халике» трудилось около 400 человек в четырёх странах: США, Бирма, Индия, Венесуэла; годовой доход – около 30 млн тогдашних долларов, то есть примерно 0.3 млрд современных. До гиганта индустрии с годовым оборотом в 33 миллиарда было далеко.

Первый «гидравлический разрыв» был выполнен на газовом месторождении Хьюготон в штате Канзас. В пласт на глубине около 730 м закачали 1'000 галлонов (3.8 м³) бензина, для вязкости замешанного с напалмом[114]. Ничего хорошего от закачки не получилось. Чудес не бывает: на момент гидроразрыва скважина была «бросовая», с практически нулевым дебитом. Её и выбрали такую – не жаль испортить.

Вы слыхали про месторождение Хьюготон? В 1960-1975 годах добыча составляла более 850 миллиардов кубических футов (24 млрд м³) в год, в 2016 – всего 250 млрд (всё ещё как целая Германия), однако никакие гидроразрывы уже не помогают.

С нефтью ситуация примерно та же: добыча упала со 122 млн баррелей (15.9 млн т) до 37.9 млн баррелей (около 4.9 млн тонн). Уровень 1918 года. Население штата Канзас – 2.9 млн. На душу приходится 1'700 кг собственной нефти в год. Для сравнения: средний американец потребляет 2'700 кг. Не только о «заливке всего мира нефтью» речи нет, даже в соседние штаты отправлять уже жаль.



114 Хотя звучит очень по-военному, жидкость не поджигали (технические детали метода по ссылке на следующей странице). К термогазохимической обработке пласта метод «*Станолинд*» отношения не имеет.

И на этом месте в нашей невыдуманной сказке происходит чудесное превращение золушки в принцессу: «*Howco*» получила у «*Станолинд*» эксклюзивное право на выполнение гидроразрывов. Прикомандированный к «*Станолинд*» от «*Стандарт Ойл*» Эверетт Джонсон 31 декабря 1949 г подал заявку, а 5 января 1954 – получил патент US2664954A[115]. Но пока Патентное бюро рассматривало, «*Howco*» кидала уважаемого заказчика «*Станолинд*» через цементажный триплекс-насос! Только за 1949 год провели 332 гидроразрыва, зарабатывая по 900-1'000 долларов за каждый. К моменту выдачи патента порвали более 3'000 скважин, из которых лишь около сотни принадлежало «*Станолинд*». В 1951 доходы «*Howco*» утроились, перевалив за 100 млн тогдашних долларов (миллиард теперешних).

Отчего «*Станолинд*» не подала на «*Howco*» в суд, оторвав себе хотя бы часть доходов от изобретения? Юристы были заняты: судились с кредиторами. К началу пятидесятых годов уважаемая нефтяная компания стояла на грани банкротства. Месторождения в Канзасе вышли на пик добычи. Уплотнение сетки скважин потребовало кредитов, а по кредитам надо платить! От уплотнения сетки и новомодных гидравлических разрывов ожидали удвоения добычи (раз вдвое больше дырок в земле, то и течь должно вдвое больше, не так ли?), а получили в лучшем случае – «полочку» на несколько лет.

Как юридическое лицо нефтяная компания «*Станолинд*» существует до сих пор[116]. Сотрудников всего с десяток, из них один геолог и ни одного буровика, зато имеются «активы»: по оценкам совладельцев, до 1 млрд долларов в «перспективных территориях Пермского бассейна» (что в Техасе). Все «перспективные» покрыты как наземной сейсмикой, так и «сухими» разведочными скважинами. Нефти и газа в сколько-нибудь значительных объёмах там нет, оттого желающих купить ~~лохов~~ не наблюдается.

Сказка третья. На Барнетт суда нет.

Жил-был на свете Мальчиш-Кибальчиш. Нет, не народоволец – изготовитель фирменного «гремучего студня» для Александра II. Нашего мальчиша звали Джордж Фидиас Митчелл, но занимался взрывным делом он профессионально и с любовью. Окончив в 1940 году с отличием Техасский Университет Сельского Хозяйства и Механизации (геологический факультет, как ни странно), Митчелл основал собственную нефтяную компанию: «*Митчелл Энержи & Девелопмент*»[117]. Компания поучаствовала в послевоенном нефтяном буме.

Джордж Митчелл наверняка читал знаменитые статьи Хабберта. Достоверно известно также, что в конце шестидесятых «*Митчелл Энержи*» спонсировала

115 См. https://www.google.com/patents/US2664954 Патент «Станолинд» включал любые жидкости, в том числе и бензин. Конечно, на бензине никто не рвёт сейчас! Неэкологично и небезопасно, но главное – дорого.

116 http://www.stanolind.com/

117 Любителям порассуждать о «социальных лифтах»: самым крупным бизнесом Митчелла-старшего, иммигранта из Греции, была полировка чужих ботинок.

машинное время для команды Денниса Медоуза. Прочитав в 1972 году «*Пределы роста*», Митчелл пришёл к выводу, что добыча природного газа в Америке лет через пятнадцать-двадцать выйдет на «полочку», а спрос продолжит расти. Следовательно, цена двинет вверх. Если найти ~~бочку варенья и корзину печенья~~ ещё газа не позже начала 1990-х, можно сделать серьёзный гешефт! С тех пор наш герой занимался исключительно природным газом из низкопроницаемых пород («сланцевым газом»). К так называемой «сланцевой нефти» он отношение имеет косвенное. В качестве полигона для своих опытов Митчелл выбрал месторождение Барнетт в Техасе.

История Барнетта вкратце такая. Геологи USGS открыли и нанесли на карты потенциальное месторождение природного газа ещё до Первой Мировой. В двадцатые, пятидесятые и шестидесятые годы XX века на Барнетте разные компании бурили разведочные скважины. И пробурив – каждый раз бросали. Все скважины показывали мизерные притоки газа: от 5 до 15 кубометров в сутки, оттого оказывались нерентабельными. Это не описка. Не «миллионов кубометров» и даже не «тысяч». Просто «кубиков». Для сравнения: некоторые газовые скважины на Уренгое давали в сутки по десять миллионов, а «суперскважины» в Северном море – до 30 млн кубических метров газа.

Извлекаемые объёмы углеводородов мы обсуждали в предыдущих главах – смотрите формулы {8.1}. S_{or} нас в данном случае не волнует, потому как качать будем газ. Коллекторские свойства Баккена? По данным Университета Техаса в Остине[118], открытая пористость в пластовых условиях – от 0.03 до 0.06, S_{wirr} – от 0.60 до 0.85. В кубометре породы, таким образом, для газа остаётся всего 0.05·(1-0.7) = 0.015 м³, пятнадцать литров! Конечно, газ под землёй находится под давлением, однако при повышенной температуре. Для пересчёта используем формулу

$$V_{с.у.} = V_{залежи} \frac{273.15 + T_{с.у.}}{273.15 + T_{залежи}} \frac{P_{залежи}}{P_{с.у.}} \frac{Z_{с.у.}}{Z_{залежи}} \qquad \{10.1\}$$

Здесь:
T – температура в градусах Цельсия; в нефтянке стандартные условия – 15°Ц;
P – давление, стандартные условия – 1 атмосфера;
Z – фактор (коэффициент) сжимаемости газа, табличное значение.

Для Барнетта, при пластовом давлении порядка 230 атмосфер и температуре около 120°Ц, имеем целых 2.5 кубометра стандартного газа в каждом кубометре породы. Характерная мощность газоносных пластов на Барнетте (помните, что слово «толщина» зарезервировано для троллей?) – 110 метров. Выходит, на квадратном километре месторождения в среднем 0.28 миллиарда кубометров стандартного газа. Переведём этот газ в тонны условной нефти: 0.26 млн тое. Для сравнения, на каждом квадратном километре Уренгоя или Медвежьего – от 1.0 до 1.7 млрд кубометров, или 1.2 млн тое.

118 http://www-udc.ig.utexas.edu/geofluids/graphics/news/LowPermWS_Polito.pdf

Годовое потребление природного газа в США – порядка 780 млрд м³. Значит, если снабжать США газом исключительно с Барнетта, надо каждый год высасывать досуха газ с территории 2'800 квадратных километров – это квадратик со стороной 53 км. Если поставить себе целью закрыть Барнеттом все потребности Америки в нефти, газе и угле – порядка 1'940 млн toe в год – сторона квадрата будет около 86 км. Площадь Барнетта велика, но не бесконечна: 13'000 км². Перцы делят циферки и внезапно выходит, что Барнетта хватит Америке, увы и ах: на три года.

Не беда, говорят перцы, кроме Барнетта есть же другие месторождения. Три года там, пять лет тут, глядишь и набежит 100 лет. На наш век хватит, а наши внуки управляемый термояд ужо придумают. У меня для перцев две новости: хорошая и плохая. Начнём с хорошей: собственного «сланцевого газа» Америке хватит лет на пятьсот. Плохая: годовая добыча с примерно 2030 года будет менее 100 млрд м³, и воленс-ноленс придётся резко сократить аппетиты. Аппетиты – в самом прямом смысле. Из природного газа, помимо прочего, делают минеральные удобрения. Забегая вперёд, заметим, что пик добычи на всех «крупнейших» месторождениях «сланцевого газа» уже прошёл. Правда, на Баккене, Иглфорде и Марцеллусе есть ещё шанс, что рекорд 2015 года будет побит. На остальных – снижение добычи началось ещё до хлопка «сланцевого пузыря», и шансы на восстановление добычи там сомнительные.

Чтобы разобраться, отчего это произойдёт, нам понадобится ещё одна формула. Её вывел в 1856 году французский инженер Анри Дарси (Henry Philibert Gaspard Darcy). Нас интересует запись в дифференциальной форме[119]:

$$\nabla P = -\frac{\mu}{k} \cdot q = -\frac{\mu}{k} \cdot \varphi v \qquad \{10.2\}$$

Где:

$\nabla \mathbf{P}$ – градиент давления в Па/м;
μ – вязкость в Па·с, нефтяники используют внесистемную единицу санти-Пуаз (сП), 1 Па·с = 1'000 сП;
k – коэффициент проницаемости в м², а в нефтянке – внесистемные Дарси (Д), 1Д ≈ 10^{-12} м², а также 1 мкм² = 10^{-12} м²;
q – нормированный приток, м³/м²/с или просто м/с. Это ещё не скорость потока!
v – а вот и скорость в м/с. К нормированному притоку она привязана через безразмерную пористость φ.

Проведём инженерную прикидку для Барнетта. Пусть вертикальная скважина диаметром 312 мм пронзила 110 м газоносной породы на глубине 2'300 м. На производительность Северного моря не рассчитываем, однако хочется, чтобы скважина давала хотя бы 150'000 стандартных кубометров в сутки, или 1.75 м³/с. Нормированный приток **q** = 1.75 / 110 / **π** / 0.311 = $1.6 \cdot 10^{-2}$ м/с. Скорость газа в порах $1.6 \cdot 10^{-2}$ / 0.05 = 0.3 м/с.

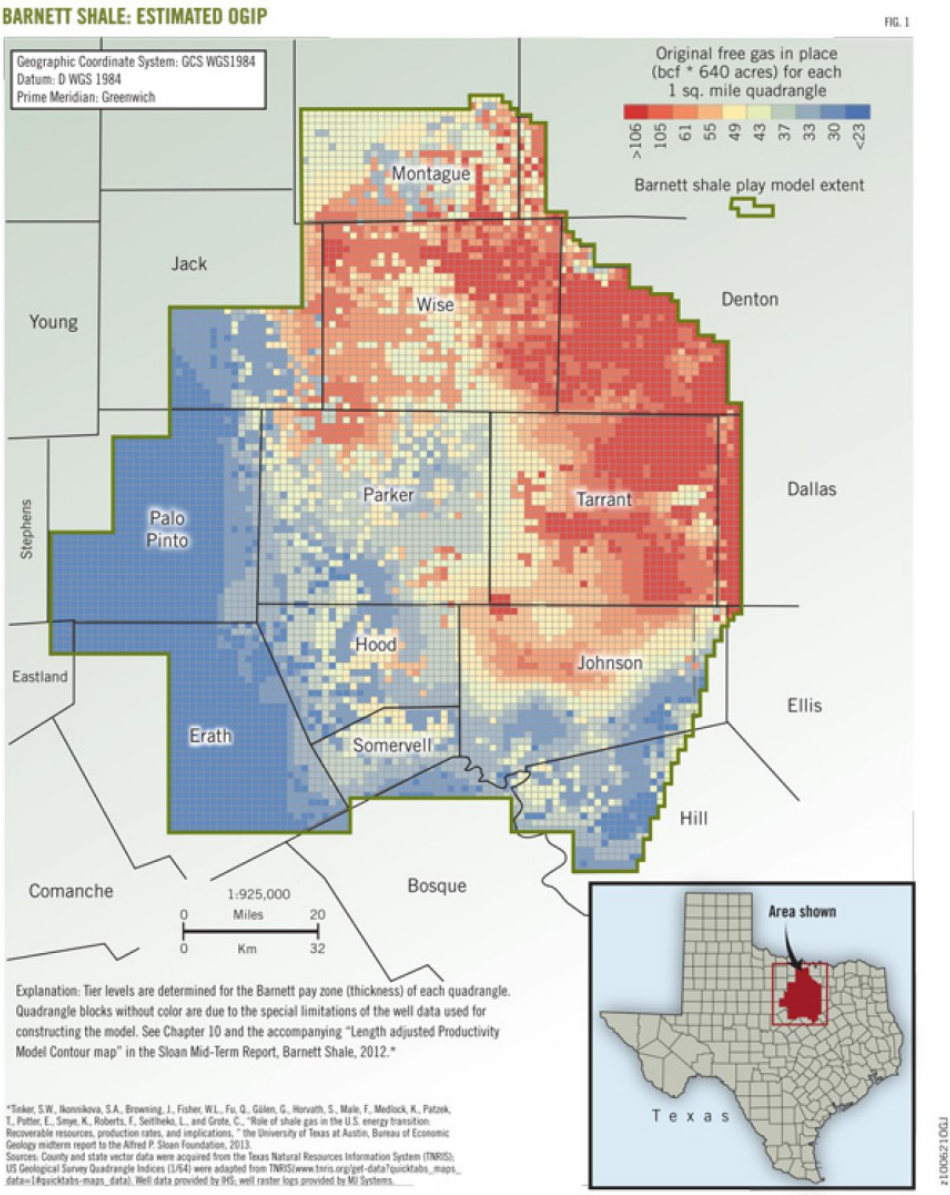
119 Её также называют формулой Козени-Кармана.

Вязкость природного газа в пластовых условиях Барнетта – порядка $1.6 \cdot 10^{-5}$ Па·с. Для прикидки точнее не надо. Проницаемость возьмём из тех же данных Университета Техаса, что и пористость: от $2 \cdot 10^{-20}$ до $1 \cdot 10^{-19}$ м². Это не опечатка! Проницаемость на Барнетте действительно измеряют в нано-Дарси, вот вам и «нанотехнология», хе-хе. Для сравнения, на Уренгое породы с проницаемостью 0.1 милли-Дарси (10^{-16} м²) не считали промысловой залежью.

Градиент давления по формуле {10.2} $\nabla \mathbf{P} = 1.6 \cdot 10^{-5} \cdot 1.6 \cdot 10^{-2} / 10^{-19} = 2.6 \cdot 10^{12}$ Па/м. То есть, если в скважине полный вакуум, на расстоянии 1 м от скважины пластовое давление должно быть... в 7 раз больше, чем в центре Земли – 26 млн атмосфер! Конечно, такого давления там нет, а есть на пять порядков меньше: 230 атмосфер. Именно поэтому средняя скважина Барнетта без гидроразрыва даёт не 150 тысяч кубометров газа в день, а на пять порядков меньше: 1-2 кубометра. Конечно, Барнетт не везде одинаков. Попадаются участки – геологи зовут их «**сладкими точками**» – где и пористость повыше, и проницаемость лучше на порядок. Именно в этих местах и добывали без гидроразрыва по 15 кубометров газа в сутки.

Что привнёс в историю Барнетта Джордж Митчелл? Первичный гидроразрыв! До Митчелла основным применением разрывов – и на нитроглицерине, и с насосами – было восстановление добычи старых нефтяных скважин. Когда «классическая» нефтяная скважина добывает нефть, наряду с другими факторами изменяются свойства пород вокруг скважины. Например, поры забиваются тяжёлыми и вязкими фракциями нефти. Трещина гидроразрыва проникает через изменённую зону и даёт скважине доступ к ещё не повреждённой породе – дебит восстановили. Особо крупные размеры разрыва ни к чему – достаточно, если заполненная проппантом трещина отошла от скважины на десяток метров. Автор помнит, как в начале девяностых рассказывал коллегам-нефтяникам в Радужном, что «*Митчелл Энержи*» рвёт газовые скважины на смеси воды с лигроином и метанолом, вообще без добавления проппанта, причём закачивает в скважину до 500 кубометров жидкости. «Да не кубометров, а литров, наверно! — не верили суровые сибирские мужики, — И вообще, газовые скважины не рвут!» В 2016 году рекордный (но не единичный) «фрак» на Барнетте – 3 млн галлонов. Одиннадцать тысяч кубометров.

Собственно, первичный гидроразрыв с целью добыть как можно больше нефти за кратчайшее время придумали – не от хорошей жизни, ведь кредиты надо было отдавать, – парни из «*Станолинд*». Читайте предыдущую сказку. В «*Митчелл Энерджи*» ту же инвестиционную схему применили для газа. Действительно, если вместо скважины – цилиндра с диаметром 0.3 м и характерной площадью контакта с залежью около 100 м² – бабахнуть десяток трещин 100 на 500 метров, площадь контакта возрастает в искомые 10'000 раз, и на «сладкой точке» можно получить приток 150 тыс кубов газа в сутки. Другое дело, что добудет такая скважина не очень много. Разберём на примере того же месторождения в Техасе.

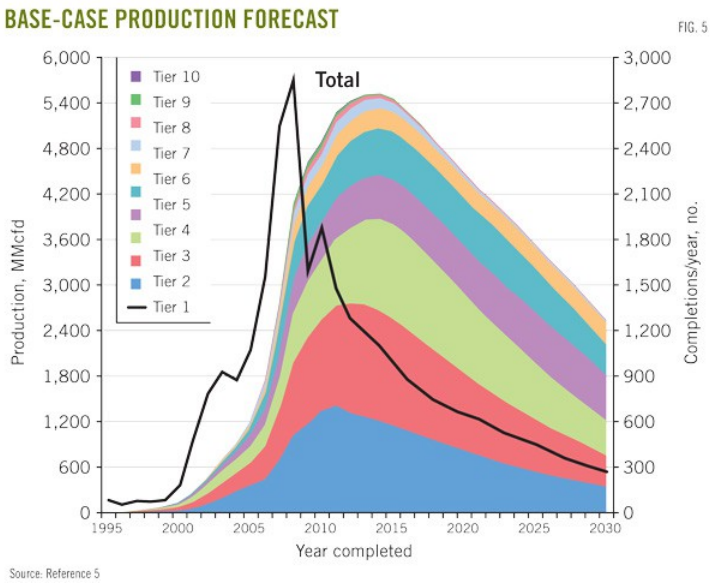


В 2013 году Университет Техаса (в Остине) и Университет Райса (в Хьюстоне) совместно опубликовали доклад о потенциальных ресурсах Барнетта[120]. Для начала приводится оценка начальных извлекаемых запасов газа: 86 триллионов кубических футов (2'400 млрд м³), из коих 19 уже в эксплуатации, 45 «пока не найдено на уже эксплуатируемых площадях», и 22 «пока не найдено на территории, где ещё не бурили». Любому, кто хотя бы поверхностно знаком с

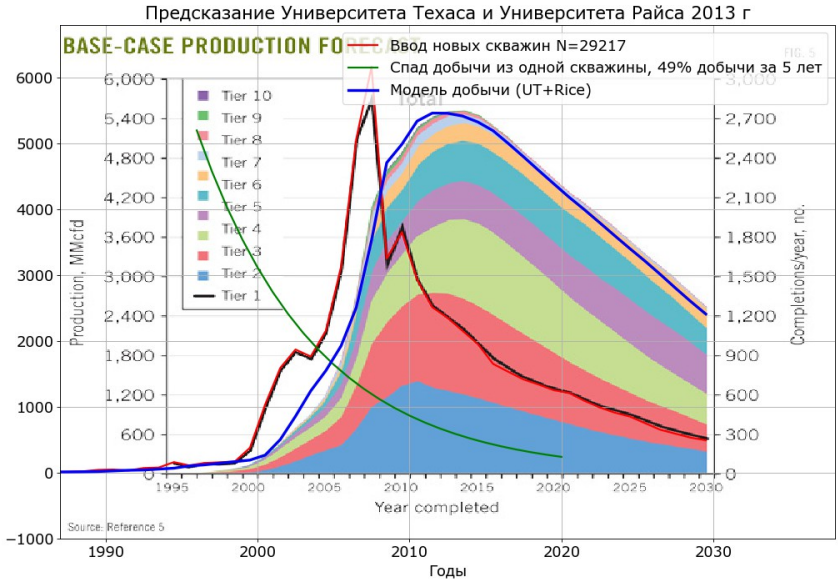
120 John Browning, Scott W. Tinker, Svetlana Ikonnikova, Gürcan Gülen, Eric Potter, Qilong Fu, Susan Horvath, Tad Patzek, Frank Male, William Fisher, Forrest Roberts (University of Texas, Austin); Ken Medlock III (Rice University, Houston) «BARNETT SHALE MODEL-2: Barnett study determines full-field reserves, production forecast», **Oil & Gas Journal**, 02/09/2013

историей геологоразведки штата Техас, в последней фразе прозвучит звоночек. С конца позапрошлого века бурили в Техасе практически везде, другое дело чти далеко не повсеместно бурение десятка-другого разведочных скважин приводило к открытиям промышленных запасов. Впрочем, нарушения законов физики в докладе нет. Как указывалось выше, общая площадь Барнетта – 13'000 км², в среднем на каждом километре, оценочно, 0.28 млрд м³ начальных геологических запасов, итого 3'600 млрд. Коэффициент извлечения у аспирантов получился меньше 100%. Нормально.

На карте геологических запасов каждый квадратик – 640 акров, или квадратная миля, то есть 2.6 км². На этом квадратике – от «менее 23» до «более 106» млрд кубических футов газа, что даёт от «менее 0.25» до «более 1.15» млрд м³ геологических запасов газа на квадратный километр. Вычислив стоимость бурения, пришли к выводу, что буриться будут лишь квадратики с геологическими запасами не меньше 0.58 млрд м³ на км². По мнению авторов работы, на этих площадях добыча газа будет рентабельна при цене не ниже 4 долларов за миллион BTU (около 1'000 кубических футов), большинство скважин будет работать по 25 лет, а добыча на одну скважину составит от 55 до 120 млн м³. Всего со «сладких точек» можно добыть (к 2050 году) 45 триллионов кубических футов (1'275 млрд м³) природного газа, примерно половину расчётных технически извлекаемых запасов. Воспроизведём график из доклада.



Чёрная кривая – ввод новых скважин, заливка – предсказанная добыча до 2030 года. Как уважаемые авторы рассчитали общую добычу? Приведём упрощённый метод, используя уравнение свёртки, аналогичное {9.3}, лишь вместо спада концентрации CO_2 – спад дебита из скважины (программа **\Chapter 10\Test_01_Prediction_Barnett.py**):



Как видим, авторы приняли, что первый год после гидроразрыва скважина на Барнетте будет давать в среднем 520 тыс кубических футов (14.7 тыс м³) газа в сутки, а снижение добычи – по 12% за год, при общем времени работы скважины 25 лет.

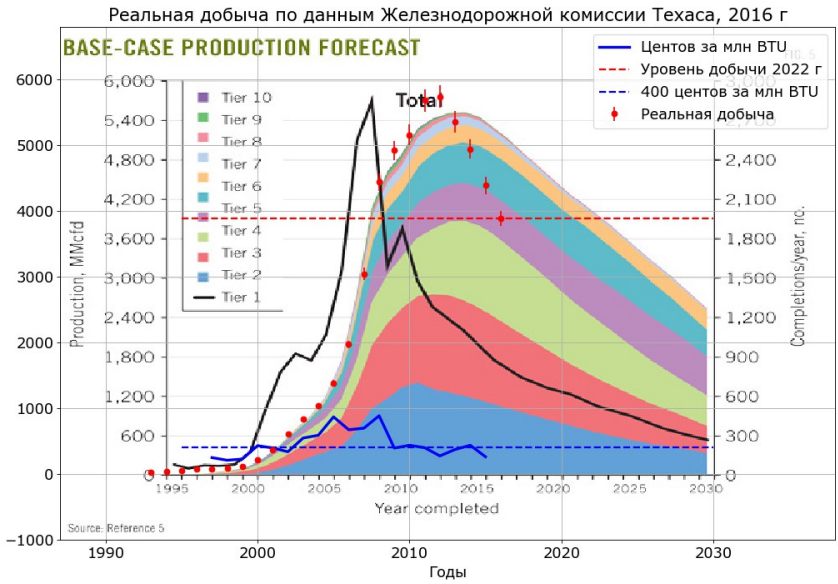
Обратите внимание на несоответствие реальных и расчётных данных за период 1995-2006 гг. Похоже, пробуренные «*Митчелл Энержи*» с 1981 года скважины уже перестали давать газ!

Работа над докладом началась в 2011 году; использовались данные по добыче и количеству пробуренных скважин по состоянию на декабрь 2010 года. К тому времени на месторождении было пробурено, порвано и освоено (аварийные не считаются) 15'144 скважины. Пока два полных года писался доклад, резвые газовики подключили ещё около 3'000 скважин. По мнению авторов доклада, полное освоение месторождения потребовало бы бурения «примерно 29'217 (sic! Примерно с точностью до единицы!) добычных скважин».

С момента публикации прошло полных четыре года. Теперь мы знаем, что пик добычи Барнетта пришёлся не на 2014 год, а на зиму 2011-2012 годов, однако газовики перевыполнили прогноз университетов по общему дебиту: 5'742 млн кубических футов в сутки против 5'500 предсказанных[121]. С тех пор добыча неуклонно снижается, причём гораздо быстрее, чем предсказали

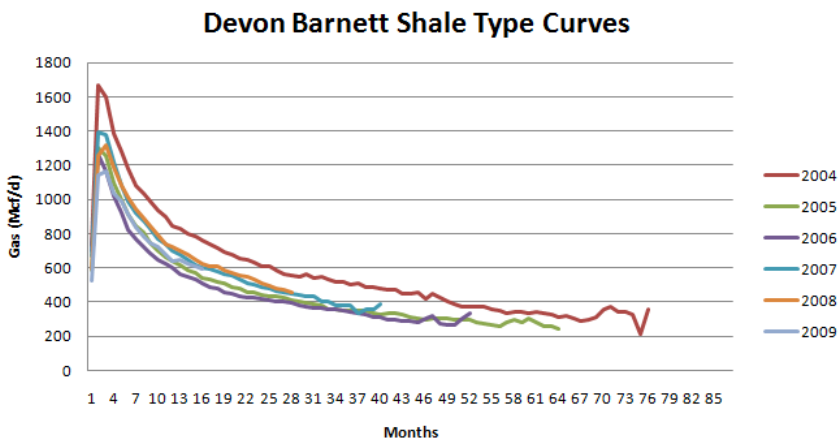
121 По факту оказалось меньше 5'000 млн кубических футов в сутки: в 2017 году EIA выяснила, что долгие годы «*Митчелл Энержи*» фальсифицировала значения $T_{залежи}$ для формулы {10.1}, но аспиранты не могли этого знать. Здесь и далее вычисления приводятся со «старыми» коэффициентами расширения газа. Новые значения приводятся в следующей главе.

университетские геологи. В 2016 г добыча упала до 3'890 млн кубических футов в сутки. По мнению университетов, такое снижение дебита ожидалось лишь к 2022 году (программа **\Chapter 10\Test_02_Prediction_Barnett.py**)



Экономисты жалуются, что в 2012 году произошёл обвал цен на природный газ в США. Ну, обвалом это можно считать лишь условно: вот в 2008 году цена упала более чем вдвое: с $8.86 за млн BTU до $3.94, но продолжали же бурить?

Если посмотреть на данные основных газодобывающих компаний на Барнетте, можно обнаружить примерно следующее. Ниже приводятся данные «*Девон Энержи*»; остальные аналогичны. Кстати, именно «*Девон*» в 2002 году приобрела у Дж.Митчелла «*Митчелл Энержи*» за скромную сумму $3.2 млрд.



Пробуренные в 2004 году скважины после выхода на режим давали по 1'600

тыс кубических футов газа в сутки. Через 72 месяца дебит падал до 370. Легко вычислить, что падение дебита – по 2.0% в месяц, или 22% за год. Те скважины, что бурились в 2009 году, в начале эксплуатации давали уже по 1'200 тыс в сутки, и всего за 34 месяца спускались до 380 тыс кубических футов. Это уже снижение добычи по 3.4% в месяц.

В 2014 году все производители газа на Барнетте, будто сговорились: перестали публиковать кривые спада добычи. Я долго искал в Интернете и журналах *SPE*. Ни одной циферки! *Dictum sapienti sat est*.

Пусть месячная добыча одной скважины описывается простейшей экспонентой, где **t** – время в месяцах, а $\mathbf{q_0}$ – дневной дебит:

$$dQ = 30\, q_0 \exp(-\sigma t)$$

Тогда добыча за всё время жизни скважины **T**:

$$Q = \int_0^T 30\, q_0 \exp(-\sigma t)\, dt = 30 \frac{q_0}{\sigma} (1 - \exp(-\sigma T)) \qquad \{10.3\}$$

Половина газа будет добыта за время $\mathbf{T_{½}}$:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\sigma} = \frac{0.7}{\sigma} \qquad \{10.4\}$$

Ни одна скважина полные 25 лет на Барнетте не отработала. Самая первая скважина, «Слэй-1»[122] из 1981 года – была тампонирована в 1999. Однако предположим, оптимистически, что в будущем все скважины будут работать по 25 лет, то есть 300 месяцев. Сведём вычисление в таблицу.

Год бурения	q_0, тыс фт³	σ, $^1/_{месяц}$	$T_{½}$, месяцев	Q, млрд фт³	Q, млрд м³
2004	1'600	0.020	35	2.4	0.070
2009	1'200	0.034	21	1	0.028

Вы скажете: в Америке есть газовые скважины, работающие по 40 лет, а на месторождении Грёнинген в Голландии одна «старушка» и 53 года отработала! Для скважин с начальным дебитом в сотни миллионов кубических футов это актуально. Но скважины Барнетта по определению малодебитные. Те, что пробурены в 2004 году, к 2030 будут выдавать всего по 3'100 кубических футов (90 кубометров) газа в день. А пробуренные в 2009 – к 2030 опустятся до уровня... 220 кубических футов в сутки. Как говаривал один знакомый техасский бурильщик: «я пёрнуть могу больше, чем такой дебит».

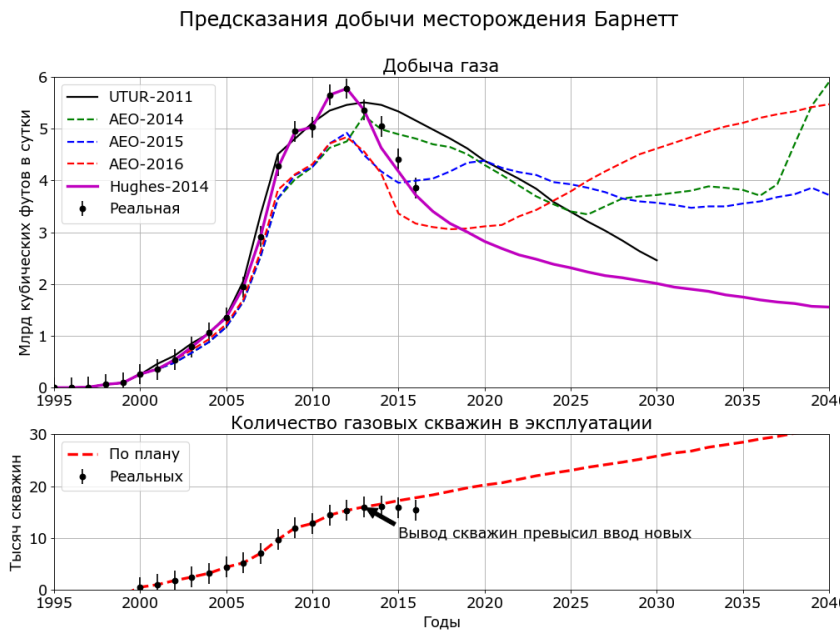
Отчего такое снижение производительности между 2004 и 2009 годами? В 2004 году бурили «сладкие точки» с характерными запасами газа (вспомним

122 В буквальном переводе с буровицкого сленга: «Первого замочили». Что показательно.

карту выше) 1.15 млрд м³ на км². При этом скважина дренирует порядка 0.06 км² площади, или 500x1'000x120 метров объёма. Здесь 500 – апертура типичного гидроразрыва, 1'000 – длина типичного горизонтального ствола в зоне перфораций, 120 – мощность пласта. Но сладких точек уже не осталось, оттого к 2009 году перешли на бурение площадей с характерными запасами 0.60 млрд м³ на км², а там скважина дренирует 0.05 км² площади, при мощности пласта менее 100 м.

Для добычи заявленных 45 триллионов кубических футов, оказывается, надо пробурить не 29'217 скважин, а более 50'000. Чтобы выполнить такой график, до 2030 года надо ежегодно бурить по 2'300 скважин. Технически невозможного в этом нет, бурили и по 2'900. Однако задумайтесь: вы поддерживаете бешеные темпы бурения, а добыча газа не только не растёт, не только не стоит на «полочке», а снижается на 5% ежегодно! Ни у одного нормального инвестора нервы не выдержат.

Независимо от университетских аспирантов, будущее Барнетта предсказывали американская EIA[21] и независимый нефтегеолог Дэйвид Хьюз[22]. Отрисуем предсказания программкой **\Chapter 10\Test_03_Prediction_Barnett.py**



Хьюз в 2014 году выдал предсказание, что если не произойдёт сбоев в американской экономике, к 2030 году в эксплуатации на Барнетте будет находиться около 23 тыс скважин (из примерно 38 тыс на то время пробуренных). Совместно они будут давать 2 млрд кубических футов в сутки – 57 млн м³ природного газа. Для сравнения, примерно столько же дают сегодня всего 30-40 скважин Уренгоя. Этот прогноз на 20% ниже вычисленного

аспирантами Университета Райса, но находится вполне в пределах геологической неопределённости. Главное различие – в экономике проекта. По мнению аспирантов, средняя газовая скважина Барнетта добудет за время продуктивной работы около 90 млн м³, а Хьюз полагает, что всего 25-30 млн м³. Так как скважины в обеих работах стоят примерно одинаково, газ у Хьюза вышел примерно втрое дороже, чем у аспирантов: $13 против $4 за миллион BTU (в долларах 2015 года).

По факту бурение 2015-2016 годов несколько отставало от модели. Уже в 2014 году новые скважины бурились взамен ликвидированных, а с 2015 года ликвидация скважин превысила ввод новых, оттого число работающих скважин стало снижаться. Впрочем, прогноз по добыче пока выполняется, что само по себе говорит о надёжности модели Хьюза.

Если же посмотреть на прогнозы EIA (пунктирные линии на графике), возникает единственный вопрос: где парни покупают такую травку? Поглядим на безумные графики добычи с 2016 по 2040 годы. Прогноз AEO-2014 на 62% превышает расчётные извлекаемые запасы Университета Райса, и составляет (внимание!) 107% от общих и перспективных геологических запасов. КИ = 107%. Ну или 107% КПД у теплового двигателя – понимайте как угодно.

Впрочем, EIA на этом не остановилась. В AEO-2015 извлекаемые увеличили ещё на 8, а в AEO-2016 – ещё на 9%. КИ = 126%. Между тем, современные гидроразрывы требуют всё больше ресурсов. Сравните сами с одиноким грузовиком-насосом на фото из далёкого 1948 года.



Зачем EIA выдаёт такие безумные прогнозы по Барнетту? Гипотеза о том, что успокаивают население, не выдерживает критики. Населению уже давно внушили, что газ в трубе и электричество в розетке будут всегда, лишние графики не нужны. Так же трудно предположить, что уважаемое агентство поставляет подобные данные для президента, администрации США и какой-то экономической «элиты».

Остаётся предположить, что прогнозы EIA – для «неквалифицированных инвесторов», в том числе менеджеров пенсионных фондов, ориентированных на долгосрочные вложения капиталов. Это, впрочем, как раз Джордж Митчелл и придумал.

Безумству сказки поём мы песню.

Сказка четвёртая. Короткая.

В ~~некотором царстве-государстве~~ графстве Чаутауква, штат Нью-Йорк, жил да был мастер-оружейник Уильям Харт. Как-то надоело ему чинить винтовки да ружья, и решил он найти сланцевый газ. Пробурил скважину глубиной чуть более 21 метра в трещиноватые сланцы-алевролиты, вставил железную трубу, зацементировал смолой. На поверхности поставил большую смолёную бочку – газосборник, а из бочки газ по другой трубе направил прямиком на кухню местной гостиницы-пивной-закусочной. Руки у оружейника росли откуда надо, а не как у некоторых.

Соседям понравилось. Принялись бурить скважины да осваивать голубое топливо. От газа заработала паровая машина на лесопилке. Газом засветил маяк на озере Эри. На улицах заштатного городка Фредония вкопали – можете мне не верить, сэр, – газовые фонари! Население Кливленда, Питтсбурга и даже уже тогдашнего супер-пупер-мегаполиса Нью-Йорк тоже не верило – приезжали лично поглядеть на чудеса техники.

А случились этакие чудеса по геологическим меркам почти вчера… в 1821 году от Р.Х. Так что, когда другие сказочники говорят вам, будто сланцевый газ открыли парни в белых лабораторных халатах по приказу президента Обамы в 2010 году, вы не верьте. Сланцевому газу скоро стукнет две сотни. И на 200 лет – до 2021 года – его железобетонно хватит.

Правда, не во Фредонии. Там весь природный газ – и сланцевый, и не-сланцевый – полностью закончился ещё до Второй мировой.

А теперь мораль всех четырёх сказок, то есть итоги главы:

- «Сланцевая революция», если понимать под этим термином «изобретение новых технологий добычи, открытие новых месторождений», – существует лишь в воображении безграмотных журналистов и оболваненных ими мелких инвесторов. Все используемые «новые технологии» разработаны в XX веке, и

специфическими для трудноизвлекаемых запасов не являются; все месторождения «сланцевых» были открыты до 1970 г – некоторые и в XIX веке – однако не эксплуатировались в связи с низкой либо отрицательной рентабельностью.

- «Сланцевая революция», если понимать под термином «использование инвестиционных схем, государственных субсидий и/или дешёвого госкредита для ведения низкоприбыльного и/или убыточного бизнеса в области добычи нефти и газа», – есть в США ~~практическая шутка~~ реальная штука, и даже в чём-то обществу полезная (однако и «инновацией» в строгом смысле не является[123]). Из частных инвесторов, успевших войти в пирамиду до 2010 года и обналичить до 2014, дело получилось не просто полезное, а чрезвычайно выгодное. В отличие от чисто-финансовых пирамид, общество США получило от «сланцевой революции» реальную пользу в виде рабочих мест.

- Нет никаких сомнений, что добыча трудноизвлекаемых запасов нефти, газа и угля во всём мире (в том числе в России, где она уже идёт полным ходом, но без хлёстких заголовков в прессе) будет продолжаться. Это оттого, что исчерпание «классических» запасов – объективная реальность. Вряд ли можно сомневаться и в том, что во многих странах разработка «нетрадиционных» потребует вмешательства государства в различных формах: от налоговых льгот до принудительного труда.

- На числовом примере продемонстрирована техника использования функции свёртки. Показана опасность использования этой функции в «классической» экономике, где производство считается без ограничений по конечным ресурсам.

- Промышленная добыча «сланцевых» углеводородов будет продолжаться в США ещё многие столетия, однако в объёмах, совершенно недостаточных для удовлетворения даже минимальной потребности.

123 В истории полно примеров государственного стимулирования убыточной или непроизводительной деятельности с целью облегчения жизни беднейших слоёв населения. Классика жанра – «Новое соглашение» (*New Deal*) Рузвельта в США 1933-1942 гг.

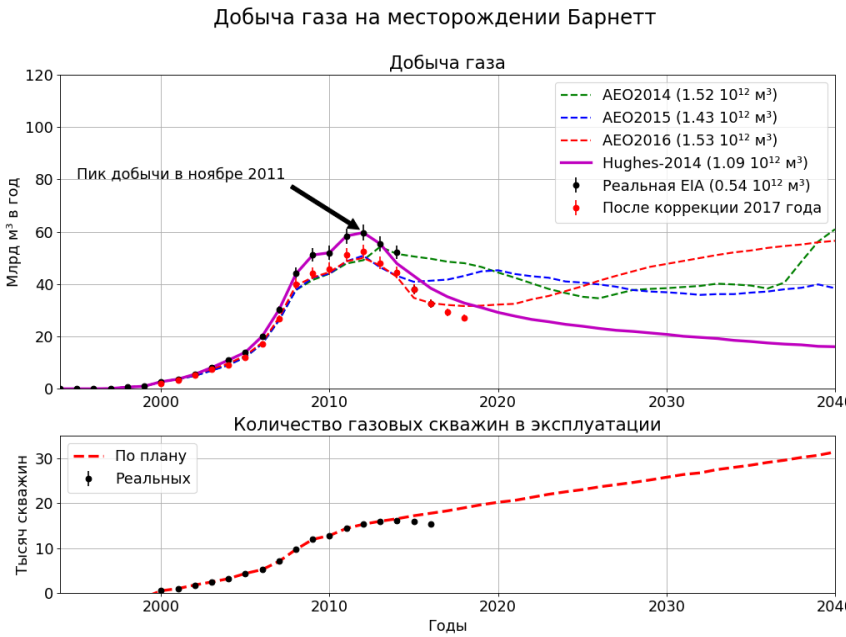


Глава 11. Двести лет сланцевых.

Геологи много и тщетно искали источники, сверлили скалы, потели, совершали изнурительные походы во время общих привалов. Изя просто сидел в волокуше под уродливым самодельным зонтиком и копался в старых бумагах, которых у него набралось уже несколько ящиков. И он четыре раза предсказал, где искать подземные цистерны. Правда, одна цистерна оказалась пересохшей, а в другой вода порядочно протухла, но дважды экспедиция получила прекрасную воду, благодаря Изе и только Изе.

– А. и Б. Стругацкие «Град обречённый»

Для тех, кто пока верит в сказки про Президента Обаму и рыцарей в белых лабораторных халатах, огласим список девяти крупнейших месторождений «сланцевого газа» – из тех, что с первых полос Интернета не сходят, – с указанием года открытия, года начала освоения, а также пика добычи. Одновременно покажем оценку перспектив добычи природного газа в США по упомянутой публикации Дэйвида Хьюза[22]. Для простоты сравнения сразу будем переводить из кубических футов в кубометры[124]. Первое в списке – уже известное нам месторождение Барнетт[125]. Программа **Chapter 11\01_Barnett_Gas.py**



124 Д.Хьюз использовал данные EIA по июль 2016. На графиках и в таблицах ниже будут по возможности приводиться самые свежие реальные данные по состоянию на октябрь-ноябрь 2017 года. Окончательной статистики добычи за 2017 год на момент написания главы не существует.

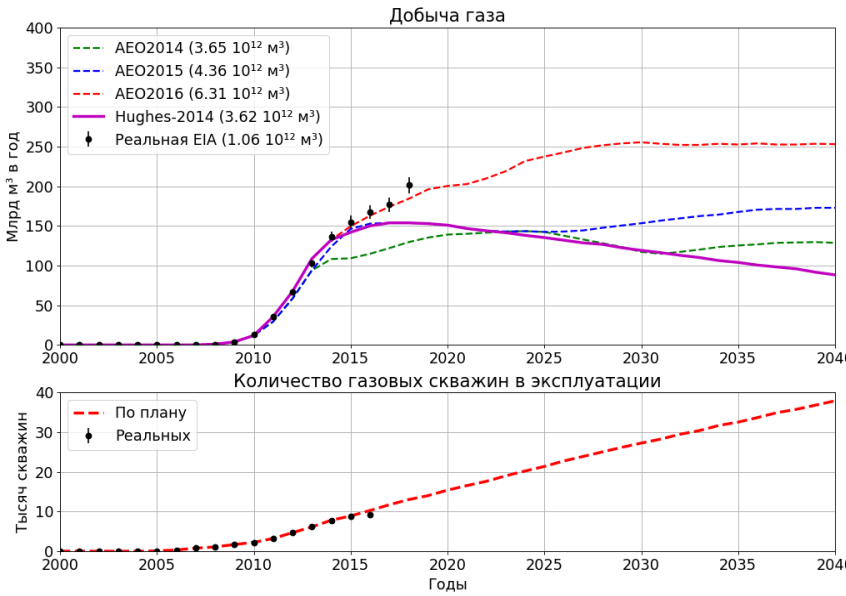
125 В 2017 году в EIA изменили значения коэффициента B_g, то есть параметры в формуле {10.1} на некоторых месторождениях. Кое-где коррекция значительная. Оказывается, Митчелл и последователи вводили USGS в заблуждение относительно зарегистрированного градиента температур.

На пике добычи в ноябре 2011 года месторождение обеспечивало около 8% американского природного газа, но с тех пор сдулось на ⅗. Обеспечивавшие 91% добычи «сладкие точки» находились в основном в 5 графствах Техаса: Таррант, Джонсон, Дентон, Уайз и Паркер. Первые два графства разбурены на 100%, места для новых скважин там просто нет. Из пробуренных с 1981 года примерно 20'000 скважин, 5'000 выведены из эксплуатации, а прибавка новых скважин уже меньше, чем ликвидация. На пике добычи функционировало 16'000 скважин, в 2016 – 15'000. В 2017 году на Барнетте бурило в среднем 6 буровых.

Достаточно оптимистический прогноз Хьюза предполагает добавку в фонд ещё 17'000 скважин до 2030 года (плюс замещение выработанных). На деле такой график бурения вряд ли выполнят. На чём основаны прогнозы EIA, не знает даже само агентство.

Двинемся дальше – на месторождение Марцеллус в Пенсильвании и Западной Вирджинии. Программа **Chapter 11\02_Marcellus_Gas.py**

Добыча газа на месторождении Марцеллус



На сегодняшний день Марцеллус – самое продуктивное газовое месторождение США. Имея в активном фонде чуть менее 10'000 скважин, оно добывает более 200 млрд м³ в год, или около четверти общей газодобычи из «сланцевых». Пик добычи пока не пройден.

Как и в случае с Бернеттом, предсказания EIA сверх-оптимистичны: прогноз 2016 года предусматривает выход к 2030 году на бесконечную «полочку» добычи 250 млрд м³. По мнению Хьюза, при условии бурения ещё 27'000 скважин, то есть по тысяче ежегодно плюс взамен выбывающих, к 2040 году удастся удержать добычу выше 80 млрд м³ в год – это втрое меньше, чем

прогноз EIA. К слову, Хьюз – совсем не пессимист. Геологи USGS полагают, что до 2040 года из Марцеллуса удастся выдавить «всего» 2.4 триллиона м³ – против 3.6 у Хьюза. Основания для пессимизма есть. Две трети газа находится всего в пяти графствах Пенсильвании: Саскуханна, Брэдфорд, Вашингтон, Лайкоминг и Гриан. Первое уже разбурено полностью. Осталось порядка 50'000 тыс точек возможного бурения, но продуктивность там ожидается существенно ниже, чем в «сладких точках».

Следующее месторождение – Хайнесвиль в Луизиане и Техасе. Программа **Chapter 11\03_Haynesville_Gas.py**

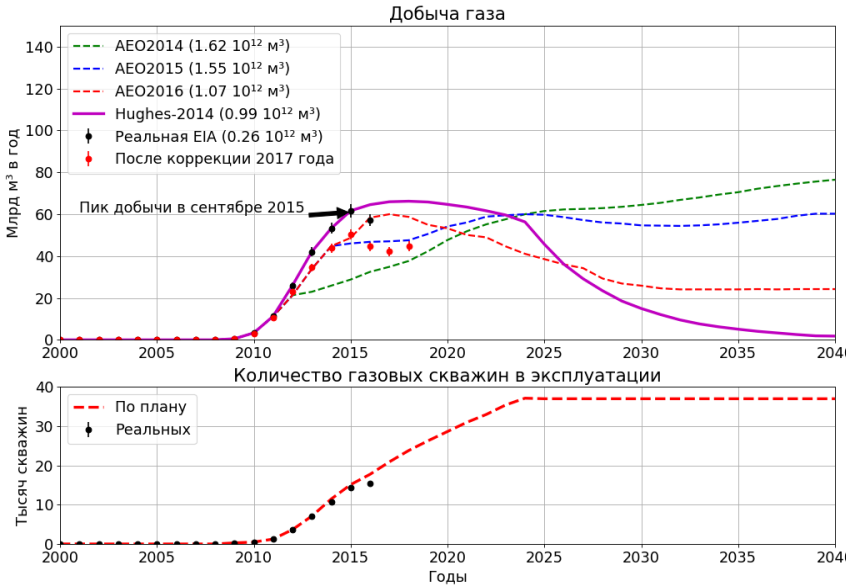


Это месторождение в геологическом плане – младшая сестричка Барнетта. Разработка началась на тридцать лет позже, рост добычи был круче, и также круче получился спад. Основные «сладкие точки» в графстве Де-Сото (штат Луизиана) уже разбурены. Сейчас на месторождении осталось в эксплуатации около 3'600 скважин. Годных к бурению точек – около 17'000, но продуктивность там будет низкая. Как и на Барнетте, ожидается безумная буровая гонка с наращиванием парка работающих скважин до примерно 11 тысяч к 2040 году. При этом есть шанс удержать добычу на полочке около 25 млрд м³ в год (против 120 в прогнозах EIA).

Иглфорд – тоже Техас. Программа **Chapter 11\04_EagleFord_Gas.py** . Сорок пять процентов «сладких точек» находится в одном графстве: Уэбб, и все уже разбурены. По-видимому, к 2025 году годные точки для бурения будут исчерпаны полностью, а общее количество действующих скважин составит 37'000. Здесь EIA не демонстрирует особенного оптимизма, снизив в 2016 году извлекаемые запасы до 1.07 триллионов м³. Хьюз рассчитывал на несколько меньшее значение: 0.99. Это, пожалуй, единственное газовое месторождение,

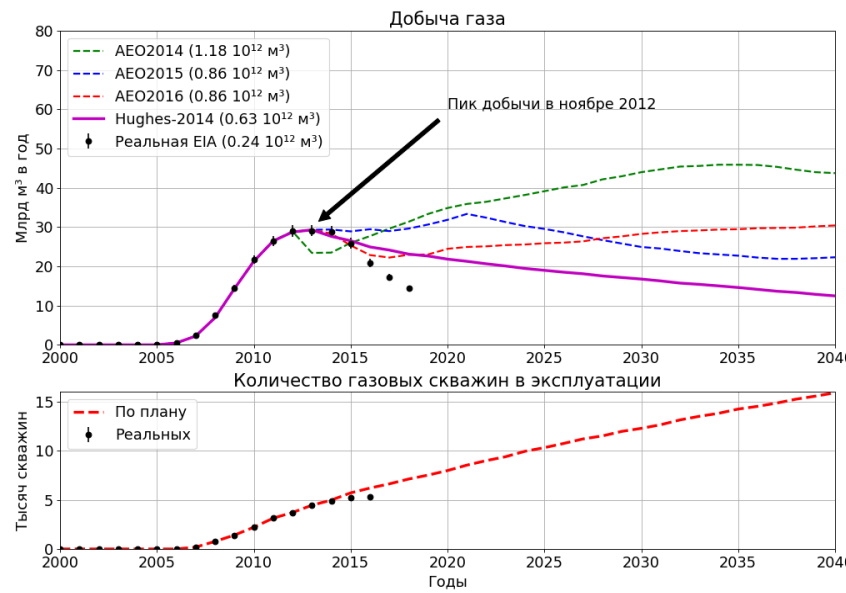
где прогноз AEO2016 не слишком далёк от геологической реальности.

Добыча газа на месторождении Иглфорд



Относительно небольшое месторождение Файеттевилль – штат Арканзас. Программа **Chapter 11\05_Fayetteville_Gas.py** . Половина «сладких точек» сосредоточена в двух графствах: Ван-Бурден и Конуэй. Ещё в трёх: Уайт, Клебур и Фолкнер – находится почти все остальные.

Добыча газа на месторождении Файеттевилль

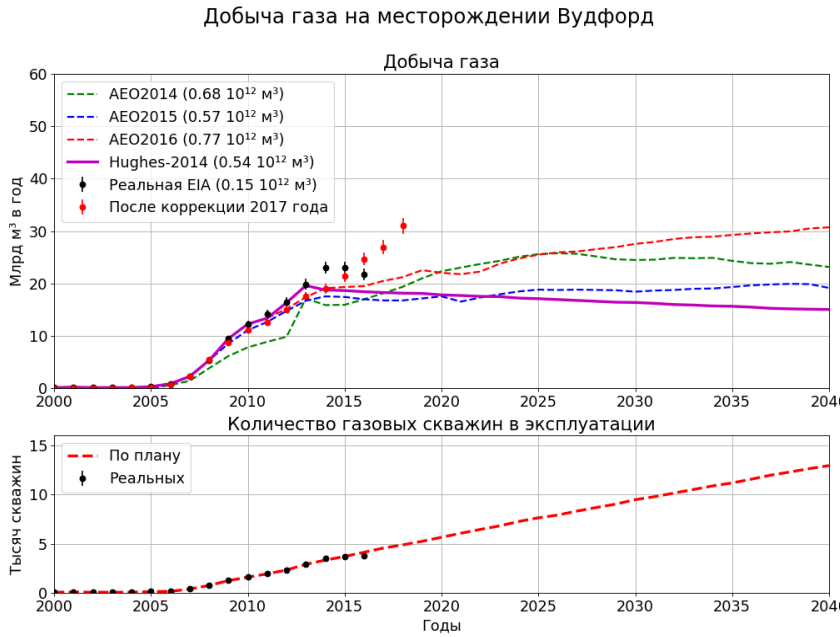


В 2014 году совместное исследование Университета Техаса (в Остине) и Бюро Экономической Геологии Техаса оценили общие и перспективные запасы

Файеттевилля в 18 триллионов кубических футов (Tcf). Собственная оценка EIA – 19 Tcf, в пределах геологической неопределённости. Однако при этом EIA намеревается из месторождения извлечь… 25.5 Tcf. Иначе как чудом это назвать нельзя.

При условии бурения 1'000 скважин в год добычу на месторождении можно растянуть на два десятилетия. Пока же Файеттевилль наглядно демонстрирует, что произойдёт с другими «сланцевыми» в случае досрочного прекращения буровой гонки. С октября 2011 по октябрь 2016 количество буровых сократилось с 34 до 1 (в 2017 работало 0.8 буровой в среднем за 3 квартала), а добыча упала на 33% – и продолжает падать.

Ещё одно относительно небольшое месторождение: Вудфорд – штат Оклахома. Программа **Chapter 11\06_Woodford_Gas.py**

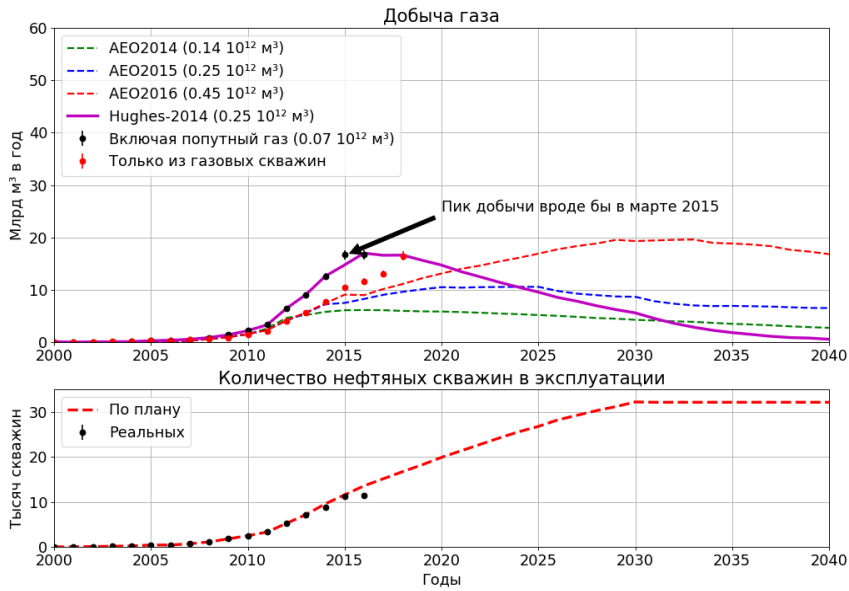


Ситуация здесь аналогична Файеттевиллю. EIA намерено извлечь 122% от собственной оценки подтверждённых и перспективных запасов. Сейчас на месторождении функционирует около 4'700 скважин, и есть место ещё для 14'000. При условии бурения 900 скважин ежегодно удастся поддерживать «полочку» выше 18 млрд м³ вплоть до 2035 года; далее произойдёт довольно быстрый коллапс добычи.

В отличие от Файеттевилля, Вудфорд меньше пострадал от сокращения буровой активности: 45 буровых в октябре 2016 против 79 в ноябре 2011 (в 2017 активность почти восстановилась: в среднем 66 буровых). Заметим, что на Вудфорде заметна тенденция к завышению оперативных данных по добыче газа. После коррекций значения всегда меняются в сторону уменьшения.

Месторождение Баккен лежит на границе Северной Дакоты, Монтаны и канадского штата Саскачеван. Изначально оно считалось «нефтяным», а до 35% попутного газа горело буквально синим пламенем – в факельных горелках. Однако с 2014 года «Зелёные» в Сев.Дакоте протолкнули ряд законодательных поправок, и количество лицензий на факельное сжигание резко упало. Для налогов штата и природы это безусловно выгодно. Для нефтяных компаний – варьирует от «слегка убыточно» до «здесь пока не бурим». Так или иначе, полезный выход природного газа превысил как прогнозы EIA, так и прогноз Хьюза (последний в 2016 году предсказание скорректировал)[126]. Программа **Chapter 11\07_Bakken_Gas.py**

Добыча газа на месторождении Баккен

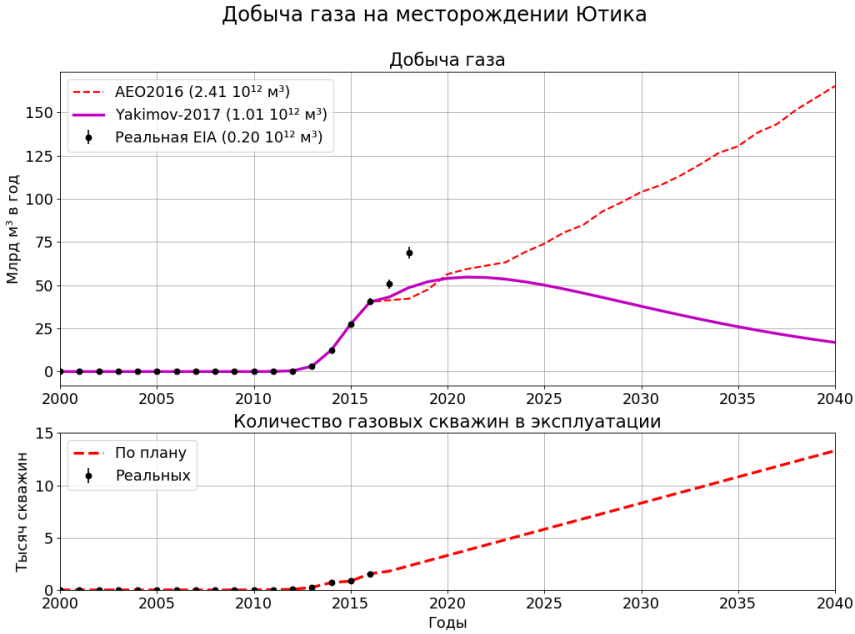


К перспективам месторождения Баккен мы ещё вернёмся при обсуждении «сланцевой нефти» – LTO. Пока же рассмотрим последнее из крупных газовых месторождений – Ютика в штатах Огайо, Пенсильвания и Западная Вирджиния. Разработка началась в 2006 году, но тогда функционировала единственная экспериментальная скважина. Активное бурение начато в 2012, и к концу 2014 года в эксплуатации находилось «всего» 707 скважин. В отчёт Хьюза это месторождение не вошло – не хватало данных. Для полноты картины я выполнил расчёт добычи по данным 2017 года. Используется оценка извлекаемых запасов USGS – 38 Tcf и оптимистичное предположение, что на месторождении будут вводить в строй ежегодно по 500 дополнительных скважин. В отчётах EIA 2014 и 2015 годов Ютики тоже не было. В 2016 уважаемое агентство насчитало 85 Tcf извлекаемых, то есть примерно как на Хейнесвилле. Число оптимистическое, но оставим специалистам EIA такое

126 В статистике EIA газ Баккена учитывается по двум категориям: «газ из трудноизвлекаемых запасов» и «попутный газ нефтяных скважин». По сумме двух добыча газа на Барнетте прошла пик в марте 2015 года на уровне 16.7 млрд м³. Отдельно по «сланцевому газу» добыча пока растёт: в 2017 году ожидается 12.6 млрд м³. Это объясняется тем, что многие скважины Баккена начинают «карьеру» как «нефтяные», а затем их формально переводят в разряд «газовые».

право.

А теперь – держитесь за стул! В 2015 году «исследователи» из университета Западной Вирджинии насчитали в Ютике 782 (семьсот восемьдесят два прописью)[127] Tcf извлекаемых запасов. Это почти вдвое больше, чем оценка USGS для всей территории США, включая Аляску! Ушлые профессора и аспиранты собрали с 30 «сланцевых» компаний $11 млн грантов на 5 лет. Программа **Chapter 11\08_Utica_Gas.py**



Наконец, в отчёте EIA 2015 года появилась интересная строчка «прочие и ещё не найденные месторождения». До 2014 года молчаливо предполагалось, что раз «революция», значит до 2000 года «сланцевый» газ добывал почти исключительно дядя Митчелл на Барнетте. В 2015 некоторые «классические» газовые месторождения переквалифицировали в «сланцевые», а добыча из них к 2000 году – 20 млрд м³. В 2017 году EIA в очередной раз перетасовала классификацию, переместив множество малых месторождений, с их 2.4 млрд м³ добычи 2000 года, из «классических» в «сланцевые». Одновременно изменили значения коэффициента B_g, то есть параметры в формуле {10.1}. На некоторых месторождениях коррекция значительная[128]. Таким образом, к «сланцевому» газу «остальных месторождений США» в 2016 году была сделана искусственная добавка 30 млрд м³ – отняли, естественно, у «классического» газа. Зачем понадобились бумажные фокусы? Предполагаю, что очень хотелось побить рекорд 2015 года. Действительно, по «новым, самым проверенным», данным EIA «сланцевого» газа в 2015 добыли 448 млрд м³, а в 2016 – 505. Без изменения классификации скважин рекорд остался бы

127 Скачано в ноябре 2017 http://www.rigzone.com/news/oil_gas/a/139667/study_utica_shale_larger_than_previous_estimates/ См. также http://slideplayer.com/slide/8415347/

128 Скачано 6 ноября 2017 года с https://www.eia.gov/naturalgas/weekly/

стоять. Впрочем, побили бы в 2017 – по «новой классификации» в этом году добыто более 538 млрд м³. Программа **Chapter 11\09_Others_Gas.py**



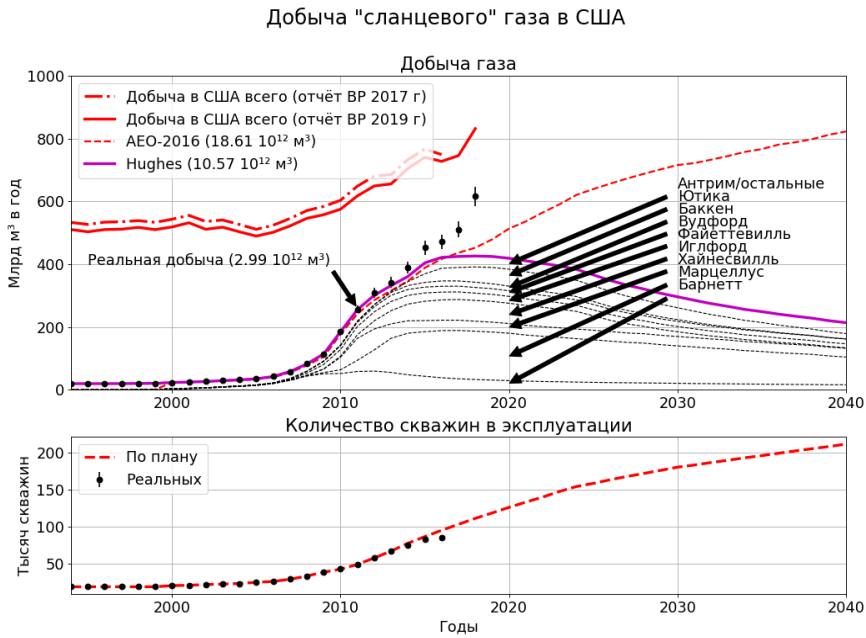
Когда представителей EIA попросить показать на карте США, где именно находятся эти «остальные», вам уверенно ткнут пальцем в северную часть штата Мичиган, где находится месторождение Антрим. Штучка действительно уникальная. Здесь газовые залежи на глубинах всего 200-700 м непрерывно подпитываются за счёт «рудничного» метана из нижележащих угольных пластов. Месторождение открыли в 1901, а эксплуатировать начали потихоньку в 1940. Притоки из скважин исчислялись первыми кубометрами в день, но скважины ведь маленькие, короткие, дешёвые! Их и бурили как какие-нибудь дачные колодцы, обеспечивая домохозяек дармовым газом для кухни. То же самое делал кузнец Билли Харт в далёком 1821 году – читайте в предыдущей главе. При тех дебитах, да с подпиткой из угля, Антрим был бы практически вечным. Всего на месторождении к 2016 году пробурено около 10'000 скважин. После успеха первичных гидроразрывов Митчелла по всему месторождению принялись рвать, и в 1993 оно вышло на пик – свыше 6 млрд м³ годовой добычи. Но с такими дебитами угли уже не справляются, оттого добыча падает по 4.6% ежегодно. В 2018 году Антрим из статистики добычи стыдливо убрали, включив в «прочие».

Сведём наши данные в табличку (последние данные за июль 2019 г).

Месторождение	**открытие**	**начало освоения**	**пик добычи газа**
1. Антрим (Мичиган, Огайо, Индиана)	1901	1940	1993
2. Баккен (Сев Дакота, Монтана, Саскачеван-Канада)	1951	2000	По сумме с попутным газом: 2015
3. Барнетт (Техас)	1912	1981	2011

Месторождение	открытие	начало освоения	пик добычи газа
4. Вудфорд (Оклахома)	1975	2003	Не достигнут
5. Иглфорд (Техас)	1953	2008	2015
6. Марцеллус (Вирджиния, Пенсильвания, Нью-Йорк)	1976	2004-2005	Не достигнут
7. Ютика (Огайо, Пенсильвания и Западная Вирджиния)	1914	2011	Не достигнут
8. Файеттевилль (Арканзас)	1945	2005	2012
9. Хайнесвилль (Луизиана, Техас)	1925	1995	2011 и 2018 ?

Теперь просуммируем модели Хьюза и предсказание EIA 2016 года программой **Chapter 11\10_Total_Gas.py**

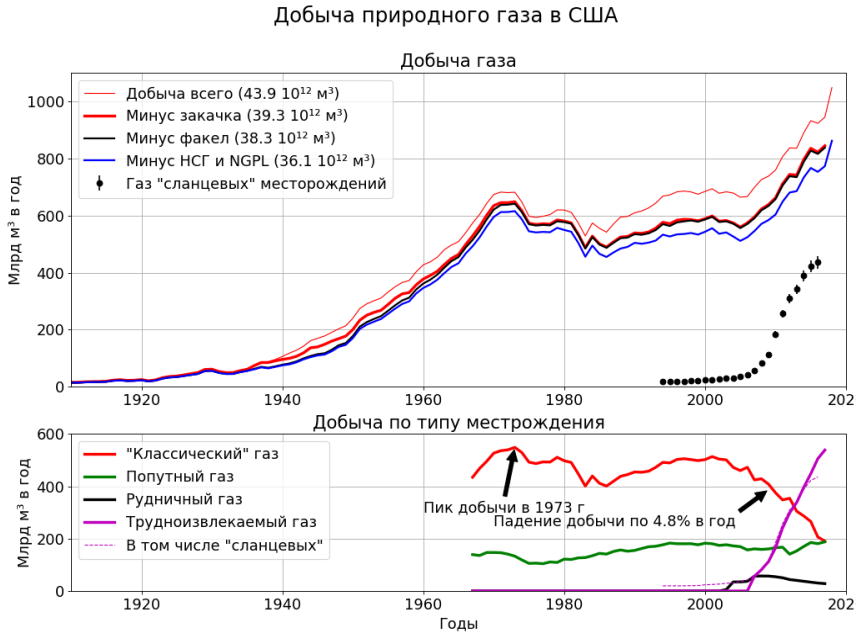


К 2016 году более половины американского газа добывали с помощью первичных гидроразрывов из пород с проницаемостью существенно ниже 0.1 мД. По мнению EIA, добыча такого газа к 2040 году возрастёт примерно вдвое – до 800 млрд м³ в год (сколько потребуется скважин, специалисты EIA смело «забыли посчитать»). Дело за малым: USGS должна в следующие десять-пятнадцать лет обнаружить на территории США ещё 8 триллионов м³ извлекаемых запасов. Геологи USGS пожимают плечами. Неразведанные месторождения газа в США безусловно есть, но находятся исключительно на морском шельфе (причём при глубине моря свыше 200 м), либо на Аляске. На территории «нижних 48» всё, что было можно, уже открыли в прошлом веке – смотрим таблицу выше. Естественно, по мере добычного бурения, запасы давно открытых месторождений будут уточняться. Некоторые избранные – даже в сторону увеличения.

Дэйвид Хьюз оптимистически полагает, что к 2040 году добыча

трудноизвлекаемых запасов газа в США плавно спустится до примерно 200 млрд м³ в год. Геологии такая модель не противоречит совершенно, однако для плавного спуска потребуется добавить в действующий фонд не менее 120 тысяч новых газовых скважин, плюс ещё 40-50 тыс скважин взамен ликвидированных. Это означает продолжение буровой гонки: 6'900 новых газовых скважин ежегодно. Понадобятся миллионы километров обсадных колонн и миллиарды тонн химии для бурения и гидроразрыв. Количество необходимой пресной воды исчислению не поддаётся.[129]

Теперь сравним прогноз Хьюза и AEO2016 с общей добычей в США с начала прошлого века. Программа **Chapter 11\11_USA_Gas_History.py**



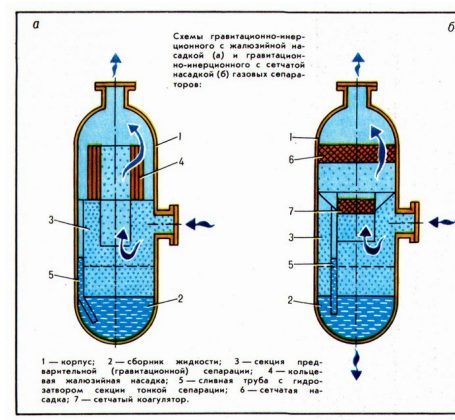
Ситуация с добычей природного газа в США значительно сложнее, чем в голове у «сланцегазовых» газетчиков, и даже несколько сложнее, чем можно вывести из отчёта «*BP*». Разберём на примере 2015 года.

- Всего добыто, по данным EIA, 32.915 триллиона кубических футов, или 932.0 млрд м³. Из них 265.4 – из «классических» газовых скважин (классической в терминологии EIA называется любая газовая скважина, где не требуется первичный гидроразрыв, смотрите в предыдущей главе), 185.1 – попутный газ нефтяных скважин (любых: «классических» или «сланцевых»), 33.6 – «рудничный газ», он же «угольный метан» (на нём мы остановимся позже), наконец наш клиент – «сланцевый» газ – 448.0 млрд м³, или 48% извлечённого газа.
- Далее, 8.2 млрд м³ сгорает в факелах синим пламенем (либо просто втихушку вентилируется в атмосферу) без всякой выгоды. Лидерами сжигания являются Баккен – 3.0 млрд м³ и Пермское с «помогающим»

129 Напомню, что на Барнетте отдельные гидроразрывы уже используют 11 тыс тонн на одну скважину.

Иглфордом – 3.2 млрд м³. Понятно, что жгут преимущественно на нефтяных скважинах. На газовых по определению можно сжигать только некондиционный газ во время очистки. А всего с 1930 года в Америке спалили ровно одну годовую пиковую добычу – чуть более 900 млрд м³. Вероятно до 1930 ещё примерно 300 млрд, но там статистики факелов никто не вёл.

- Далее 96.6 млрд м³ берут насосы… и закачивают обратно под землю! Особенно полюбились подобные упражнения на Аляске – 80.0 млрд м³. Зачем они такие нужны? Во-первых, на нефтяных месторождениях надо же девать куда-то попутный газ. Строительство газопровода сквозь Канаду в 2014 году было заморожено. Да если и построят, пропускная способность будет «всего» 41 млрд м³ в год. Во-вторых, закачкой газа поддерживают пластовое давление. Наконец, в-третьих! Если на газовом месторождении перед закачкой пропускать добытое через сепаратор[130], там вывалится лицензионный газовый конденсат. Последний можно залить в танкер и продать уже как жидкость, то бишь навар. Точно как в старом анекдоте, где представитель всеми любимой национальности покупал сырые яйца по двадцатке за десяток, варил и перепродавал по два рубля штучка. Ещё много любителей наваривать конденсат есть в Техасе – в 2015 году закачали обратно 15.1 млрд м³ газа. А всего с 1936 года в США вернули природе 5 годовых добыч: 4.6 триллиона м³.
- Из оставшегося после сжигания и закачки газа на перерабатывающих заводах сначала отбивают негорючие и сопутствующие газы (НСГ): вредные сероводород и меркаптаны, не особо полезный CO_2 и жутко полезные гелий, аргон, криптон, ксенон… Всего в 2015 году таких газов в США получилось 12.5 млрд м³.
- На том же нефтезаводе природный газ делят на фракции! Американцы рапортуют честно: 766.4 млрд м³ «коммерческого» (он же «сухой») природного газа для электростанций, кухонь и водогреек и 48.3 млрд м³ остатков. Остатки полезны: сжиженный природный газ LPG (Liquified Petroleum Gas, пропан-бутан) для автобусов и туристов; NGPL (Natural Gas Plant Liquids, ШФЛУ) – для химпрома. «*Бритиш Петролеум*» их газами не считает и просто добавляет к отчёту 38.8 млн тонн как-бы нефти (это около 7% от общей добычи «жидкостей» в США). Значение «сухого» газа по отчёту «*BP*» 2017 года: 766.2 млрд м³.



130 Для тех, кто не видел, разрез газового сепаратора представлен на врезке (по материалам «*Горной Энциклопедии*»).

По последним, самым проверенным данным 2019 года, добыча с 2000 по 2017 годы выглядит так:

	Извлечено газа, млрд м³					Расход и переработка, млрд м³				Сухого товарного газа		
Год	CG	OWG	CBM	TG	Всего	Факел	Закач.	НГС	ШФЛУ	Всего	TG	%%
2000	478.5	182.6	0.0	23.4	684.5	2.6	95.7	14.3	28.8	543.2	22.3	4.3%
2001	488.4	180.4	0.0	25.0	693.8	2.7	95.5	13.1	27.0	555.5	23.7	4.5%
2002	477.1	174.0	0.0	26.8	677.9	2.8	97.8	14.2	27.1	536.0	25.4	5.0%
2003	472.4	176.6	5.3	28.6	683.0	2.8	100.5	14.1	24.8	540.8	27.2	5.3%
2004	441.7	172.3	34.4	30.3	678.7	2.7	104.8	18.5	26.2	526.4	28.8	5.8%
2005	425.8	169.5	34.7	34.2	664.2	3.4	104.8	20.1	24.8	511.1	32.5	6.7%
2006	430.7	156.9	36.9	41.9	666.4	3.7	92.5	20.7	25.7	524.0	39.8	8.0%
2007	424.5	160.9	56.6	56.4	698.4	4.1	103.7	18.7	26.3	545.6	54.3	10.3%
2008	428.6	158.8	57.3	81.3	725.9	4.7	103.0	20.4	27.0	570.8	77.8	14.2%
2009	408.2	160.7	56.9	112.1	737.8	4.7	99.7	20.4	29.0	584.0	106.7	19.2%
2010	375.1	165.2	54.3	164.7	759.3	4.7	97.2	23.7	30.2	603.6	158.0	27.3%
2011	348.0	167.3	50.4	240.7	806.4	5.9	95.3	24.6	32.1	648.5	231.9	37.1%
2012	354.1	140.6	43.6	298.3	836.5	6.0	92.8	21.8	35.4	680.5	292.9	43.8%
2013	304.7	153.0	40.4	337.9	836.0	7.4	94.3	10.4	38.4	685.4	328.7	49.3%
2014	286.7	169.9	37.0	395.7	889.3	8.3	93.2	9.1	45.5	733.1	381.1	54.0%
2015	265.4	185.1	33.6	448.0	932.0	8.2	96.6	12.5	48.3	766.4	412.4	54.8%
2016	206.4	180.8	30.3	505.4	922.9	5.9	101.1	11.7	51.2	753.0	440.6	57.0%
2017	190.2	187.7	28.1	538.5	944.6	6.7	100.2	11.7	54.0	772.8	479.3	55.6%

Добыча попутного газа в США из нефтяных скважин (OWG) стоит примерно на «полочке» 160-190 млрд м³ в год. Добыча из «классических» газовых (CG) прошла пик в далёком 1973. Начиная с 2001 года она стремительно снижается. По 4.8% ежегодно в среднем. Снижение за 15 полных лет превысило 250 млрд м³ в год – больше, чем годовая добыча всей Африки. Вполне вероятно, что какая-то часть этого снижения – просто переименование «классических» газовых скважин в новомодные «сланцевые».

В 2014 году доля «сланцевого» газа в сухом товарном газе США превысила 50%. Ничего хорошего в этом достижении нет. Просто вместо одной вертикальной скважины (без гидроразрыва) надо бурить и рвать 10 наклонно-направленных.

По версии газетчиков, «сланцевый газ спас Америку от энергетического кризиса». А вот с этим позвольте не согласиться. Если бы речь шла просто об обеспечении страны энергетическим газом, примерно треть «сланцевых» скважин можно было вообще не бурить.

«*Газпром*» может крутить свою рекламу сколько угодно, но общий, тщательно оберегаемый секрет всех газовиков в мире очень простой: «Мы добываем не для того, чтобы давать населению дешёвый газ». Компании по всему миру добывают для того, чтобы позолотить карманы. Газовые компании делают

реальную прибыль на продуктах действительно ценных: газовом конденсате, LPG, NGPL, НСГ. А «сухой» энергетический природный газ – это субпродукт, как коровья печёнка или куриные потрошки. Газа продают сколько получится, примерно по себестоимости (не работать же себе в убыток!) То, что продать не получилось, загоняют обратно под землю. Уже в сухом, освобождённом от конденсата и прочих полезностей виде.

Если бы в Америке шла речь о превращении газового коллапса, вместо десятков тысяч гидроразрыв следовало бы строить тот самый газопровод с Аляски (плюс второй такой же), да ещё линию «Восток-Запад» для перекачки газа из штатов, где газа с избытком, туда, где не хватает. Ещё, следовало развивать добычу сравнительно «чистого» с экологической точки зрения рудничного газа. В 2007 году его добывали в США почти 60 млрд м³, но бизнес «не взлетел», сами угадайте отчего. Даю наводку: CBM/CSG – почти чистый метан.

Но скажем честно: предотвращать газовый коллапс в США никто не собирался, и никто не будет; добыча и далее будет регулироваться исключительно ценой полезных «жидкостей». Переходим к собственно предсказаниям. Вот что пишет Хьюз. Цитата целиком, ибо лучше не скажешь. Кроме цитаты, приведём прогнозы общей добычи газа в США по мнению Хьюза и в соответствии с AEO2016. Фортранный NEMS нам для этого не понадобится. Достаточно программы **Chapter 11\12_USA_Gas_Prediction.py**

Когда в июле 2014 году я готовил «Drilling Deeper», большинство месторождений «сланцевого газа» были на подъёме, а количество работающих в США буровых вышек било очередной рекорд. Тем не менее, анализ фундаментальной геологии показывал, что до пика добычи осталось совсем чуть-чуть. Так и вышло. Объем добычи в США достиг пика в феврале 2016 года и к августу того же года сократился на 4.7% [М.Я.: Общее извлечение газа в США прошло пик в апреле 2015 – 92.0 млрд кубических футов в сутки. К апрелю 2016 падение составило 2.8%, к апрелю 2017 – 2.7%, последние данные за август 2017 – на 3.2% ниже пика]. Сланцевые месторождения прошли пик (см. таблицу выше). На «старых» месторождениях, таких как Барнетт и Хайнесвилль, падение составляет 38% и 52% соответственно. [...]

Добыча «сланцевого» газа в будущем зависит от качества скважин, скорости бурения, кривых спада добычи и количества доступных залежей. Последние два фактора суть функция не только буровых технологий, но и геологии.

Что до геологии: все месторождения «сланцевого» газа имеют конечную площадь. На примерно 15-20% этих территорий находятся (или, скорее, «находились» – в прошедшем времени) «основные зоны» или «сладкие точки», где производительность скважин больше, чем на остальном месторождении в три раза и более. Для предсказания будущей добычи в США я в 2014 году пользовался данными по доступным точкам бурения и реалистическими кривыми спада добычи. Добыча у «сланцевых» скважин падает быстро, и никакие «новые технологии» не в силах это изменить.

Теперь обратимся к технологии. На падение нефтегазовых цен индустрия ответила, во-первых, снижением затрат, а во-вторых, интенсификацией эксплуатации уже пробуренных скважин. В нефтегазовой промышленности это носит название «high grading» [лучший перевод термина на русский: «сожрал торт сам, а салат гостям оставил»]. Бурение сфокусировалось исключительно на «сладких точках». Возросла длина горизонтальных стволов. Например, на Марселлусе средняя длина горизонтальных участков проходки возросла с типичных в 2006 году 5'000 футов [1500 м] до 7'000 футов [2130 м]. Там же на Марцеллусе средний гидроразрыв уже использует 33 тысячи кубометров воды и 4.5 тысячи тонн проппанта. На Хайнесвилле «Чесапик Энержи» недавно установила рекорд: 22.5 тысячи тонн проппанта закачали в одну скважину. [Специалисты «Чесапик» даже придумали шуточный термин: «Пропакалипсис» (Propageddon)] Аналогичные рекорды ставят и на других месторождениях. Помимо повышения отдачи от одной скважины, это имеет и отрицательный эффект – уменьшается количество точек, где имеет смысл бурить новые скважины. Как результат, при увеличении дебита ресурс истощается быстрее, но коэффициент извлечения в лучшем случае не меняется, в худшем –

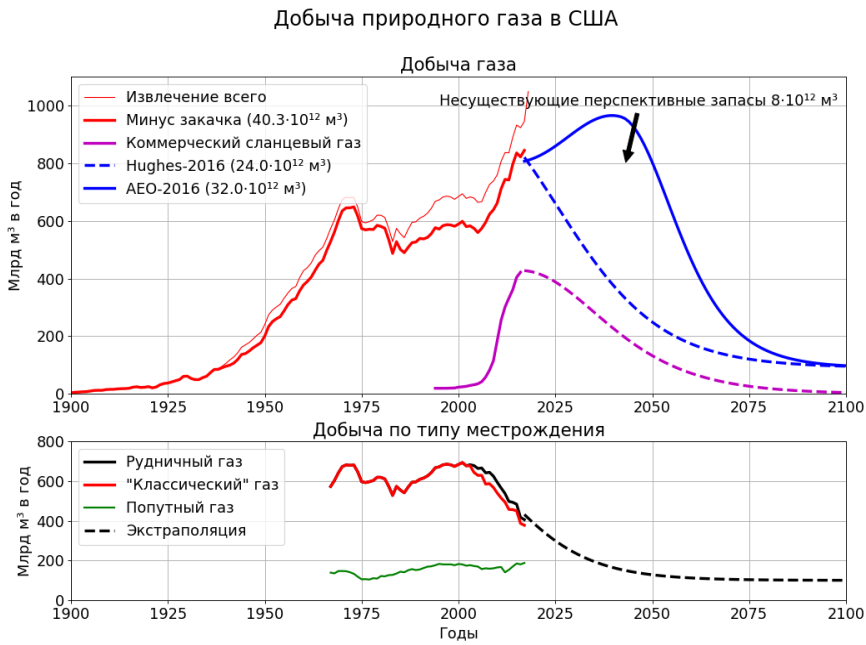
снижается.

Если бурить исключительно «сладкие точки» всё более длинными скважинами, улучшаются экономические показатели эффективности бурения: количество скважин и метраж проходки в единицу времени. Однако это же означает, что «сладкие точки» будут истощены ударными темпами, оставив менее выгодные залежи на будущее. Анализ добычи в графствах, где сосредоточены «сладкие точки», например, Марцеллуса и Иглфорда, показывает снижение средней продуктивности скважин. Это означает, что на этих месторождениях «сладкие точки» уже практически разбурены, а добавление новых скважин приводит к ситуации, когда новые скважины лишь отбирают дебит у близлежащих старых.

Я оцениваю оптимизм доклада AEO2016 как «очень высокий». Похоже, специалисты EIA распространяют показатели добычи из самых продуктивных скважин в «сладких точках» на всю территорию месторождений. Доклад EIA рисует радужную картину увеличения добычи «сланцевого» газа после 2017 года при одновременном снижении количества буровых на 37% по сравнению с 2014 годом. Далее ожидается, что при том же сниженном количестве буровых добыча трудноизвлекаемых запасов газа возрастёт на 88% к 2040 году, и только в 2040 году понадобится столько же буровых на газ, сколько их работало в 2014.

Для выполнения прогноза EIA потребуется чуть более одного миллиона новых скважин, пробуренных до 2040 года. При средней стоимости $6 млн [здесь и далее – в долларах 2015 г] США потребуются инвестиции более шести триллионов. [...]

Сейчас EIA использует для прогнозирования программу NEMS [National Energy Modelling System, Система моделирования энергетики США.[131]]. Программа довольно сложна. В заявлении по ссылке EIA предупреждает: «Большинство скачавших NEMS нашли программу трудной в использовании». [Я лично трудной её не нашёл, но обнаружил тонны ненужного говнокода на «Визуальном Фортране». На дворе XXI век!]



[...]Так или иначе, используя свою чудесную программу, EIA увеличила прогноз добычи «сланцевого» газа на 31% по сравнению с прогнозом 2015 года, при одновременном снижении цены газа на 20%! Неужто наше знание геологии США так существенно изменилось всего за год [не слишком активного бурения]? Почему добыча сланцевого газа на Марцеллус возросла на 48% по сравнению с предыдущим прогнозом и стала на 47% больше, чем оценка USGS по категории «недоказанные перспективные технически извлекаемые ресурсы»? Как на Хайнесвилле дебит может вырасти на 223% от текущего уровня, а количество извлечённого газа к 2040 году на 28% больше, чем собственная оценка EIA перспективных запасов на этом месторождении? Какое чудо поможет не просто возродить истощённый Барнетт, но и выйти к 2040 году на уровень кумулятивной добычи в 145% от подтверждённых и перспективных извлекаемых [по собственной оценке EIA]?

Прогнозы EIA для «сланцевого» газа необычайно важны, так как они широко используются за пределами

131 Как скачать, написано по ссылке: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/info_nems_archive.php

нефтегазовой промышленности, в том числе – политиками в Правительстве США. Многие считают предсказания EIA истиной в последней инстанции [Для нефти, мы разбирали эту «истину» в главе 9. Прогнозы – линейная интерполяция, сбываются случайно. Но у политиков память профессионально короткая]. Огромные средства уже инвестированы в перевод страны на газовые ТЭС в предположении, что американского газа в ближайшие десятилетия будет с избытком. Строятся заводы по сжижению газа для отправки наших природных богатств по всей планете. Эти инвестиции уже раскрутили будущий спрос на газ, вне зависимости от того, сможет ли добывающая промышленность подобные дебиты обеспечивать и по каким ценам. Ошибка будет дорого стоить энергетике США. Мой анализ показывает, что отчёты EIA необоснованно оптимистичны и вряд ли подобные уровни добычи «сланцевого» газа будут достигнуты.

Теперь от природного газа перейдём к предсказаниям Д.Хьюза по «сланцевой» нефти. Здесь и далее, дабы не путать продукт с пиролизными углеводородами из природного керогена, будем пользоваться официальный терминологией: LTO – Light Tight Oil – «запасы лёгкой нефти из низкопродуктивных залежей».

Американские баррели в сутки будем переводить в нормальные единицы: миллионы тонн в год. За плотность нефти примем американский стандарт WTI: 0.827 г/см³. В реальности плотность несколько отличается, так как часть добычи составляет газовый конденсат с плотностью ниже 0.780, а также тяжёлая нефть с плотностью свыше 0.920. EIA публикует данные по плотности американской нефти лишь с января 2015 года[132]. С этого момента и по август 2017 средняя плотность по сумме всей нефти и конденсата на территории «нижних 48 штатов» составила 0.826 г/см³ – в пределах погрешности.

Начнём с месторождения Баккен; добыче газа там обсуждалась выше. Программа **Chapter 11\13_Bakken_Oil.py**

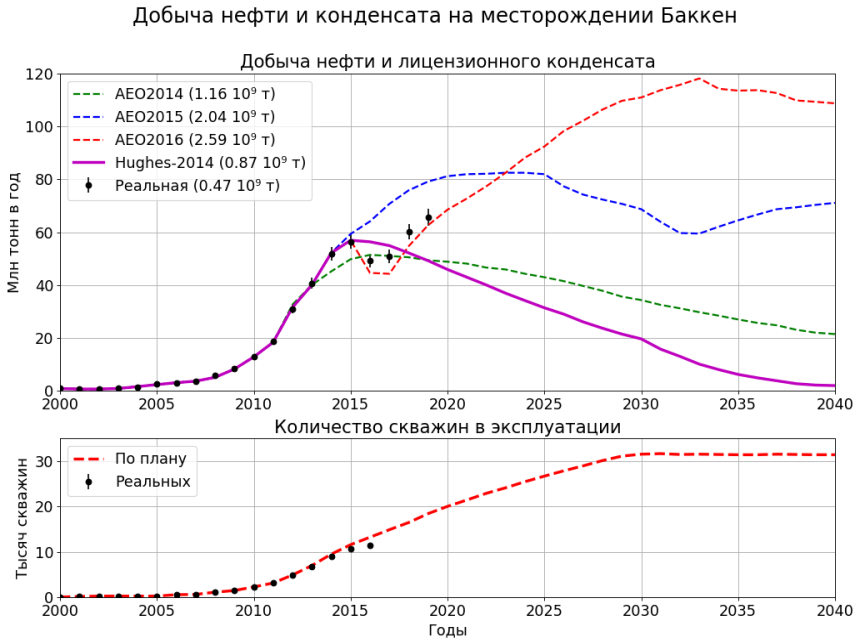
В 2014 году Хьюз [23] предсказывал извлекаемые запасы Баккена на уровне 0.9 млрд тонн и пик добычи в 2015 году; EIA считала запасы в 1.2 млрд тонн, с тем же временем наступления пика. По факту пик произошёл в декабре 2014 на уровне добычи 57 млн т в год, но с тех пор EIA продолжает увеличивать прогнозы. AEO2015: 2.0 млрд т с «полочкой» добычи до 2025 года, AEO2016: 2.6 млрд т с пиком в далёком 2033. Реальная добыча пока отстаёт даже от прогноза Хьюза – падение суммарного дебита месторождения с момента пика составило в среднем 0.3% в месяц.

Для сравнения: на момент начала разработки, запасы Самотлора оценивались в 2.0 млрд тонн (после освоения и доразведки на 2015 год – 3.3), к 2016 году примерно 16 тысяч скважин извлекли более 2.7 млрд т накопленной добычи. На Баккене 15.4 тысячи пробуренных скважин извлекли за 17 лет всего 0.47 млрд тонн. Это оттого, что нефть Баккена размазана по крохотным залежам. На квадратном километре Самотлора изначально было 1'850 тыс т извлекаемых запасов, на таком же квадратике Баккена (общая площадь месторождения около 520'000 км²) в среднем всего 2-5 тысяч тонн[133]. USGS в 2013 году

132 https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_crd_api_adc_mbblpd_m.htm Не надо путать это значение с условной плотностью по данным таблиц «*BP*». Последняя включает NGPL как «жидкость».

133 Конечно, не все квадратные километры рождены равными. Но и самые лучшие скважины на Баккене дают не более 25 тонн в сутки. Проработав год, многие скважины обводняются, а есть и неудачные скважины, где сразу с момента ввода в эксплуатацию – до 98% воды. В среднем на уже освоенных

оценила общие подтверждённые и перспективные извлекаемые запасы Баккена в 0.96 млрд т (2P), что близко к независимой оценке Хьюза, однако половина этих запасов размазана за пределами «сладких точек»[134].



Для полного освоения Баккена планировали пробурить вчетверо больше скважин, чем запланировано на Самотлоре – около 112 тысяч(!), причём практически все – более сложной конструкции: с горизонтальными участками стволов до полутора-двух километров и первичными многостадийными гидроразрывами. Неизвестно, будут ли выполняться столь амбициозные планы строительства скважин. Пока бурение от планов отстаёт на многие тысячи единиц. Главная проблема: негде стало бурить. «Сладкие точки» на территории графств Маккензи и Монтрео в Северной Дакоте уже разбурены практически полностью, ещё три графства догоняют: Данн, Уильямс и Ричлэнд (последнее принадлежит Монтане). Наблюдается взаимное влияние скважин: при вводе в эксплуатацию новых – резко падает добыча из соседних старых. За пределами пяти графств – их общая территория около 2'800 км² – «сладкие точки» редки, а с квадратного километра в сутки получается менее тонны нефти.

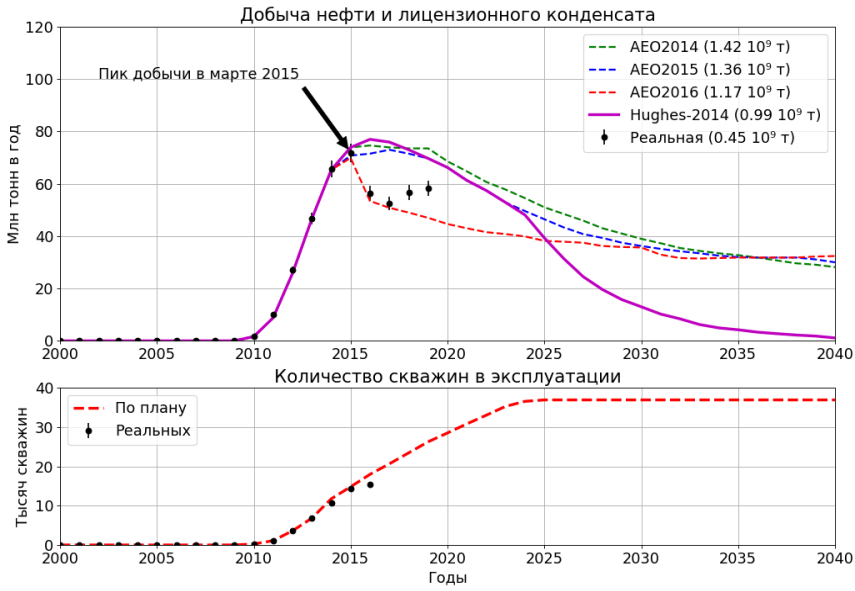
Ещё одно уже знакомое нам месторождение: Иглфорд (программа **Chapter 11\14_EagleFord_Oil.py**). Добыча прошла пик в 2015 году. Впрочем, одно отличие имеется – здесь EIA не питает особых иллюзий. С 2014 по 2016 годы оценки извлекаемых запасов непрерывно снижались. Хьюз полагает, что сохранить «полочку» добычи на 35-40 млн тонн нереально, и к 2023 году

площадях месторождения добыча составляет всего две тонны в сутки с квадратного километра! См. https://www.dmr.nd.gov/oilgas/mprindex.asp

134 Stephanie B. Gaswirth and Kristen R. Marra, *U.S. Geological Survey 2013 assessment of undiscovered resources in the Bakken and Three Forks Formations of the U.S. Williston Basin Province*, AAPG Bulletin, 2015

месторождение станет «чисто газовым», а «жидкости» будут получаться исключительно в виде конденсата. В отличие от Баккена, «сладкие точки» Иглфорда распределены более равномерно. Девять графств Техаса: Карнс, Деуит, Ласаль, Димми, Гонзалес, Мак-Муллен, Атаскоза, Уэбб и Лайв-Оак – обеспечивают 81% добычи

Добыча нефти и конденсата на месторождении Иглфорд



На этом, собственно, усё. «Новые» месторождения LTO описаны полностью, аж оба два! А как же остальные битвы «сланцевой революции»? А остальные битвы идут на месторождениях, которым с момента начала разработки вскорости стукнет полвека и более. «Революция» – это по газу. Нефтяники героически добуривают наследство давно вышедших на пенсию коллег. Заметим, что в статью Д.Хьюза 2014 года эти старые месторождения не вошли – автор просто не предполагал тогда, что EIA переквалифицирует «старичков» в «новые месторождения». Поэтому графики ниже предсказаний Хьюза не содержат.

Вот месторождение Пермское – вполне «классическое» старинное нефтяное – первая нефтяная добывающая скважина здесь пробурена в далёком 1923, но тупые журналисты отчего-то полагают, что в Техасе ничего кроме «новых сланцевых» уже не бурят. Если быть совсем точным, Пермский бассейн (нефтеносная провинция) состоит из четырёх главных геотипов или свит (по-английски это называется «play»): Делавэр, Вольфкэмп, Спраберри и Боун-Спринг. Породы относятся, как ни странно, к Пермскому периоду[135], захватывая чуток верхнего Каменноугольного (323-260 млн лет назад).

Программа **Chapter 11\15_Permian_BoneSpring_Oil.py** демонстрирует, как из

135 Как и российский город Пермь, который стоит на пермских отложениях. Американцы зовут верхний Каменноугольный период «Пенсильванским».

«классической» нефти статистика делает «сланцевую». Заметим, что к 2000 году, когда о «сланцевой революции» никто ещё не слышал, на Боун-Спринг функционировало с 1970-х около 800 скважин, так называемых «стрипперов» с добычей менее 3 баррелей в сутки. В условиях высоких цен на нефть, количество действующих скважин довели до 3'500.



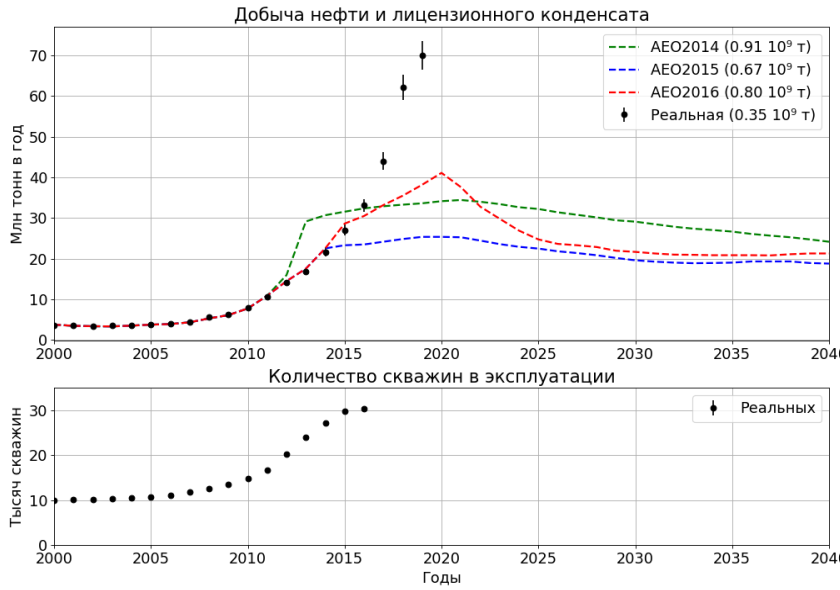
Пермское – самое крупное месторождение США и одно из крупнейших в мире. Википедия заявляет, будто «некоторые геологи» насчитали в Пермском 2 триллиона баррелей нефти (300 млрд тонн). Хорошо, что саудиты про это не знают – их дохлый Гавар с 12 млрд тонн начальных извлекаемых нервно закурит кальян. Но мы на британских учёных геологов плюнем и спросим у американских – в USGS. Доказанные и перспективные технически извлекаемые (P95-P05) в Вольфкэмп – от 11.4 до 31.5 млрд баррелей[136], в Спраберри – от 1.9 до 7.6[137], в Боун-Спринг – от 1.1 до 4.5[138], а всего по оценке 2P – 27 млрд баррелей. С 1923 года накопленная добыча Пермского – 29 млрд баррелей, следовательно, начальные технически извлекаемые составляли 56 млрд баррелей, или 7.4 млрд тонн (из которых более половины уже добыто). В 2.2 раза крупнее, чем Самотлор. Мелочь, а как приятно!

2P в оценке выше означает, что с вероятностью 50% в месторождении есть 27 млрд баррелей, и с той же вероятностью, что их нет. С вероятностью 95% в Пермском есть 14 млрд баррелей. Те же геологи USGS подсчитали, что для извлечения этой нефти потребуется 1.4-1.9 триллиона долларов (в ценах 2015 года) – себестоимость порядка 60 долларов за баррель.

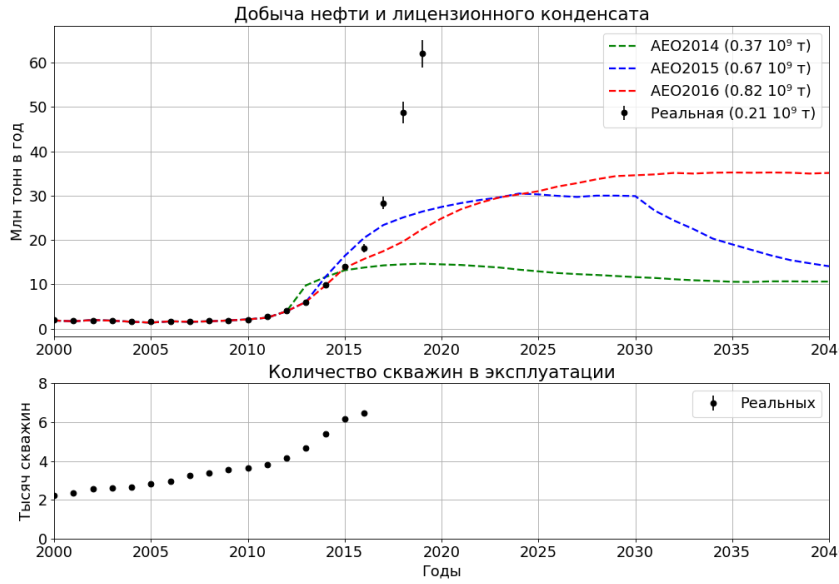
136 https://pubs.usgs.gov/of/2017/1013/ofr20171013.pdf
137 https://pubs.usgs.gov/fs/2017/3029/fs2017173029%20.pdf
138 https://pubs.usgs.gov/fs/2012/3051/fs2012-3051.pdf

Программы **Chapter 11\16_Permian_Spraberry_Oil.py** и **Chapter 11\17_Permian_Wolfcamp_Oil.py** представляют данные соответствующих провинций.

Добыча нефти и конденсата на месторождении Пермское / Спраберри

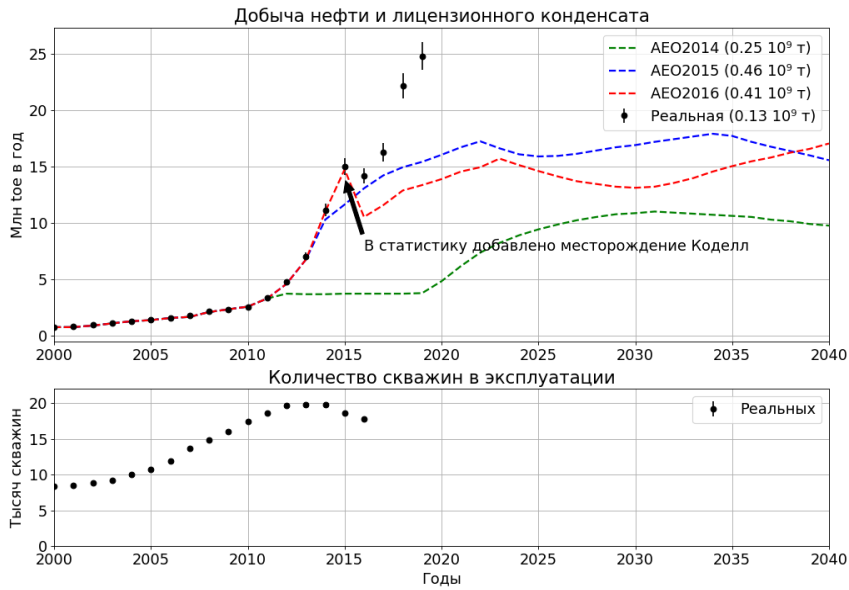


Добыча нефти и конденсата на месторождении Пермское / Вольфкэмп



Ещё на двух «старых»: Ниобраре и Остин-Чалк – ситуация аналогична Пермскому. Программа **Chapter 11\18_Niobrara_Oil.py** (данные в тоннах нефтяного эквивалента в связи с со спецификой отчётности в Колорадо):

Добыча нефти и конденсата на месторождении Ниобрара-Коделл

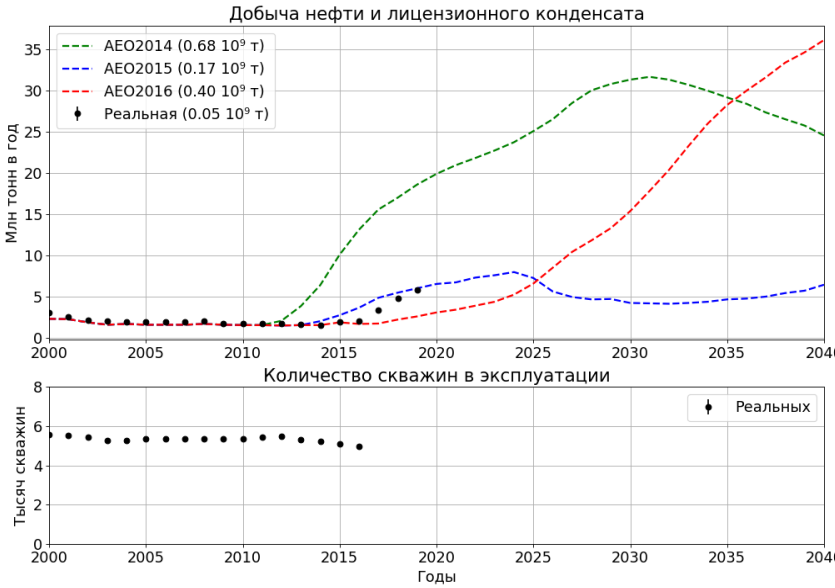


Самое крупное газовое месторождение Ниобрарского бассейна – Уаттенберг – начали разрабатывать в 1972 году, потихоньку нарастив добычу до современного уровня. Всего в бассейне пробурено более 33'100 скважин, из которых на 2017 год около 15'000 ликвидированных, причём добыча в основном ведётся всего в одном графстве Уэлд (Колорадо) и ещё немного – в соседнем Адамс (к весёлой семейке монстров отношения не имеет). В 2015 году уплотнение сетки скважин на Ниобраре перестало давать выхлоп, поэтому в статистику с 2017 года EIA добавляет добычу из соседнего месторождения Коделл (начало разработки 1981 год). Коделл, как и Уаттенберг, сложен песчаниками; к «сланцам» вообще не сном ни духом. Ни о какой «сланцевой революции» буровики штата не знают, так как строительство скважин проводилось по планам разработки из 1980-х, но это не мешает EIA считать Ниобрару «сланцевой».

Остинский мел примыкает к Иглфорду (в основном на территории графства Кэрнс). Разработку начали во время Второй Мировой, пик добычи – 8.6 млн тонн в 1991 году. На то время было пробурено более 15'700 скважин, с тех пор большинство было выработано и ликвидировано; на конец 2016 года в работе осталось около 4'850, в том числе около 500 относительно новых с недавними гидроразрывами. В 2014 году EIA спешно переквалифицировало месторождение в «сланцевое», а в 2017 году ожидается «рекорд добычи» – целых 4.2 млн тонн – вдвое ниже, чем рекорд настоящий. Прогнозы EIA 2014 и 2015 годов различаются в 4 раза; прогноз 2016 – это копия оптимистичного прогноза 2014 года, сдвинутая по времени на 12 лет в будущее.

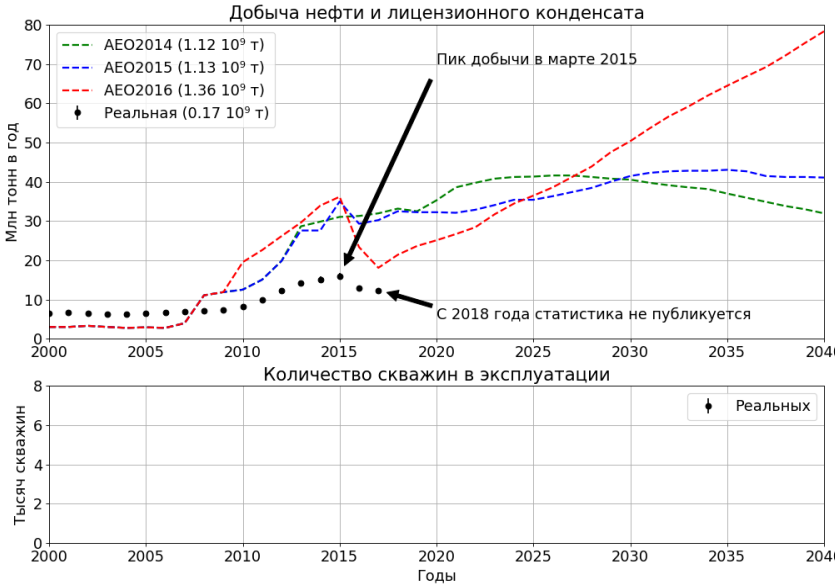
Программа **Chapter 11\19_Austin_Chalk_Oil.py**

Добыча нефти и конденсата на месторождении Остин-Чалк



Наконец, в нефтяных прогнозах EIA есть так называемые «остальные». Нарисуем их программой **Chapter 11\20_Others_Oil.py** (скважин в статистике нет, так как они все проходят по категории «газовые»). Статистика EIA отчего-то заканчивается 2017 годом, а пик добычи – в 2015.

Добыча нефти и конденсата на остальных и ещё не открытых месторождениях

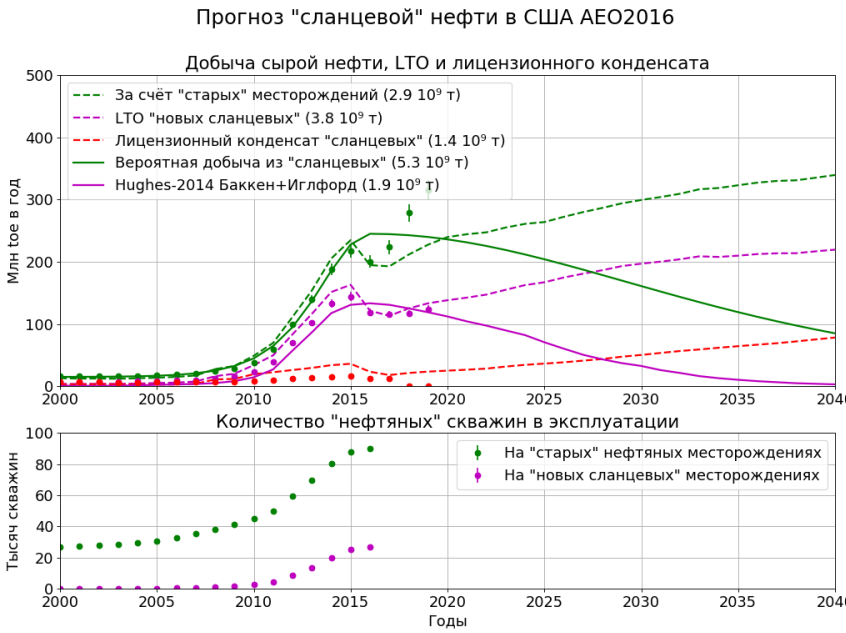


В «остальные» входят месторождения «сланцевого газа», производящие газовый конденсат: Марцеллус, Хайнесвилль, Ютика, Монтерей, Гранит-Уош и Йесо-Глориетта (последние три – малые и в статистике по газу проходили как

«остальные»), а также кусочек Пермского – Делавэр. А ещё есть загадочные «новые не найденные на территории нижних 48 штатов». Если вы знаете, где ещё не искали, покажите американским геологам.

Теперь, как и для газа, соберём все предсказания вместе. Для ясности, поделим нашу «сланцевую нефть» на три категории: во-первых, конденсат «сланцевого газа», во-вторых, LTO и конденсат с месторождений, которые начали разрабатывать после «официального начала сланцевой революции» и в-третьих, трудноизвлекаемые запасы старинных месторождений, записанных в категорию «сланцевых» распоряжением вашингтонских бюрократов.

Считать будем программой **Chapter 11\21_Total_Oil.py** .



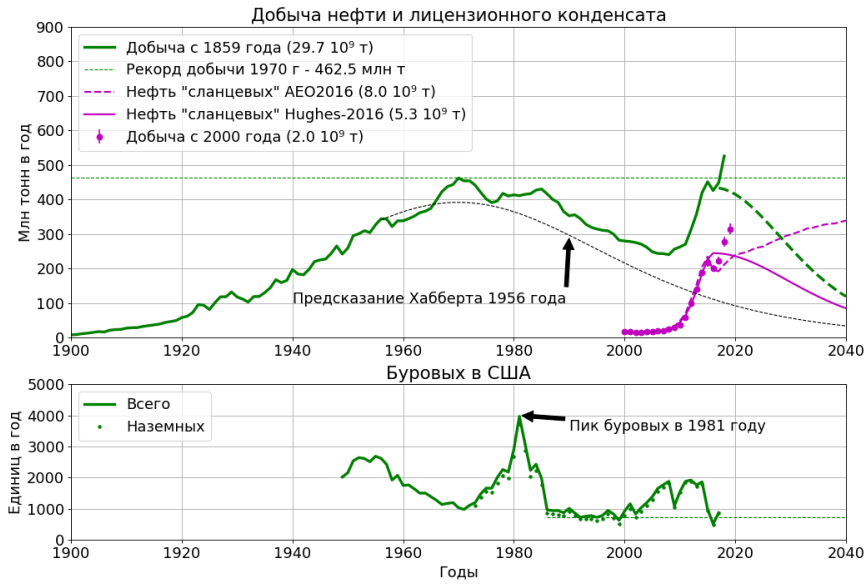
Заметим сразу, что пик добычи «настоящей сланцевой нефти», то есть LTO и конденсата, пришёлся на середину 2015 года, когда в эксплуатации находилось 25 тысяч новых «нефтяных» и более 90 новых «газовых» скважин. За 18 месяцев добыча сократилась на 20%. Сейчас увеличение добычи «сланцевой нефти» происходит главным образом за счёт уплотнения сетки и освоения трудноизвлекаемых запасов «старых» месторождений, в первую голову – Пермского бассейна. На «старых» месторождениях введено в эксплуатацию порядка 65 тысяч новых скважин, большинство – с первичными гидроразрывами для хищнической максимизации дебитов.

Прогноз EIA по добыче лицензионного конденсата вряд ли сбудется – смотрим объяснение по природному газу выше. EIA ожидает между 2000 и 2040 годом добыть из «сланцевых» (включая переведённые в категорию «сланцевых» ТрИЗ «старых» месторождений) порядка 9 млрд тонн. Хьюз полагает, что при существующей низкой буровой активности такой оптимизм не обоснован.

Вероятно, к 2040 году удастся извлечь 5.0-5.5 млрд тонн, в том числе из Баккена и Иглфорда – 1.8-2.0 млрд тонн (⅔ от подтверждённых и перспективных 2P, или все запасы 1P, называйте как хочется).

Теперь сравним достижения «сланцевой революции» с историческими достижениями американских нефтяников. График из программы **Chapter 11\22_USA_Oil_History.py** показывает количество буровых, работавших на территории США, общую добычу нефти и лицензионного конденсата в США с 1900 года, добычу «сланцевой нефти», как её официально показывает EIA – включая ТрИЗ «классических» месторождений, а также знаменитое предсказание М.К. Хабберта из статьи 1956 года [19]. Напомню, что Хабберт оценивал исключительно запасы «классической нефти», не включая ни лицензионный газовый конденсат, ни тем более LTO.

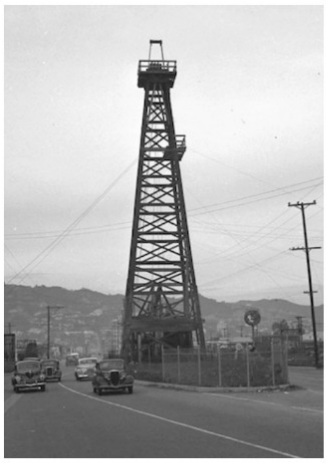
Добыча нефти и лицензионного конденсата в США



Статистика EIA по нефти и конденсату начинается с далёкого 1859 года. С тех пор добыто 29.7±0.5 млрд тонн, или примерно 9 Самотлоров. На фоне этого огромного значения, достижения «сланцевой нефти» выглядят довольно бледно: 1.4 млрд т с 2000 по 2017 годы, или менее 5% накопленной добычи.

Далее обратим внимание, что количество работающих буровых и добыча нефти коррелируют довольно плохо. В самом деле, пик добычи «классической» нефти и конденсата был пройден в 1970 году на уровне 462.5 млн тонн в год, когда трудилось «всего» 1'028 вышек, причём по сравнению с 1940 и 1950 годами количество буровых сократилось в 2.8 раза[139].

139 В блоге пользователь **amatlan** любезно привёл таблицу количества буровых в США с 1913 по 1926 годы (без Калифорнии). Максимальное число установок было в конце 1919 года: 9'699 штук, но в 1920 пробурили «всего» 26'738 скважин. Тогда вышки были стационарные деревянные; на сборку и разборку уходило несколько недель, а бурили медленно.

		
Деревянная вышка 1935 г.	Стальная вышка 1958 г.	Наземная буровая, 2015 г.

Для любителей порассуждать о «спаде активности», приведу исторические картинки выше. Буровая образца 1960-х годов – совсем не то же самое, что чудо автоматики и механики образца 2015.

После прохождения пика добычи в США начался «буровой бум», а количество буровых возросло до 3'970 в 1981 году (из них 256 – морских платформ). Несмотря на увеличение парка буровых в четыре раза, добыча «жидкостей» оставалась на «полочке» 420 млн т в год. Обвальное сокращение бурения с 1981 по 1985 годы на «полочке» не отразилось никак, и только после 1985 года добыча двинулась «к югу». «Всплеск» количества буровых после 2005, конечно, примечателен, но сам по себе ничего не значит.

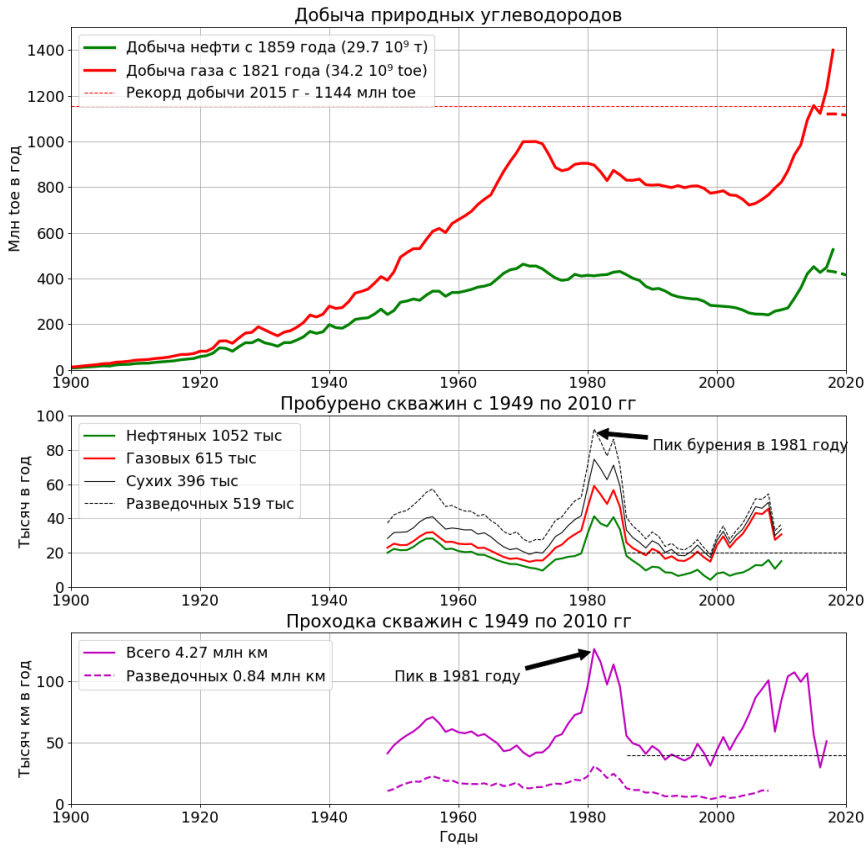
После сокращения количества буровых с примерно 1'800 в 2014 году к уровню 1990-х, раздавалось немало предсказаний, что «вот сейчас добыча рухнет». Предсказания не сбылись пока. Именно оттого, что нет корреляции.

Надеюсь, я уже убедил читателей, что рассматривать добычу нефти как простую функцию количества буровых – довольно бесперспективное занятие. Попробуем соединить данные по добычи нефти и газа с количеством пробуренных скважин. В наши данные по «газу» входит и NGPL. В объёмы газа входят потери и факельное сжигание. Программа **Chapter 11\23_USA_Oil_Gas_Combined.py**

EIA публикует количество пробуренных скважин с 1949 по 2010 годы включительно, и опять прямой корреляции между количеством пробуренных скважин и добычей нет. В первом приближении скважины коррелируют с числом буровых: больше работает установок – больше бурится скважин. Логично. Но и здесь не совсем пропорциональность. На пике активности в 1981 году 3'970 буровых сделали 92 тыс скважин (в среднем по 23 скважины в год на буровую), а тремя годами позже 86.2 тыс скважин построены 2'428 буровыми (в среднем по 35 скважин в год на установку, или новая скважина

каждые 10-11 дней). В кризисном 2008 году 1'879 буровых построили 54.3 тыс скважин, то есть по 28 скважин в год каждая.

Добыча нефти и природного газа в США



А всего за период статистики – с 1949 по 2010 годы – американские нефтяники проковыряли 2.6 миллиона дырок в земле! Считая по 6 миллионов за скважину (в долларах 2015 года), общие капитальные затраты не меньше 15 триллионов долларов, а средняя себестоимость тонны нефтяного эквивалента – $275, то есть 36 долларов за баррель.

По данным EIA, в 2014 году на территории США функционировало 586 тыс скважин, добывающих природный газ и конденсат, и 216 тыс нефтяных скважин, добывающих кроме нефти и попутный газ. Полной статистики по нефтяным скважинам не ведётся с 1998 года, вероятно оттого, что много скважин считаются «в эксплуатации», а на деле брошены, но не ликвидированы.

По суммарной проходке всё несколько понятнее. Оказывается, с 2001 по 2015 годы по километражу пробуренных скважин Америка превзошла собственный рекорд 1971-1985: 1.27 млн км ствола против 1.24 млн. В 2016-2017 годах

проходка вернулась к значениям 1990-х, но и тут ежегодно бурят длину земного экватора – 40 тыс км.

Заметим, что на суше средняя длина ствола скважины составляет порядка 2'200-2'500 м. Нередко приходится слышать, что в Америке чуть ли не повсеместно бурят горизонтальные скважины со стволами в 10 км, а то и круче: несколько стволов в одной скважине (так называемый «рыбий скелет»). Такие скважины безусловно есть, но остаются редчайшей экзотикой. На морских платформах подобные технологии используются для экономии места на палубе, а на суше – требуются разве что для бурения под городской застройкой или в заповедниках.

И наконец, вероятный ответ на загадку «сланцевой революции»: отчего при обвальном сокращении количества буровых добыча существенно не падает уже третий год: наземные буровые в США оборудованием скважин под добычу не занимаются. Когда спущена и зацементирована добычная колонна, скважину промывают солевым раствором («брайном»), ставят на сотню метров от поверхности съёмную пробку-пакер – и передвигают вышку на следующую скважину. Вспомним, что наземные буровые делают по 30 скважин в год, заниматься вводом скважины в эксплуатацию им просто некогда!

Оставленная в таком подвешенном состоянии скважина не является «законсервированной» в строгом смысле слова. Консервировать там нечего, так как скважина добывать не может. Правильнее называть такие заготовки «недоделанными скважинами». У американских буровиков есть термин «DUC» – *drilled uncompleted* либо *drilled – under construction* («пробуренная-незавершённая» либо «пробуренная – в процессе освоения»).

Чтобы скважина «дозрела» и вступила в строй, должно срастись несколько условий:

1. Компания – разработчик решает, что вообще стоит сейчас добывать. Например, данные каротажа (ГиРС) показали, что мощность пласта низкая, а бухгалтер заявляет, что при текущей цене невыгодно. Скважина уже пробурена, участок не отберут. Ждём-с.
2. Надо проложить к скважине трубу – местную «экспортную» линию для отвода газа, даже если скважина – «нефтяная», а газ – «попутный». Сжигать газ факелом разрешают всё реже. При строительстве трубы может сложиться конфликт с каким-нибудь местным фермером. Опять ждём-с.
3. Надо подвезти к скважине мачту КРС, выдернуть пробку, подготовить объект к первичному гидроразрыву, например, стрельнуть перфорацию. Перфорацию выполняют каротажники на кабеле либо испытатели на трубах. Тоже ждём.
4. Дождаться бригады гидроразрыва. Жизнь этих горячих парней расписана по минутам. Зачастую многостадийный разрыв может стоить дороже бурения. Наконец, порвали!

5. Мачтой спускаем в скважину насосно-компрессорные трубы и другое оборудование, ставим добычную арматуру, сепаратор на поверхности, насос-качалку, или что ещё требуется. Дожидаемся канатчиков, чтобы скважину свобировать (очистить от тяжёлой жидкости и вызвать приток).
6. Вывести скважину на режим. Провести 24-часовое опробование (по закону положено во многих штатах).
7. Зачистить местность от ~~баемачей~~ всякой гадости. Тоже по закону.

Короче, это я сильно упрощаю. Техзадания на некоторые скважины занимают сотни страниц. Кроме прочего, все работы выше стоят денег, а у многих «сланцевых» компаний этих средств «пока нет», смотрим пункт 1.

Трудно сказать, какой из факторов выше играет решающую роль. На Пермском ограничителем ввода скважин в эксплуатацию, скорее всего, является дефицит бригад гидроразрыва. На Баккене, похоже, проблема в трубах и реализации попутного газа. К сожалению, статистики гидроразрывов в США EIA не публикует. Из открытых источников, «*CNN*»[140] заверяет, что в 2000 году в США было 23'000 скважин с первичным гидроразрывом, а в 2016 их же стало более 300'000.

Как результат, после буровых марафонов 2001-2014 годов на всех «сланцевых» месторождениях образовалось по много сотен скважин в состоянии «DUC». По состоянию на июль 2017 года – 6'031 скважина; для освоения надо около 20.8 миллиарда долларов.[141] На октябрь 2017:

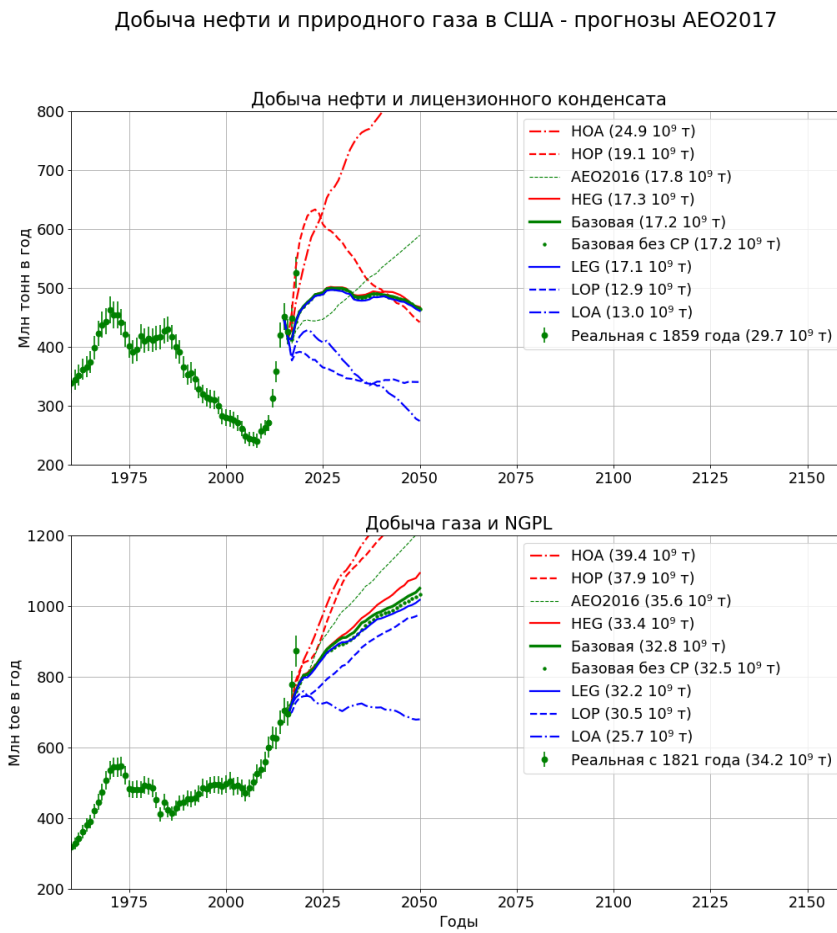
Месторождение	Количество неоконченных скважин
Пермское[142]	2533
Ниобрара	685
Хайнесвилль	192
Иглфорд	1485
Баккен	791
Марцеллус[143]	650

Таким образом, вряд ли следует ожидать обвального падения добычи нефти и газа в США. Вероятно, в ближайшие 2-3 года стране удастся удержать «полочку» добычи по сумме газа и «жидкостей» на уровне 1.10 млрд toe. Гораздо интереснее, что будет дальше, особенно в связи с неизбежным истощением Баккена и Иглфорда.

В январе 2017 года EIA выдала «*Annual Energy Outlook 2017 with projections to 2050*» (AEO2017) [24]. Документ принципиально отличается от предыдущих

140 Скачано в ноябре 2017: http://money.cnn.com/2016/03/24/investing/fracking-shale-oil-boom/index.html
141 https://www.oilandgas360.com/current-duc-inventory-will-require-20-8-billion-complete-enercom/
142 https://seekingalpha.com/article/4127133-permian-duc-wells-surge-massive-implications-wti-oil-prices-inventories-permian-oil-producers
143 http://marcellusdrilling.com/2017/07/oil-gas-ducs-now-flying-in-different-directions/

версий AEO. Во-первых, там всего 125 страниц, а в 2014-2016 было по 250 с хвостиком (и шрифт на два кегля меньше). Во-вторых, отсутствует разбивка добычи нефти и газа по отдельным месторождениям. В-третьих, заголовок врёт. В тексте нет ни одного графика, который заканчивался бы 2050 годом. Все графики – до 2040, как и в предыдущих публикациях, а модели до 2050 года вынесены на веб-ресурс. По-видимому, авторы не хотят показывать в официальном тексте не очень-то приятные графики. Наконец, в-четвёртых, документ рассматривает не один и не три, а целых 8 сценариев (программа **Chapter 11\24_AEO2017.py**):



- **Базовая модель** – цена нефти неспешно растёт, достигая $100 за баррель Брента к 2030 году. Газ к тому же времени выходит на 5 долларов за миллион BTU. Экономика США живёт обычной жизнью.
- Базовая при условии отмены «**Carbon Plan**» Обамы. В 2017 году план отменили, но для нефти и газа разница несущественна.
- **HEG** и **LEG** – ускорение и замедление американской экономики. Для добычи нефти и газа тоже несущественно. А вот дальше интереснее.
- **HOP** и **HOA** – высокие цены на нефть: $200 за баррель Брента к 2030

году, либо много-много нефти в США. В этом случае EIA планирует добыть за 35 лет от 19.1 до 24.9 млрд т нефти. За всю историю нефтедобычи США накопленная добыча 29.7 млрд т.

- **LOP** и **LOA** – низкие цены на нефть: $40 за баррель, либо нефти в США не так уж много. В этом случае добыча за 35 лет куда скромнее: 13 млрд т нефти и 26-31 млрд toe газа и NGPL. Но даже в этом случае суммарная добыча превышает подтверждённые запасы USGS в два раза по нефти и почти в 4 раза по природному газу.

Следует отметить и положительный момент. Впервые за долгие годы в отчёте EIA опубликована модель, где добыча «сланцевых» хотя бы в паре сценариев не улетает в заоблачную высь. Похоже, кому-то из высокопоставленных бюрократов в Вашингтоне приходит мысль, что за раздутые прогнозы кому-то придётся отвечать уже при этой президентской администрации.

По состоянию дел 2019 года, добыча превышает самые радужные прогнозы. Однако сколько лет подобная гонка будет продолжаться – большой вопрос.

Итоги главы:

- Официальные модели EIA вероятно завышают реальные извлекаемые запасы нефти и природного газа в США в 2-4 раза.

- На территории «нижних 48 штатов» извлекаемые запасы природного газа (включая также «рудничный газ» и широкие фракции) в настоящее время выработаны на 60-70%. В том числе, все «классические» (не требующие первичного гидроразрыва) газовые месторождения разбурены полностью, и падение добычи из них не менее 4-5% в год. Из-за непрерывного увеличения себестоимости добычи и снижения отдачи, месторождения «сланцевого» газа «в ноль» выработаны не будут никогда. При условии бурения не менее 6'000 новых скважин ежегодно добыча относительно плавно – в пределах двух десятилетий – снизится на уровень 25-30% от современной. Если скважин будет буриться меньше, «сланцевого газа» может хватить и на пять столетий – при годовой добыче порядка 60 млрд м³.

- Общая добыча природного газа в США к 2050 году вероятно снизится до 250 млрд м³, причём не менее ⅔ будут обеспечивать «рудничный газ» (CBM/CSG), «глубокая вода» шельфовых месторождений и Аляска.

- На территории «нижних 48 штатов» извлекаемые запасы «нефти и жидкостей» (включая газовый конденсат) в настоящее время выработаны на 75-80%. Из-за непрерывного увеличения себестоимости добычи и снижения отдачи месторождения «в ноль» выработаны не будут. Добыча быстро – в пределах 15-25 лет – пройдёт пик и снизится на уровень 10-15% от современной, однако сможет оставаться на этом уровне весьма продолжительное время.

- Если позволит международная обстановка, США будут оставаться импортёром сырой нефти и нефтепродуктов на уровне 200-350 млн тонн в год (в 2018 году импортировали 225 млн т). Экспорт природного газа в Мексику будет продолжаться на уровне 35-60 млн toe в год. Экспорт сжиженного природного газа с Аляски возможен, но существенной роли играть не будет.

- Снижение добычи природного газа может повлечь ликвидацию крупной химической промышленности (удобрения, пестициды, пластмассы) в пределах жизни этого поколения американцев.

- Без интенсивного развития ядерной энергетики, трудно предотвратить и частичную деиндустриализацию, особенно в областях промышленности с непрерывным энергозависимым производством (стали, алюминия и цветных металлов, сверхчистых материалов, электроники).

- Вероятен возврат к использованию каменного угля в пределах следующего десятилетия.



Глава 12. Сто процентов возобновляемых.

В поле сеяли. Душный стоячий воздух был пропитан крепкой смесью запахов, разило потом, бродилом, гниющими злаками. Утренний урожай толстым слоем был навален вдоль борозды, зерно уже тронулось. Над горшками с закваской толклись и крутились тучи рабочих мух, и в самой гуще этого чёрного, отсвечивающего металлом круговорота стоял староста и, наклонив голову и прищурив один глаз, внимательно изучал каплю сыворотки на ногте большого пальца. Ноготь был специальный, плоский, тщательно отполированный, до блеска отмытый нужными составами. Мимо ног старосты по борозде в десяти шагах друг от друга гуськом ползли сеятели. Они больше не пели, но в глубине леса все еще гукало и ахало, и теперь было ясно, что это не эхо.

– А. и Б. Стругацкие «Улитка на склоне»

Примерно с 2005 года на просторах Интернета появилась новая мантра: «Сто процентов энергии из возобновляемых источников (ВИЭ)». Пишут и политики, и зелёные. Знаете, а я согласен. Сто процентов из возобновляемых – вполне достижимо. Вопрос только в том, какова абсолютная величина этих ста процентов и каков при этом будет средний уровень жизни.

Сэр Дэйвид Мак-Кей[144] в книге «*Возобновляемая энергия без вранья*»[25] попробовал оценить, что получится в цивилизованной Великобритании, если перейти на 100% возобновляемых. Всё приводить здесь не буду, в книге почти 400 страниц. Читайте по-английски, а для умеющих в мову камарад Андрій Копец даже сделал укороченный перевод и вроде бы скоро выпустит полный.

Для начала, Мак-Кей оценивает потребление британского «среднего класса» – а там сейчас большинство «средний класс» и есть. В качестве единицы мощности в книге выбран 1 кВт·ч/сутки. Такая единица понадобилась для лучшего охвата аудитории: британцы, как и россияне, платят за киловатт-час, оттого понятнее. Читателей этой книги физика не пугает, поэтому сразу перевожу в простые ватты, поделив на 24 и домножив на 1'000.

Итак, средний британец хорошо кушает (2'700 ккал, 280 г мяса или птицы в сутки), элегантно одевается («сделано в Китае»), ездит в личном автомобиле (изредка пользуясь общественным транспортом), один раз в год летает куда-то полежать под более интенсивным солнышком. Некоторые британцы летают на боевых вертолётах, гоняют на полицейских «перехватчиках» или возят пациентов на «скорых» – то есть обеспечивают остальным порядок и покой. Пресная вода считается поступающей с неба бесплатно – на дождливых островах вполне нормальное допущение. Что получилось у автора, приведено в таблице.

144 К несчастью, автор скончался от рака в возрасте 48 лет. https://www.theguardian.com/environment/2016/apr/18/sir-david-mackay-obituary

Потребляемая британцами мощность – 8'150 ватт на человека. Примерно столько же в других странах Северной Европы: Германии, Франции, Австрии, Голландии… В Норвегии, США, Канаде потребление почти вдвое выше. Для сравнения: во второй главе мы подсчитали, что в 2015 году 7.35 миллиарда землян потребляли 18.5 тераватт мощности из источников с низкой энтропией плюс как минимум 8.5 ТВт в виде продовольствия, то есть по 3'670 Вт на душу. Средний землянин потребляет сейчас вдвое меньше, чем средний британец.

Вид расходов энергии	**Мощность, Вт**
В виде предметов потребления (в основном, импорт из Азии)	2'000
Личный и общественный транспорт	1'670
Обогрев и кондиционирование воздуха в помещениях; приготовление пищи, подогрев воды	1'540
Туризм	1'250
Продовольствие и затраты на сельское хозяйство, в т.ч. удобрения	625
Грузовые перевозки всеми видами транспорта	500
Электроника, средства связи, Интернет	210
Освещение улиц и помещений	170
Оборона, полиция, гражданские службы	170
Образование	15
ИТОГО:	**8'150**

Далее Мак-Кей принимается оценивать максимальное производство энергии из возобновляемых источников на территории Соединённого Королевства. Сначала вообразим, что в нашем распоряжении неограниченное количество стали, редких элементов для солнечных батарей и других ресурсов. Сколько можно произвести энергии на одного британца? Вычисление получилось такое:

Вид энергии	**Мощность, Вт**
Солнечные батареи в сельской местности (5% территории островов)	2'080
Продовольствие и биотопливо	1'625
Ветряные электрогенераторы на шельфе глубже 25 м	1'330
Ветряные электрогенераторы в сельской местности	830
Ветряные электрогенераторы на шельфе мельче 25 м	670
Солнечные водонагреватели на крышах	540
Приливная энергия	460
Солнечные батареи на крышах (по 10 м² на душу)	210
Волновая энергия	170
Гидроэнергетика	60
Геотермальная энергия	40
ИТОГО:	**8'040**

Внимательные читатели наверняка заметят в таблице перекос в сторону ветровой и приливной энергетики. Ничего удивительного: речь идёт о конкретных Британских островах, с конкретной территорией и береговой линией. Ветра Бог дал вдоволь, вулканами и полноводными реками – обидел.

Автор неоднократно подчёркивает, что таблица для потребления – намеренно заниженная, а для производства – всё по максимуму. Если принять числа как есть, британцы при переходе к 100% возобновляемой энергии смогут сохранить существующий высокий уровень жизни. Скажем, летать ежегодно не на Мальдивы, а в Болгарию, сэкономив 110 ватт, вот и уложились в 8'040. Примерно так художник представляет центр Лондона, когда уложатся:



Далее Мак-Кей переходит от максимальных оценок производства к реальным. Внезапно оказывается, восемь киловатт на душу произвести из возобновляемых источников никак не получается. Спросим экспертов:

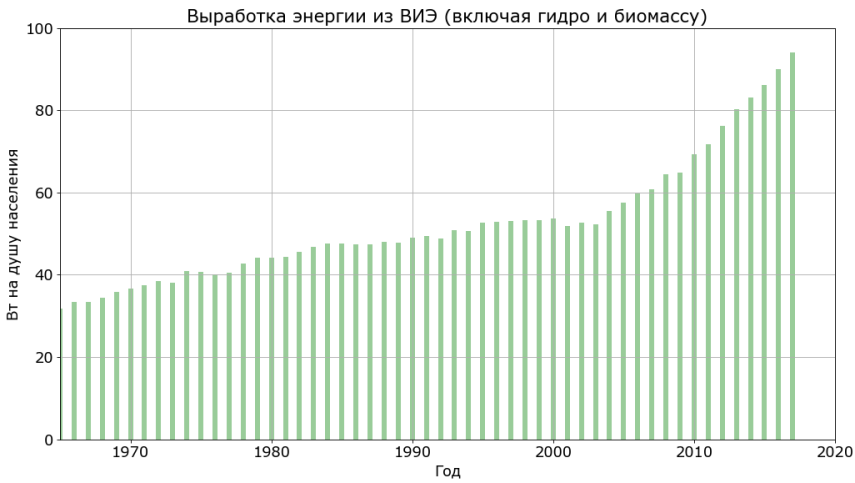
- **IEE** – «Британское Общество Инженеров – Энергетиков» в 2002 году оценило потенциал Британских островов по возобновляемым источникам в 1'130 ватт на душу населения;
- **Центр стратегических исследований Тайнделла** в 2007 – 660 ватт;
- **IAG** – межотраслевая аналитическая группа Правительства Великобритании считала только энергию по цене не более 7 пенсов за кВт·ч (в ценах 2003 года). Получилось всего 490 ватт;
- **PIU** – «Центр инновационных исследований Великобритании», в 2002 обещал 2'350 ватт на душу из возобновляемых к 2020 году;

- **CAT** – «Центр Альтернативных Технологий» в 2007 представил доклад «*Остров Британия*» под редакцией Хельвига-Ларсена и Булла: 2'000 ватт на душу.[145]

Все четыре организации не учитывали продовольствие, следовательно, для правильного сравнения, следует увеличить числа на 625 Вт. Оптимистическая оценка PIU, таким образом, 2'975 Вт, то есть на 60% ниже оценки Мак-Кея.

Центр Тайнделла отмечал, что даже для выработки 660 ватт на душу придётся напрягаться. Производство из возобновляемых источников (включая биомассу) в Великобритании 2006 года – 34 Вт на нос. От ядерных станций получали 142 Вт, остальное, в порядке возрастания: уголь, нефть, природный газ.

Большая работа и времени требует немало. В 2002 «Общество Инженеров-Ядерщиков» доклад PIU раскритиковало в пух и прах – не за абсолютные значения, а за сроки: 2020 год – совершенно нереалистичен. И как в воду глядели: с момента доклада прошло 15 лет, в 2017 Великобритания произвела из возобновляемых… 170 ватт на душу. В отместку, зеленоватые лирики перекричали ядрёных физиков: субсидии срезали, и производство электроэнергии на атомных станциях сократилось до 120 ватт на британца. Впрочем, в среднем по планете ситуация ещё хуже.



Самые оптимистичные прогнозы едва дотягивают до ⅓ требуемой мощности и меньше чем текущее среднедушевое потребление на планете. Отчего такая разница с максимальной оценкой? Рассмотрим только первые три строчки

145 Для полноты картины сравним оценку Мак-Кея и оценки экспертов с максимальной теоретической и технически-осуществимой выработкой из возобновляемых источников, посчитанных нами в главе 2. Если на каждого из 7.4 млрд жителей Земли вырабатывать 8 кВт, общая мощность 59 ТВт. Если вырабатывать 2.0 кВт, как в оценке CAT, – получается 14.8 ТВт. Наши оценки, включая продовольствие: 56±5 и 13±1 соответственно.

таблицы производства. Закатать 5% территории Британии в солнечные панели при использовании современных технологий нереально. Во всех месторождениях Земли просто нет такого количества редких элементов[146], например, галлия для этих батарей.

Кое-где ведутся исследования по замене редкоземельных на дешёвую серу, а перцы уже вопят, что редкоземельные «скоро» станут не нужны. Ну, «скоро» у перцев – это лет пятьдесят минимум. А скорее – никогда. Бесплатный сыр бывает только в мышеловках: солнечные панели с серой имеют КПД в десятые доли процента, и над ними учёные бьются с начала прошлого века. Между делом, в 2011 году, единственный на планете серьёзный производитель галлия (имеется в виду добыча, а не переработка старой электроники) – КНР – вдруг заявила: «Конец экспорта, самим мало».

Более того, Солнце, конечно, светит миллиарды лет, а вот солнечная панель работает 20-30. Каждые 25 лет каждый британец должен будет оплатить установку новых панелей. Ну, или более реально: покупать по 10 м² новых солнечных панелей ежегодно. Трата, сравнимая с покупкой микролитражки.

Установка ветряных турбин на шельфе Северного моря потребует не менее 60 миллионов тонн стали. Для сравнения, все нефтегазовые платформы Северного моря, со всеми трубопроводами и прочей инфраструктурой – всего 8 миллионов тонн. За пять лет Второй Мировой, американские судостроительные компании спустили на воду 2'751 сухогруз класса «Либерти» – строили быстрее, чем немецкие подводные лодки успевали топить. Общая масса стали в пароходах – 19 миллионов тонн.

Однако и ветряная турбина в море работает вечно лишь во влажных мечтах перцев. Реальный срок службы – те же 30 лет или меньше. Уже сейчас по всей Европе часть ветряков простаивает – нет запчастей. Значит, после постройки турбин Британии потребуется ежегодно скармливать на нужды ветроэнергетики не менее 2 миллионов тонн новой стали.

Ну и биотопливо. В США, Аргентине, Австралии – процесс уже идёт. Сахарный тростник и кукурузу перерабатывают в этанол, рапс – в биодизель. Площадь Великобритании невелика – всего 44 сотки на душу населения, включая и сельхозугодья, и городскую застройку, и бесплодные скалы. Лишней земли просто нет, да никто и не отдаст.

Какой уровень жизни получится, если ограничиться 2'650 ваттами на человека в день? «Сходите поглядеть в Бразилии» – не предлагать. Климат не тот. Напомню, всё исследование ведётся для конкретной страны в конкретных географических условиях.

146 «Кларки», то есть концентрация элементов в земной коре – достаточно велики. К сожалению, «редкие земли» с большой неохотой собираются в коммерческие месторождения, из которых их можно было бы добыть без огромных энергетических затрат. Писатели-фантасты много писали про добычу редкоземельных (ну и золота заодно) – прямиком из морской воды. Технически это реализуемо, нужна лишь «мелочь»: бесконечный источник дешёвой энергии, вроде управляемого термоядерного синтеза.

Вид расходов энергии	Потребление в 2010 году	Сокращение, %	Мощность, Вт
В виде предметов потребления	2'000	80	400
Только вело- и общественный транспорт	1'670	85	250
Обогрев воздуха в помещениях; приготовление пищи, подогрев воды	1'540	20	1'230
Туризм	1'250	100	0
Продовольствие и затраты на сельское хозяйство, в т.ч. удобрения	625	20	500
Грузовые перевозки всеми видами транспорта	500	90	50
Электроника, средства связи, Интернет	210	90	20
Освещение улиц и помещений	170	91	15
Оборона, полиция, гражданские службы	170	0	170
Образование	15	0	15
ИТОГО:	**8'150**	**67%**	**2'650**

Туризм убираем начисто: фиг с ней, с Болгарией, дома позагораем. Про личные автомобили придётся забыть и пересесть на велосипеды, автобусы, электрички, сократив расходы энергии на 85%. Аналогично поступаем с грузовыми перевозками, средствами связи, освещением, сокращая на 90%. На улицах будет темно, как в 1940. Категорически не сокращаем образование, а то население примется расти, и 2'650 Вт на душу никак не удержать. Чем нельзя поступиться? Примерно ⅕ предметов потребления, обогревом, продовольствием. Британия – не Бразилия, зимой бывает прохладно. Сколько отнимать у военных и полиции – решайте в меру вашей веры в добропорядочность среднего британца и соседей за Каналом. Много там сэкономить не удастся.



Уровень мирной жизни исключительно на возобновляемых источниках энергии соответствует скудной, пайково-голодной, воюющей Британии образца 1916 или 1941 годов.[147]

Мак-Кей предложил 5 вариантов развития британской энергетики с целью вывести производство электроэнергии на уровень не ниже 2'100 Вт на душу населения. Если ниже,

147 На врезке инструкция зажиточным британцам: (1) Не используй автомобиль или мотоцикл для развлечений. (2) Не покупай новой одежды без особой необходимости. Не стесняйся носить старую одежду во время войны. (3) Не нанимай лишней прислуги. Подавай пример. Ты экономишь деньги и рабочую силу на нужды обороны. СТРАНА БУДЕТ ТЕБЕ БЛАГОДАРНА.

просто загнутся остатки промышленности, а вслед за ней – и любые перспективы. Как у хорошего оператора мобильной связи, планы не по номерам, а по названиям.

План «**Домашний**». Ветровые генераторы с установленной мощностью до 100 ГВт и средней выработкой 330 Вт на душу потребуют 10 лет и 50 морских подъёмных кранов для установки платформ, аналогичных добычным в Северном море (в наличии сейчас полтора крана, правда). Кроме ветряков, потребуются нагнетательные станции на 400 ГВт·ч (сейчас в наличии 30). Солнечные панели из расчёта 20-30 м² на каждое домовладение (все южные скаты крыш под солнечными батареями) дадут в среднем 125 Вт на душу. Сжигание твёрдых бытовых отходов: 3.25 ГВт установленной мощности дадут 55 Вт. Волновые станции вдоль атлантического побережья: 5 ГВт установленной, 85 Вт на душу. Достроить, наконец, приливную станцию в заливе Сванси Бэй[148], да к ней ещё две-три такие же: 154 Вт. Гидроэнергетика уже есть: 8 Вт. Итого из возобновляемых 760 Вт. Внимание: нужны «чистые» угольные станции (на импортном угле) и ядерные станции: по 40 ГВт установленной мощности, с выработкой по 670 Вт на душу.

План «**Для путешествий**». Ветряков в Северном море построить «всего» 25 ГВт, с выработкой 80 Вт на нос. В Ливии(!) арендовать пять площадок размером с Лондон (45 км в диаметре) создав на каждой огромную солнечную электростанцию. Через Средиземное море и далее через Францию проложить высоковольтные ЛЭП общей мощностью (в пике) до 50 ГВт. (На сегодняшний день все кабели между Великобританией и Францией – 2 ГВт). Фермы обеспечат в среднем 830 Вт на душу. Ну и далее по списку, кроме волновых – не будем портить пляжи! Сжигание твёрдых бытовых отходов: 2.75 ГВт установленной мощности дадут 45 Вт. Приливная в Сванси Бэй: 45 Вт. Гидроэнергетика уже есть: 8 Вт. Итого из возобновляемых 1'000 Вт. Внимание: опять-таки «чистые» угольные станции на 40 ГВт установленной и ядерные на 25, с выработкой по 670 и 430 Вт на душу, соответственно. Преимущества плана: для тех, кто не хочет портить британскую природу. Недостатки: повторяем, солнечные батареи – в Ливии.

План «**Безъядерный**». Точно как «Домашний», только вместо ядерных станций – солнечные батареи в Ливии, как в плане «Для путешествий». Недостатки обоих планов в наличии, преимуществ вроде нет.

План «**Зелёный**». Опять-таки берём «Домашний» за основу, сносим и уголь, и ядерные станции. В Ливии разворачиваем всего две площадки вместо пяти, увеличиваем на 50% волновую энергетику… Остальное должно прийти в виде ветра! Придётся построить вокруг Великобритании 400 ГВт установленной мощности ветряков. Это примерно сколько всём мире есть в 2015 году. Кроме ветряков, понадобятся резервуары на 1'500 ГВт·ч, то есть каждое озеро и вообще чуть ни каждую лужу Британии придётся перегородить плотинами с нагнетательными станциями.

148 О ней речь была в главе 2.

Наконец, план «**Экономический**». Если поставить себе целью обеспечить 2'100 Вт на душу наиболее экономичным способом, выиграют, как ни странно, ядерщики! 110 ГВт установленных реакторов обеспечат 1'830 Вт на душу населения. Из возобновляемых нужно всего 270 Вт, из которых к 2015 году 150 уже в кармане. Осталось достроить чуть-чуть ветровых, ту же приливную станцию в Сванси Бэй, да мусоросжигатели.

Заметим, все пять планов, как бы фантастически они ни звучали, с точки зрения инженера – профессор Мак-Кей преподавал инжиниринг и физику в Кембриджском университете – вполне реализуемы. Вопрос лишь в масштабах строительства и неимоверном ценнике. В Британии, как в России, много любителей потолковать о «переходе к солнечной энергетике», но отчего-то когда доходит до чисел – политики теряются. Процитируем Д.Мак-Кея:

Не удивлюсь, если вам не нравятся мои планы. В каждом из них есть что-то отвратительное. Сделайте собственный план, который вам по вкусу. Но сделайте свой план так, чтобы ваши числа были (а) достаточны и (б) физически реализуемы.

Все пять планов предполагают, что средний британец перестанет летать в отпуск на Багамы (и даже в Болгарию), перейдёт на вегетарианское питание три дня в неделю (один день рыбный), станет ездить на работу исключительно общественным транспортом (или на велосипеде) и вообще перестанет покупать дешёвое, но бесполезное барахло.

Мак-Кей предлагает ряд мер, как смягчить переход на низкий уровень потребления.

1. **Пассажироперевозки наземным транспортом**. Следует учитывать не только расход топлива на единицу пробега, но и затраты энергии на создание, ремонт, утилизацию транспортных средств, а также на поддержание инфраструктуры. Даже велосипед не перевозит седока бесплатно – истираются шины, изнашивается механизм, да и вращающему педали седоку требуется больше калорий. Общие расходы педального транспорта составляют 1-2 кВт·ч на 100 пассажиро-километров.

Магической серебряной пули под названием «сверхэкономичный автомобиль» в природе не существует. Иногда для студентов устраивают соревнования типа «максимальный пробег на 1 литре топлива» или «на солнечной энергии через Австралию». В рамках «*Экологического марафона Шелл*» в 2005 году творение студентов из Цюриха «*PAC Car II*» накрутила на 1 грамме водорода по идеально горизонтальному автодрому 20.6 км (дистанция совсем не автомобильная и даже не марафонская) со средней скоростью 30 км/ч. Автомобиль на велосипедных колёсах вёз одного пилота: студентку с массой тела около 45 кг. Для обучения будущих инженеров понятию «инженерный компромисс», а также мастерить руками – сгодится. Практический транспорт? Ну что вы! Из-за умопомрачительного «пробега между техобслуживаниями» 80 км, стоимость 100 пассажиро-километров на этой штуке оценивается в 2'000-3'000 кВт·ч – не хуже, чем у гоночных болидов «*Формула-I*».



«Омагничивание бензина» и прочие торсионные поля оставим лохам.

Перспективными с точки зрения экономии энергии являются, в порядке приоритетов: (а) уменьшение веса транспортных средств по отношению к весу пассажиров, (б) снижение потерь за счёт более ровного пути и оптимизации перекрёстков, (в) рекуперация энергии при торможении, (г) оптимизация заполненности транспорта, (д) оптимизация скорости транспортного потока.

Электрические автомобили, например, более эффективны, чем бензиновые, если считать по текущей стоимости киловатт-часов, полученных из сети против стоимости бензина на заправке. Однако если учесть эффективность сжигания угля на тепловых станциях, потери при передаче энергии, потери при зарядке батарей, расходы на добычу лития, более короткий срок жизни электрического авто в целом, и прочие факторы – получаются сравнимые показатели: от 40 до 200 кВт·ч на 100 км пробега в зависимости от класса автомобиля и состояния проезжей части.

Какое-то время в Великобритании был популярен электромобиль индийского производства «REVAi», он же «G-Wiz». Британцы описывали его как «тележку для гольфа, которой разрешили ездить по дорогам». В России тележки для гольфа не особо известны, поэтому лучше описать машинку как «электрическую инвалидку». Для сравнения возьмём увековеченную Моргуновым «С3А», так как идеально соответствует «G-Wiz» по габаритам; более современные «С3Д» и «Ока» – несколько длиннее и шире.

		
СМЗ-СЗА (1958-1970)	***REVAi/G-Wiz (2001-2012)***	***Mahindra e20 (2013-ещё да)***
Длина: 2625 мм	*Длина: 2600 мм*	*Длина: 3280 мм*
Ширина: 1316 мм	*Ширина: 1300 мм*	*Ширина: 1514 мм*
Масса пустой с горючим: 430 кг	*Масса пустой с батареями: 640 кг*	*Масса пустой с батареями: 830 кг*
Максимальная перевозимая масса: 200 кг (2 взрослых)	*Максимальная перевозимая масса: 270 кг (2+2)*	*Максимальная перевозимая масса: 360 кг (4 взрослых)*
Замеренный расход энергии (бензин) по городу: 40 кВт·ч / 100 км	*Расход энергии (электрич.) по городу: 20 кВт·ч / 100 км*	*Расход энергии (электрич.) по городу: 22 кВт·ч / 100 км*
Срок службы номинальный: 5 лет	*Срок службы номинальный: 8 лет*	*Срок службы номинальный: 8 лет*
Расход энергии полный (оценка):	*Расход энергии полный (оценка):*	*Расход энергии полный (оценка):*
45 кВт·ч / 100 км	*45 кВт·ч / 100 км*	*50 кВт·ч / 100 км*

Как видим, инвалидка 1958 года с прожорливым двухтактным мотоциклетным мотором вполне сравнима со «сверхэкономичной» индийской машинкой. О комфорте и безопасности обоих говорить не приходится. В 2010 году «G-Wiz» погубила видного британского специалиста в области строения белков доктора Джудит Надал[149]. Сейчас G-Wiz уже сняли с производства, заменив на «e20». Последняя находится в той же лиге, что и остальные электромобили своего класса: более 3 метров в длину, 50 кВт·ч на 100 км пробега. Британские учёные покупать новинку не спешат: к 2015 году продано не более 1500 единиц.

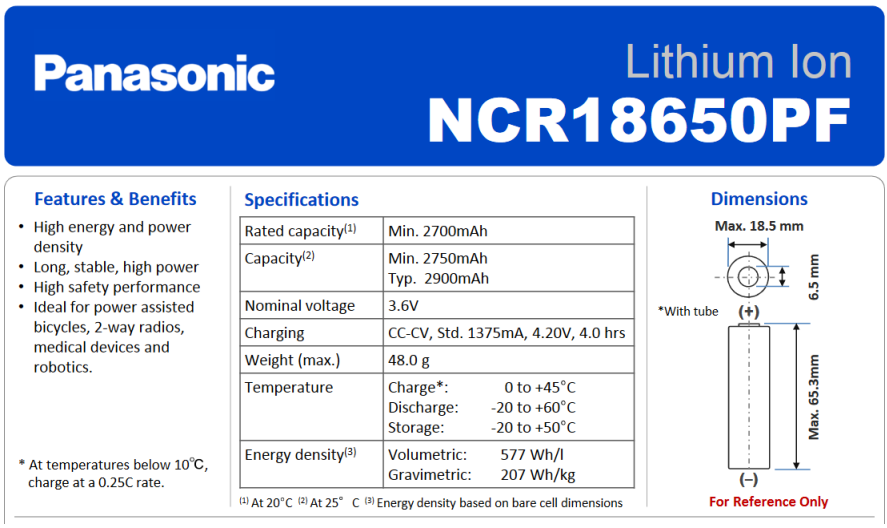
Для сравнения, сильно распиаренный «Тесла» потребляет (по городу) 25-30 кВт·ч на 100 км, если считать «из розетки». С учётом стоимости производства автомобиля с цельно-алюминиевой рамой, технического обслуживания электродвигателей и, особенно, стоимости замены 7104 (sic!) литий-ионных батареек Panasonic 18650, энергетическая эффективность «Теслы» сопоставима с бензиновыми аналогами: около 65 кВт·ч на 100 км. Кстати, по данным самой «*Панасоник*»[150] номинальная ёмкость батарейки 2.7 А·ч при напряжении 3.6 В, то есть номинальный запас энергии в «Tesla-85 кВт·ч» 2.7*3.6/1'000*7'104 = 69 кВт·ч. Откуда взялись «85 кВт·ч»? По паспорту, батарея требует примерно столько или чуть больше для зарядки: 2.9*4.2/1'000*7'104 = 86 кВт·ч[151]. Представьте, что каждый раз покупая 50

149 http://www.standard.co.uk/news/i-think-ive-made-a-mistake-last-words-of-scientist-on-phone-before-g-wiz-crash-6438558.html Надо сказать, Надал была сама виновата в происшествии – разговаривала по мобильнику за рулём и въехала на перекрёсток под красный сигнал. Машинку G-Wiz буквально «размазало по асфальту». Водитель ударившей «Шкода-Октавия» Марсель Жоржá – отделался синяками.

150 https://industrial.panasonic.com/cdbs/www-data/pdf2/ACI4000/ACI4000C12.pdf

151 Речь идёт о затраченной энергии на клеммах батареи. Если заряжаете от сети, надо поделить на эффективность зарядного устройства. Если заряжать «Тесла 85 кВт·ч» от домашней сети 110 В (как в

литров бензина, вы заливаете 41 литр в бак, а оставшиеся 9 – поджигаете на газоне перед заправкой! Уважаемый Маск запросто поимел мозг тесловодов на 16 кВт·ч.



Panasonic

Lithium Ion

NCR18650PF

Features & Benefits

- High energy and power density
- Long, stable, high power
- High safety performance
- Ideal for power assisted bicycles, 2-way radios, medical devices and robotics.

* At temperatures below 10°C, charge at a 0.25C rate.

Specifications

Rated capacity(1)	Min. 2700mAh
Capacity(2)	Min. 2750mAh Typ. 2900mAh
Nominal voltage	3.6V
Charging	CC-CV, Std. 1375mA, 4.20V, 4.0 hrs
Weight (max.)	48.0 g
Temperature	Charge*: 0 to +45°C Discharge: -20 to +60°C Storage: -20 to +50°C
Energy density(3)	Volumetric: 577 Wh/l Gravimetric: 207 Wh/kg

(1) At 20°C (2) At 25° C (3) Energy density based on bare cell dimensions

Dimensions

For Reference Only

Далее по тому же паспорту «*Панасоник*», элемент 18650 номинально рассчитан на 500 циклов зарядка-разрядка (при оптимальном времени зарядки 4 часа). Маск утверждает, что на одной зарядке «Тесла» с батареей «85 кВт·ч» проезжает по шоссе 425 км (в зависимости от вашего «стиля вождения» и качества дороги может быть вдвое меньше, но оставим официальные данные). Тогда, 500 циклов – это всего 210'000 км шоссейного пробега. Опытные любители «секонд-хэндов» скажут вам, что при правильно растущих руках на таком пробеге у бензинового «японца» едва-едва открывается второе дыхание молодости.

Ещё огорчение российским тесловодам. Обратите внимание на номинальные температуры зарядки и разрядки батарей! Даже на широте Сочи и Краснодара, гарантий нет. А на широте Москвы – потребуется тёплый бокс на зиму. Когда машинка стоит на улице, часть энергии используется для прогрева самой батареи. При свежем морозце 25 градусов, за сутки-двое вынужденной стоянки машинка батарею скушает. Простояв разряженной на морозе неделю, батарея сдохнет в ноль. Заплатите кровные за новую батарею с установкой, и даже гарантия вам не светит, ибо «эксплуатировать надо по инструкции».

Ну и в других странах с «зелёным» тесловодством не всё в ажуре. Допустим, живёте вы в бесснежной солнечной Австралии, а на крыше 20 м² коммерческих солнечных панелей. Тогда в день можно выработать в среднем (лето-зима, солнечно-пасмурно) около 30 кВт·ч электроэнергии, значит в день

Америке), счётчик накрутит 108 кВт·ч. Если использовать трёхфазный зарядник на 440 В – 96 кВт·ч. Для сетей 220 и 360 В, как в России, официальных замеров вроде нет, но по идее должно быть где-то между 96 и 108 кВт·ч.

можно проезжать 60 км. Вполне достаточно, чтобы ездить на работу и за покупками, а если не шиковать, останется на кондиционеры, холодильники и прочую домашнюю «роскошь». На широте почти бесснежного, но пасмурного Лондона, имея реалистические по мнению автора 10 м² солнечных панелей и учитывая погодные условия, дневная выработка около 5 кВт·ч, а на нужды личного транспорта с учётом ветровой энергетики можно выделить 0.25·24 = 6 кВт·ч (смотрим таблицу выше). Тогда средний дневной пробег автомобиля класса «инвалидка» 13 км, класса «Тесла» – 9 км. Электромобиль превращается из средства передвижения в игрушку: поездка раз в неделю летом на дачу или типа того. На широте Москвы и выше никто от солнечных панелей и ветряков заряжать машинку и не станет: придётся использовать энергию мирного атома, а за её недостатком – газ и уголь. О «возобновляемой энергетике» речь уже не идёт.

На волне глобального ~~отупения~~ позеленения на рынке появились «гибридные» бензин-электрические авто и даже работающий на водороде «Хаммер-H2H». Стоит ли объяснять, что при самых благоприятных условиях подобные монстры спасают не более 20% энергии? Иногда и наоборот бывает. «*Лексус*» выпустил в 2008 году гибридный «RX 400h», «официально по техпаспорту» потреблявший на 10% больше бензина, чем базовая модель. Творение «*BMW*» «Hydrogen-7» требует 254 кВт·ч на 100 км – почти вчетверо больше, чем средний британский автомобиль образца 2015 года. Бывший ведущий ТВ-шоу «*Прямая передача*» Джереми Кларксон про гибридное творение «*Тойоты*» «Приус» высказался так:

Автомобиль дорогой, очень сложный в обслуживании, не особенно «зелёный», медленный, сделанный кое-как и бесполезный в качестве средства передвижения.

Мак-Кей заключает, что совершенствование автопарка Британии с включением электромобилей (но не «водородных» и прочих чудовищ) вполне возможно, но в долгосрочной перспективе основным методом пассажироперевозок в «Великобритании на возобновляемой энергии» будет общественный транспорт: автобусы (общий расход порядка 10-30 кВт·ч на 100 пассажиро-километров) и железная дорога (порядка 2-15 кВт·ч на 100 пассажиро-километров). Предлагаются новации, вроде автоматических пунктов проката велосипедов. Ну и, натурально, британцам придётся, как 150 лет назад, инвестировать в пару крепких ботинок и трость – или длинный зонтик. И обходиться вообще без транспорта.

2. **Грузоперевозки наземным/морским транспортом**. Мак-Кей отмечает, что современный железнодорожный, речной и морской транспорт уже достигли максимальной эффективности 0.1-0.2 кВт·ч на 1 тонну груза на 100 км. Морской транспорт, предположительно, может ещё уменьшить это значение за счёт прямого использования энергии ветра (если паруса будут ставить не матросы, а механизмы). Однако основными методами сокращения энергозатрат станет сокращение грузоперевозок. Порт, принимавший 10 контейнеровозов в неделю в 2008, будет в 2050 году принимать одно судно. Во

вам и сокращение на 90%.

Сейчас в Великобритании для перевозок внутри страны предпочтение отдают прямой доставке автомобильным транспортом: страна не особенно большая, не требуется погрузка-выгрузка барж и поездов. В будущем вновь востребованной станет профессия «грузчик», а студентам – найдётся ударный приработок.



3. **Воздушный транспорт, морские лайнеры**. Самолёты летать не перестанут, но летать будут куда реже. Практическим пользователем авиации станут военные. Иногда они же могут возить тушку очередного премьер-министра. Ну и у мультимиллиардеров и их обслуги авиация останется, – кто же им-то запретит? Средний британец будет рассказывать об единственном в жизни воздушном путешествии, как бабушки в СССР образца 1960 года: «а вот я на самолёте летала…»

Что до морских лайнеров, вроде упоминавшегося в первой главе «*Титаника*», – вопреки расхожему убеждению, перевозка пассажиров морем далеко не так экономична, как воздухом. Наилучшие результаты были достигнуты в пятидесятые-шестидесятые годы прошлого века, когда через Атлантику в США ходили «экономические сестрички» «*Маасдам*» и «*Рийнсдам*». Первого класса с отдельными каютами у них не было вовсе, скорость хода 16.5 узлов, переход от Глазго до Нью-Йорка – 8 суток с небольшим. Энергии на 100 пассажиро-километров уходило 103-121 кВт·ч. Сравните с круизным лайнером «*Куин Мэри – II*», который в сутки сжигает 3'000 кВт·ч на каждого резвящегося туриста и 8-часовой перелёт от Хитроу до Нью-Йорка на аэробусе «A380» – 60-68 кВт·ч на 100 пассажиро-километров.

Конечно, для нищебродов могут воссоздать (на современном технологическом уровне) и парусные пассажирские суда – со средней скоростью 6 узлов и временем перехода через Атлантику до месяца. Если кто из простых британцев и соберётся «на пароходе в Америку», билет, скорее всего, будет в один конец. Смотрите последнюю версию «*Титаник*»: куда и зачем герой Леонардо Ди Каприо плыл?

4. **Обогрев помещений**. К счастью, кондиционирование (охлаждение) воздуха в умеренной Великобритании не является жизненной необходимостью. Экономить энергию на обогрев можно, с точки зрения физики, пятью путями, в порядке удобства: (а) теплоизоляцией помещений, (б) увеличением эффективности обогревателей, (в) климатической оптимизацией новых зданий – глухая стена на север, окна на юг, (г) уменьшением разницы между температурой внутри и снаружи жилища, (д) оптимизацией использования обогреваемых помещений.

К несчастью, большинство домов в Великобритании было построено или перестроено в 1950-70 годы, когда энергия была дешева, а про теплоизоляцию не задумывались. По подсчётам Мак-Кея, можно сохранить до 25% энергии, если просто вложить теплоизоляцию между кирпичными стенами и заменить типичное для Британии одинарное остекление на стеклопакеты.



Пункт (г) в Великобритании почти исчерпан: большинство британцев традиционно поддерживают температуру в помещениях вблизи забортной. «Нормальной комнатной температурой» считается зимой +15°Ц, летом +30°Ц. Впрочем, та же практика существует и в Китае: типичная домашняя одежда

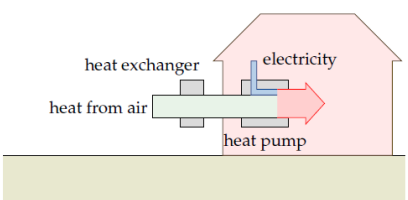
зимой состоит из трёх-четырёх слоёв, включая подбитый ватой халат. Ну и жители северных штатов Индии не греют жилища, а надевают весь гардероб.

Эффективность обогревателей (б) – поле пока нехоженое. По мнению Мак-Кея, в условиях Британии генерация электроэнергии на ТЭЦ менее эффективна, чем использование «тепловых насосов».

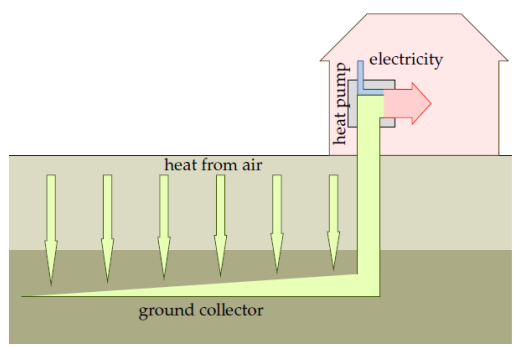
Сейчас в Европе (и в России) большая часть электроэнергии вырабатывается на Тепло-Электро-Централях. Как любая тепловая машина, ТЭЦ получает энергию от «нагревателя» и отдаёт «холодильнику». Источником тепла является сгорающее в топке или турбине станции топливо, а в качестве холодильника выступают в летнее время – градирни-испарители, а в «отопительный период» – радиаторы водяного отопления в квартирах граждан. Летом «лишнее» тепло просто улетает в атмосферу, зимой – используется на обогрев помещений. В Сибири (или той же Финляндии), где отопительный сезон длится более полугода, – ТЭЦ вполне энергетически оправданы. Другое дело на юге Великобритании. В году не так уж много дней, когда жилой фонд может выступать эффективным «холодильником», оттого почти вся энергия сбрасывается в градирни.

«Тепловые насосы» (думайте как о холодильнике, где конденсатор выведен в дом, а морозилка на улице) могут быть сконфигурированы по-разному. Некоторые выкачивают теплоту из окружающего воздуха. Есть системы, где вместо воздуха – закопанная по периметру садового участка витая медная труба или колодец с водой[152].

В качестве бонуса, «тепловые насосы» могут утилизировать, помимо тепла от ископаемого топлива, электроэнергию солнечных батарей или ветряков.



air-source heat pump



ground-source heat pump

Пущенный в обычный электрообогреватель, киловатт-час электроэнергии выделит в вашей комнате ровно один киловатт-час тепла. С тепловым насосом, тот же киловатт-час доставит в комнату больше 1 киловатт-часа; насколько больше, зависит от конфигурации уличной «морозилки» и перепада

152 Такие насосы неправильно именуют «геотермальными». К геотермальной энергии, обсуждавшейся в главе 2, они отношения не имеют, а теплота – от нагревающего землю Солнца.

температур. По той же причине, отчего домашний холодильник (при прочих равных условиях) потребляет тем больше электроэнергии, чем холоднее вам хочется пиво, чем холоднее на улице, тем интенсивнее должен работать тепловой насос, тем меньше «перекачка» на единицу электроэнергии. Температура уличной «морозилки» должна оставаться ниже забортной, а то тепло от земли в «морозилку» не потечёт!

В условиях мягкого климата Великобритании: среднегодовая температура почвы +11°Ц, минимальная комнатная +15°Ц — тепловые насосы могут перекачивать до 4 кВт тепла на каждый киловатт электрической мощности. Если принять электрический КПД современной газотурбинной станции (с потерями на передачу энергии) в 50%, каждый кВт·ч газа, сгоревший на электростанции, нагреет ваш дом, грубо, на 2 кВт·ч[153]. В Сибири, если на улице минус тридцать, а в доме всё одно хочется +25°Ц, выгоднее нагревать воздух горячими батареям от ТЭЦ и держать про запас электрокамин.

Ну и оптимизация использования помещений, то есть «уплотнение» в терминах булгаковского Швондера, (д). Истина, известная каждому туристу. Если хорошо законопатить стены-окна-двери, да набить в помещение побольше народа, обогрев вообще не нужен! Вспомним, что человек в покое выделяет тепла как 130-ваттная лампочка. В Викторианские времена типичное жилище зимой в Лондоне вмещало 20-25 человек на 10 квадратных метрах. В складчину покупали несколько фунтов угля — и хватало на ночь.

5. **Горячая вода и приготовление пищи**. Мак-Кей замечает, что использовать для нагрева воды электричество – бесполезно греть атмосферу. В странах с холодным климатом за нагрев воды могут отвечать те же ТЭЦ. Где климат мягкий, солнечные водонагреватели на крышах могут сократить затраты потребного топлива примерно вдвое-втрое. В странах жарких используются и системы прямого воздушного нагрева воды. Например, на жарком севере Австралии (он к экватору ближе) холодную водопроводную воду пропускают под домом в десятиметровый медный теплообменник. В качестве бонуса, пол в доме прохладный, экономится кондиционер. На выходе получается вода с температурой окружающего воздуха, – то есть 35-45°Ц. Воду накапливают в дневное время в термостатированной ёмкости. Расход электроэнергии или газа – исключительно на подогрев воды в «холодные» (+23°) дни, такой ужас в городе Дарвине бывает раз в три года.

Если использовать для приготовления пищи природный газ, лучший способ, как ни странно – современная газовая плита, а не электрическая, энергию для которой вырабатывает далёкая ТЭЦ. Однако помимо плит у населения есть микроволновки и электрочайники. Что делать с ними – непонятно.

153 В комментариях к блогу написали, что массовое использование тепловых насосов может в условиях высокой плотности застройки приводить к переохлаждению почвы. У Д.Мак-Кея в книге есть подсчёт: да, в условиях Британии так и произойдёт в крупных населённых пунктах. Выход – летом греть воду на крышах и прокачивать через теплообменники. Конечно, в результате будет снижение общей эффективности системы.

6. **Бытовая электроника, связь, Интернет**. Как ни странно, большинство устройств проводной и беспроводной связи достаточно эффективны с точки зрения энергии. Исключение составляют, в порядке убывания: (а) принтеры и копировальные машины всех мастей, потребляющие не только электричество, но и бумагу – очень энергоёмкий ресурс, (б) сверхбольшие мониторы, особенно вошедшие в моду двухметровые телевизоры, (в) устаревшие (или плохо изготовленные) электроприборы, бесполезно потребляющие ток в режиме ожидания. В качестве примера последних: настольная светодиодная лампа «*IKEA*» (вроде бы уже снятая с производства), потреблявшая из розетки 10 Вт вне зависимости от положения выключателя(!) и производимого света. По мнению Мак-Кея, если систематически сдать в утиль «энергетических вампиров», в городах можно сохранить приемлемый уровень связи и не ликвидировать «ноосферу». Беспокоиться, что после «Пика Нефти» одновременно[154] у всех откажет связь, может лишь тот, кто ни разу не бывал в беднейших странах Азии. И в Индии, и на Филиппинах, и в Бангладеш мобильный телефон не является заоблачной роскошью, а G4 работает иногда лучше, чем в том же Лондоне. На картинке – филиппинский уличный нищий пишет в Twitter. Синяя пластиковая кружка – для подаяния.



7. **Проблема предложения / спроса**. Спрос на электрическую энергию в сети крайне неравномерный: меняется в зависимости от времени суток, времени года, и погоды за окном. Ядерные и угольные станции не умеют быстро изменять производство энергии. Снижение или увеличение выработки занимает часы. С ветровыми, волновыми, солнечными ситуация ещё хуже: они изменяют выработку часто и непредсказуемо, в зависимости от скорости ветра

154 Конечно, это не значит, что связь будет доступна в сельской местности. Однако и там выключение не произойдёт одномоментно.

и облачности. Традиционно, «броски» выработки и потребления компенсировались станциями на природном газе и гидроэлектростанциями. Если выводить из оборота уголь и газ, заменяя их возобновляемыми источниками и ядерными станциями, потребуется сооружение, в порядке приоритетов: (а) резервных накопителей – например, накачивать воду в водохранилище, чтобы использовать гидроэнергию в момент пика потребления[155], (б) глобальных энергосетей – на уровне «вся Европа», (в) дополнительных (запасных) мощностей ветряков и солнечных панелей, (г) ограничение уровня потребления.

Методы (а)-(в) – весьма затратны, да и потери энергии существенные. Например, лучшие высоковольтные ЛЭП постоянного тока теряют 10-12% мощности на 1'000 км расстояния. Пока у человечества есть опыт ограничения потребления. Типичный британский или голландский хозяин ветряной мельницы вкалывал день и ночь, когда ветер дует. А когда штиль – как выражаются моряки, «сидел на попе ровно» – и курил трубку. Аналогично поступали хозяева ветряных лесопилок. На рудных шахтах иногда использовали силу ветра для откачки воды – и уходили в вынужденный простой, когда ветра не было. Кстати, первые паровые машины как раз и предназначались для откачки шахт.

В Индии, Бангладеш и других странах Азии существует практика «превентивного отключения» жилых кварталов, когда ожидается особо жаркая погода. Городским инженерам ясно, что ежели в таком-то районе города население одновременно включит вентиляторы и кондиционеры, генерирующих мощностей не хватит на столько-то процентов. Если рано утром отключить людям свет, к обеду не случится аварии от перегрузки линий. К вечеру ток можно так же плавно включить. Население привыкло и не жалуется.

Теоретически можно научить холодильники и кондиционеры реагировать на изменение частоты в сети и автоматически переходить в режим низкого энергопотребления, если частота падает. Затраты не так уж велики: маленькая коробочка с электроникой стоимостью в несколько долларов. Однако потребуется модифицировать миллионы единиц бытовой техники и как-то отучить особо одарённых пользователей эти коробочки выводить из строя. Пока мы не можем справиться с мастерами подкручивать электросчётчики! Кто-то всерьёз обсуждает планы иметь в каждом доме две отдельные линии: одну для освещения, электроники, холодильников, вторую для водонагревателей, кондиционеров и прочего.

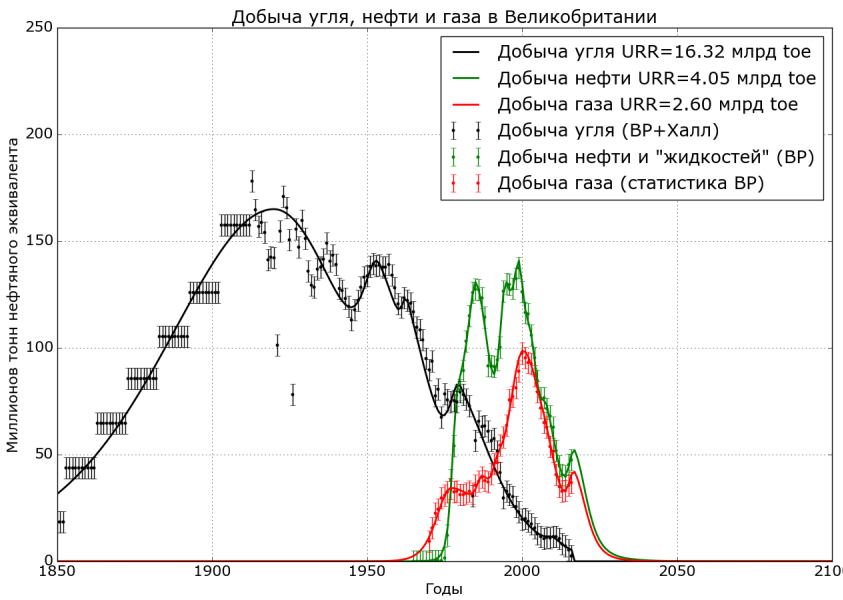
На роботизированном заводе выключение электричества – большая проблема. А если у вас электролизная ванна с расплавленным алюминием, продолжительное выключение тока – катастрофа. Такое производство воленс-

155 На 2007 в Британии было четыре нагнетательных водохранилища (ГАЭС) с общим эффективным запасом 30 ГВт·ч и эффективностью по циклу закачка-генерация около 75% (то есть потеря четверти энергии). Совместно эти водохранилища могли сгладить флюктуацию производства в 2.8 ГВт мгновенной мощности. Флюктуация британского потребления в том же 2007 – от 10 до 33 ГВт.

ноленс придётся перемещать поближе к источникам стабильной энергии.

Ну и для полноты картины добавим «виде́ние» И.Маска: если ввести в оборот электромобили с заменяемыми батареями, миллионы батарей могут сидеть на автозаправках и заряжаться в периоды низкого спроса / высокого производства энергии. Однако как мы разобрали выше в пункте 1, такого количества электромобилей в «возобновляемой Британии» просто не будет. Маск также предлагает установить в каждом доме перезаряжаемую химическую батарею. Перечитайте про элементы «*Панасоник*» выше. Ага.

Проверим вычисления Мак-Кея по независимым данным. Мак-Кей считал «снизу» – от душевого потребления. Я буду считать «сверху», воспользовавшись статистикой производства и потребления энергии: угля, нефти, природного газа, ядерной, гидро и прочих возобновляемых по данным BP и с добавлением исторических данных Эдварда Халла, обсуждавшихся в 8 главе. Программа **\Chapter 12\Test_02_UK_Energy.py**

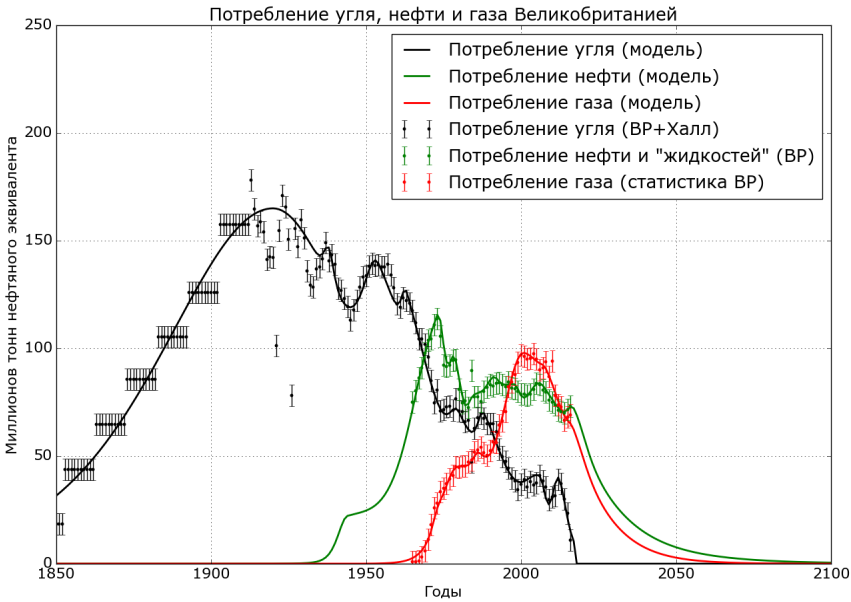


Заметим, что графики производства ископаемого топлива не являются простыми кривыми, вроде хаббертианы, функции Вейбулла или «капицианы» из восьмой главы. Однако они удовлетворяют условиям Хабберта: ограничены сверху — бесконечный дебит невозможен физически — и выходят на ноль в плюс и минус бесконечности по времени (если говорить про уголь, добыча в 2017 году по факту нулевая). Общее количество ископаемого топлива на островах Великобритании, включая шельф, – 23.0 млрд тонн нефтяного эквивалента, из которых уже добыто 22.5 млрд тонн. Геологи не сомневаются, что «острова», включая шельф, изучены вдоль и поперёк, так что крупных новых открытий не предвидится. А «новое месторождение с гигантскими запасами 480 тысяч тонн нефти», о которых примерно дважды в год объявляют

газетчики, – погоды не сделают. 480 тысяч тонн, даже если извлечь всё до капли, хватит Великобритании на… 60 часов!

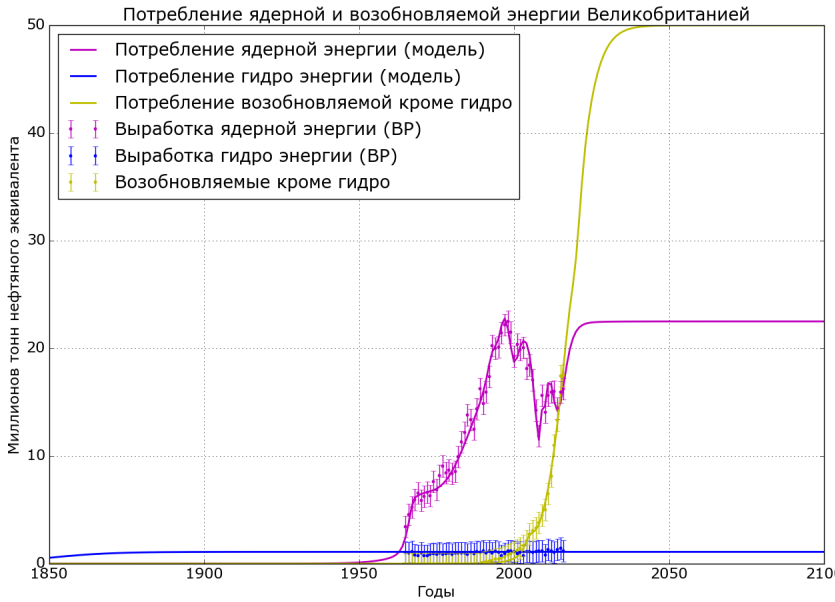
Так как площадь Великобритании составляет 243'610 км², на каждом квадратном километре до начала индустриальной революции было в среднем 95±5 тыс тонн «условной нефти». Считая по 41 ГДж на тонну, каждый квадратный километр содержал $3.9 \cdot 10^{15}$Дж ископаемой энергии. Теперь на квадратном километре в среднем осталось $0.09 \cdot 10^{15}$ Дж.

Посмотрим, как обстоит дело с расходом энергии. Программа **\Chapter 12\Test_03_UK_Energy.py**

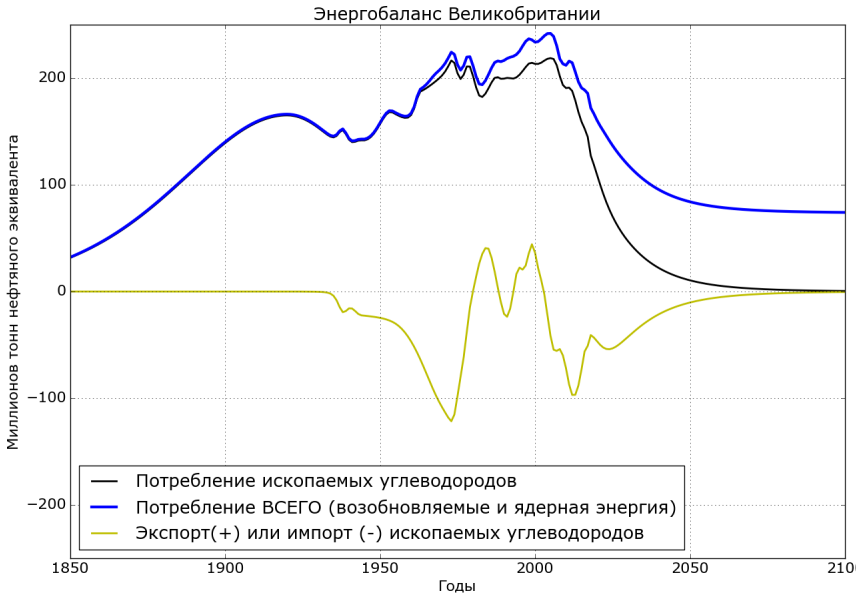


Следующий график – для ядерной и возобновляемой энергии. Вертикальный масштаб – ⅕ от графика выше. На гидроэлектростанции закладываться не стоит: в Британии потенциал выбран ещё в XIX веке. По ядерной энергии и возобновляемым кроме гидро – наши предположения оптимистичны. Пик производства ядерной энергии Британией пройден в 1999 году, однако будем надеяться, что хвалёный здравый смысл возобладает. На графике «кроме гидро» до 1980 отсутствуют биотопливо (солома и дрова) и мусоросжигание – они в статистике тогда не учитывались, данных просто нет.

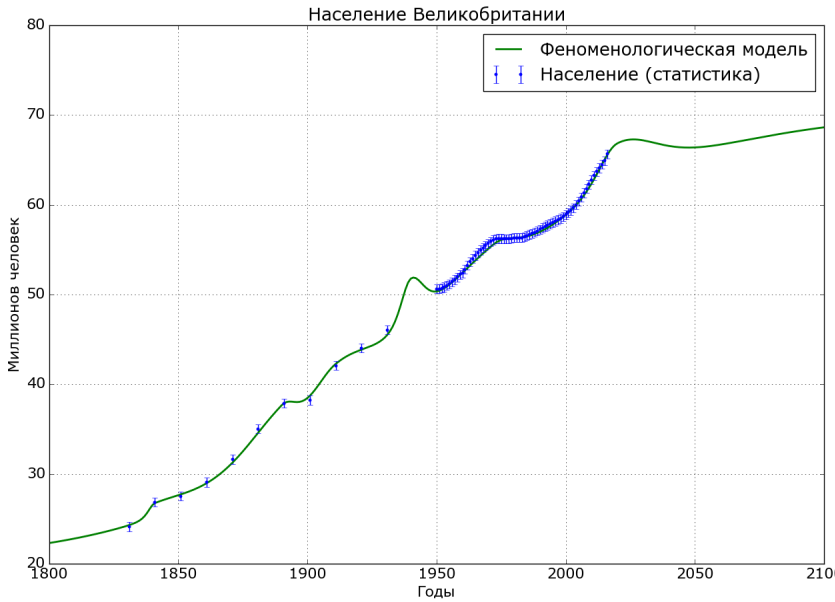
Практический предел возобновляемой энергии, рассчитанный для всей планеты во второй главе: 4.6 ТВт. За год набегает $1.45 \cdot 10^{20}$ Дж, переводя в нефть, получаем 3'540 млн тонн условного топлива. Великобритания после потери колоний имеет население 0.89% от общей популяции Земли. Если делить «справедливо и по-братски» (а как ещё можно делить наше родное Солнце?) от практического предела британцам достанется около 32 млн тонн. Мы возьмём оптимистично: 50 млн тонн, благо ветром, волнами и приливами Бог Британию не обидел. Программа **\Chapter 12\Test_04_UK_Energy.py**



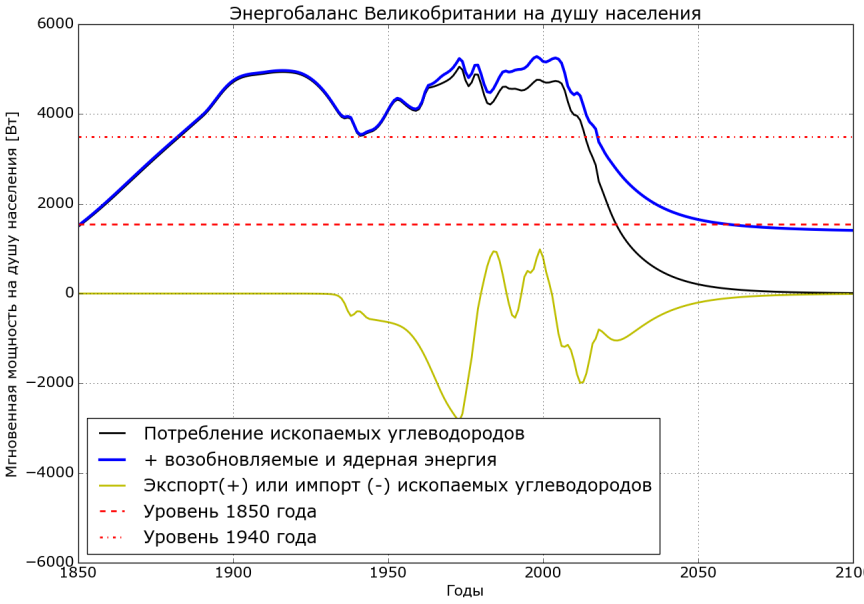
Сложим углеводороды и возобновляемые программой **\Chapter 12\Test_05_UK_Energy.py** Жёлтая кривая показывает импорт-экспорт углеводородного сырья.



Великобритания была экспортёром нефти и газа (но импортёром угля) с 1980 по 2003 годы. Точно как в книге, примерно к 2050 году Великобритания откажется от 95% ископаемого топлива. Для проверки вычислений Мак-Кея надо добавить модель населения Великобритании, рассчитанной программой **\Chapter 12\Test_01_UK_Energy.py**

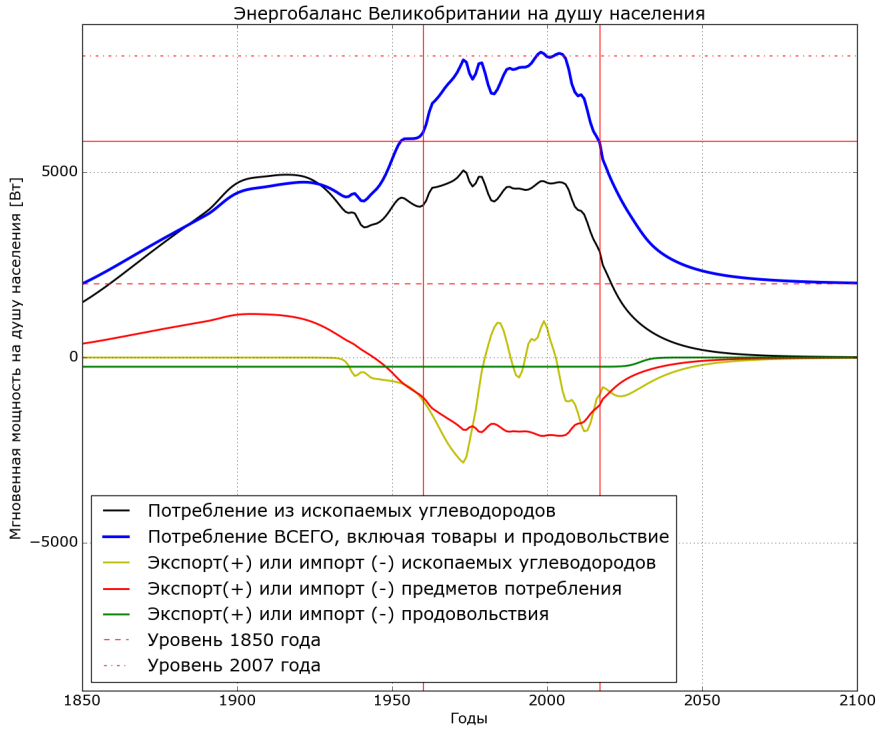


Оптимистично предположим, британцам удастся и далее сдерживать нелегальную миграцию, а население остановится на уровне несколько менее 70 млн человек. Поделим график энергобаланса на население программой **\Chapter 12\Test_06_UK_Energy.py**



Внезапно оказывается, душевое потребление энергии в Великобритании уже опустилось до уровня мировых войн. Конечно, британцы в 2017 живут значительно лучше соотечественников образца 1940 года. Разница – те самые 2'000 Вт, получаемых в кредит в виде товаров из Азии. Для полноты сравнения остаётся добавить программой **\Chapter 12\Test_07_UK_Energy.py**

импорт-экспорт товаров народного потребления (например, из Китая) и продовольствия (например, из Бразилии).



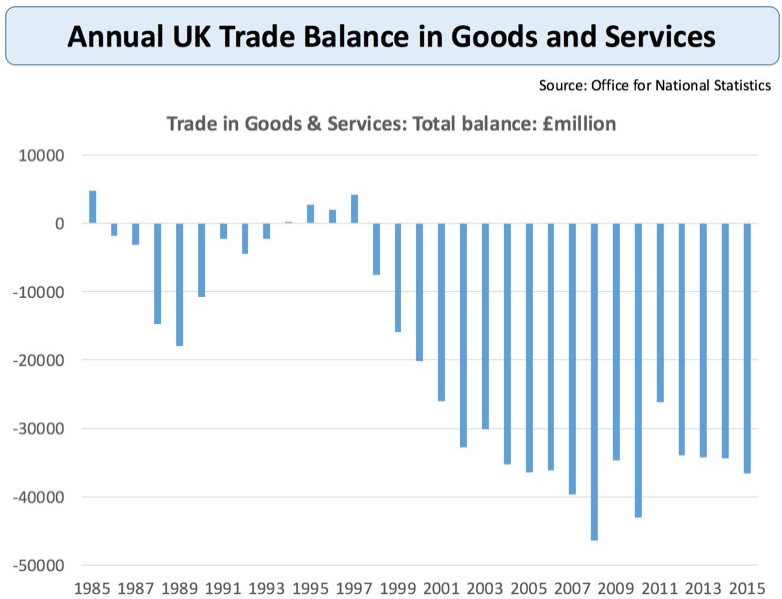
Проверка из независимых данных хорошо воспроизводит оценки Д.Мак-Кея 2008 года. Напоминаем, что он получил для 2007 года оценку 8'150 Вт, в том числе 2'000 Вт в виде импортных товаров и 625 Вт в виде продовольствия. Наша оценка находится в пределах ±200 Вт от Мак-Кея – и вполне укладывается в погрешность.

По состоянию на конец 2017 материальное потребление Великобритании вернулось на уровень ниже 1952-1960 годов. Сейчас британцы имеют ту же энерговооружённость, что в скудном послевоенном 1950 (конечно, в те далёкие годы часть энергии уходила на восстановление порушенного войной хозяйства). В 2015 году страна импортировала до 25% энергоносителей, до 50% продовольствия, до 90% чёрных и цветных металлов, до 95% товаров народного потребления, до 98% удобрений. Конечно, имеется и экспорт (данные за «удачный» для британского экспорта 2011 год):

Товар	Млрд фунтов стерлингов
Ядерные реакторы и компоненты	34.8
Продукты нефтехимии	33.4

Товар	Млрд фунтов стерлингов
Автомобили и запасные части	23.5
Компоненты электрических машин	17.2
Фармацевтические продукты	16.9
Ювелирные изделия	12.3
Медицинские инструменты	9.1
Продукты тонкого органического синтеза	9
Запасные части и компоненты авиации	8
Пластики и полимеры	6.7

Снижение добычи нефти в Северном море больно ударило по торговому балансу. Страна живёт в кредит последние 18 лет:



Если не предпринимать самых серьёзных мер, писал Мак-Кей в 2008, к 2075 году средний британец станет жить на уровне середины XIX века. Добро пожаловать в Новую Викторианскую Англию! Вместо газа – светодиодная лампа, вместо газеты – телефончик с Интернет. Пожалуй, доктора разбираются в болячках несколько лучше костоправов 1850 года. Остальное – читайте у Диккенса!

Впрочем, и 1900 Вт на человека – ещё не самая пессимистичная оценка. Снизу есть хорошо рассчитанный историками суровый 1560 год, когда средний житель Англии и Уэльса имел чуть менее 850 Вт, исключительно из возобновляемых источников. Жизнь простая и удивительная: предметы потребления и транспорт на уровне 1% от нынешних, 4 кг дров на день (да, по

всей Англии шумели леса); но грубой растительной пищи достаточно для физического труда – 2'700 ккал.[156] Мясо – дважды в год по праздникам. Ожидаемая продолжительность жизни – 27 лет, детская смертность до 5 лет – половина от числа живых при родах. Ренессанс, мля.



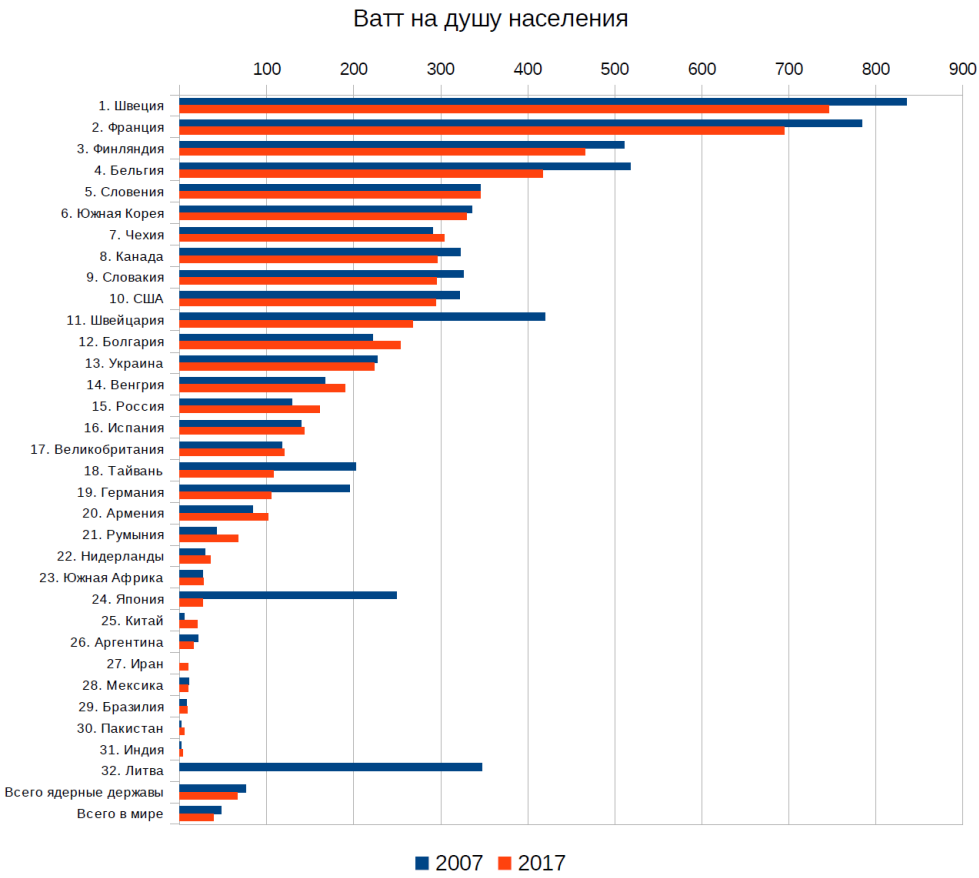
Теперь разберёмся с ядерной энергией. Если считать не термоядерные бомбы, а выработку электроэнергии из ядерного топлива на душу населения, Россия, Китай, Великобритания и США не являются «великими ядерными державами».

В 2007 году Россия находилась на 20 месте (129 Вт) из 31 страны с ядерными мощностями, между Испанией (139 Вт) и Великобританией (117 Вт). В первой тройке находились Швеция (835 Вт), Франция (784 Вт) и Бельгия (518 Вт). США были на 11 месте (322 Вт), КНР – на 29 (всего 5.4 Вт на душу).

В 2017 году состояние России несколько поправилось, и с 161 Вт на душу она поднялась на 15 место, между Венгрией (190 Вт) и Испанией (142 Вт). Лидеры гонки сдуваются: из первой тройки выбыла Бельгия (закрыла реакторы и переехала на 4 место), теперь там Швеция (746 Вт), Франция (695 Вт), и Финляндия (466 Вт) – все три идут с уменьшением по сравнению с 2007 годом. США поднялись на 10 место (294 Вт), Китай – на 25 (20 Вт). Кроме Бельгии и Швеции, сильную отрицательную динамику продемонстрировали Швейцария, Германия, Япония. Впрочем, у последней есть шанс восстановиться, – запускают реакторы снова после трагических событий 2011 года. Литва в 2009 закрыла Игналинскую АЭС и стала второй страной мира (после Италии),

156 https://www.fas.harvard.edu/~histecon/energyhistory/data/Warde_Energy%20Consumption%20England.pdf

добровольно отказавшейся от ядерной энергии. К счастью на дистанцию бодро вошёл Иран, обогнав за 9 лет Мексику, Индию, Пакистан и Бразилию.



Ежели вкратце, даже лидерам гонки до безжалостно-нищенских 1'800-1'900 Вт на душу надо утроить производство. Для «середнячков», вроде России, Великобритании и США, речь идёт уже об увеличении на порядок, а перед КНР стоит задача увеличить производство ядерной энергии в 150 раз за 25 лет, или по 22% роста в год. С одной стороны, под мудрым руководством Коммунистической Партии трудолюбивые китайцы и не такое вершили. С другой – реактор не сельская домна времён Культурной Революции. Как бухнет – мало не покажется.

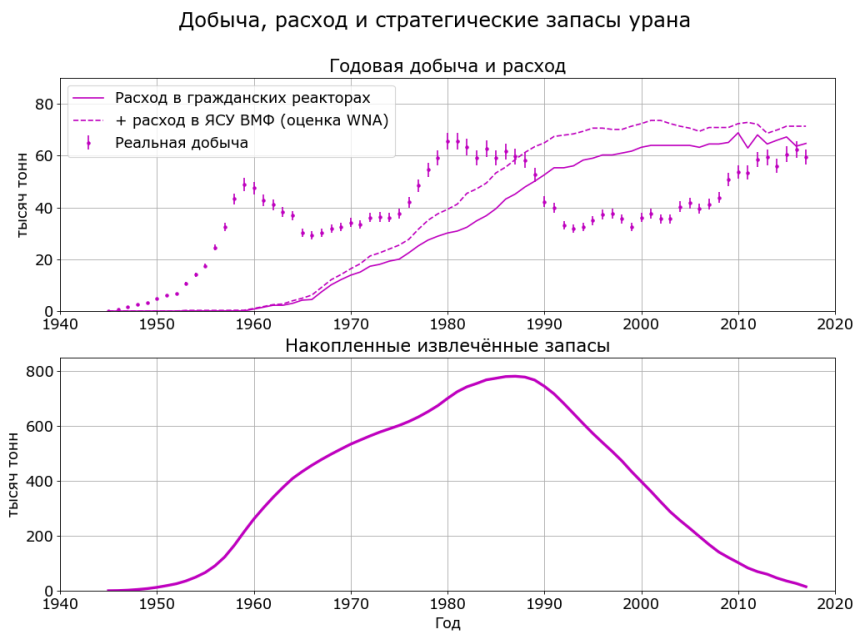
Мак-Кей даёт оценку необходимой мощности атомных станций и разведанное количество урана в мире. Теоретически, реакторы-бридеры способны обеспечить все энергетические потребности человечества на 250-1000 лет вперёд, однако их не строит никто, кроме России и КНР[157], да ещё Индия бесконечно экспериментирует с «ториевым циклом».

М.К.Хабберт в 1956 году[19] про ядерную энергетику знал только, что она технически осуществима, но абсолютных значений выработки предсказать,

157 И в КНР есть экспериментальный размножитель CEFR на 20 МВт и строится «CFR-600».

натурально, не мог. Первая АЭС в Обнинске к моменту публикации статьи Хабберта отработала ровно 24 месяца, а «*Калдер Холл-1*» в Великобритании ещё строилась. Мы вооружены данными за 70 лет и можем выдать прогноз несколько лучше. В качестве входных данных используем публично доступные с веб-ресурса Ассоциации производителей ядерного топлива (WNA)[158]

За время Холодной войны накопились огромные запасы *добытого*, но не обогащённого урана: почти 800 тыс тонн. Однако на волне Чернобыльской катастрофы добыча в конце восьмидесятых рухнула, и с тех пор не было ни одного года, когда добыча была бы выше потребления. В 2017 году только гражданские ядерные установки сожгли 65 тыс тонн урана, а добыча составила 59.5 тыс тонн[159]. О стратегических запасах урана с точностью до тысячи тонн сказать трудно – эти данные секретны, но, по-видимому, к 2018 накопленные запасы близки к исчерпанию во всех странах. Скоро – если не «уже» – заводы по производству топливных элементов для АЭС будут работать прямиком с месторождений, а добыча урана последние шесть лет стагнирует. Цены на уран остаются низкими, отчего добыча заморожена там, где добывать дороже всего: в Чехии, Бразилии, Франции, Германии и Малави. Программа **Chapter 12\Test_08_Uranium.py**



158 http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx

159 Это не значит, что *по состоянию на 2018 год* в мире «дефицит» урана. WNA полагает, что около 15% от мирового потребления удовлетворяется за счёт повторного обогащения «хвостов» (обеднённого урана), переработки использованных ТВЭЛ и топлива на «смешанных оксидах» MOX – то есть с добавлением плутония. Запасы обеднённого урана в мире (со средним содержанием ^{235}U 0.35%) никто точно не знает, оценки колеблются от 1.0 до 1.5 млн тонн. MOX – топливо используется в основном европейцами, покрывая 10-20% от их потребностей.

Подтверждённые *геологические* запасы урана в мире (по данным той же WNA) велики: не менее 6.1 млн тонн при цене $130 за кг и 8.0 млн тонн при цене 260 (в долларах 2000 года). Из этих запасов в странах из «списка Чуковского» всего шестая часть (Намибия, Нигер, Ботсвана, Танзания, Иордания, Малави), а крупнейшие запасы сосредоточены в странах мирных и надёжных: Австралии (30%), Казахстане (14%), Канаде (8%) и России (8%)[160].

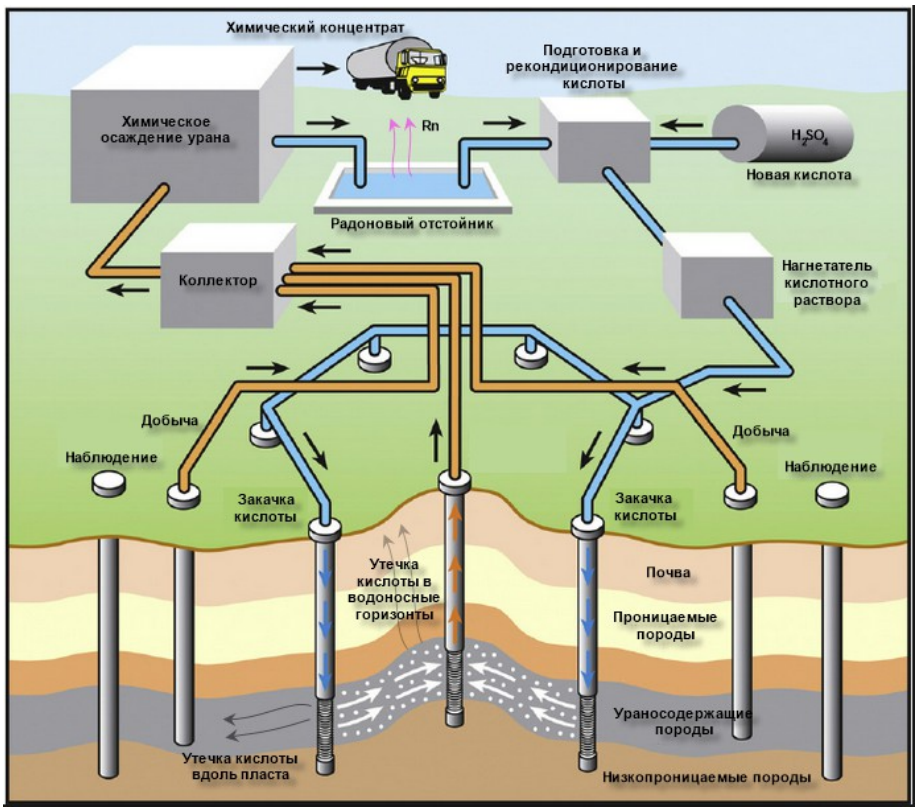
Страна	Добыча 2016 г (тонн)	Добыча 2017 г (тонн)	Потребление 2017 г (тонн)	Нетто Экспорт (тонн)	Нетто Импорт (тонн)
Казахстан	24'575	23'391	0	23'391	
Канада	14'039	13'116	1'592	11'524	
Австралия	6'315	5'882	0	5'882	
Нигер	3'479	3'449	0	3'449	
Намибия	3'654	4'224	0	4'224	
Россия	3'004	2'917	5'380		2'463
Узбекистан	2'404	2'404	0	2'404	
КНР	1'616	1'885	8'289		6'404
США	1'125	940	18'996		18'056
Украина	1'005	550	1'944		1'394
ЮАР	490	308	279	29	
Индия	385	421	843		422
Пакистан	45	45	217		172
Чехия	138	0	649		649
Бразилия	44	0	321		321
Франция	Добычи нет с 2015 года		9'502		9'502
Германия	Добычи нет с 2014 года		1'480		1'480
Малави	Добычи нет с 2014 года		0		
Всего	62'368	59'531	65'014		

Добыча ограничивается не геологическими запасами, а огромным экологическим уроном: примерно половина урана в мире добывается так называемым подземным выщелачиванием (in situ leaching), по технологии слегка схожей с известной нефтяникам кислотной обработкой пласта. Только вместе с относительно «безобидной» соляной кислотой (HCl) используется серная (H_2SO_4). Ещё в процессе участвуют[161] актёры на вторых ролях (в алфавитном порядке, дабы никого не обидеть): азотная кислота (HNO_3),

160 А вот США Бог ураном обделил. При существующем уровне потребления 19 тыс тонн – разведанных запасов на 3 года.

161 IAEA, **Manual of acid in situ leach uranium mining technology**, IAEA-TECDOC 1239, 2001

аммиак(NH_3), гидроксид калия (KOH), гидроксид натрия (NaOH), уксусная кислота (CH_3COOH), фосфорная кислота (H_3PO_4), хлорная кислота ($HClO_4$). Если вы полагаете, что «нефтесланцевый» гидроразрыв на «быстрой воде» с лигроином с метанолом – это трэш и угар, попробуйте на вкус наше блюдо!



А так это выглядит в натуре.



В отличие от гидроразрыва и кислотной обработки пласта, где химия закачивается в скважины на достаточно больших глубинах – обычно глубже 400 метров – и притом одномоментно, выщелачивание урана протекает годами на глубинах от нескольких десятков метров до полукилометра. По дневной поверхности и в водоносных горизонтах «размазываются» сопутствующие урану соединения: свинец, арсениды, таллий, ртуть… Сказать, что после окончания работ в этом месте ничего расти не будет, – нельзя. Растёт, конечно. Только в пищу это лучше не употреблять. Ну и естественно остаётся великолепная роща из головок скважин. В металлолом их не примут, опять-таки из-за тяжёлых металлов и прочих полезностей.

Короче, добывать уран можно, но методом подземного выщелачивания[162] его надо добывать там, где низкая плотность населения, предпочтительно в пустыне. Казахстан, арктические районы Канады, Северные Территории Австралии – великолепные кандидаты.

Вторая половинка добычи урана – классические шахты и открытые разрезы. Породу вынимают и везут на обогатительный комбинат, где дробят и травят той же химией, но уже в аппаратах, не допускающих утечек кислоты в грунт. Проблема одна: что делать с мегатоннами отработанной породы? Там содержание тяжёлых металлов – тоже не сахар. Раньше использовали ещё и хищнический метод поверхностного выщелачивания (heap leaching), когда породу складывают в большую кучу и поливают сверху кислотой, а вокруг кучи – открытая дренажная канава… Кстати, уран добывают как побочный продукт на месторождениях меди и других ископаемых. Сейчас это примерно 5-7% от общей мировой добычи урана. Для Зелёных поясним, что добыча редких земель на нужды возобновляемой энергетики – это тоже выщелачивание, и теми же кислотами. Вообще извлечение металлов матушку-Землю насилует куда больше, чем добыча того же каменного угля или природного битума.

Со строительством новых реакторов дело обстоит не так плохо, как иногда представляют на форумах. По состоянию на конец 2018 года в строительстве 54 реактора общей мощностью 54.7 ГВт(электрических)[163], в том числе 12 в КНР, 7 в Индии и 6 в России[164]. В 2015 и 2016 годах в мире добавилось по 10 реакторов (9.4 и 9.5 ГВт соответственно), в 2018 – 9 реакторов (10.4 ГВт). Конечно, по сравнению с 1984 и 1985 годами, когда в мире ввели в строй по 33 реактора (по 32.1 ГВт в год), это не так уж много.

После аварии в Чернобыле количество работающих гражданских энергоблоков

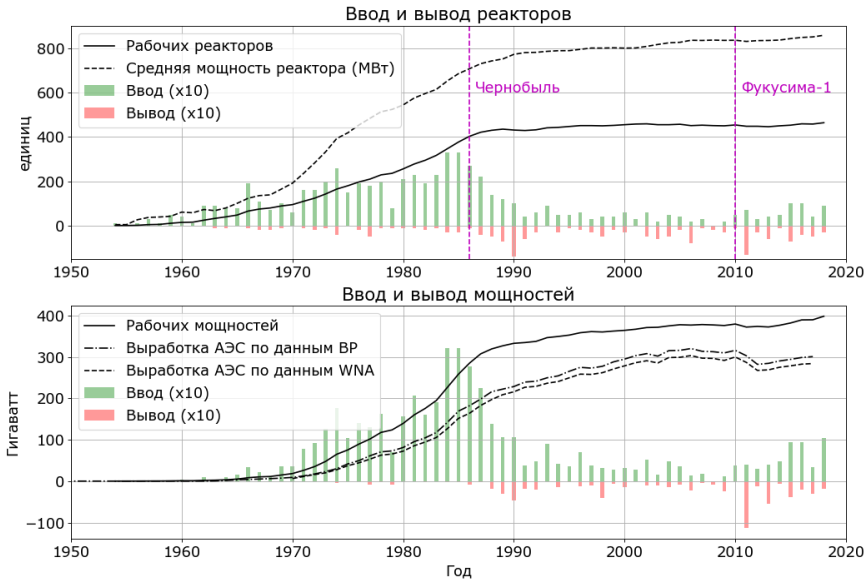
162 Помимо метода с серной кислотой есть так называемый «карбонатный» метод, когда используется сода Na_2CO_3 + $NaHCO_3$. Природу это напрягает меньше, но, к сожалению, породы в покрышке и рудном пласте не всегда хорошо реагируют с содовым раствором. В блоге также указали, что в связи с уменьшением добычи тяжёлых нефтей может возникнуть дефицит серной кислоты. Пока производство серы растёт (в том числе за счёт битуминозных песков Альберты), и трудно учесть, что произойдёт с производством серной кислоты через 30-40 лет.

163 Здесь и далее – заявленная (номинальная) мощность по данным МАГАТЭ. «Википедия» часто цитирует бóльшие числа, и некоторые даже верные: реакторы проходят модификации. Проверять, однако, доверим международному агентству.

164 https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx

в мире оставалось примерно постоянным, около 450 единиц, но средняя мощность работающих реакторов выросла с 700 до 850 МВт. Рекордное число реакторов было выведено из работы в 1990 году: 14 единиц (4.8 ГВт), но это были в основном энергоблоки старые и уже выслужившие срок; просто после Чернобыля народ понял, что поддерживать на ходу «дедушек» постройки начала 1960-х с мощностями порядка 300 МВт – себе дороже. В 2011, после цунами и «*Фукусимы-Дайичи*», состоялась повторная ревизия «старичков»; было выведено из эксплуатации 13 реакторов общей мощностью 11.4 ГВт, то есть в среднем по 880 МВт на энергоблок.

Гражданские генерирующие мощности ядерной энергетики

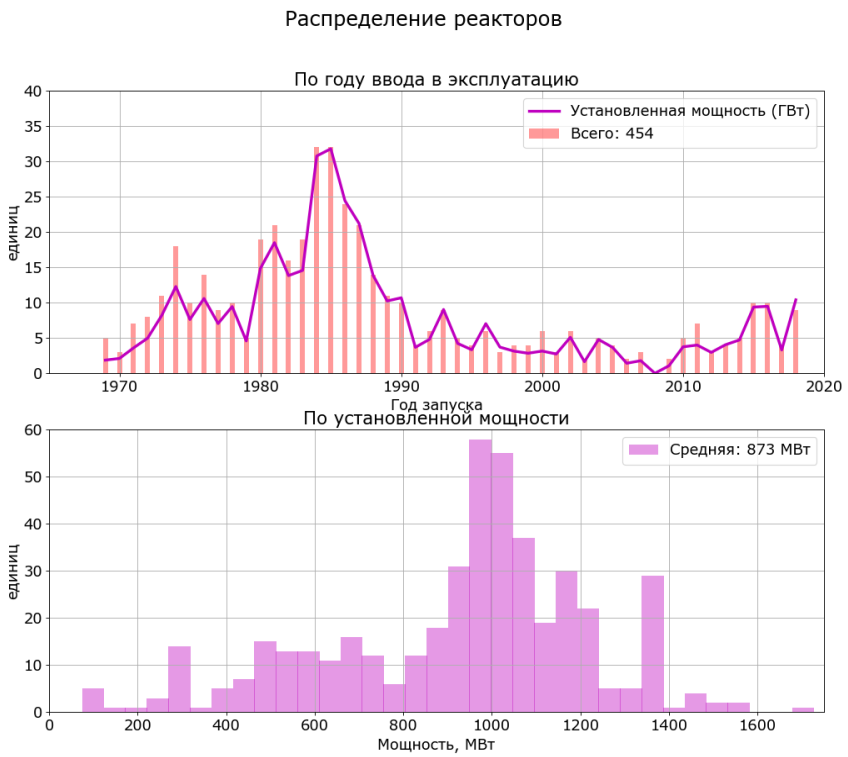


Помимо графика установленной мощности, выше показаны ещё кривые выработки электроэнергии в пересчёте из ТВт·ч во мгновенную мощность делением на количество часов в среднем году (8'766). Кривая по данным «*BP*» считается «на генераторе», WNA выдаёт данные «на счётчике потребителя»; разница – потери электропередачи, то есть технически разница между $EROEI_{st}$ и $EROEI_{pou}$. Заметим, однако, интересную картину. С 2013 года установленная мощность растёт, а производство энергии так и не восстановилось после снижения 2011 года. Максимальная утилизация установленной мощности наблюдалась перед Глобальным Финансовым, в 2006 году – 85%. Средняя утилизация с 1991 по 2017 год – 78%, а с 2014 по 2017 гг включительно – 77%. Реакторы в среднем простаивают по 84 дня в году. Связано ли это с накоплением технических проблем в старых реакторах или с трудностями загрузки – трудно сказать.

Средняя мощность у энергоблоков, остановленных в 1990 году и ранее, – всего 220 МВт, а среднее время работы – 14 лет. Крупных реакторов шесть: «*Тримайл-Айленд-2*» (880 МВт, проработал меньше года), «*Чернобыль-4*» (925МВт, 3 года), построенный с грубейшими нарушениями регламента

«*Мюльхайм-Керлих*» в Германии («*Mülheim-Kärlich*», 1'219 МВт, 2.5 года), повредивший в 1978 году теплообменник «*Ранч Секо-1*» в Калифорнии (873 МВт, 15 лет на 38% мощности) и невинно пострадавшие от рук Зелёных «*Шорхэм*» в Великобритании (820 МВт, проработал на 5% мощности 3 года и был закрыт в связи с набегами аборигенов на проходную) и «*Каосо*» в Италии (хороший, годный реактор 860 МВт, проработавший на момент закрытия всего 12 лет и павший жертвой референдума). Примерно треть из 67 остановленных с 1957 по 1990 год реакторов – экспериментальные установки с мощностями в районе 50 МВт[165]. Ясно, что статистику по таким установкам строить нельзя – всё равно что определять ТТХ МиГ-29 по авиеткам братьев Фарман.

С 1991 года по 2018 выведено из эксплуатации 103 реактора. Средняя продолжительность жизни машинки составила 33.6 года, средняя мощность – 524 МВт. Самым неудачным из группы был японский размножитель «*Монзю*» (246 МВт, размножение по проекту 1.2), запущенный 29 августа 1995 года, а 8 декабря того же года вставший на бесконечную «профилактику». В последний раз реактор недолго работал в 2010, и с тех пор принимается решение о демонтаже.



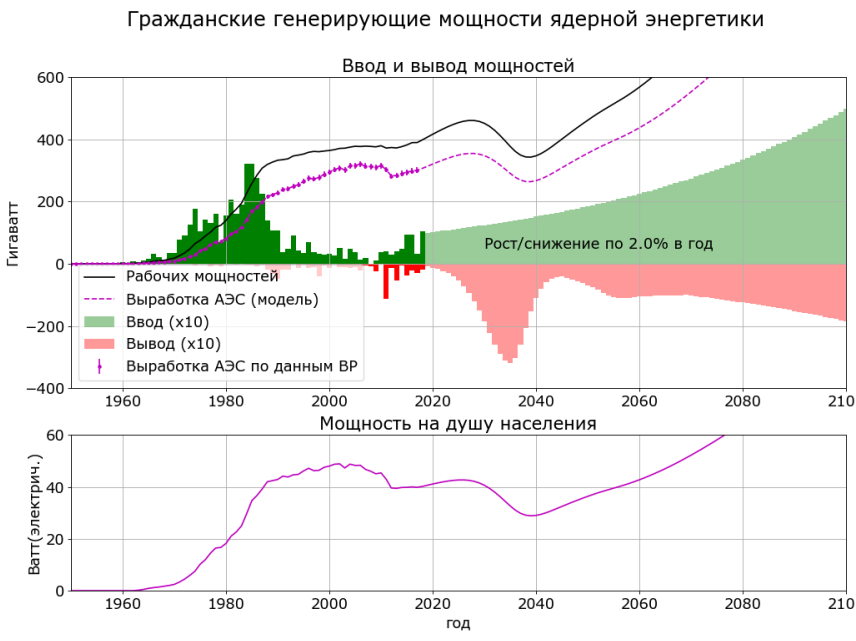
Удивительный долгожитель – реактор «*Устричный ручей*» в Нью-Джерси, США (619 МВт), отслуживший без малого 48 лет и торжественно закрытый в полностью рабочем состоянии 17 сентября 2018 года. Не выслужили полный

165 Реактор в Обнинске был фактически отключён от сети в 1959 году и до 1991 использовался в качестве экспериментальной установки.

срок «*Чернобыль-2*» (925 МВт, 13 лет), «*Чернобыль-1*» (740 МВт, 19 лет), «*Чернобыль-3*» (925 МВт, 19 лет)[166]. Тринадцать лет проработал американский размножитель «*KHK II*» (17 МВт), на год меньше размножал французский «*Superphénix*» (1'200 МВт). Сейчас самые старые реакторы в эксплуатации – 1969 года запуска: «*Безнау-1*» в Швейцарии (365 МВт), «*Гинна*» (580 МВт) и «*Найн-Майл-Поинт-1*» (621МВт) в США, «*Тарапур-1/2*» в Индии (по 150 МВт каждый). Последние два – близнецы японских «*Фукусима I-1/2*», и, вероятно, наш следующий Чернобыль – если только не остановят вовремя. С другой стороны, швейцарцы заверяют, что, «*Безнау-1/2*» ~~могут~~ обязаны работать как местные часы с кукушкой: лет по 60 минимум, – отключение энергоблоков ожидается не ранее 2030 года!

Типичная мощность «новых» энергоблоков – 1'000 МВт(электрических). Это логично: строить АЭС с одним энергоблоком в большинстве случаев невыгодно. Если по любым причинам реактор надолго останавливается, окружающие территории начинают испытывать энергетический голод. Опыт России, Канады и США, а теперь и КНР, показывает, что оптимальное число энергоблоков на АЭС – от 3 до 8.

Можно принять в качестве параметров умеренно-оптимистической базовой модели подключение, начиная с 2019 года, 10 ГВт установленных мощностей ежегодно, с ростом по 2% в год. Функция остановки энергоблоков будет выглядеть как сглаженное распределение мощностей по возрасту, сдвинутое на 50 лет. Утилизацию установленной мощности оставим постоянной по факту на уровне 77% (даже если будет 90%, существенной роли это не сыграет). Программа **Chapter 12\Test_10_Nuclear_Reactors_Projection.py**



166 На «*Фукусиме-Дайичи*» к моменту цунами реакторы были членами клуба «Кому за 30».

К сожалению, ждать чудес от ядерной энергетики не приходится. Вплоть до 2070 года она будет производить на каждого землянина менее 60 Вт мгновенной электрической мощности.

Реакторы, введённые в строй в 2018 году, строились в среднем по 8 лет: самый долгий – «*Ленинград II – 1*»(1'085 МВт) – десять лет, два рекордсмена – китайские «*Тианван-4*»(990 МВт) и «*Янгджианг-5*»(1'000 МВт) – по пять лет. Реакторы, запущенные с 2005 по 2018 годы, строились в среднем по 7.3 года. Рекордсмены – таких набралось 7 штук – строились за 4 года, долгострой: «*Ауча-2*» в Аргентине (692 МВт, 33 года с перерывами). Самые старые энергоблоки в постройке по состоянию на конец 2018 года – «*Хмельницкий-3/4*» (по 950 МВт каждый) в Украине, строящиеся с перерывами с 1986/87 года. В США строится всего два энергоблока (оба с 2013 года, совместно 2'234 МВт)[167], Усяевропа™ – семь реакторов, 6'996 МВт. Россия и Белоруссия совместно – 8 энергоблоков, 6'678 МВт (в том числе два плавучих проекта «*Академик Ломоносов*» по 32 МВт).

Что немного напрягает: за типичный срок постройки энергоблока, с 2011 года (включительно) – начато строительство всего лишь 35 реакторов, в среднем по 4.3 энергоблока или 4.4 ГВт новой мощности в год.

Год	Реакторов Всего/Мощность	Год	Реакторов Всего/Мощность
2011	2 / 1'260 МВт	2015	8 / 8'359 МВт
2012	4 / 3'967 МВт	2016	3 / 3'014 МВт
2013	6 / 7'028 МВт	2017	5 / 4'854 МВт
2014	3 / 2'479 МВт	2018	4 / 4'649 МВт

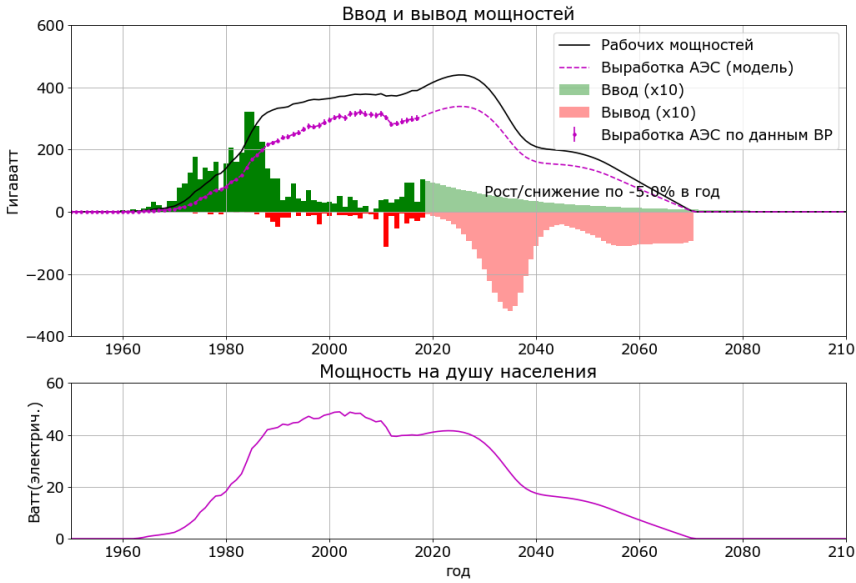
Если так пойдёт и дальше, то речь о сокращении производства ядерной энергии вплоть до полного прекращения в 2070 году. Замедление строительства АЭС, естественно, может ещё больше обвалить спрос на уран. Освоение месторождений урана – дело долгое и дорогостоящее. Прежде чем начинать строить дороги и обогатительный комбинат, надо иметь уверенность, что добывающее предприятие проработает хотя бы лет 30. Зеленые предпочитают иметь вместо урана по 15 кг сушёного навоза на лицо и гарантий не дают. Один из нехороших, негодных сценариев показан ниже.

Геологи не хотят добывать и тычут пальцем в энергетиков: «может не быть спроса на уран». Энергетики не хотят строить АЭС и тычут пальцем в геологов: «может не быть доступного урана». Зелёные тычут пальцем в сушёный навоз, называя энергоблоки «*Академик Ломоносов*» «Чернобылем на льду»[168]. Настоящие экологи указывают, что и производство солнечных панелей очень портит природу. Так мы и живём в первой четвертушке XXI века. Век правильнее называть не «ядерным», а «навозно-ядерным».

167 Ещё в 2017 году строилось 4, но постройку «*Саммер-2/3*» (по 1'117МВт) прекратили из-за банкротства АЭС.

168 По аналогии с шоу «*Дисней на льду*».

Гражданские генерирующие мощности ядерной энергетики



Подведём итоги главы:

- В 2008 году Д.Мак-Кей попробовал рассчитать уровень жизни Великобритании при условии перехода на 100% возобновляемых источников энергии. Инженерные прикидки показали, что сохранить существующий уровень жизни за счёт одних возобновляемых источников невозможно. Прикидка Д.Мак-Кея подтверждена по независимым данным добычи и потребления Великобритании.

- Комбинируя возобновляемые и невозобновляемые источники, а также с применением технологий энергосбережения, можно к 2050 году обеспечить условно комфортное проживание британцев на уровне потребления порядка 2'600 Вт на душу населения, что соответствует реальному 5.5 кг условной нефти в день (2.01 тонны в год). Эта оценка на 40% ниже, чем предсказание Й.Рандерса для стран ОЭСР (подробно разбиралось в главе 7).

- До коммерческого управляемого термоядерного синтеза ещё довольно далеко. Чтобы не «провалиться» на уровень жизни Викторианской Англии середины XIX века, требуется развитие ядерной энергетики, в том числе реакторов-бридеров.

- Рассмотрена модель подключения и вывода гражданских ядерных мощностей. В умеренно-оптимистических предположениях, производство ядерной энергии на душу населения будет оставаться низким вплоть до 2070 года. Этот уровень можно оценить в пределах 50 Вт мгновенной электрической мощности. Развитие будет

тормозиться, во-первых, экологическими проблемами при выщелачивании урана, и во-вторых, недостатком инвестиций в ядерную отрасль в период после катастрофы в Чернобыле (с начала 1990-х по конец 2000-х).



Глава 13. История вероятности.

[...Максим] как-то неприятно засмеялся. — Что вы мне можете предложить, принц-герцог?

Старый принц-герцог кряхтя поднялся и, растирая затёкшие бока, прошёлся по комнате.

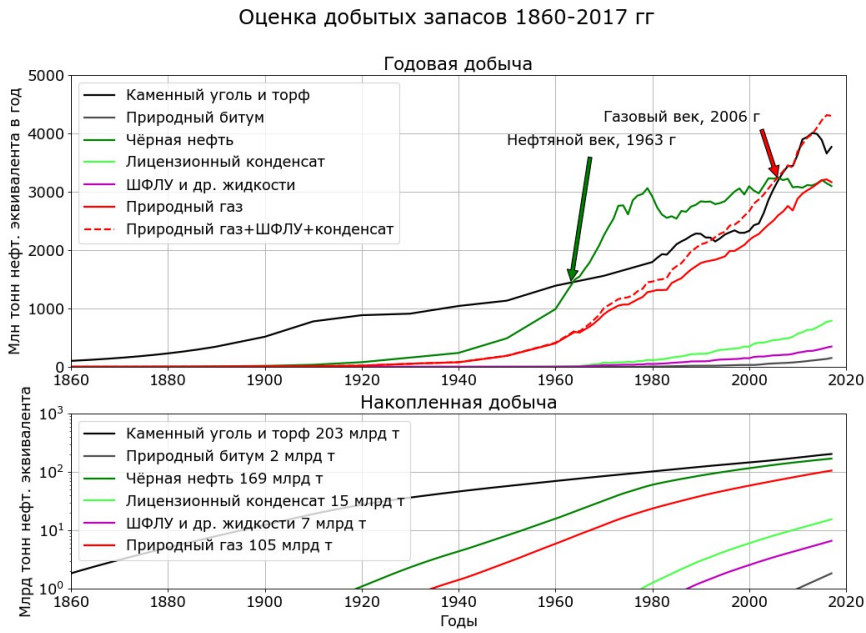
— Во-первых, я не советую вам углубляться в пустыню, — сказал он. — Есть там варвары или нет, ничего подходящего для себя вы там не найдёте... Вероятно, надо идти к морю и начинать оттуда... Если островитяне тоже не миф и если они захотят с вами разговаривать...

– А. и Б. Стругацкие, «Обитаемый остров»

Разобравшись с перспективами «сланцевой революции» и «ста процентов возобновляемых», продолжим наши игры с пивным стаканом. Оптимисты утверждают, что стакан наполовину полный, пессимисты считают, что наполовину пустой, реалисты – считают патроны.

В главе 9 мы выяснили, что знаем накопленную добычу угля, нефти и газа с точностью примерно ±5%, однако остаточные извлекаемые запасы (в пределах конкретных месторождений) известны лишь добывающим компаниям и правительствам. Можно ли, по имеющимся в открытом доступе данным, прикинуть общие извлекаемые запасы планеты Земля, пусть с точностью гораздо худшей, чем 5%?

Сначала подсчитаем, сколько всего добыто. Программа **Chapter 13\Graph_01_Total_Production.py**



На графике годовой добычи есть две интересные точки. В 1963 году наступил нефтяной век: добыча из нефтяных скважин превысила добычу из угольных разработок (шахт, карьеров, торфяных выработок). В 2006 нефтяной век кончился, продлившись всего 43 года. Начался век угольно-газовый. Добыча из нефтяных скважин стала меньше суммарной добычи газовых по сумме «газ-конденсат-NGPL». Стараниями шахтёров КНР уголь тоже обогнал нефть и вплоть до 2013 года шёл нос-к-носу с газом. Теперь уголёк выдохся, и с 2014 мы с вами живём полностью в газовом веке, с чем и поздравляю.

Всего с 1830 года из планеты Земля добыто 501±50 млрд тонн нефтяного эквивалента (toe). Половину этого количества добыли с 1830 по 1989 годы, то есть за 160 лет. Из оставшихся 250 млрд т, половину добыли и сожгли в пределах жизни подавляющего большинства из тех, кто читает эту книгу: с 1990 по 2005 годы, то есть за 16 лет. Те, кому в 2017 стукнуло двенадцать, стопроцентно поучаствовали в сжигании оставшейся четвертушки.

Накопленная добыча нефти и лицензионного газового конденсата с 1860 по 2017 годы – 184±9 млрд т. Накопленная добыча всех «жидкостей», включая конденсат, битум и широкие фракции лёгких углеводородов – 198±10 млрд т.

Начнём наши оценки с самого сложного ресурса: каменного угля и торфа. Подсчёты запасов осложняются фактом, что уголь бывает очень разный. Нас интересуют три параметра:

1. Теплотворная способность: сколько энергии выделяет тонна угля при «высокотемпературном сгорании», то есть в топке современной эффективной ТЭЦ.

2. Вредные примеси. Наиболее опасная – сера. При сгорании выделяется сернистый газ, а он приводит к «кислотному дождю» – штука крайне мерзкая. На некоторых месторождениях уголь содержит уран (весь уголь Монголии, к примеру), почти везде есть также ртуть, тяжёлые металлы и прочие ~~радости~~ гадости.

3. Зольность: количество безопасных, но несгораемых примесей, главным образом глин. Чем больше зольность, тем чаще надо чистить топку, тем больше требуется установленная мощность на единицу выработки энергии.

Геологи делят уголь по рангам (сортам). Закон Хилта гласит: чем выше давление и температура образования угля, тем выше ранг. Из-за геотермального градиента за углём более высокого ранга надо, при прочих равных условиях, копать более глубокие шахты. И наоборот: самый нижний ранг – торф – лежит прямо на поверхности. Приводимая ниже упрощённая международная классификация отличается как от российских «марок угля» так и от американских «рангов USGS», но мы будем пользоваться ею, так как в каждой стране мира – своя сортность, без упрощения не понять.

Ранг	Использование	% углерода	Теплота сгорания, МДж/кг	Тонн нефтяного эквивалента на тонну
1. Антрацит, мета-антрацит, паровозный уголь (кардиф)	Обогрев жилья, паровой транспорт	86-100	28.0-35.3	0.83
2. Битуминозный уголь	Энергетика, кокс	85 и менее	28.0-35.3	0.65
3. Суббитуминозный уголь	Энергетика, химия	85 и менее	19.3-28.0	0.54
4. Лигнит (бурый уголь)	Энергетика	65 и менее	19.3 и менее	0.36 (сухой)
5. Торф	Энергетика, удобрения и т.п.	60 и менее	15 и менее	0.19 (сухой)

Кстати, о торфе: торфяники отлично изучены. Они покрывают более 2% территории суши, а всего на планете около $4 \cdot 10^{12}$ тонн сухого торфа, то есть 780 млрд т нефтяного эквивалента. Проблема лишь в низкой плотности этой энергии: порядка 500 тонн нефтяного эквивалента на квадратный километр «богатого» торфяника, или 50 тое на квадратике «бедного». Для масштаба величин, гипотетическое месторождение «дядя Джо» (из тех, что выгодно добывать в Юте, но не выгодно на Аляске) из главы 8 имело на квадратном километре 16'000 тонн, а реальный Самотлор из девятой главы – 1'850'000 тонн/км^2.

Соответственно и трудозатраты на подготовку, вырезку и сушку торфа – громадные. Вот как добывали торф в начале XIX века и как добывают сейчас.





Подпись под фотографией из Ирландии 1910 года: «*На торфе хрен заработаешь*». Надеюсь, ни у кого из читателей не возникла идея, что торфом можно плавить сталь или выделять сверхчистый кремний для роботов. Производить тепло и электроэнергию из торфа можно, но выглядеть будет примерно так: большой начальник и его шестёрки катаются на «Теслах» (торф в изготовлении этих авто участия не принимал), полторы тыщи работяг довольны, что есть на чём баланду приготовить.

В 1920-х разработку пытались механизировать с использованием работающих на торфе локомобилей. Ничего хорошего не получилось: на добычу тонны сухого торфа мобильный паровик кушает полтонны и более. Промышленная механизированная разработка торфа с использованием машин с ДВС (на нефтепродуктах, Карл) сейчас есть в Великобритании, Финляндии, Ирландии, России, Канаде и Швеции. В первой торф используется исключительно для перегонки виски! От торфа напиток получает неповторимый аромат. В двух последних торф используют в качестве удобрений и подстилки для скота. Финляндия, Россия и Ирландия, помимо удобрений, используют торф в энергетике. В России использование энергетического торфа достигало 1.5 млн т в год[169]. В 2010 году вокруг Москвы горели осушенные ещё в 1980-х торфяники. Пришлось залить водою взад…

Ещё одна непреодолимая в долгосрочной перспективе проблема: торфяники не образуются в тропическом климате, а перевозка торфа на большие расстояния убыточна. Оттого торф могут продуктивно использовать лишь жители зоны рискованного земледелия.

Из-за трудностей разработки и экологического ущерба современная добыча торфа в мире составляет менее 1 кг на человека в год. Несмотря на огромные запасы, добыча торфа следующие несколько веков вряд ли будет сильно отличаться от современной: как абсолютный и невероятный максимум, не более сотни килограмм на человека в год, то есть 20 кг нефтяного эквивалента, то есть 16 ватт мгновенной тепловой мощности. Пусть население планеты стабилизировалось на уровне 10 млрд человек. Тогда ресурса торфа хватит на 3400 лет и более. Так как торф естественным образом восстанавливается за пару тысяч лет, при такой скорости добычи его можно считать вечным (возобновляемым) ресурсом. Правда, и основой технологической цивилизации торф служить не может.

Часто утверждают, что все месторождения каменного угля были в основном открыты до 1930 года. Утверждение не совсем верное. Лучше сказать, что числа запасов к 1930 году были непомерно раздуты, а потом пошло массовое списание. М.К.Хабберт в статье 1956 года использовал официальные данные американской геологической службы USGS, но выдал такой комментарий:

…В случае с углём оценки мировых запасов подвергаются ревизии с 1913 года. Последние 10 лет [то есть с 1945 по 1955 – М.Я.] Геологической службой США проводилось уточнение запасов угля в нашей стране и в мире. Результаты исследований USGS (Эверитт, Беррихилл и Тэйлор, 1953) об извлекаемых запасах угля представлены на рис. 14. Общемировые извлекаемые запасы каменного угля и лигнита по новым оценкам не превышают 2'500 млрд метрических тонн, из которых в США находится примерно треть, в СССР – примерно четверть, и в КНР – одна пятая.

Особенно поражает снижение мировых запасов угля с ранее общепринятого значения 6'000 млрд т. Отчего же уменьшились запасы? Дело в том, что предыдущие оценки включали все запасы, в том числе, на запредельных глубинах. Новые оценки ограничены практической возможностью шахтной добычи, что немедленно уменьшило остаточные геологические запасы до 5'000 млрд т. Но главное, из указанных 5'000 млрд т технически можно извлечь около 50%. Учёт коэффициента извлечения и энергозатрат на добычу позволяет адекватно сравнивать извлекаемые запасы каменного угля с извлекаемыми запасами нефти. В самом деле: для сравнения продуктивности двух нефтяных

169 То есть менее 0.3 млн т нефтяного эквивалента; сравните с добычей российских нефти и газа: 554 и 546 млн тое соответственно.

месторождений, мы же не сравниваем геологические запасы одного с извлекаемыми запасами другого...[170]

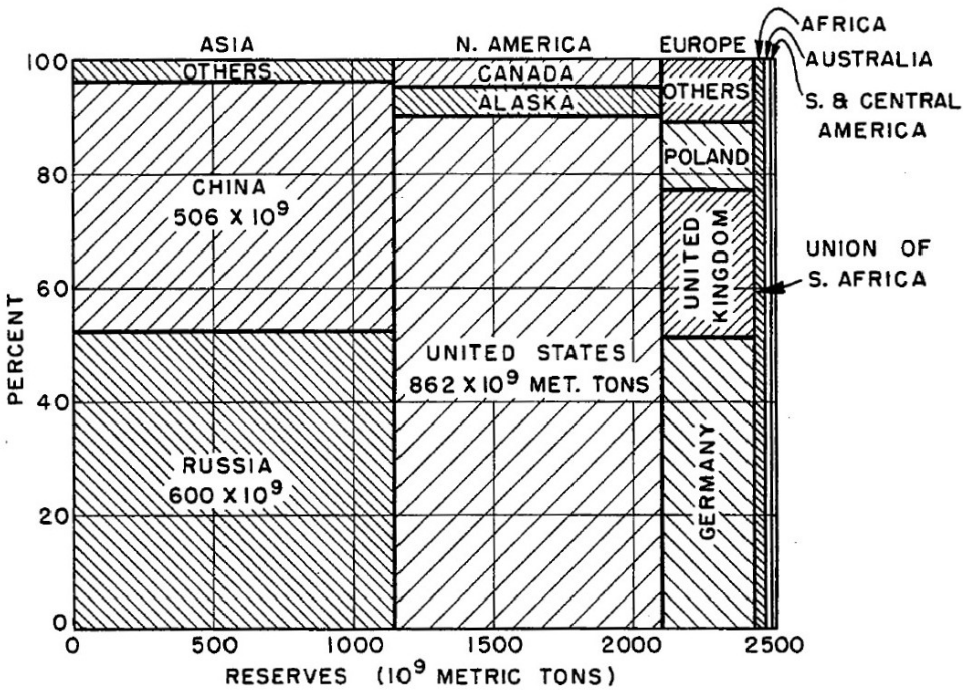


Figure 14 – World recoverable coal reserves assuming 50-percent loss in mining (U.S. Geol. Surv.).

Снижение запасов почти в два с половиной раза – а чего удивляться? Вспомним, как будущий президент Ирландского Геологического Общества Э.Халл насчитал на островах 80 млрд тонн угля, но Британия добыла с 1830 года 26 млрд тонн – и сдулась в полный ноль в 2016. Если же говорить о планете всей, на списаниях 1945-55 годов дело не остановилось.

За шестьдесят лет из балансовых отчётов угольных компаний бесследно исчезло более триллиона тонн угля, или около 770 млрд т нефтяного эквивалента[171]! Против течения какое-то время грёб лишь Китай, за 10 лет добавивший к начальным запасам около 130 млрд т. Недавний катастрофический обвал добычи угля в КНР намекает, что большая часть последних находок располагается на глубинах свыше 3 км и может быть добыта разве что подземной газификацией угля, а скорее всего – вообще никак.

В статье Хабберта данные по ресурсной базе Австралии и остальной Азии были непропорционально занижены. С 1956 года там был рост не бумажный, а реальный – порядка 280 млрд тонн. Однако даже такой рост не смог справиться со списанием 611 млрд т угля в США. В Африке и Южной

170 См [19] стр. 13-14.

171 Во времена Хабберта лигнит и торф считались «субэкономическими сортами». Переводной коэффициент до 1960 года, в связи с преобладанием битуминозного угля в структуре добычи – 0.63 toe на тонну угля.

Америке геологическая изученность пока не позволяет делать окончательные выводы. Если новые месторождения угля (на небольших и доступных глубинах залегания) и будут открыты, то только там.

Страна	Остаточные по данным USGS 1953 г млрд т	Остаточные по данным «BP» 2008 г млрд т	Остаточные по данным «BP» 2017 г млрд т	Добыто с 1954 по 2017 по данным EIA	Пересчёт запасов с 1953 г млрд т
США	912	243	252	50	-611
Канада	44	7	7	4	-33
Россия[172]	600	157	160	18	-422
Германия	167	7	36	16	-115
Великобритания	85	0.16	0.07	3	-82
Польша	39	8	24	10	-5
Прочая Европа	35	100	102	34	+101
КНР	506	115	244	103	-159
Прочая Азия	48	66	141	32	+125
Африка	40	51	14	12	-14
Австралия	14	77	145	16	+147
Южная и Центральная Америка	10	16	14	3	+7
ВСЕГО[173]:	**2'500**	**850**	**1'140**	**300**	**-1'060**
ВСЕГО в млрд тонн нефтяного эквивалента	**1'560**	**430[174]**	**650[175]**	**140**	**-770**
ВСЕГО начальные извлекаемые, млрд toe	**1'600**	**590**	**850**		

Исходя из значения 2'500 млрд тонн, Хабберт – вслед за USGS – предсказывал, что пик добычи угля на уровне около 6 млрд тонн в год придётся на середину XXII века, а в качестве химического сырья уголь будут добывать и в 2700 году. Вероятно, отсюда берёт начало легенда, будто кто-то рассчитал, что после

172 USGS в 1956 г под «Россией» подразумевала «СССР». Часть запасов была позже переквалифицирована в отделившиеся союзные республики под категориями «прочая Европа» и «прочая Азия».

173 Сумма округлена до 10 млрд тонн.

174 Пересчёт в нефтяной эквивалент по отчёту 2008 г: 431 млрд т антрацита и битуминозного угля, 417 млрд т суббитуминозного и лигнита.

175 Пересчёт в нефтяной эквивалент по отчёту 2017 г: 816 млрд т антрацита и битуминозного угля, 323 млрд т суббитуминозного и лигнита. Игры в статистику продолжаются. Так, США переквалифицировали 100 млрд т суббитуминозного угля в битуминозный (уголь «созрел» за 10 лет, так-то).

исчерпания запасов нефти можно ввести транспорт на синтетическом бензине, например, по технологии Фишера-Тропша из битуминозного угля либо по процессу Бергиуса из низкокачественного угля[176].

Вплоть до 2000 года человечество двигалась с небольшим обгоном предсказания Хабберта, однако недостаток энергоресурсов в КНР вынудил резко увеличить добычу. В 2013 году поставлен рекорд! В мире добыто 8'275 млн тонн, почти на 40% выше предсказанного в знаменитой статье пика. Обвал добычи тоже получился феерический: 10% за 3 года. Оптимисты указывают на период между 1989 и 1992 годами, когда мировая добыча угля за три года просела на 3.0%, однако три – не десять.

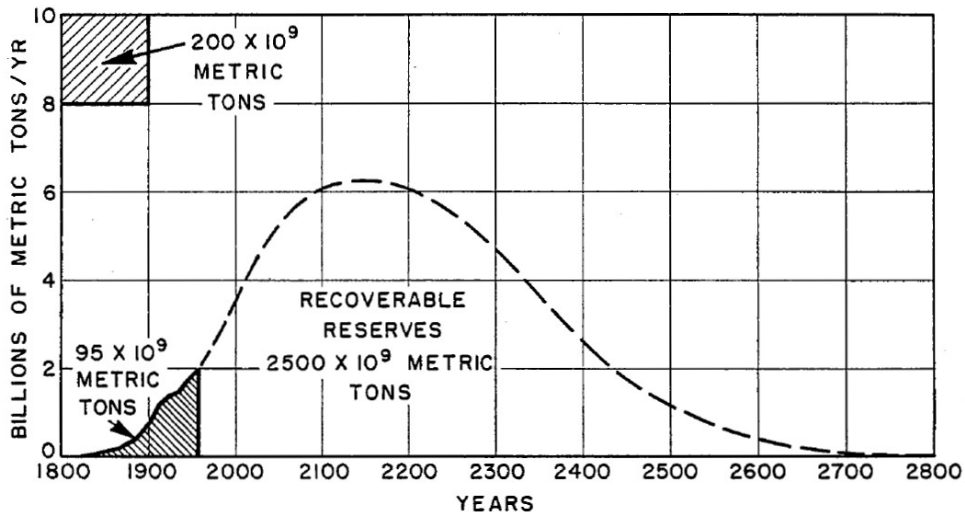


Figure 18 – Ultimate world coal production. The shape of the curve is variable but subject to the condition that the area under the curve cannot exceed thirteen squares.

В крупнейшем добытчике угля – Китае – по данным 2011 года 53% подтверждённых запасов находились на глубинах «свыше 1000 м от дневной поверхности», а глубина выработок, начатых после 2005 г, «превышала 600 м»[177]. Те же авторы указывали, что добыча угля в КНР может упасть до 3'400-3'500 млн т. Так и вышло. Месторождения с глубиной залегания менее 200-300 м в Индии, Пакистане, КНР уже выработаны в «технологический ноль».

176 В нацисткой Германии использовался как процесс Фишера-Тропша, так и процесс Бергиуса. Всего было построено 9 заводов по первой технологии и 12 заводов по второй, первые выпускали в год до 3 миллионов тонн дизтоплива и смазочных масел, вторые – до 18 млн тонн синтетического (в том числе авиационного) бензина. Относительно низкая доля процесса Фишера-Тропша в производстве объясняется отсутствием подходящего сырья – уголь высоких рангов требовался для паровозов. Процесс Фишера-Тропша получил незаслуженную популярность в прессе, так как после падения Германии на территории ГДР продолжало функционировать три завода, в то время как все заводы по технологии Бергиуса были разбомблены, и их восстановление признали экономически нецелесообразным. Более подробно см. Anthony N. Stranges, **Germany's Synthetic Fuel Industry 1927-1945**, Energia, Vol 12, No 5, 2001.

177 Ксе Хипинг, Ли Хонг и Ву Ганг. Скачано с http://cornerstonemag.net/chinas-coal-industry-must-follow-the-path-of-sustainable-production-capacity/ 4 сентября 2017 г.

В апреле 2017 года вышла статья З-Л. Ванга и других о наличии природного ископаемого топлива в КНР[27], где запасы угля в стране навангавали в 225 млрд тонн, а пик добычи прогнозировался в 2020 году на уровне 4.4 млрд тонн в год. Что характерно, среди авторов статьи нет ни одного геолога, а сплошь экономисты и пиарщики, и даже это не уберегло от довольно пессимистического прогноза по углю. В том же году отчёт «*BP*» показывал для КНР запасы 244 млрд тонн, то есть «при существующем уровне добычи» (3.97 млрд тонн в 2013 году) угля достаточно на 61 год. Отчёт «*BP*» 2018 года внезапно оценивает запасы угля в Китае в 139 млрд тонн, а «при уровне добычи 2013 года» этого угля хватит всего на 35 лет.

Механизированная добыча во многих странах становится нерентабельной, оттого наблюдается массовый переход на ручную разработку, в том числе с транспортировкой гужевым и мускульным транспортом. Обратите внимание на цвет угля на снимках ниже. Явно не антрацит! По виду, зольность достигает 400 кг на тонну. О содержании серы, ртути и других полезных веществ можно только догадываться.



Ручная добыча каменного угля в Индии

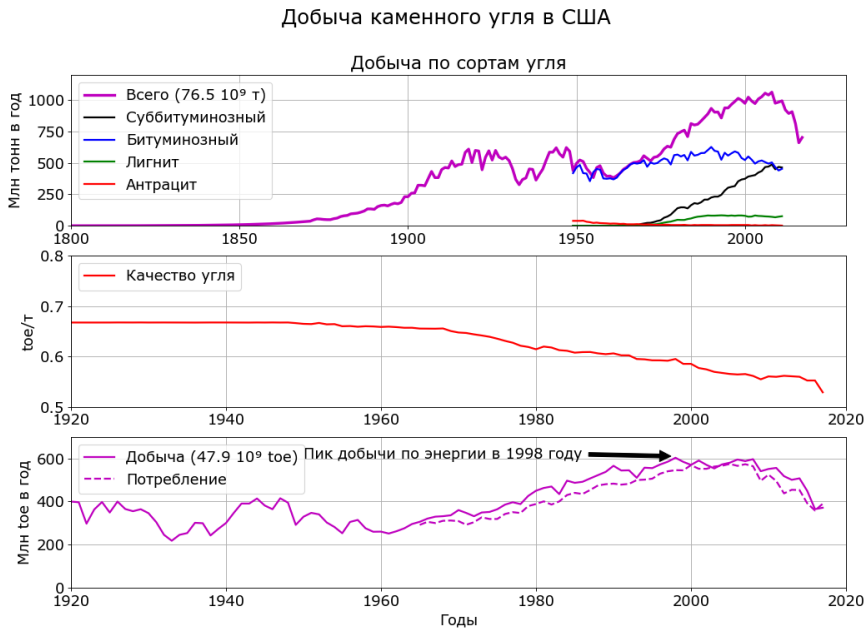


И кустарная добыча в КНР

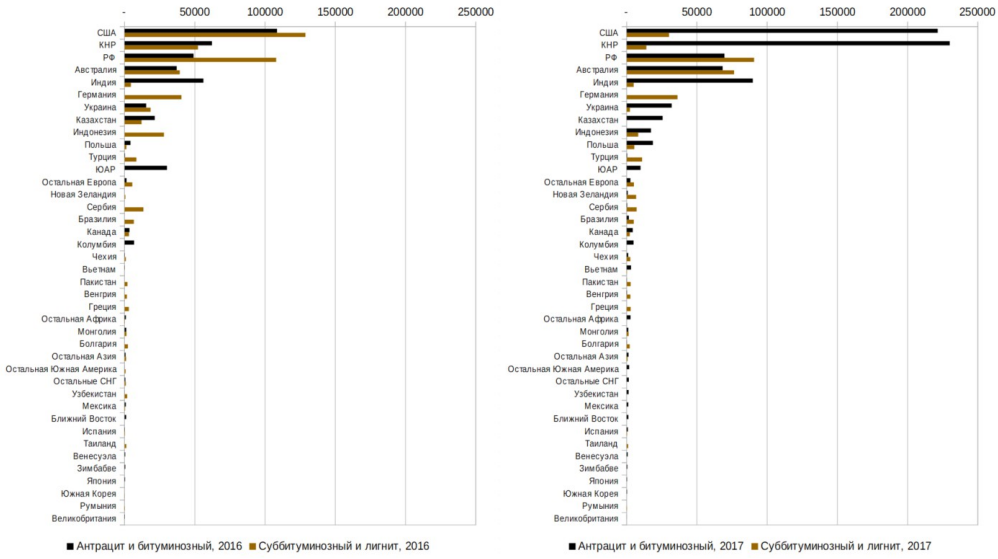
В США до ручной разработки угольных месторождений дело пока не дошло, но в добыче – точно как в Китае – нарастает доля низкосортного суббитуминозного угля, в то время как добыча антрацита уже ушла практически «в ноль», а добыча битуминозного угля непрерывно падает. Нарисуем графики программой **Chapter 13\Graph_02_USA_Coal.py**

Качество добываемого угля в США непрерывно снижалось: с 0.67 toe за тонну в 1950 году до обвального 0.53 toe/т – ниже, чем стандартный суббитуминозный – в 2017. Пик добычи битуминозного угля наступил в 1990 году – 627 млн тонн. В 2009 году добыча суббитуминозного угля в США по массе превысила битуминозные сорта. В 2011 – суммарную массу добытого битуминозного угля и антрацита. Если считать в абсолютных тоннах, пик добычи угля в США пришёлся на кризисный 2008 год – 1'063 млн тонн. По абсолютной энергии, однако, это был 1998 году – 603 млн toe. С 2012 года начались срочные переквалификации низкосортных месторождений в «как-бы битуминозные», а статистику по сортам публиковать перестали. *Sapienti sat*, а

лохи могут инвестировать дальше.



Кстати, о рангах. В отчёте 2017 года «BP» потрясла геологов заявлением: оказывается все эти годы мы ~~говорили прозой~~ не знали своих сортов угля! Мы-то, дураки, думали, что для превращения лигнита в антрацит требуются десятки миллионов лет, а оно эвоно как!



Америка изящным росчерком пера переквалифицировала 98.6 млрд тонн суббитуминозного угля в 112.9 млрд тонн битуминозного и антрацита (интересно, а отчего тогда добыча высоких рангов так весело падает?) Китай

отличился ещё сильнее: из 38.3 млрд тонн суббитуминозного сделали 167.8 млрд тонн антрацита. Правда, китайцы в 2018 году посовестились и 105 млрд бумажных тонн просто списали. Россия сыграла «мизер», переквалифицировав 17.2 млрд тонн лигнита в 20.5 млрд тонн ценных битуминозных сортов.

Активно добавляли бумажные запасы в Австралии и Индии. В Казахстане суббитуминозных, по отчёту «*BP*», вообще более не числится. Уголь Экибастуза, при всех его несомненных достоинствах, битуминозным не является. Зольность от 32 до 47%, теплота сгорания в среднем – 16.8 МДж/кг. Смотрим табличку выше.

На фоне этаких статистических выкрутасов достойно смотрится ЮАР, честно списавшая в 2017 году ⅔ своих когда-то «подтверждённых» запасов, или 21 млрд тонн. При текущем уровне добычи в 0.25 млрд тонн в год, оставшихся 9.8 млрд хватит ЮАР на сорок лет, а вовсе не на сто двадцать, как тамошнее начальство полагало ранее. ЮАР – единственная страна в мире, производящая коммерческие количества моторного топлива из угля, в основном по процессу Фишера-Тропша, – до 9 млн тонн в год, то есть около 30% от общего потребления страны[178].

Упрямо стоит на своём Германия, продолжая называть лигнит Braunkohle (бурым углем), а не «антрацитом». При существующем уровне добычи 175 млн тонн в год этого угля в самом деле хватит надолго – более 200 лет. Однако если поднять добычу до пикового 1985 года (521.6 млн тонн), этого угля хватит «всего» лет на семьдесят. Если же задаться целью полностью обеспечить страну собственным моторным топливом по рецепту Бергиуса[179], то об экспорте энергетического угля в соседние страны Европы можно просто забыть.

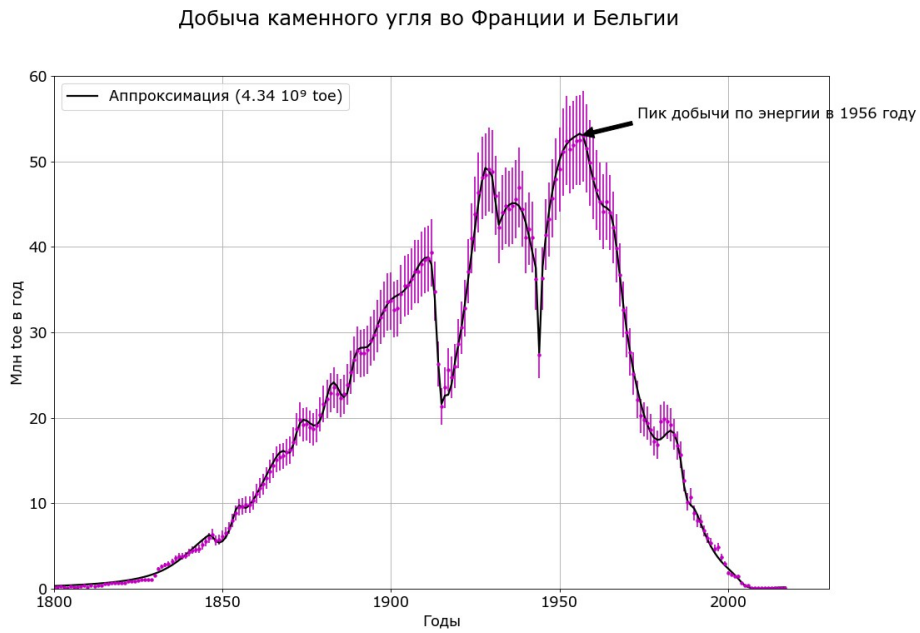
Добычу угля в Великобритании мы обсуждали в главе 8. Начальная плотность ископаемого топлива в Великобритании – 95'000±15'000 тонн нефтяного эквивалента на квадратный километр, из них каменного угля – 70%, или 67'000±7'000 toe/км². Число по углю меняться уже не будет, так как добыча угля на островах закончилась.

А вот соседи британцев на противоположной стороне пролива: Франция и Бельгия, которые совместно эксплуатировали месторождения каменного угля как показано на графике из программы **Chapter 13\Graph_03_France_Belgium_Coal.py** Число тоже меняться уже не будет –

178 Вопреки распространённому заблуждению, ЮАР никогда не производила достаточно жидкого моторного топлива из угля, чтобы закрыть собственные потребности. Не меньше 60% потребной нефти импортировали со времени начала государственной статистики в 1948 году, до этого точных данных по импорту нефти нет, но достоверно известно, что коммерческого процесса «уголь-в-жидкости» в стране ещё не было.

179 Именно Бергиуса, а не Фишера-Тропша. Во время Второй Мировой Германия добывала (в границах 1937 года) 182-191 млн тонн каменного угля и ещё 260-280 млн тонн лигнита. На момент написания этой книги каменный уголь выработан «в ноль» и добывается исключительно лигнит – по 175 млн тонн в год. С 2007 года добыча сокращалась в среднем по 1.4% за год.

весь уголь выработан. Суммарная территория Франции и Бельгии – 671'207 км² (в 2.75 раза больше, чем у Британских островов), а общая накопленная добыча – всего 6'500±700 toe/км², то есть в десять раз меньше, чем у британцев. Британии сильно повезло с углём, оттого она и стала в XIX веке «кузницей планеты».



В среднем по богатой углём Британии и относительно бедных Франции и Бельгии плотность начальных извлекаемых запасов угля (65'000·242.5+6'500·671.2) / (242.5+671.2) = 22'000 toe/км². Все три страны находятся в одной климатической зоне и имеют общую историю по крайней мере со времён Великой Римской империи. Промышленное развитие тоже началось практически одновременно. Все три страны входят в число «развитых» и «цивилизованных», оттого добыча полезных ископаемых не осложнялась географической недоступностью или удалённостью от промышленных центров. Все три страны выработали месторождения «в ноль», значит, запасы окончательные и «обжалованию не подлежат». Число 22'000 toe/км² даёт нам очень грубую оценку общих начальных технически извлекаемых запасов угля на планете Земля. Отбросив покрытые ледниками Гренландию[180] и Антарктиду, площадь суши (с прилегающим шельфом) 134.2 млн км². Если плотность угля как во Франции и Бельгии, получается 870 млрд toe, если как в Англии – то 8'700 млрд toe. «Среднее», тем не менее, лежит не посередине: 134.2·22 = 3'000 млрд toe[181]. Это число практически идеально

180 На островах и побережье Гренландии с 1924 г. добывали уголь! Например, шахта Квиллисат была выработана «в ноль» и закрыта в 1972. Под ледником никто копать отчего-то не захотел. В выработанной шахте Свалбард теперь размещено самое крупное в мире хранилище семян культурных растений. С точки зрения мировой статистики, однако, Гренландия не представительна. Ледник вряд ли растает до наступления следующего ледникового периода.

181 В блоге написали: «…насчёт пластов мощностью в 10 сантиметров, то я думаю что они такая же редкость, как и пласты мощностью в 100 метров (если распределение нормальное)». Если бы

соответствует глобальной оценке USGS из далёкого 1945 года: если принять пересчётный коэффициент в 0.6 toe/т (грубо между суббитуминозным и битуминозным рангами) получится ровно 5'000 млрд метрических тонн угля.

Оценка 22'000 toe/км² – вероятно оптимистическая. Есть масса стран, где уголь интенсивно искали, но вообще не нашли годных к разработке месторождений. Если крупная территория (размером с Россию, Китай или Индию) имеет начальные запасы на квадратном километре существенно выше, чем 22'000 toe/км², вряд ли стоит такой геологии доверять.

В Российской империи уголь искали и добывали, как показано в программе **Chapter 13\Graph_04_Russian_Empire_Coal.py**



В Польше накопленная добыча угля с 1897 по 2017 годы – 11.9 млрд тонн, то есть на одном квадратном километре площади – 22'900±2'300 toe. Запасы по данным «*BP*» 2018 года – 25.8 млрд т. Если прогноз «*BP*» сбудется, то плотность начальных запасов угля в Польше – 72'500±20'000 toe/км², то есть (в пределах погрешности) столько же, сколько было в Великобритании. Существенно больше не получится. Польша изучена вдоль и поперёк, новых месторождений открыто уже не будет.

Соседка Польши по Российской империи – Финляндия – имеет сравнимую

распределение было нормальным, то да. В геологии, тем не менее, распределение сдвинутое, чаще близкое к логнормальному, оттого «дерьмище» – не смейтесь, это сленг – по 10 см встречается гораздо чаще, чем стометровые пласты (а как хотелось бы наоборот!) О том, что тонкие пропластки угля можно увидеть чуть ли не в любой нефтяной скважине примерно на тех же глубинах, что и нефть, вам может поклясться любой буровой мастер. Конечно, «месторождениями» такие пласты не считаются, а вот опасной зоной при бурении – несомненно.

площадь (338 тыс км² против 313 тыс км² у Польши). Страна стоит на гранитах и гнейсах, а эпизодический осадочный чехол формировался ледниками, по геологическим меркам – практически вчера. Зато по интрузивам упорно бегали геологи, отыскав кучу полезных руд, так что геологическая изученность – «детальная». Существенных запасов угля в Финляндии не было. Суммарная плотность извлекаемых запасов угля в Польше и Финляндии – 35'000±10'000 toe/км², на 50% больше, чем наше условное «англо-французское среднее» 22'000 toe/км².

Теперь добавим к имперской картине 14 союзных республик бывшего СССР. Вряд ли кто-то поверит, будто добывать уголь в Узбекистане и Украине сложнее, чем на просторах Восточной Сибири. Сложность добычи угля в Казахстане сравнима с российским Кузбассом. Три упомянутые республики имеют суммарные запасы в 61.5 млрд тонн, остальные одиннадцать – всего 1.5 млрд тонн. Накопленная добыча вместе с Польшей и Финляндией к 2017 году – 30 млрд тонн, плотность начальных запасов – 3'000±300 toe/км². Если будут извлечены все запасы, как в таблицах «*BP*», на территории 16 стран получится суммарно 120 млрд тонн с территории размером с половинку КНР – 5.96 млн км², а плотность начальных запасов – 120'000/5.96·0.6 = 12'000±2'400 toe/км². Геологическая изученность союзных республик бывшего СССР варьирует от «высокой» в Казахстане и Туркменистане до «детальной» в остальных. Поверим геологам на слово, что Одесса и Рига – не Донбасс. Как видим, добавление всё бóльших территорий с удовлетворительной геологической изученностью всё так же неизбежно толкает нас к числу порядка 12'000 toe/км², то есть оценке USGS 1955 года.

Наконец, если добавить в расклад Россию, по кумулятивной добыче получается пока очень низкая плотность: всего 1'400 toe/км². С огромной территории бывшей Российской империи – 23.1 млн км² (17% площади суши, исключая Антарктику и Гренландию) добыто всего 53.6 млрд тонн угля, в то время как с 9.5 млн км² в США – 76.5 млрд тонн. Из общего количества угля, добытого на территории Российской империи, крохотная Польша добыла более 22%, а республики без России – 34%. Конечно, это из-за того, что многие месторождения угля в России плохо доступны географически и находились (или всё ещё находятся) в необжитых краях. Подтверждённые запасы России по состоянию на 2015 год (отчёт «*BP*» 2015 года) – 107.9 млрд т лигнита и суббитуминозного угля и 49,1 млрд т битуминозного угля и антрацита[182]. В том же 2015 году доклад Е.А.Киселёва давал значения по категориям A+B+C_1 195.4 млрд тонн и C_2 – 78.6 млрд тонн, из которых суммарно 53.3% – лигнит, 25.2% – суббитуминозных, 18.2% – битуминозных, 3.3% – антрацит[183]. Если добавить к добыче России эти запасы, то всего с территории Российской империи будет добыто между 300 и 420 млрд тонн, а начальная плотность

182 Или 90.7 млрд т + 69.6 млрд т по отчёту «BP» 2018 года.

183 «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2014 г.» Государственный доклад / гл. ред. Е. А. Киселёв ; Минприроды России. — М. : Минерал-Инфо, 2015. В свободном доступе нет, цитируется по источнику: «Добыча и обогащение угля», Москва, Бюро НДТ, ИТС 37-2017.

запасов – между 8'000 и 11'000 toe/км², что вдвое-втрое меньше 22'000, насчитанных для Великобритании, Франции и Бельгии и несколько ниже среднемировой оценки USGS 1955 года.

По состоянию на декабрь 2014 года USGS и EIA[184] совместно оценивали извлекаемые запасы угля в США 254 млрд «коротких угольных тонн», то есть 230 млрд метрических. Запасы угля в мире оценивались в том же году 1'122 млрд тонн с распределением по странам мира как в таблице ниже. Для сравнения приведены данные из таблиц «*BP*» за 2015, 2017 и 2018 годы:

Страна / Территория					Накопленная добыча к 2017 году, млрд тонн	Оценка начальных извлекаемых запасов, млрд тонн		Площадь, млн км²	Оценка плотности запасов угля, тысяч toe/км² при 0.6 toe/т	
	EIA, 2014	BP, 2015	BP, 2017	BP, 2018		Мин.	Макс.		Мин.	Макс.
КНР	258	115	244	139	66	181	324	6.443	16.9	30.2
США	230	237	252	251	77	307	329	9.525	19.3	20.7
Россия	157	157	160	160	23	180	420	17.098	6.3	14.7
Австралия	101	76	145	145	30	106	175	7.692	8.6	13.7
Индия	90	61	95	98	28	89	126	3.287	16.2	23.0
Индонезия		28	28	23	5	28	33	1.910	8.8	10.4
Всего 6 стран	864	674	924	815	229	891	1407	45.995	11.6	18.4
ВСЕГО в мире	1122	892	1139	1035	350	1242	1489	134.165	5.6	6.7

Суммарная добыча каменного угля в США с 1800 года – 48 млрд toe. При площади территории в 9.525 млн км², получается по фактической кумулятивной добыче 5'000 toe угля с квадратного километра. Это в 13 раз меньше, чем добыто по факту в Великобритании и на 25% меньше, чем добыто по факту во Франции и Бельгии. Геологи USGS заявляют, что по абсолютным тоннам извлекаемые запасы угля в США выработаны на 23-25% – смотрим таблицу выше. Если же считать по чистой энергии, то выработано около 40%. Основную массу остаточных запасов угля (230-250 млрд тонн, то есть 115-130 млрд toe) составляют в основном малоценные суббитуминозный уголь и лигнит. В России, кстати, ситуация ничуть не лучше: низкие ранги угля – ¾ подтверждённых запасов (см. статистику выше). Если верить USGS, конечная плотность извлекаемых запасов каменного угля и лигнита на территории США составит порядка 20'000 toe/км². Оценка, скорее, оптимистическая, но в честных пределах 22'000 toe/км², что мы насчитали выше.

Общая оценка начальных извлекаемых запасов в мире, по данным USGS/EIA 2014 года – 1470 млрд тонн, или 800 toe, что вдвое ниже значения, принятого Хаббертом в 1956 году (на основании данных той же геологической службы

184 Скачано с https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=coal_reserves в июне 2018 г.

USGS). Согласно последней оценке USGS, средняя плотность экономических запасов угля на суше, исключая Антарктиду и Гренландию, – 6'000±600 toe/км².

Низкие значения запасов в основном за счёт Южной Америки и Африки. Их суммарные запасы, согласно отчёту «*BP*» 2018 года, 28 млрд тонн при общей территории континентов 48.2 млн км², то есть плотность начальных извлекаемых порядка 400 toe/км². Аналогично состояние дел в географически доступной и хорошо изученной Мексике: 1.2 млрд тонн подтверждённых запасов и 0.4 млрд т накопленной добычи с территории 2.0 млн км² (в семь раз больше Польши). Плотность начальных запасов – 500±100 toe/км². Добыча угля в Мексике прошла пик в 2011 году и с тех пор снижается по 10% в год.

Читатели блога любезно указали на статью на веб-странице Pronedra.ru[185], где вроде бы говорится, что запасы угля в России превышают 5'700 млрд тонн, да ещё есть 141 млрд т в «Донбасснаше». Приведём цитату с этой страницы:

Ленский бассейн, Россия (1,647 трлн тонн)

В Якутии и частично в Красноярском крае расположился второй из самых крупных в мире угольных бассейнов — Ленский — с запасами в 1,647 трлн тонн бурого и каменного угля. Основная часть блока находится в бассейне реки Лены, в районе Центральноякутской низменности. Площадь угольного бассейна достигает 750 тыс. квадратных километров. Как и Тунгусский бассейн, Ленский блок изучен в недостаточной степени из-за труднодоступности района. Добыча осуществляется на шахтах и разрезах. На Сангарской шахте, закрытой в 1998 году, спустя два года начался пожар, который не потушен до сих пор.

Ну конечно, автор статьи врёт! Запасы Ленского составляют вовсе не 1,647 трлн тонн, а целых 1,658! Во скока! Но если без шуток, если увидите где-то, что «перспективные запасы»[186] даны с четырьмя значащими цифрами, как, например «1,647 трлн т» для Ленского бассейна, бегите от таких «экспертов» как от чумы. Перед вами автоматически туфта. Мы и подтверждённые-то запасы знаем, в лучшем случае, до двух значащих, чего уж там говорить о перспективных.

Поверим на секунду числам из статьи и воспользуемся калькулятором. Площадь Ленского бассейна несколько больше суммарной площади Польши и Финляндии – 0.75 млн км². Плотность запасов при этом – 1'650'000 / 0.75·0.6 = 1'300'000 toe/км². Под каждым квадратным километром Ленского бассейна должно лежать 2.2 млн тонн угля, а под каждым квадратным метром, соответственно, – 2.2 тонны. При плотности угля порядка 1.5 г/см³, везде должен находиться пласт мощностью полтора метра. Если реальные месторождения занимают около 6% территории бассейна, как в Великобритании или Польше, то мощность пластов угля в месторождениях должна достигать 1.5/0.06 = 25 метров. Это вполне возможно геологически, но лишь в уникальных условиях. Обнаружить такое богатство равномерно и

185 Скачано с https://pronedra.ru/coal/2017/03/15/krupneyshie-ugolnye-mestorozhdeniya-mira/ в июне 2018 г.

186 Словосочетание «перспективные запасы» придумал не я, а автор с Pronedra.ru, а ещё вероятнее – кто-то до него. Правильный термин: «прогнозные ресурсы» либо просто «ресурсы». Лучше, правда, использовать литературный термин «~~героическое~~ геологическое фэнтези».

щедро рассыпанным на территории размером почти в четыре Великобритании – довольно маловероятно.

Но ладно бы автор сказал, что вот есть такой уникальный Ленский бассейн, где угля возможно больше, чем на всём остальном земном шаре, и на этом поставил точку. Нет! У нас есть ещё Тунгусский бассейн, Таймырский бассейн, и так далее. США автор статьи отводит «скромные» 650 млрд тонн или 33'000 toe/км². В огромной стране – как в одном Кузбассе. Но, конечно, Сергей Зеников знает лучше геологов USGS, насчитавших 230 млрд тонн. Германии автор «подарил» перспективные в 287 млрд тонн, в 8 раз больше немецких подтверждённых запасов.

На всякий случай дадим карту прогнозные ресурсов[187] по категории P_1 (тут речь о российских категориях запасов, а не о международном обозначении «1P»). В Ленском бассейне много. Очень много. 31 млрд тонн. При существующем уровне добычи порядка 400-500 млн тонн в год этого хватит стране на 60 лет с хвостиком. Даже если Кузнецкий, Канско-Ачинский, Иркутский, Тунгусский, Таймырский, и так далее по списку добывать совсем не будут.



Геологи вероятно обратят внимание на о. Сахалин, где никакого угольного бассейна не нарисовано. Между тем, он там точно был. Именно сахалинский «кардифф» добывали каторжники, о которых писал Чехов. Уголь на Сахалине уже выработан, осталось несколько разрезов «на местные нужды»[188]

187 «Добыча и обогащение угля», Москва, Бюро НДТ, ИТС 37-2017

188 Ещё одна жертва раздутых запасов – Подмосковный буроугольный бассейн. Добыча в 1959 году составляла 46.7 млн тонн. Последняя шахта была затоплена в 2010 году. Сейчас в бассейне работает

Могут возразить, что помимо P_1 существуют ещё P_2 и P_3, и даже приведут числа: 735'374 и 2'545'175 млн тонн. Именно так, с точностью 6-7 знаков, что само по себе говорит, что это фантазии поверхностно знакомых с геостатистикой бюрократов от геологии. Если на всей территории Российской империи, вместе с Польшей и Финляндией, извлекаемых запасов было бы как в Великобритании, то получилось бы меньше суммы P_2+P_3: $70'000 \cdot 23 \cdot 10^6 / 0.6 \approx 2'700'000$ млн т. В Польше, скорее всего, плотность запасов – как в Британии, однако в Финляндии – точно нету, в Карелии – бесполезный шунгит есть, а угля нету, на Сахалине было немножко, да всё уже выработано... список «где точно уже нету» можно продолжать до бесконечности. Ясно, что 2.7 триллионов случиться никак не может, а вы говорите: 4 триллиона тонн?

Для пояснения, отчего не стоит тупо складывать запасы 3P, решим не-школьную задачку:

Дано:

1. *Месторождение Большая Пупыра в гор. Мухолётов Запупыринской области. Доказанные начальные геологические запасы 100 млн тонн угля (оценка 3P). Месторождение не разрабатывалось.*
2. *Месторождение Данахервам в 100 км от гор. Триполи. Доказанные начальные геологические запасы 200 млн тонн угля (оценка 3P). На месторождении есть шахта, кумулятивная добыча на 2015 год 22 млн тонн.*

Найти:

Суммарные геологические запасы угля Большой Пупыры и Данахервама (оценка 3P) в 2015 году.

Решаем на калькуляторе! В бассейн втекает, из бассейна вытекает… 100+200-22 = 278 млн тонн. Ответ готов!

«Внимание, правильный ответ», – как говорят в одном интеллектуальном клубе. Оценки 1P, 2P и 3P подробно разбиралась в главе 8. «3P» означает: «С вероятностью 10% в месторождении есть *больше* X запасов». Вероятность, что в Большой Пупыре больше 100 млн т, – 10%, вероятность, что в Данахерваме (изначально) больше 200 млн т, – тоже 10%, а вероятность, что в обоих больше 300, – примерно[189] $0.1^2 = 1\%$. Месторождения специально выбраны далеко друг от друга и в заведомо разных геологических условиях, оттого вероятности независимы. Приблизительный ответ звучит так: «Суммарные остаточные запасы Большой Пупыры и Данахервама – 280 млн тонн (оценка P-01)». Проблема в том, что оценка P-01 никому не нужна! Вы сядете в такси, если водитель говорит, что вероятность доехать до цели, – около 1%? И в задаче вас спрашивали конкретно про оценку 3P, а не про абстрактную сферическую P-01.

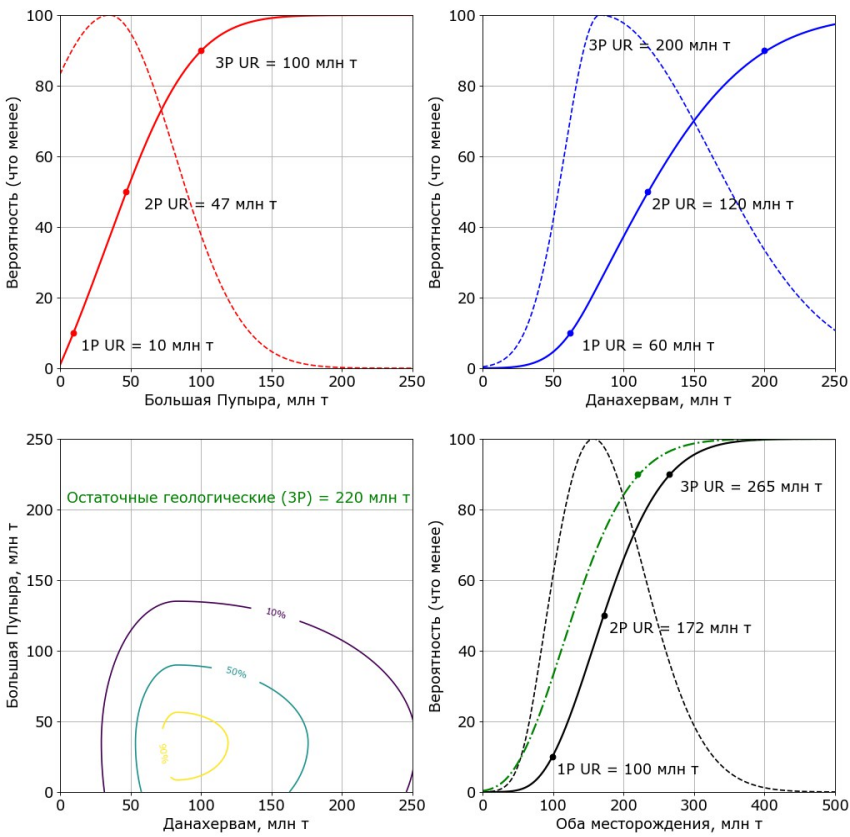
один драглайн и одна самоходная лопата в с. Петрушино, уголь в количестве менее 1 млн тонн в год поставляется только на Рязанскую ГРЭС. Общая добыча в бассейне с 1772 года – 1.6 млрд тонн с площади 0.120 млн км². Плотность добытых по факту ресурсов не превышает 5'000 toe/км². Остаточные балансовые запасы в количестве 3.8 млрд тонн вероятно никогда не будут добыты.

189 Точное значение вероятности надо считать численно.

Если попробовать решить задачку правильно, нам сильно не хватает данных. Надо учитывать площадь месторождений и геологическую изученность. Допустим, мы эти данные как-то получили – послали Бонда, Джеймса Бонда, и выкрали из соответствующих сейфов. Распределение вероятностей как показано в программе **Chapter 13\Graph_05_Probability.py** , а $КИ_т$ в Данахерваме – от 40 до 50% (КИ на Пупыре нам не понадобится, там не добывали пока). Сплошной линией представлено распределение вероятности, а пунктирной – нормированная плотность вероятности, то есть производная.

Категория запасов	Большая Пупыра, млн т	Данахервам, млн т	Арифметическая сумма, млн т	Вероятностная сумма, млн т
Начальные 1P	10	60	70	≈ 100
Начальные 2P	47	120	167	≈ 172
Начальные 3P	100	200	300	≈ 265
Добытые	0	22	22	22/0.5 = 44
Остаточные 3P			278	≈ 220

Распределение вероятностей двух месторождений, 2015 год



Исходя из наших допущений, суммарные остаточные геологические запасы (3Р) по двум месторождениям вовсе не 278 млн тонн, как мы посчитали на калькуляторе а, неожиданно, 220. Заметим, что величину накопленной добычи 22 млн тонн нам также пришлось поделить на КИ, и оттого получилось 44 млн тонн «использованных» геологических запасов, как показано зелёной штрих-пунктирной линией на графике.

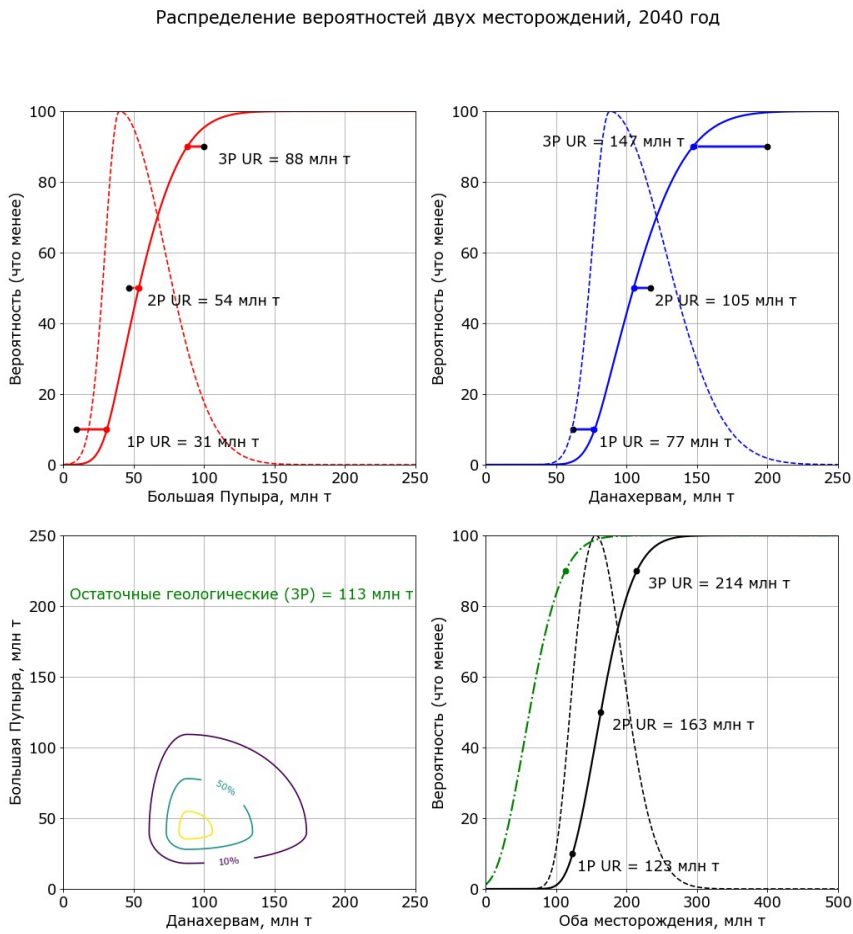
Если бы распределение запасов было строго нормальное, то оценки 2Р можно было бы просто складывать. В геологии, однако, нормальное распределение – редкость. Например, оттого что на Данахерваме мы уже добыли по факту 22 млн тонн, восходящая ветвь графика плотности вероятности крутая. Действительно, начальные геологические запасы менее 22/КИ быть никак не могут. Поэтому даже для оценки 2Р честное численное интегрирование плотности вероятности и сложение на калькуляторе дают немного разные величины: 172 и 167 млн тонн соответственно. Есть и позитивный момент: арифметическое сложение консервативных оценок 1Р – слишком пессимистично. Действительно, вероятность того, что на Пупыре будет менее 10 млн тонн, – 10%, и вероятность, что на Данахерваме будет менее 60 млн т, – тоже 10%. Вероятность обнаружить на независимых месторождениях в сумме менее 70 млн тонн – примерно $0.1^2 = 1\%$.

Теперь предположим, что прошло 25 лет. Шахта Данахервама продолжила геройски рубить уголёк, кумулятивная добыча теперь – 40 млн тонн. На Большой Пупыре открылся угольный разрез, суммарная добыча 16 млн тонн, КИ = 75% (при добыче экскаватором и самосвалами). Пошуршав в сейфах угольных компаний, командор Бонд принёс нам новые секретные циферки:

Категория запасов	Большая Пупыра, млн т	Данахервам, млн т	Арифметическая сумма, млн т	Вероятностная сумма, млн т
Начальные 1Р	31	77	108	≈ 123
Начальные 2Р	54	105	159	≈ 163
Начальные 3Р	88	147	235	≈ 214
Добытые	16	40	56	40/0.5+16/0.75 = 101
Остаточные 3Р			179	≈ 113

В том, что оценка 2Р (она же Р-50) за 25 лет на Пупыре сдвинулась вправо, а на Данахерваме – влево, никто не виноват. Вы дважды подбросили монетку. Кто виноват, что выпал один орёл и одна решка? В том, что оценки 3Р синхронно сдвинулись влево, а оценки 1Р – вправо, виноваты угольщики. Если бы проклятые не рыли землю своими машинами, то оценка так бы и осталась, как была в далёком 2015 году. Но поскольку вместе с добычей росла геологическая изученность, оценки пришлось пересчитать по факту. В том, что оценка 1Р потихоньку растёт, а оценка 3Р потихоньку снижается, а вместе они сходятся к 2Р – нет ничего нелогичного, просто математика. В качестве лирического отступления, во многих странах государственные органы любят,

когда все геологические оценки растут, но очень не любят, когда снижаются. Поэтому компании часто не меняют в отчётах старые оценки 3P, несмотря на получение новейших данных. «Верхние» оценки как бы «замирают». Положим, однако, что в нашем примере заведомой подтасовки нет. Нарисуем результат программой **Chapter 13\Graph_06_Probability.py**



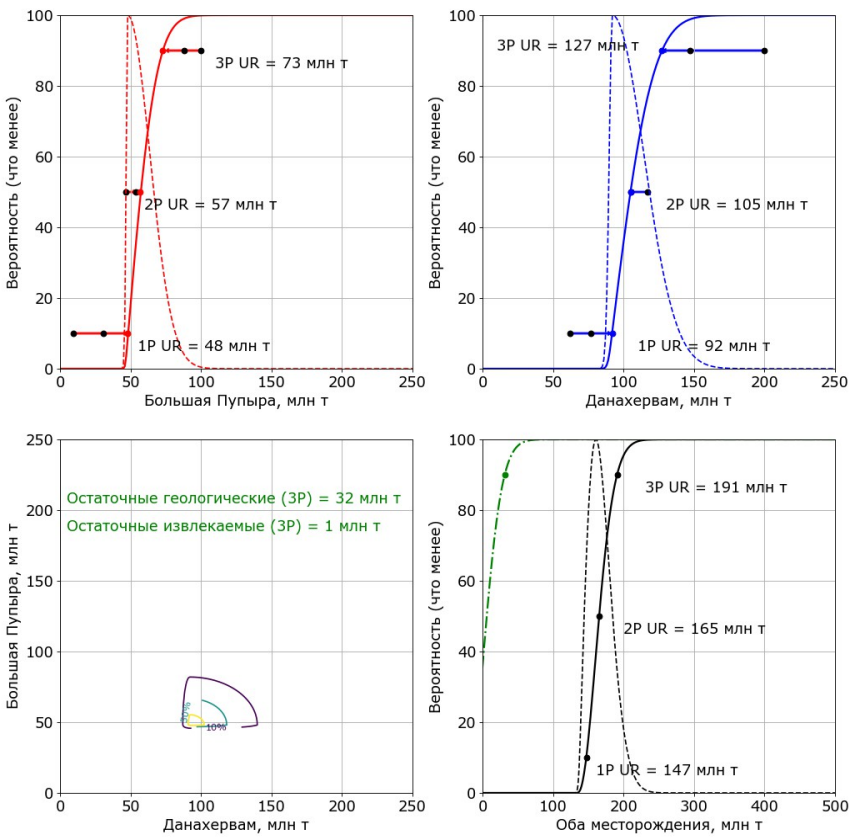
Прошло ещё двадцать лет, на дворе 2060 год. Суммарная добыча Большой Пупыры достигла 45 млн тонн. Экскаватором там делать больше нечего, оттого шесть лет назад я пошёл в Мухолётовскую среднюю школу и освободил местных Корчагиных от учебников. Теперь парни и девчата с лопатами и корзинками собирают необходимый городу уголёк, но отвозим по-прежнему самосвалами. Коэффициент извлечения с использованием ручного труда достиг 83%, и мой бухгалтер уверяет, что это не предел. Если подключим к добыче ещё и Мухолётовскую начальную школу и перейдём к перевозке на велосипедах, можно и 86% собрать. Этого угля нашим буржуйкам (но не сталеплавильному заводу) хватит на много сотен лет.

Шахта «Данахервамская» в 2055 году закрылась, добыв по сумме 60 млн тонн угля. Фактический КИ = 57% (горные инженеры в 2015 году были

пессимистами). Возить уголь за 100 км вполне рентабельно, но местные законы отчего-то запрещают рабский труд, да если бы и можно было послать в шахту рабов (за еду), на глубине 800 метров без расходов на крепь, инструмент, оборудование, электричество – много не нарубишь. Престарелый генерал Бонд приносит нам новые циферки, как показано программой **Chapter 13\Graph_07_Probability.py** :

Категория запасов	Большая Пупыра, млн т	Данахервам, млн т	Арифметическая сумма, млн т	Вероятностная сумма, млн т
Начальные 1P	48	77	125	≈ 147
Начальные 2P	57	105	162	≈ 165
Начальные 3P	73	147	220	≈ 191
Добытые	45	60	105	60/0.57+45/0.83 = 159
Остаточные 3P			115	≈ 32
Остаточные извлекаемые				≈ 1

Распределение вероятностей двух месторождений, 2060 год



Теперь самое время сравнить результаты нашей бурной деятельности с оценками 2015 года. Оценка 2P была 167 млн тонн тупо на калькуляторе и 172 млн тонн численно. По факту добыто 105 млн тонн, то есть КИ = 62%. На Большой Пупыре КИ = 45/47 = 95%. Заметим, никаких новых технологий мы не вводили, просто нам немного повезло с запасами, и мы перешли к ручной добыче. На Данахерваме КИ = 60 / 120 = 50%, как в аптеке. Заметим, что геологическая вероятность там сыграла немного не в нашу пользу.

Если же сравнивать полученный уголь с арифметической оценкой 3P, то получится, что мы добыли лишь 35% от подсчитанного угля. Оказывается, в 2015 году остаточных извлекаемых запасов было не 278 млн тонн, и даже не половина этой величины – 139 млн тонн, – а всего 83 млн тонн.

В численном примере мы использовали оценки 3P (P-10). Российские категории запасов/ресурсов P_1 – это не P-10, а грубо P-03. Категория P_3 – это грубо P-003. Вероятность того, что на территории России есть 5.7 триллионов тонн геологических запасов угля, составляет приблизительно 0.03^7 – около двух миллиардных процента. С тем же успехом вместо чисел P_2 = 735'374 млн т, P_3 = 2'545'175 млн т можно писать: P_2 = 1'234'567 млн т, P_3 = 3'456'789 млн т. Тоже высосано из пальца, зато красивее.

Но если журналисты внезапно начали свистеть народу в уши про потенциальные триллионы тонн угля, которых хватит России на десять тысячелетий, может быть стоит задуматься: не являются ли «подтверждённые запасы» угля в менее удалённых от цивилизации районах туфтой?

В середине 2010 года геологи Тадеуш Пазек (из Университета Техаса в Остине) и Грегори Крофт (из Университета Калифорнии в Беркли) совместно выпустили странную, и, не побоимся этого слова, вредную статью[190]. Программа **Chapter 13\Graph_08_Patzek_Croft_Coal.py**

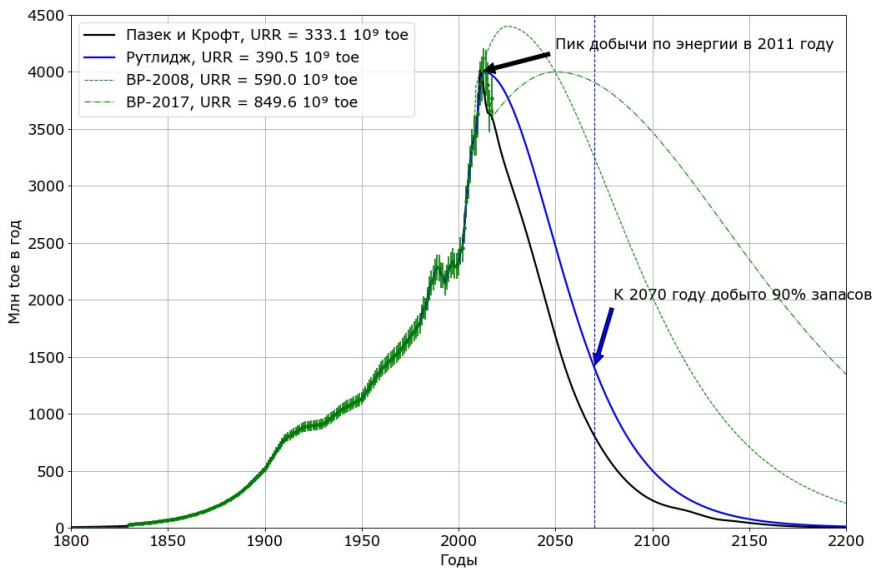
Учёные доказывали, подумать только, что начальные экономически извлекаемые запасы энергетического угля на планете Земля исчисляются не 1'600 млрд toe, как считал Хабберт, не 850 млрд toe, как считала «*BP*» в 2017 году, и даже не 590 млрд toe из отчёта «*BP*» 2008 года, а «всего лишь» 330-340 млрд toe. Основание для такой подмены простое – учитывается только уголь, который можно добывать механизированным способом в карьерах или шахтах. То, что можно нарубить из десятисантиметровых пропластков кайлом (возможно с использованием детского труда, как на картинках выше) – «экономическим ресурсом» не считается.

Пазек и Крофт предсказывали пик добычи угля в 2011 году на уровне 4'000 млн toe. По факту получилось 3'980±200 в 2012, и спад не такой жуткий, как у американских геологов. Очевидно, оценки реальной производительности ~~индийских девочек~~ китайских шахтёров слегка занижены.

190 Tadeusz W.Patzek, Gregory D.Croft, **A global coal production forecast with multi-Hubbert cycle analysis**, Energy, vol 35, issue 8, pp 3109-3122.

За год до мирового пика угля статьёй отметился и горный инженер Дэйв Рутлидж из знаменитого «Калтеха»[191]. По данным добычи в 14 регионах мира он подсчитал начальные извлекаемые запасы угля между 650 и 750 млрд тонн, с наиболее вероятным значением 680 млрд тонн, что соответствует 390 млрд toe. По мнению автора, 90% экономически извлекаемого угля будет добыто к 2070 году.

Добыча каменного угля - предсказание Т.Пазека и Г.Крофта, 2010

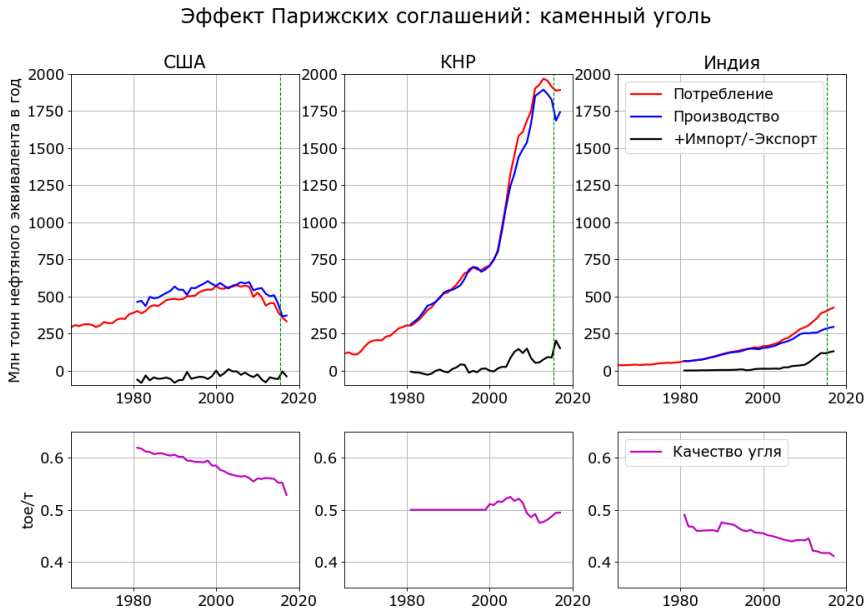


Для сравнения на том же графике приведены оценки «*BP*» из отчётов 2008 и 2017 годов. Последний отчёт полагает, что добыча угля будет оставаться на «полочке» между 3'800 или 4'000 млн toe в год вплоть до конца XXI века.

В самом конце 2015 года, на 21-й Конференции по Климату в Париже представители 196 стран разработали рамочное соглашение о снижении выбросов парниковых газов. Высокие стороны договорились не жечь лишний уголь... ну или хотят, чтобы мы в это верили. Посмотрим, как обстоят дела с добычей и сжиганием угля в реальности (данные «*BP*»). Программа **Chapter 13\Graph_09_Paris_Accord_Coal.py**

На момент подписания соглашения в апреле 2016 (пунктирная линия), добыча в США и КНР уже падала как кирпич. Добыча в Индии росла за счёт низкокачественного угля: 0.41 toe на тонну – это ближе к лигниту, чем к суббитуминозным сортам (торфяников в Индии нет – климат не располагает). Индийские «подтверждённые запасы антрацита и битуминозного угля» в 92 млрд тонн из отчётов «*BP*» 2017 и 2018 годов – из области негодной фантастики. Очень странно и грустно, что уважаемая компания эту откровенную ложь публикует.

191 David Rutledge, **Estimating long-term world coal production with logit and probit transforms**, International Journal of Coal Geology 85 (2011) 23–33



В июне 2017 новый президент США Дональд Трамп объявил о выходе своей страны из Парижского соглашения такими словами (перевод мой):

Например, по этому соглашению, Китай сможет увеличивать свои выбросы в течение невероятно долгого времени: целых 13 лет. Они будут делать что хотят целых тринадцать лет. Мы – нет! Индия согласилась участвовать в соглашении на условии получения многих миллиардов долларов помощи от развитых стран. Есть и другие примеры. В сухом итоге, Парижское соглашение чрезвычайно несправедливо для США.

Далее, это соглашение блокировало развитие «чистого угля» в Америке. Мы покончили с этим, и угольные разрезы в США начинают открываться снова. Через две недели у нас у нас будет открытие нового разреза – неслыханное дело уже многие, многие годы! [М.Я.: президент не соврал, новый разрез в Пенсильвании ввели в строй. Глубиной 40 м, с запасами 5 млн тонн коксующегося угля[192]. Америке этого угля хватит на целых 4 дня! И к Парижскому соглашению ввод разреза отношения не имеет; нормальный план разработки, утверждённый ещё при Рейгане.] Пенсильвания, Огайо, Западная Вирджиния, много других мест. Горняки просили меня возродить американскую угольную промышленность – я обязан попробовать.

[В соответствии с соглашением,] Китаю можно строить сотни новых угольных ТЭС. Им можно, а нам – нельзя? Индия к 2020 году собирается нарастить добычу угля вдвое [М.Я.: Если считать по массе – нарастят непременно. По энергии – в лучшем случае увеличат на 30%, далее добыча рухнет]. Подумайте над этим: Индия может удвоить добычу угля, а Америка должна от собственного угля отказаться?[...][193]

Ну а пока Трамп обсуждает, Китай и Индия удерживают потребление угля за счёт импорта. Крупнейшим донором высококачественного угля, как энергетического, так и металлургического, является Австралия. При добыче в 2017 году 297.4 млн toe (на третьем месте после Китая и США), страна экспортировала 255.1 млн, главным образом в Индию и Китай. Австралии крепко помогает Индонезия: 214.4 млн тонн «условной нефти» в год. Для сравнения, Россия в том же году вывезла «всего» 114 млн toe.

192 http://pittsburgh.cbslocal.com/2017/06/01/somerset-county-acosta-coal-mine/
193 https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/statement-president-trump-paris-climate-accord/

Конечно, помимо угля, что добывают в карьерах и шахтах, в наличии запасы угля, которые можно добыть с подподвывертом. Метод существует с 1868 года (это не описка) и называется подземной газификацией угля – ПГУ (underground coal gasification – UCG). В разработке поучаствовали такие светила как сэр Уильям Сименс, Дмитрий Менделеев и ещё один сэр – лауреат Нобелевской премии химик Уильям Рамзай. В 1912 году В.И.Ленин тиснул статью в подпольной «Правде» насчёт того, как новейшая технология освободит, наконец, шахтёров от ужасающих условий труда. «Новейшей технологии» в том году стукнул ровно полтинник!

Идея проста как грабли. В угольный пласт бурится несколько скважин, в центральную закачивается воздух, пласт поджигают, и в остальные скважины начинает поступать «светильный газ» – ацкая смесь водорода, окиси углерода, метана, сернистого газа, сероводорода и паров скипидара. Далее смесь быстренько используют: окись углерода (CO) и сероводород (H_2S) – отравляющие газы! Полученный газ нужен для химии или производства электричества.



На деле «гладко было на бумаге». Ну или в «Детской энциклопедии», как на картинке выше. В реальности прокачивать достаточное количество воздуха через скважины не представлялось возможным, оттого в 1935 году в Головке попробовали другой метод: в пласт пробивается шахта со штреком для подачи воздуха, а из нескольких скважин выходит газ. Мечта Ленина об устранении опасностей для шахтёров, как видим, не сбылась, но появилась хоть какая-то надежда на рабочую технологию.

На деле всё равно получилось плохо. Подземная выработка – не химический реактор. Подал побольше воздуха – уголь горит, но на поверхность выходит не

светильный газ, а углекислый. Он нам бесполезен. Подал чуть меньше – горение прекращается, а поджигать снова тяжело. Выход полезной энергии в светильном газе – не более 15% от энергии угля в пласте. Но самая главная проблема: по мере выгорания угля пласт начинает обваливаться, возникают трещины до самой поверхности – и ядовитый светильный газ вылетает в атмосферу, а более тяжёлые фракции загрязняют источники воды.

В 1936 году контора «*Подземгаз*» отчиталась об успехе эксперимента, хотя прорыва в стоимости газа не произошло. По данным той же конторы, себестоимость светильного газа от подземной газификации составляла 46-51 копейку за 100 м³, а светильный газ гарантированного качества с промышленных реакторов «Демаг» стоил 70 копеек, плюс дармовое тепло для бани-прачечной. На 1937 год было запланирована постройка системы подземной газификации в посёлке Белово Кемеровской области для нужд Беловского цинкового комбината. После провала (буквально – провала грунта в Горловке) строительство в Белово законсервировали и более не возобновляли[194]. Как видим, не Великая Отечественная остановила подземную газификацию, как любят утверждать сторонники ПГУ, а кондовая геология совместно с бдительным НКВД.

После Второй Мировой технологией занимались все, кому надо было распилить-освоить. Единственная модификация по сравнению с Горловкой – заменили центральную шахту и «огневой штрек» на направленное бурение с гидроразрывом. В США эксперименты проводились с 1947 по 1988 годы, во Франции, Испании и Бельгии – тоже до 1988, в Новой Зеландии попробовали в 1994. Китай пробует до сих пор (вроде бы целых 16 проектов), но без большого успеха. В 2015 году прошла информация, что удалые украинские парни собираются всего за $3.6 млрд американских долларов заниматься «газификацией угля»[195]. Потом, правда, сообщили, что речь всё-таки идёт о газификации уже добытого на поверхность угля в китайских химических реакторах. КНР выделила 16 млн баксов, дальше произошёл скандал с поставками в Китай украинского зерна, и «газовый проект», похоже, прекратили.

Самая последняя афера по ПГУ развернулась в Австралии. Основанная в 1996 году компания «*Linc Energy*» собиралась осчастливить всех «зелёным газом». Первые работы начались в 1999 году в городке Чинчилла (штат Квинсленд). Далее компания действовала как типичная финансовая пирамида, покупая по дешёвке всякий энергетический хлам и громко заявляя в прессе о «технологических прорывах». В 2005 купили лицензию на установку эрзац-бензина в компании «*Синтролеум*» (последняя обанкротилась и продалась в 2014)[196]. В 2006 заключили договор с ФГУПТ «*Институт горного дела имени А. А. Скочинского*» в Люберцах. В 2007 построили биореактор на ~~говне и~~

194 «Советская Сибирь», №136(5300), 1937 год.

195 http://sdtec.lg.ua/?p=2599

196 Журналисты с republic.ru спутали этот завод с установкой UCG. Впрочем, инвесторы тоже накололись. https://republic.ru/world/gaz_iz_uglya_prorochestvo_lenina_i_vysokie_tekhnologii-1021528.xhtml

~~палках~~ навозе и отходах сахарного производства.



Вместо работы в угольных забоях под землей – работа на поверхности. Правда, и людей надо меньше. Завод ПГУ компании Linc Energy в Chinchilla, Австралия

В том же 2007 объявили об инвестициях в ПГУ в Узбекистане (поди проверь, что там за инвестиции). Уважаемые Хурсанов, Якубов и Раимжанов[197] заявляют, что экспериментальная газификация угля на Ангренском буроугольном[198] месторождении достигла апогея в далёком 1965 году, когда было выработано за год 1.4 млрд м³ газа. В 2010-х годах там же на Ангренском добывали в год 330-350 млн м³ светильного газа в год, притом газ состоял в основном из азота (50.1%) и углекислоты (22.1%). Ну да, мы же туда воздух закачиваем! Из горючих газов выделялись CO (4.6%), H_2 (19.2%), CH_4 (3.0%) и H_2S (0.5%). Энергетическая ценность 3.6 МДж/м³, то есть 340 млн м³ светильного газа эквивалентны 36 млн м³ «среднего» природного газа или примерно 30'000 toe. Ангренское месторождение обеспечивает 0.08% потребности Узбекистана в природном газе! Ни о каких иностранных инвестициях авторы не упоминают. Вероятно, далее подписания соглашения о намерениях «инвестиции» австралийских лохотронщиков не заходили.

Но вернёмся к нашим баранам, то есть «*Linc*». В 2009 компания купила

197 Х.П.Хурсанов, С.И. Якубов, Б.Р.Раимжанов, «Состояние и перспективы подземной газификации угля в Узбекистане», «Горная книга»,УДК 622.74:622.33, 2012 г, сс 173-176.

198 В отчёте «*BP*» 2016 года запасы угля в Узбекистане оценивались как 47 млн т антрацита и битуминозного угля и 1853 млн т суббитуминозного и лигнита. В отчёте 2017 года: 1375 млн т антрацита и битуминозного и полный ноль суббитуминозного и лигнита. Теперь всем очевидно, что Ангренское буроугольное месторождение никогда не существовало.

выработанные залежи угля в Монтане, Вайоминге и Северной Дакоте, затем внезапно в 2010 приобрела неподтверждённые запасы природного газа на Аляске и… 12% акций производителя щелочных батареек «*AFC Energy*», с которой вместе принялись строить установку для прямого преобразования светильного газа в электричество в той же Чинчилле. В 2011 приобретены три выработанных месторождения нефти от «*Ранчер Энержи*» (она стала банкротом в 2009), 14 мелких месторождений от «*ERG*» (тоже банкрот – 2015 года), и месторождение Юмиат на Аляске от компании «*Ренессанс*». Последнее месторождение оказалось на последнем издыхании и было перепродано за бесценок компании «*Маламут*». В 2013 «*Linc*» внезапно объявило об открытии месторождения нефти на 200 млрд баррелей в Кубер-Педи (такая деревенька подземных хоббитов в штате Южная Австралия – кроме шуток; из-за жары дома строят как землянки).

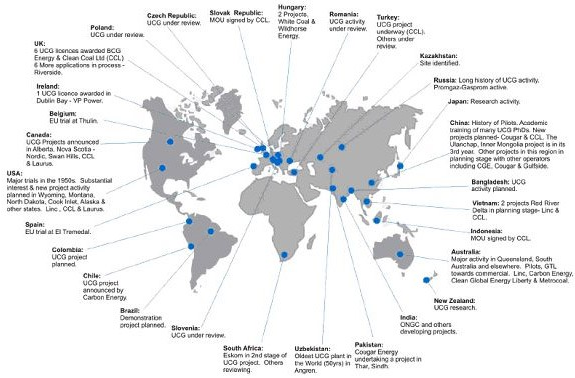
Когда после «открытия нефти» компания объявила, что уходит с австралийской биржи ASX на Сингапурскую. Конкретным пацанам всё стало ясно, и пузырь лопнул, оставив менегеров пенсионных фондов с концом. А как же подземная газификация угля? Была! Чессна слово, была! В 2014 году правительство штата Квинсленд вынуждено было отселить более 80 фермерских семей, объявив 320 км² «временно непригодными для ведения сельского хозяйства» из-за загрязнения сероводородом и угарным газом. Подземные воды вероятно испорчены бензолом, как это получилось в 1980-х в экспериментировавшей с UCG американской Монтане. Министр охраны окружающей среды Стивен Майлс назвал всё это «крупнейшим загрязнением окружающей среды в истории штата Квинсленд»[199]. Бонд, Питер Бонд – бывший глава бывшей «*Linc*» – куда-то подевался, унеся в клювике около ста миллионов капусты.

Рядом с «*Linc*» в Австралии трудилась не покладая рук компания Александера Ясона Элкса «*Моретон Ресорсес*», она же «*Пинакл Майнинг*», она же «*Кугар Энержи*». Подземной газификацией угля занимались с размахом: были проекты и в Индии, и в Китае, и в Монголии, и в Пакистане, но ни один из них не осуществлён. А вот в австралийской деревеньке Кингарой (в том же многострадальном Квинсленде) успешно зажгли! Горело с марта по июль 2010 года. Потом в питьевой воде обнаружились бензол и толуол, местные власти проявили бдительность и скомандовали прекратить работы. «*Кугар Энержи*» подала на местные власти в суд, суд продолжался до сентября 2013 и в заключение истца (не описка, у каторжников всё по понятиям – зря предъявы не кидай!) признали виновным в загрязнении окружающей среды. Элкс заплатил штраф 75'000 австралийских долларов да 40'000 судебных издержек, закрыл «*Кугар*» и удалился в свой нормальный бизнес «*MRV*», где занимается классической добычей угля и металлов. Александер Элкс известен как честный бизнесмен. Вероятно, «*Моретон Ресорсес*» просто пала жертвой ПР-компании «*Linc*», торопливо проинвестировав в туфту. Поставщик «проверенной годами технологии» – зарегистрированная в Монреале компания «*Ergo Exergy Technology*» – существует до сих пор, хотя Элкс пока безуспешно

199 https://www.theaustralian.com.au/life/weekend-australian-magazine/linc-energys-ucg-plant-at-chinchilla-a-smart-state-disaster/news-story/89096454ced60874c5d8e2e967fb9c1c

с ней судится.

На картинке ниже представлены другие места ~~с высокой концентрацией лохов~~ проектов подземной газификации угля.



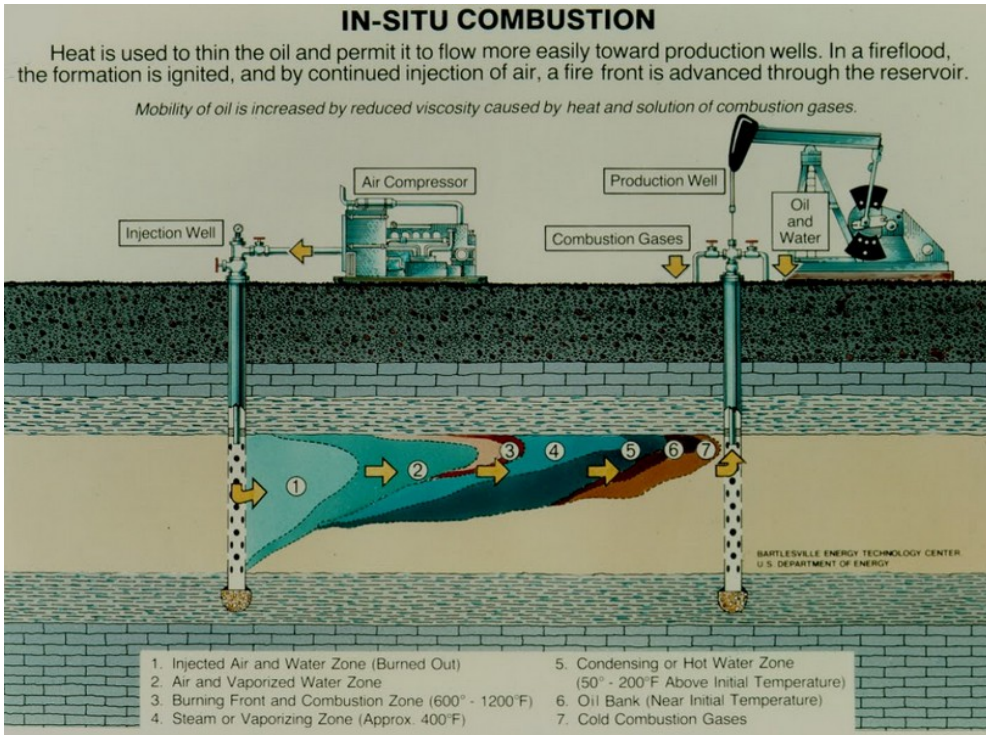
Кроме каменного угля на планете Земля есть ещё природный битум, он же «битуминозные пески», он же «нефтяные пески». По традиции компания «*BP*» добавляет битум к «жидкостям», хотя на поверхности это точно не жидкость. В естественной среде обитания природный битум представляет собой смесь очень тяжёлых и вязких углеводородов (5-25% по объёму) с песком. Запасы битума довольно значительны: до 100 млрд баррелей (технически извлекаемых) в Канаде и не менее 200 млрд баррелей в Венесуэле. Наверняка есть в России, немножко в КНР, ну и ещё по мелочи. Геологические запасы вообще огромны! В одной Канаде вероятно не менее 1.5 триллиона баррелей, то есть 200-220 млрд тонн. Проблема лишь в том, что очень трудно извлечь.

Технологий извлечения предложено масса, но кое-как работают пока лишь три.

Начнём, правда, с одной, которая точно не работает. Называлась она THAI (Toe-to-Heel Air Injection, буквально «Закачка воздуха от пальцев к пятке», то есть от забоя горизонтальной скважины к точке отхода от вертикали). Разжижение битума подземным сжиганием – запатентованный компанией «*Петробанк*» метод для извлечения тяжёлой нефти или битума. Сначала породу разогревают паром. Затем вместо пара подаётся сжатый воздух, а нефть воспламеняют. Тепло от сгорающей нефти продолжает разогревать окружающие породы до 400-500°Ц, и ещё не сгоревшая нефть стекает к добывающим скважинам. Предполагалось, что газы от сгорания помогут выталкивать нефть, и метод позволит извлечь 80-90% геологических запасов (ещё 10% – потери от сгорания). Экспериментальные работы показали, что эффект от газов незначителен, а дренаж происходит в основном под действием силы тяжести. В целом метод оказался малоэффективен и значительно дороже альтернативного метода SAGD, о котором ниже. Производя менее 160 баррелей (около 25 тонн) синкруда в день, но с многомиллионным кредитом, «*Петробанк*» к 2014 году стояла на грани банкротства и была куплена компанией «*Тачстоун*». В 2016 специалисты «*Тачстоун*» плюнули на

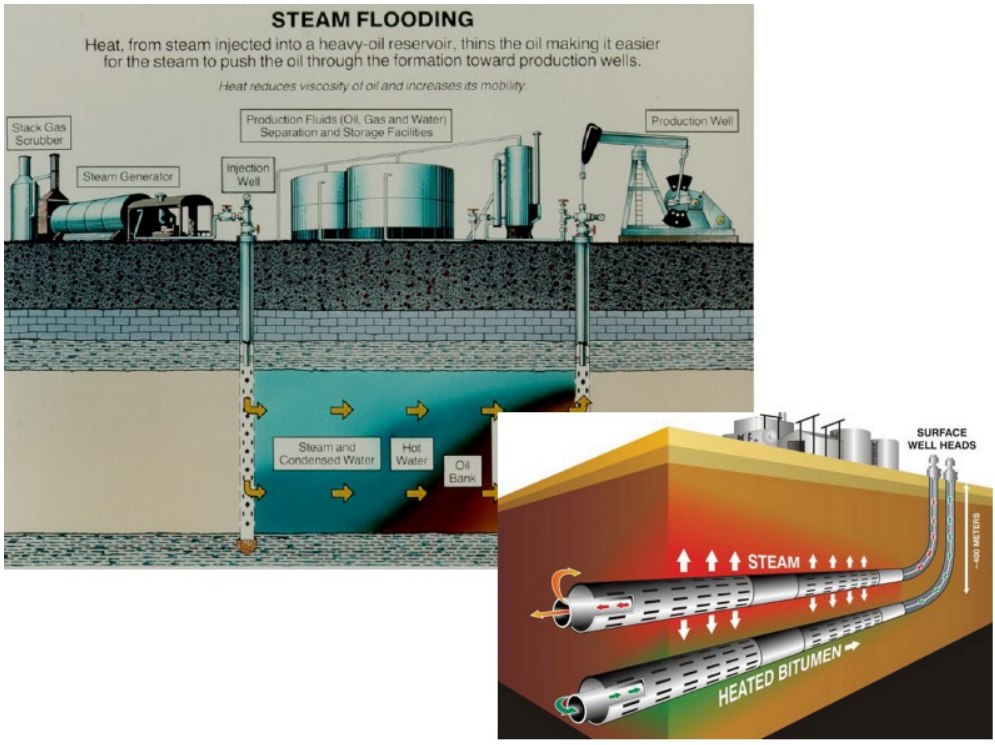
канадский битум и переключились на тайский(!) природный газ. Аббревиатура THAI помогла, наверное. Заметим, что банкротство «*Петробанк*» произошло ещё до обрушения спотовой цены нефти в 2015 году.

Вообще метод разжижения нефти сжиганием почти столь же древний, как ПГУ. Вот старинная картинка – тут скважины ещё вертикальные:



Кое-как работающий метод называется SAGD – Steam-Assisted Gravity Drainage. Это дренаж битума или тяжёлой нефти после разжижения паром. Примерно как в методе THAI бурятся две параллельные горизонтальные скважины, в нагнетательную подаётся перегретый пар. Расплавленный битум или парафинистая нефть стекают в добывающую скважину. В отличие от THAI, воздух не закачивают и нефть не поджигают, а тупо продолжают качать пар. На картинке ниже – технология с вертикальными скважинам из старинного учебника и современная конфигурация скважин. Метод работает и в Канаде, и в Венесуэле, но невероятно дорогой. Полустационарные парогенераторы обычно потребляют попутный газ – если греть воду электричеством – вылетишь в трубу. К сожалению, в битуминозных песках углеводороды, как выражаются геологи, «почти мёртвые», то есть попутного газа мало или совсем нет. Значит, к каждому парогенератору надо тащить местный газопровод и где-то искать «лишний» природный газ. В Канаде SAGD экономически эффективен, потому что лишний газ есть: и в самой Канаде, и в соседней Аляске, и в соседней Северной Дакоте. В Венесуэле пытались использовать для нагрева сам полученный битум, но выходило

плохо: парогенераторы на битуме массивные и, в отличие от газовых, требуют частого обслуживания.



Геологические параметры пласта вдоль скважины – чуть разные. Вместо того, чтобы равномерно греть породу, пар быстро находит «слабую точку» и проедает «свищ» между скважинами. Ваш парогенератор начинает тупо снабжать добычную скважину кипячёной водой вместо нефти (у воды вязкость намного ниже, чем у битума). КПД системы резко падает, а добыча битума прекращается. Существует много трюков, как «свищей» избежать, но взамен приходится ещё больше ограничивать суточный дебит[200].

Второй работающий метод извлечения природного битума – классика жанра. Технология битуминозных песков на реке Атабаске в Канаде мало отличается от добычи низкосортного угля. Сначала смелые лесорубы утилизируют растительность. Затем драглайном снимается несколько десятков метров почвы и пород, в том числе торфяники. В карьер спускают самоходные лопаты. Один черпак – 60 тонн. Породу везут самосвалом на обогащение. На вынутую экскаватором тонну породы приходится от 100 до 250 кг битума, при этом затрачивается 5-15 литров дизтоплива в двигателях машин и до 50 м³ природного газа на обогатительной фабрике; на выходе, кроме битума, – около тонны жидкого шлама и около 200 кг отработанного каустического раствора.

200 Например, Jian-Yang Yuan, **Subcool, Fluid Productivity, and Liquid Level Above a SAGD Producer**, Journal of Canadian Petroleum Technology, Sep 2013

По окончании разработки тайга превращается в ядовитый лунный ландшафт, где лет пятьсот расти вообще ничего не будет. По доходности добыча битума открытым способом менее выгодна, чем разработка лигнита, однако существенно выгоднее, чем торф. На картинках – битуминозный карьер «*Шелл*» в Альберте и угольный разрез «*Пибоди*» в Австралии. Кто где – догадайтесь сами.





Наконец, третий работающий метод добычи природного битума: шахта! Мы уже упоминали уникальную нефтяную шахту в Яреге, где с глубины 220 метров сверхтяжёлую нефть (с консистенцией при 50°Ц – как у сметаны) добывают примерно теми же методами, что и каменный уголь. Коэффициент извлечения, натурально, близок к единице, но шахта – дело дорогое и медленное, да и не везде геологические условия благоприятствуют. Вероятность постройки двухкилометровых шахт для добычи остаточной нефти на Самотлоре мы обсуждали ранее, возвращаться не будем.

Сведём начальные экономически извлекаемые запасы «твёрдых» и «условно твёрдых» в таблицу:

Категория	Оценка 1P, млрд toe	Оценка 2P, млрд toe	Оценка 3P, млрд toe
Каменный уголь (включая лигнит)	350 (Пазек, Крофт и Рутлидж)	720 («*BP*», 2018)	1'320 (включая уголь по технологии ПГУ)
Природный битум и сверхтяжёлая нефть	50 («*BP*», 2018)	100 (вероятностная оценка)	500 (оценка USGS)
Торф	несущественные	80 (только богатые торфяники)	780 (оценка USGS)
ВСЕГО	400	900	2'600

А пока предварительные итоги по твёрдым и «условно твёрдым» энергетическим полезным ископаемым:

- В 2012 мировая добыча угля неожиданно пошла к югу. Основной обвал случился в КНР, и сейчас к обвалу уже прикрутили политически-корректное объяснение про чистоту китайского воздуха. С Парижским соглашением 2016 года падение добычи в Китае и США точно не

связано, тем более что США уже и выйти успели. Скорее, падение добычи произошло в связи с выработкой месторождений с мелким залеганием угля. Шахтная (и в особенности шахтная слабо механизированная) добыча с бóльших глубин и бедных пластов, вероятно, не позволит наращивать производительность.

- Внезапно возродился интерес к древним и очень грязным технологиям добычи угля из низкопродуктивных пластов. Параллельно похожие грязные технологии стали применять на месторождениях сверхтяжёлой нефти и природного битума.
- В 2017 году «*BP*» поменяла в отчёте сортность каменного угля. Низкокачественные сорта повсеместно были переписаны в высокосортные, однако при этом показатели энергетического качества угля непрерывно снижаются. В основных угледобывающих странах до ¾ подтверждённых запасов угля (по массе) – это суббитуминозный уголь и лигнит. В некоторых странах высокие ранги угля выработаны полностью.
- Со времён Хабберта оценка мировых извлекаемых запасов угля уменьшилась с 1'600 млрд toe до 600-800 млрд toe. Появились публикации с пессимистическими оценками извлекаемых запасов угля в 330-400 млрд toe. Эти оценки включают лишь месторождения, где возможна механизированная добыча. Кое-кто из западных геологов и даже некоторые китайские экономисты намекают, что на 200 лет угля никак не хватит, а хватит (при существующих аппетитах) лет на 30-70.
- Часто встречающиеся оценки прогнозных ресурсов угля (они же «перспективные запасы» у журналистов) с порядком величин в несколько триллионов тонн и точностью 6-7 значащих цифр – не имеют под собой никаких научных оснований. Они основаны на простом арифметическом суммировании запасов с низкой вероятностью существования по методологии Э.Халла из XIX века.
- Начальные технически извлекаемые запасы угля на Земле могут быть грубо оценены между 6'000 и 22'000 toe/км² (среднее значение 12'000 toe/км²). Объективно установленная максимальная плотность начальных экономически извлекаемых запасов – вероятнее всего в Великобритании: 67'000±7'000 toe/км². Новых открытий угольных месторождений следует ждать лишь в труднодоступных районах Сибири, Канады, Южной Америки и Африки. Удалённость этих месторождений от цивилизации не позволит наращивать добычу тем же темпом, с какой истощаются месторождения в «обжитых» регионах планеты.



Глава 14.
Нефть, газ и спрос.

Иностранец зашёл в магазин в Москве и спрашивает:
— Копчёная колбаса есть?
— Нет, — ответили ему.
— А чёрная икра?
— Тоже нет.
— А почему?
— Так ведь спроса нету! Постойте, посмотрите — сами убедитесь. — Любопытный иностранец простоял у прилавка три часа — никто икры и колбасы не спрашивает.
— Видите? Нет спроса — нет и колбасы с икрой.

– Анекдот времён Н.С.Хрущёва/Л.И.Брежнева

Теперь от извлекаемых запасов угля перейдём к нефти и газу. В прошлой главе мы рассчитали, что накопленная добыча газа и нефти (включая все «жидкости», но исключая природный битум) с 1860 по 2017 годы – 296±15 млрд т.

Здесь и далее под термином «сырая нефть» будем понимать природные углеводороды, находящиеся в жидком состоянии как при пластовых условиях, так и на поверхности. Например, природный битум Канады «сырой нефтью» не является, и о нём речь шла в предыдущей главе. Также не является «нефтью» газовый конденсат – ведь под землёй он в газообразном виде. Исторически многие оценки запасов давались в баррелях. В пределах нашей точности данных, будем считать любой баррель нефти, независимо от сорта (плотности и примесей), как 0.135 тонны.

Сначала обратимся к двум работам, ставшим классическими: всё той же статье Хабберта 1956 года[19] и статье Колина Кэмпбелла и Жана Лагеррера в «*Scientific American*» 1998 года [26]. Последняя была озаглавлена: «*Конец дешёвой нефти: спад производства классической сырой нефти может начаться быстрее, чем думает большинство, возможно, в пределах десятилетия*». Два предсказания из статей показаны ниже:

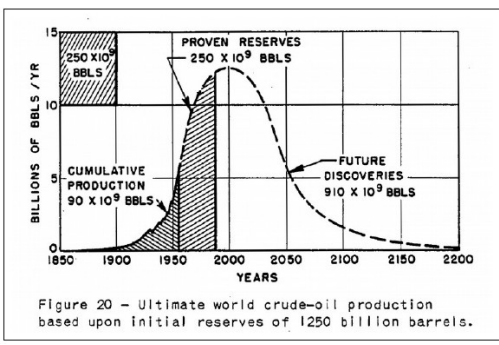
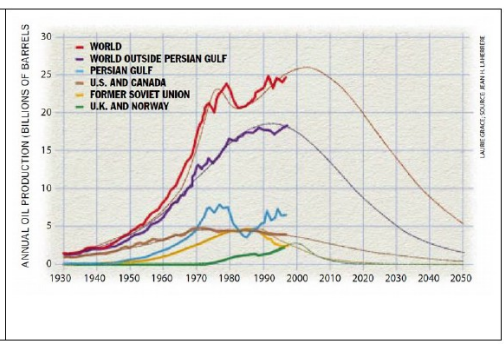
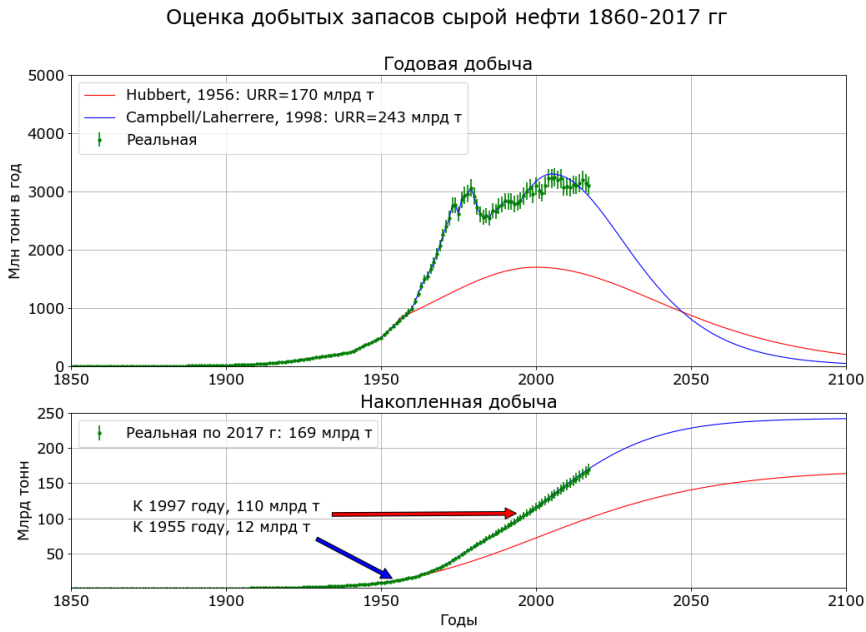


Figure 20 – Ultimate world crude-oil production based upon initial reserves of 1250 billion barrels.

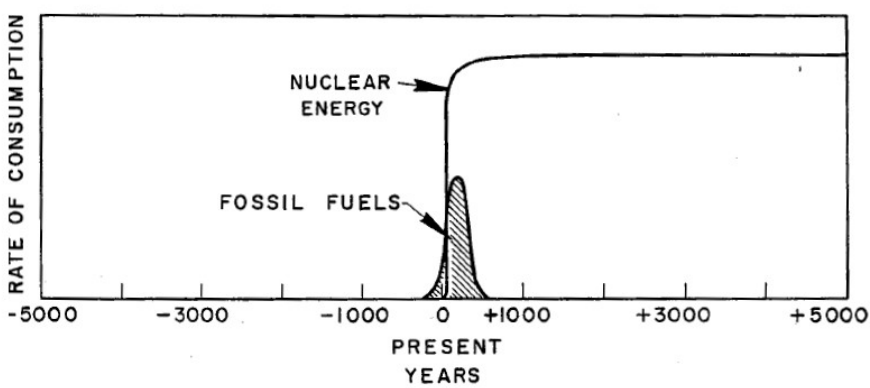


С момента написания статей прошло 62 и 20 лет соответственно, и мы знаем, что первое почти наверняка не сбылось. Предсказание Кэмпбелла и Лагеррера

ещё вполне может сбыться. Сравним вычисления авторов с реальной добычей программой **Chapter 14\Graph_01_Oil_Comparison.py**



В 1956 году М.К.Хабберт, вслед за своими коллегами из USGS, полагал, что на планете Земля не менее 1'250 млрд баррелей (или 170 млрд т) извлекаемой сырой нефти. К тому моменту человечество потребило не более 12 млрд т, а годовая добыча составляла порядка 0.7 млрд т в год. Геологи дружно предсказывали, что нефти «при существующем уровне потребления» хватит «на 200 и более лет». Хабберт ожидал увидеть пик мировой добычи примерно в 2000 году на уровне 1.7 млрд т в год. Геофизик предлагал заранее озаботиться созданием ядерных реакторов, чтобы человечеству не пришлось оказаться в той невесёлой ситуации, в которой мы сейчас находимся. Вот как виделось развитие атомной энергетики в 1956 году. Штриховка – ископаемое топливо.



Чтобы увидеть яснее, необходимо рассматривать явления на большем временном интервале, чем тот, к которому мы привыкли. На рисунке 30 [выше] показано использование ископаемого топлива и ядерной энергии человечеством на временной оси от -5000 до 5000 лет от нашего времени. В подобном масштабе, открытие, разработка и прекращение потребления ископаемого топлива – лишь небольшой, незначительный всплеск на графике. Если предположить, что человечеству удастся решить международные проблемы, не прибегая к ядерной войне, [М.Я.: выделено мной] ***а также остановить рост народонаселения*** *(этот рост сейчас таков, что население удвоится за менее чем столетие), ядерная энергетика даст человечеству достаточно, чтобы обеспечить все разумные потребности по крайней мере на несколько столетий «предсказуемого будущего». [19], стр 36.*

Вы это называете «пессимизм»? К сожалению, предсказания Хабберта не сбылись. Во-первых, остановить рост населения не вышло: в 1956 году на планете было 2.9 млрд человек, а удвоение получилось в самом деле до конца века – в 1997. Во-вторых, производство электроэнергии на АЭС в США образца 2017 года – 96.5 ГВт на 329 млн жителей. Хабберт мечтал о 300 ГВт на 200 миллионов в том же году. Разница более чем пятикратная.

Надо сказать, что с точки зрения оценки ещё не открытых месторождений, USGS не сильно ошибалась. Просто в то время много технически-извлекаемой нефти оставляли в земле, а экономический коэффициент извлечения нефти ($КИН_э$) в 20% считался удовлетворительным.

В уже не столь далёком 1998 Кэмпбелл и Лагеррер оценивали начальные извлекаемые запасы сырой нефти на планете величиной 1800 млрд баррелей, или 243 млрд тонн. Из них более 110 млрд тонн – уже добыто, 115 млрд тонн – найденные (2P) и около 18 млрд т – пока не найденных. В той же статье приводились независимые оценки других авторов:

Лицо или организация	Год оценки	URR, млрд тонн
«*BP*»	1997	254 (1P)
«*Oil and Gas Journal*»	1996	270 (2P)
«*World Oil*»	1996	290 (2P)
Крэйг Б. Хатфилд, Университет Толедо (на основании данных USGS)	1991	300 (2P)
Джон Д. Эдвардс, Университет Колорадо	1997	385 (P-05)

Напомним, что «2P» означает «с вероятностью 50% ресурса больше, чем заявленное значение, и с той же вероятностью, его меньше». P-05 значит, что есть лишь 1 шанс из 20, что извлекаемой нефти на Земле больше 385 млрд тонн.

Увеличение в полтора раза по сравнению с Хаббертом равносильно простому увеличению ожидаемого $КИН_э$ с 20 до 30 процентов. Кэмпбелл и Лагеррер предсказывали пик добычи «классической» нефти на уровне 3'300 млн тонн в 2005 году, плюс-минус пять лет. По факту получилось 3'240±160 млн тонн в 2006. Сейчас – в 2018 году – добыча идёт несколько выше предсказанной (но ниже пика 2005-2006 года), однако следует принять во внимание и небольшие «провалы» 2000-2003 и 2008-2010 годов. В первом приближении предсказание

Кэмпбелла и Лагеррера довольно хорошо сбывается.

Если бы уважаемые авторы просто взяли самые свежие данные добычи и приклеили к ним хаббертиану, о статье в «*Scientific American*» сейчас вряд ли бы вспоминали. В принципе это тоже экстраполяция, пусть пессимистическая и нелинейная. Фундаментальный вклад Кэмпбелла и Лагеррера состоит не в этом. Геологи предложили новую методику описания запасов: «backdating» то есть «сдвиг по дате».

Разберём на примере из главы 8 – условном месторождении Весёлое на Аляске. Пусть в условном 1960 году по данным сейсморазведки пробурена удачная разведочная скважина. Компания «*Весёлая Нефть*» сообщила инвесторам, что открыто новое месторождение с геологическими запасами 2 млрд баррелей. Одновременно в SEC отписали, что подтверждённых извлекаемых – 5 миллионов (это не описка, всего лишь 0.005 млрд баррелей подтверждено). Если говорить о реальной способности месторождения давать нефть, первое число является завышенным, а второе – очень сильно заниженным, обоим числам верить нельзя, ибо по воде вилами писано.

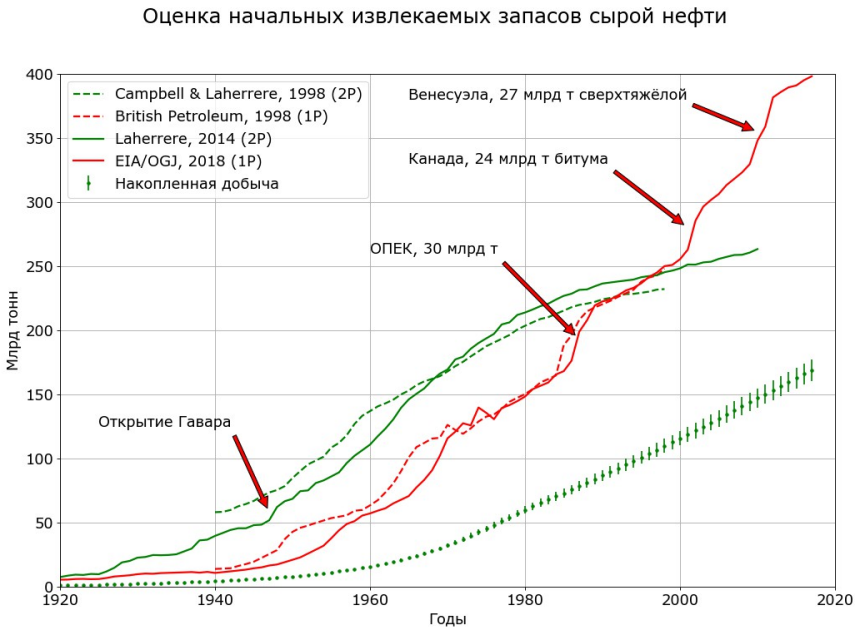
С 1960 по 1970 годы происходит доразведка Весёлого, а подтверждённые запасы возрастают до 550 млн баррелей, при этом компания работает себе в убыток – добычи пока нет. Естественно, почти нет резона (ну кроме разве что политических) что-либо менять и на балансе компании. Лишь в 1970 году происходит скачок запасов с 5 млн баррелей до 550, и возникает впечатление, что в 1970 году компания «*Весёлая Нефть*» открыла новое месторождение на 545 млн баррелей, хотя кроме Весёлого других на балансе нет и никогда не было.

Дальше с месторождения начинается добыча, а подтверждённые запасы – уточняются, точно так же, как в гипотетическом примере с месторождениями Большая Пупыра и Данахервам из прошлой главы. Если правил не нарушали и инвесторов не обманывали, уточнение запасов 1P в 90% случаев обязано быть в сторону увеличения. Некоторые компании любят показывать прирост «новых запасов старых месторождений» каждый год, другие, особенно мелкие, – наоборот, любят выждать стратегический момент и вывалить всё разом. В нашем гипотетическом случае, например, «*Весёлая Нефть*» выжидает до 1980 года, а потом подаёт в SEC отчёт, что начальные извлекаемые Весёлого увеличились до 1'120 млн баррелей. Одновременно, в газетах появляется проплаченная перепечатка: «*Новая нефть Аляски! Компания Весёлая Нефть добавила на баланс более 550 млн баррелей новых запасов!*» Где сказано, что месторождение новое? Обмана инвесторов нет. Правда, в статье также и не сказано, что вся добавка происходит на месторождении, открытом двадцать лет назад, но инвесторам такие мелочи знать не обязательно. Как результат, акции весельчаков взлетают до небес, а старший менеджмент – вовсю продаёт свои опционы. В принципе, всем хорошо: компания получает средства для развития, инвесторы – дивиденды от добычи, начальство – жирные бонусы, журналисты – зарплату.

Что сделали Кэмпбелл и Лагеррер? Оба трудились в компании «*Petroconsultants*»[201], а там была первая в мире публичная(!) база данных по находкам месторождений нефти. К 1996 году в базе накопилось записей на 18'000 отдельных месторождений. С использованием этой базы можно «привязать» сообщения о новых запасах к конкретному месторождению, то есть сдвинуть прирост запасов к дате первоначального открытия.

В нашем гипотетическом сценарии с Весёлым, геологи бы взяли данные из отчёта компании «*Весёлая Нефть*» 1970 года и сдвинули бы их к дате открытия – 1960. В 1980 процедуру пришлось бы повторить, ещё добавив к остаточным запасам значение накопленной добычи.

Представим оценки Кэмпбелла и Лагеррера программой **Chapter 14\Graph_02_Oil_Reserves.py**



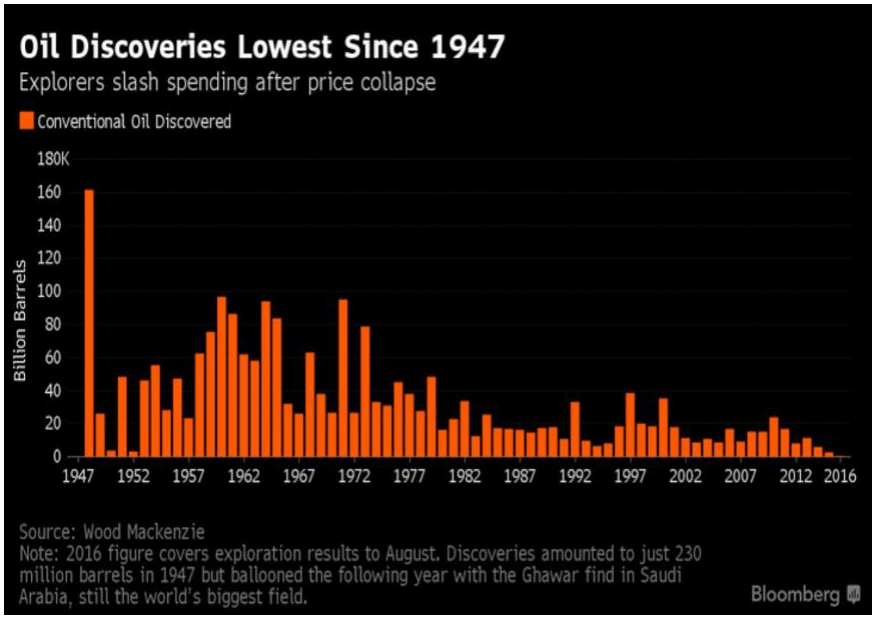
Зелёные кривые построены по базам данных «*Petroconsultants*» / «*IHS*», красные – по данным национальных агентств и нефтяных компаний (их суммируют в отчётах «*BP*» и EIA, а также в журнале «*Oil and Gas*»).

Наблюдаем интересную картину: вплоть до 1995 года подтверждённые запасы 1P были, как и положено, ниже, чем оценка 2P Кэмпбелла и Лагеррера. Первый крупный бросок к северу красная кривая сделала в середине 1980-х, во время инициированной ОПЕК «гонки за квотами», что мы обсуждали в главе 9. Затем, в 2000-х, к запасам 1P был добавлен природный битум Канады и сверхтяжёлая нефть Венесуэлы. Одновременно из остаточных запасов

201 В 1996 году «*Petroconsultants*» была приобретена «*IHS*» – компанией в области финансовых рисков, а та в 2016 слилась с компанией «*Markit*». Насколько известно автору, базы данных теперь лишь для внутреннего использования. За большие деньги можете заказать себе отчёт по конкретному бассейну, где будет много умных слов и ноль данных: https://www.ihs.com/products/upstream-oil-gas.html

ежегодно «забывали» отнимать кумулятивную добычу ОПЕК с 1980 года – около 38 млрд тонн. Всего «бумажных» (то есть политически обоснованных) запасов в оценке EIA – порядка 120 млрд тонн, или около 30%. Надо сказать, что одновременно с раздуванием запасов ОПЕК и Канады потихоньку шло списание «подтверждённых запасов» в Европе. После скандала с запасами «*Шелл*» из отчётов бесследно испарилось до 20 млрд тонн нефти.

В 1998 Кэмпбелл и Лагеррер отмечали, что открытие новых запасов нефти замедлилось. Ниже приводится график от влиятельного энергетического агентства «*Wood Mackenzie*». Заметим, что здесь не использовали метод «сдвига по дате», оттого «открытия» включают также обновление данных во время разработки уже открытых месторождений.



Всего, по мнению агентства, с 1947 по 2016 годы открыто 297 млрд тонн «классической» нефти – величина соответствует оценке USGS 1991 года. Конечно, геологическая удача – штука переменчивая, оттого год на год не приходится, и данные прыгают вверх-вниз. Удобнее разбить, по советской традиции, на пятилетки:

Прирост запасов без сдвига ко времени открытия (Wood Mackenzie)

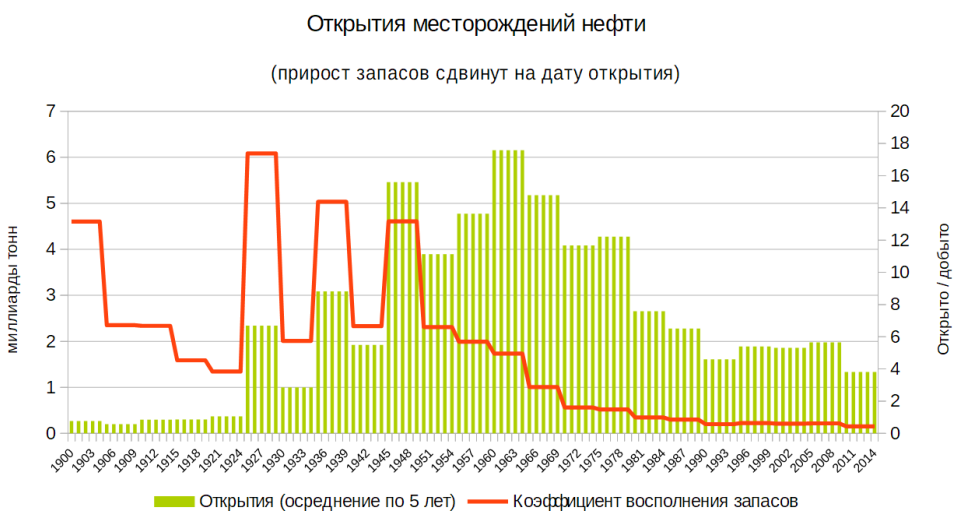
Годы	Млрд т	Годы	Млрд т	Годы	Млрд т
1947-1950	25.4	1971-1975	34.9	1996-2000	16.8
1951-1955	23.7	1976-1980	22.8	2001-2005	7.4
1956-1960	40.3	1981-1985	14.5	2006-2010	10.1
1961-1965	50.7	1986-1990	10.9	2011-2015	5.8
1966-1970	24.1	1991-1995	8.8	2016	0.8

Сразу после статьи Хабберта геологи будто сговорились его, беднягу, опровергнуть. С 1956 по 1965 годы открыто 91 млрд тонн! В среднем по 9 млрд тонн в год открытий, причём добывали тогда существенно менее 1 млрд тонн ежегодно. «Коэффициент восполнения запасов», то есть отношение открытого к добытому, превышал 10. А вот далее процесс открытий замедлился, и ко второй декаде XXI века мы имеем антирекорд 2011-2015 годов: открыто 5.8 млрд тонн, а добыто суммарно за 5 лет 15.6 млрд тонн сырой нефти, то есть коэффициент восполнения 0.37. Притом, происходил обвал открытий на фоне так называемого «восстановления экономики» после GFC, при ценах нефти в окрестностях $100 за баррель и непрерывно растущих инвестициях в нефтеразведку. В 2016 году открыто 0.8 млрд тонн, а добыто 3.2. Коэффициент восполнения – 0.25.

В статье 2014 года[202] Лагеррер приводит данные по восполнению запасов со сдвигом на дату открытия месторождений.

Прирост запасов (2P) со сдвигом ко времени открытия (Лагеррер, 2014)

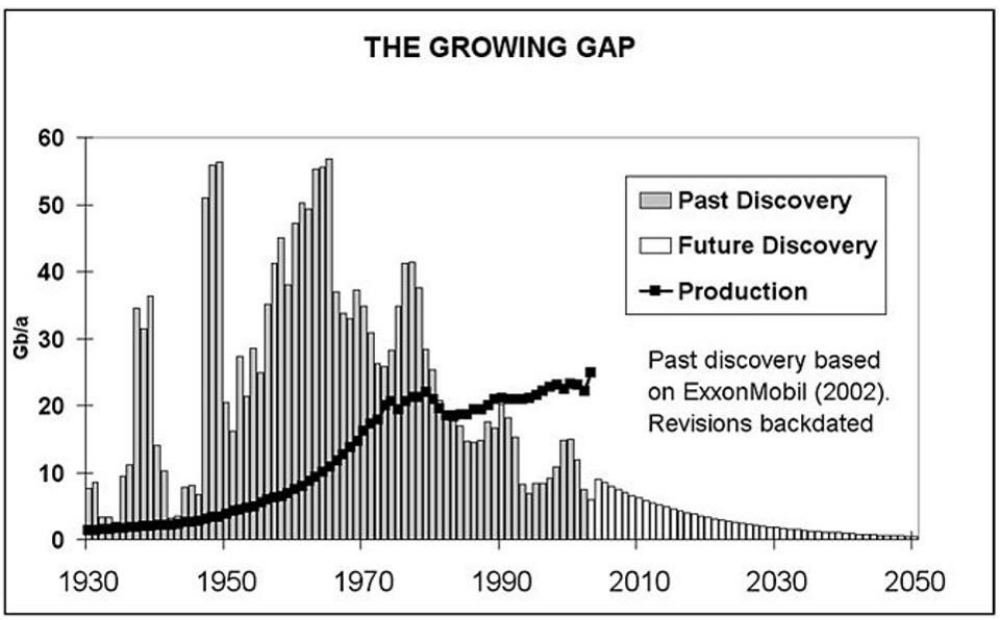
Годы	Млрд т/год	Годы	Млрд т/год	Годы	Млрд т/год
1900-1904	0.3	1940-1944	1.9	1980-1984	2.7
1905-1909	0.2	1945-1949	5.5	1985-1989	2.3
1910-1914	0.3	1950-1954	3.9	1990-1994	1.6
1915-1919	0.3	1955-1959	4.8	1995-1999	1.9
1920-1924	0.4	1960-1964	6.2	2000-2004	1.9
1925-1929	2.3	1965-1969	5.2	2005-2009	2.0
1930-1934	1.0	1970-1974	4.1	2010-2014	1.3
1935-1939	3.1	1975-1979	4.3		



202 Jean Laherrere, **The end of the peak oil myth**, ASPO France, 2014
http://aspofrance.viabloga.com/files/JL_MITParis2014long.pdf

Конечно, пятилетка 2010-2014 годов абсолютным антирекордом по открытиям не является. До Второй мировой войны были периоды и похуже, например, во время Великой депрессии в 1930-х, не говоря уж о 1900-х и 1910-х. Однако и добывали тогда на порядки медленнее. Коэффициент восполнения даже в самые неудачные годы ниже 2 не опускался. В 1980-1984 коэффициент восполнения был в точности равен 1, и с тех пор вот уже 33 года человечество находит меньше, чем добывает. В пятилетку 2010-2014 годов на каждый извлечённый баррель нефти приходилось всего 0.43 барреля найденных. Причём, добытые – это точно (±5%), а открытые – это оценка 2P, то есть с вероятностью 50% их там может и не быть.

Независимо от Лагеррера, оценивавшего запасы 2P, по базе данных компании «*Эксон-Мобил*» можно оценить запасы 1P (то, что есть с вероятностью 90%). Применяя ту же методику сдвига на дату открытия, получается 240 млрд тонн открытий с 1930 по 2002 годы, с вероятным приростом ещё 20 млрд тонн до 2050 года. Эта оценка на 140 млрд тонн ниже, чем опубликованная «*BP*» в 2018 году оценка 1P. Вспомним, однако, что оценка «*BP*» включает 51 млрд тонн битума и сверхтяжёлой нефти, а также фиктивные запасы ОПЕК, в сумме около 120 млрд тонн. Если очистить запасы «*BP*» от откровенной лажи, получится 280 млрд тонн «*BP*» против 260 млрд тонн «*Эксон-Мобил*» – величины вполне сравнимые.

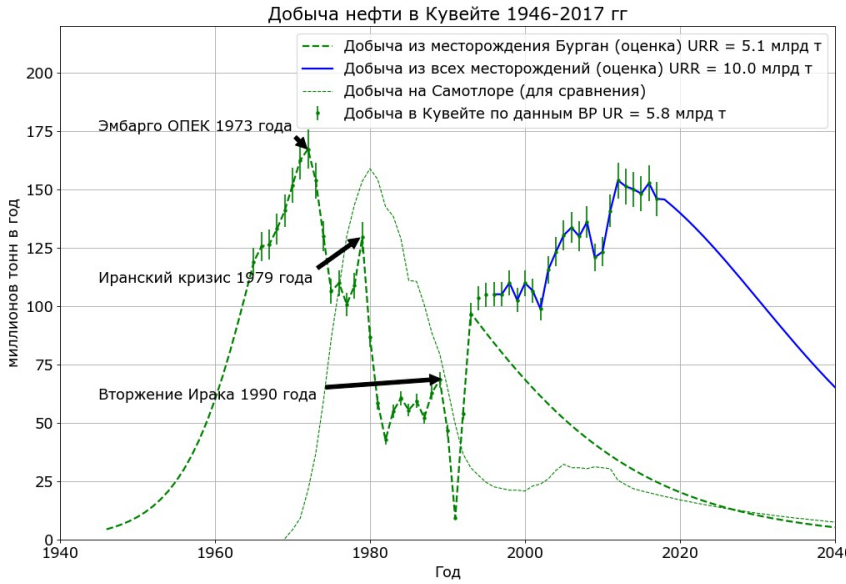


Если принять оценку Лагеррера, на Земле было 300±50 млрд тонн извлекаемой нефти, то есть начальная плотность запасов от 1'900 до 2'600 toe/км². Посмотрим, как эти величины соответствуют данным по отдельным странам.

Самая высокая плотность начальных извлекаемых... вы ожидаете: «в Саудовской Аравии»? Ошибаетесь. Кувейт занимает площадь (с

территориальными водами в Персидском Заливе) 17.8 тыс км², население на 2017 год – как ⅓ Москвы – 4 млн человек. Впрочем, как в Москве есть гастарбайтеры, так и в Кувейте, сколько точно – неизвестно. На территории Кувейта расположено второе по величине месторождение нефти (и самое крупное в песчаниках) – Бурган, открытое в 1938 году. Добычу начала через 8 лет британская компания «*Кувейт Ойл*», национализированная правительством Кувейта в 1975.

Бурган, совместно с двумя месторождениями – спутниками: Магва и Ахмади, занимает площадь 820 км². По заверениям правительства Кувейта, в Бургане было до 12 млрд тонн извлекаемых запасов. На самом деле числа наверняка скромнее, а 12 млрд – не извлекаемые, а геологические запасы. Как плохому танцору, Кувейту что-то мешало добывать. То эмбарго ОПЕК 1973 года, то Иранский кризис 1979, то вторжение Саддама Хусейна в 1990. Позже мы сравним кривую добычи с лидером ОПЕК Саудовской Аравией.

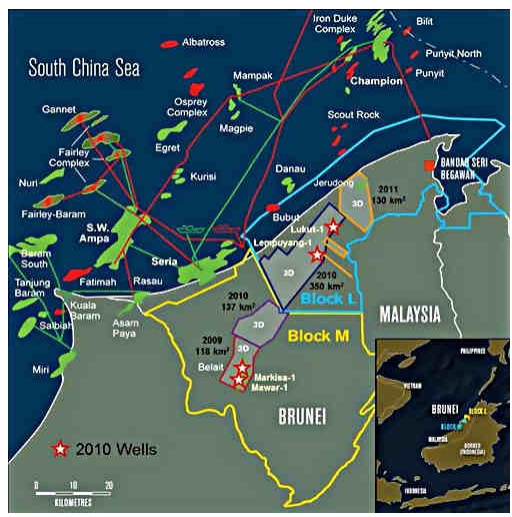


Добыча из Бургана сильно напоминает Самотлор, а начальные извлекаемые запасы порядка 5.1 млрд тонн, что даёт реалистичный $КИН_т$ = 5.1/12 = 43%. Точнее не знает никто, так как текущие запасы Кувейта – тайна ещё бóльшая, чем запасы Саудовской Аравии. В 1983 году – во время «гонки за квотами» – Кувейт «нечаянно» увеличил извлекаемые запасы 1P на 33 млрд баррелей (4.5 млрд тонн). Отчёт «*BP*» с 2004 года неуклонно показывает константу 101.5 млрд баррелей (13.7 млрд тонн) оставшихся извлекаемых, несмотря на то, что новых месторождений не найдено, а запасы с 2004 года должны были уменьшиться как минимум на 1.5 млрд тонн.

Конечно, у Бургана помимо Магвы и Ахмади существует ещё куча «дальних спутников»: Ратха, Абдулия, Медина, Минариш, Сабрия… Каждое из этих

месторождений – тоже крупное. На каждом квадратном километре Бургана – 6.3 млн тонн извлекаемой нефти (для сравнения, на Самотлоре – 1.8). К 2017 году кумулятивная добыча Кувейта составляет 6.47 млрд тонн, а с квадратного километра страны и территориальных вод – 360'000 тонн. Ожидаемая плотность начальных извлекаемых запасов – до 550'000 toe/км². Это, вероятно, наибольшая плотность в отдельно взятой стране.

Карликовое государство на Борнео – Бруней Даруссалам («Бруней – Обитель Мира», так-то). Единственный аэропорт, как и в Кувейте. Население 400 тыс человек. Территория, вместе с морской экономической зоной – 6 тыс км². Нефть открыли в 1929, и с 1931 года страна произвела 504 млн тонн нефти! Добыча прошла пик в 1979 на дебите 12.74 млн тонн, но порох в пороховницах ещё имеется: остаточные извлекаемые не меньше 125 млн т. В 2017 объявили, что на глубине 4'319 м в утыкании солевого купола (диапира) обнаружена новая залежь[203]. Правда, новые запасы – природный газ, а не нефть. Всего же на квадратном километре территории в Брунее было более 105'000 тонн нефти и «жидкостей».



Бруней и Кувейт – исключения из правил, фактически страны-месторождения. Отметим сразу, что когда мы говорим о квадратном километре «крупного» или «крупнейшего» месторождения, речь идёт о первых миллионах тонн (на Самотлоре – 1.8 млн тонн/км²). Когда же обсуждается количество нефти на квадратном километре какой-то страны (кроме карликовых стран), речь уже о тысячах тонн, или три порядка малости. Говоря грубо, каждый квадратный километр Самотлора по извлекаемым запасам нефти превосходит тысячу квадратных километров условно-средней Московской области.

Саудовская Аравия – страна, где находится самое большое на сегодняшний день месторождение нефти, открытое в 1948 году. Месторождение Гавар имеет площадь 7'450 км² (как четыре с четвертинкой Самотлора, но всего

203 Скачано 27 июля 2017 г: https://borneobulletin.com.bn/bsp-finds-oil-lumut/

0.33% площади Саудовской Аравии).



Заметим, что эмбарго 1973 года не привело, в отличие от Кувейта, к сокращению добычи на 40% от уровня 1972 года, совсем наоборот, сразу после каждой заварушки добыча Саудовской Аравии слегка увеличивалась.

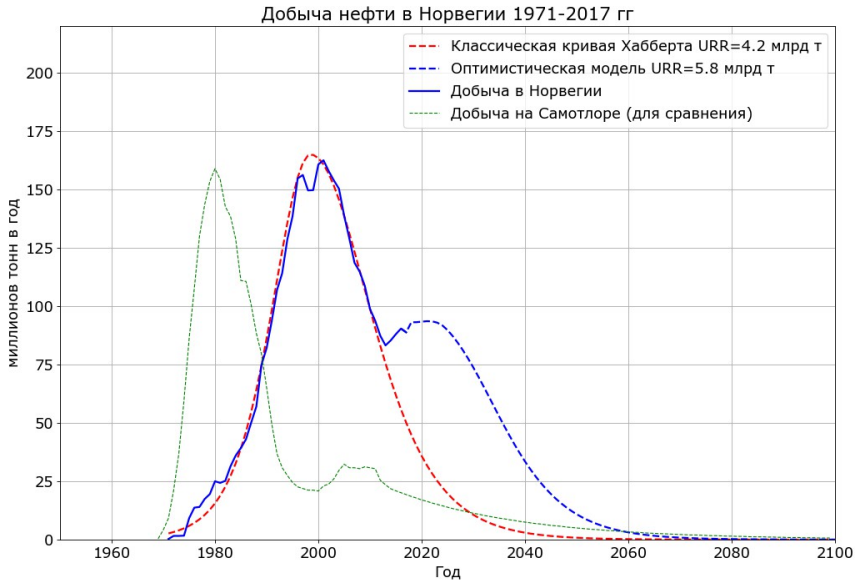


По заверениям «*Сауди Арамко*», до начала добычи в Гаваре было не меньше 13'500 млн т извлекаемых запасов (тоже четыре с четвертинкой Самотлора), значит, на каждом квадратном километре – те же 1.8 млн тонн нефти и

«жидкостей». Правда, в 2005 году крупный нефтяной финансист Мэтью Р. Симмонс выпустил книгу «*Закат в пустыне*» [28], где оценивал начальные извлекаемые Гавара несколько ниже: 10'400 млн т, или 1.4 млн тонн на км². Площадь всей Саудовской Аравии, вместе с принадлежащими ей участками Персидского Залива и Красного моря – 2'260 тыс км², то есть около 1.3% общей площади суши и континентального шельфа Земли. К 2016 году накопленная добыча нефти и «жидкостей» составила 21'500±1'500 млн тонн (как восемь Самотлоров), или 9'500 toe/км².

Режим в стране хоть и тоталитарный, но геологам и буровикам в пустыне всегда обеспечивал комфорт и личную безопасность, оттого геологическая изученность «весьма детальная». Про остаточные извлекаемые запасы всей страны данные противоречивы. Многие западные эксперты, в том числе упомянутые выше М.Симмонс, К.Кемпбелл и Ж.Лагеррер, считают, что официальные числа – туфта от слова «полная». Даже «*BP*» в своих годовых статистических отчётах от них уже открещивается мелким юридическим шрифтом: мол, нам такие циферки дали, мы не виноватые. По отчёту «*BP*» 2018 года в стране к 2016 году осталось 36.6 млрд тонн, а начальная плотность запасов – 26'000±10'000 toe/км².

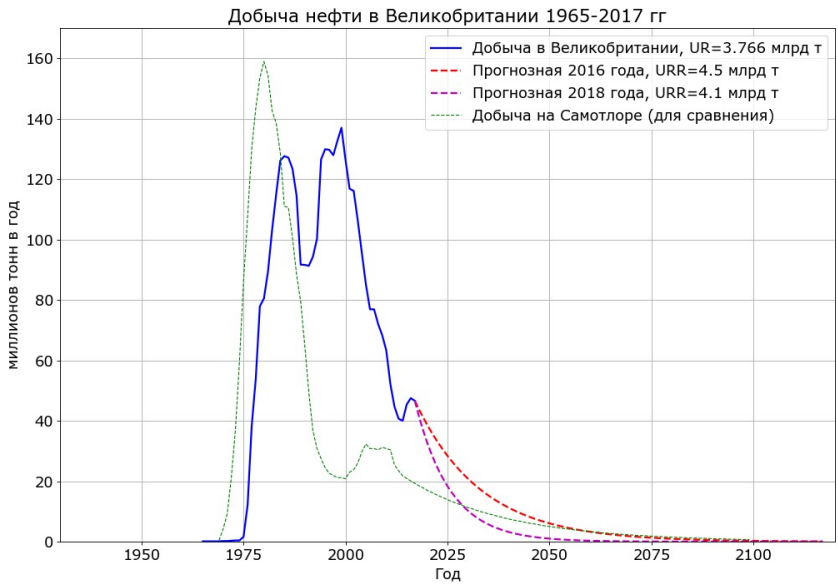
Норвегия озаботилась нефтью в 1963 году, однако первого открытия пришлось ждать до августа 1969, а первая промышленная нефть была получена в 1971. Территория с участками Северного моря (но без пока не исследованной Арктики) 324.8 тыс км².



На веб-страницах по Пику Нефти любят рисовать Норвегию: кривая добычи отлично укладывалась в классическую хаббертиану. Однако примерно с 2014 года суровые норвежские парни стали заявлять, что им удастся вытянуть

«полочку» добычи до 2025-2027 годов, а график получится похожим на кривую добычи Самотлора. Начальная плотность запасов в Норвегии – от 13'000 до 19'000 toe/км².

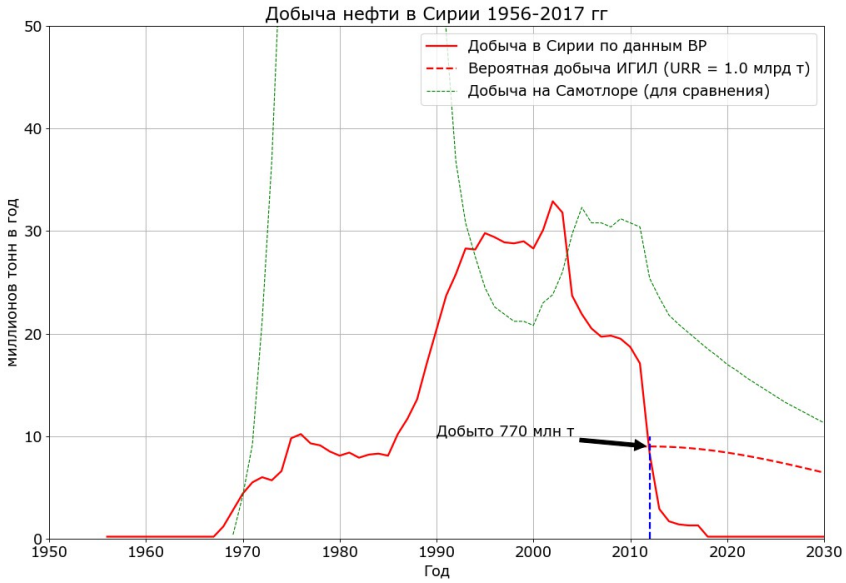
Великобритания начала добычу собственной нефти на шельфе Северного моря в 1970 г (до того добывали на суше менее 0.1 млн т в год). К 2017 году накопленная добыча составила 3'766±190 млн тонн – вся страна как 1.4 начальных запасов Самотлора. Остаточные извлекаемые запасы «*BP*» в 2016 были 740 млн т (вся страна как 1.25 остаточного Самотлора), а в 2018 году «*BP*» уже показывает 300 млн тонн. Территория, вместе с площадями континентального шельфа Северного моря – 242.5 тыс км². На квадратный километр территории приходилось от 17'000 до 18'000 тонн нефти и конденсата. Геологическая изученность также «весьма детальная» по всей территории, включая морские месторождения, и вряд ли что-то существенное будет открыто.



Сирийская Арабская Республика в последнее время у всех на слуху. Территория 185.2 тыс км² (=106 площадей Самотлора). Население в 2013 году – около 17 млн, в 2018, похоже, на восемь миллионов меньше – из-за беженцев. Нефть искали ещё французы, начиная с 1933 года. Страна граничит с Ираком, Турцией и Иорданией, Саудовская Аравия – буквально через дорогу. Нашли, однако, на десять лет позже, чем в Аравии, а добывать в ограниченных количествах начали лишь с 1956 года. Реальная добыча началась в 1968, когда достроили нефтепровод к Средиземному морю. Добыча прошла пик в 32 млн тонн в год в 2002-2003 годах. Тогда в ~~Багдаде~~ Дамаске было всё спокойно, а молодой доктор-окулист Башар Асад только что унаследовал ~~сотни~~ миллионы нефти от папочки. Затем всего за десятилетие добыча упала до 8.3 млн тонн в год.

Кто-то винит происки Запада, но на самом деле – нормальное снижение добычи по 8-12% годовых. К тому времени накопленная добыча страны составила 770 млн т (четвертушка Самотлора), то есть 4'000 т на квадратный километр. То, что происходило после 2012, описывается не геологией, а социологией: так как миллионов тонн стало меньше, чем миллионов людей, на душу населения стало получаться по 600 литров нефти, а это всего три с половиной барреля. Даже рекордные цены по $120 за бочку приносили на душу населения всего по доллару и пятнадцать центов в сутки, а это хуже, чем в Индии. Закупать продовольствие стало не на что, и страна мгновенно развалилась. Дальнейший обвал статистики добычи связан, скорее всего, с тем, что полевые командиры нефть кое-как добывают – и отправляют в Саудовскую Аравию или Турцию.

Теории конспирологов, что демпинговые цены ИГИЛ (нет, я не пропагандирую!) обвалили цену нефти в 2014 году, не принимаются. Даже если Сирия нелегально отправляет 8 млн тонн в год, это всего лишь 1.3% от добычи Саудовской Аравии и 0.2% от мировой, а наживаются на этих жалких процентах разве что перекупщики.



В 2010 г остаточные извлекаемые Сирии оценивались в 200-300 млн т, значит, на квадратный километр максимум 5'700 тонн. Вполне нормальный показатель для страны, где 25% территории – базальты и вулканиты. Надежды, что страна восстановит добычу до былых 30 млн т, есть лишь у продвинутых мерчандайзеров «*Мак-Доналдса*». Геологи полагают, что если выгнать ИГИЛ и стабилизировать обстановку, удастся добывать на уровне собственного потребления – по 8-12 млн т в год – ещё примерно 15 лет (что сирийцы дальше будут делать, политиков мало волнует), а экспортный потенциал исчерпан. Война в Сирии ведётся не за нефть, а за контроль над территориями её

соседей. Как вариант, полевые командиры снова подымут голову, захватят часть месторождений и продолжат добывать хищническими методами по 2-3 млн т ежегодно, загубив месторождения в ноль. Тогда нефти тоже хватит лет на десять. Но с точки зрения начальных запасов – исход одинаков.

Соединённые Штаты Америки мы подробно разбирали в главах 10 и 11. Новомодные «сланцевые» нефть и газ там добывают с 1821 года, и на 200 лет – до 2021 – их железобетонно хватит (журналистов не обманули!) А если серьёзно, США ведут официальную статистику добычи нефти и жидкостей с 1859 года. При общей территории (включая континентальный шельф) 10'320 тыс км², страна занимает 5.7% площади суши и шельфа Земли, при этом геологическая изученность – от «весьма детальной» на всей территории «нижних 48 штатов» до «обзорной» – в арктическом поясе Аляски. Правительство страны никогда не препятствовало развитию нефтяной промышленности[204]. В нефтяную эру Штаты вступили одновременно с Российской Империей, но по предприимчивости рвут как тузик грелку: при вдвое меньшей территории добыли 33'970±3'400 млн тонн нефти и «жидкостей», правда из последних 4.7 млрд тонн NGPL и «прочих», включая «лёгкую нефть из низкопроницаемых пород» (LTO, light tight oil). В 2017 году общее производство нефти и «жидкостей» на квадратный километр – 3'290 тонн. Официальные запасы 1P по данным USGS – 6 млрд тонн, значит, с вероятностью 90% через 10-12 лет «сланцевая революция» окончательно накроется медным тазом, а начальные извлекаемые запасы на территории страны – 3'900±400 toe/км².

Всем перечисленным выше странам с нефтью повезло (хотя не обязательно в политике везёт). Теперь рассмотрим с противоположной стороны спектра.

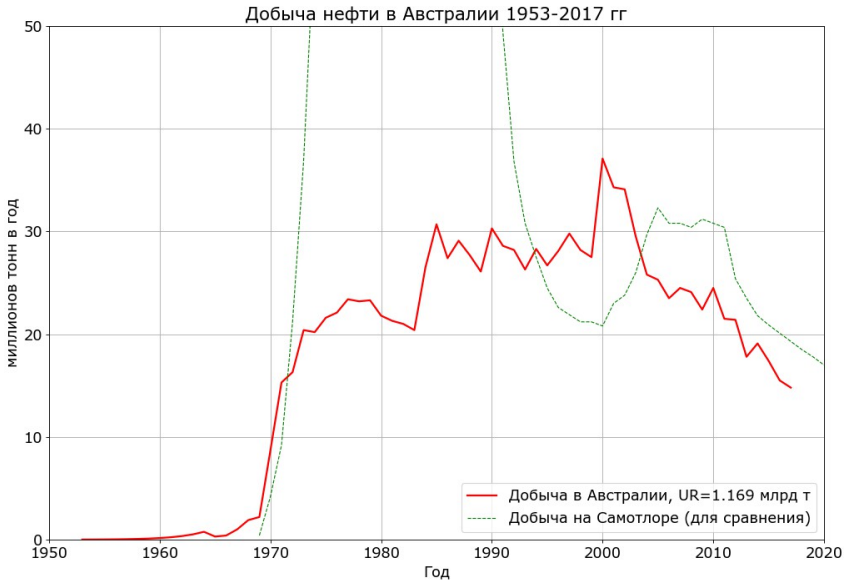
Типичным представителем стран, которым с нефтью совсем не повезло, является Мадагаскар. В отличие от живущих на материке зулусов, островитяне к иностранцам доброжелательны. При площади 587 тыс км², геологическая изученность острова – от «детальной» до «весьма детальной»: найдены и добываются драгоценные и полудрагоценные камни, хромиты, графит. Однако несмотря на поиски частных «*Шелл*» и «*Тоталь*», а потом и на деньги правительства, нефти не найдено совсем. Восточная и центральная части острова сложены докембрийскими породами, с обширными интрузиями базальтов.

Аналогично состояние дел в Финляндии и Швеции. Кто сказал: «нефть из мантии?» Мы разбирали такую воображаемую нефть астрофизика Томаса Голда в главе 6. Швеция, при территории, вместе с куском Балтийского моря, в 450.2 тыс км² – прекратила добычу в 1996 году, добыв с каждого квадратного километра территории не более 0.5 т (!) углеводородного топлива. Впрочем, 500 кг – гораздо больше, чем в соседней Финляндии, а геология – одинаковая. Вообще в полном списке стран, которые нефть не нашли, или нашли так мало,

204 Исключение составляют разве что квоты на добычу нефти в Техасе 1930-1937 гг, да запрет в 1947 г добывать нефть, сбрасывая газ на факел. Впрочем, подобные запреты не являются непреодолимыми.

что добыча уже прекратилась, – 82 страны и территории с общей площадью (включая шельф) 31.9 млн км² или 21% площади суши и шельфа. Правда, там есть страны из шуточного «списка Чуковского» (того самого, куда белым детям ни за что на свете гулять не рекомендуется): Ботсвана, Буркина-Фасо, и так далее. Но и вполне цивилизованные страны присутствуют: Армения, Багамы, Бельгия… Единственная относительно цивилизованная страна, где пока есть надежда найти нефть – Кипр. Про него газеты регулярно пишут, что вот уже почти нашли нефть… облом! Кроме газа в месторождении Афродита, ничего не находится[205].

Ещё 66 стран, занимающие площадь 50 млн км² или 33% от суши и шельфа, нефть нашли, но суммарно прошли пик добычи в 1998 году и с тех пор добыча снижается по 1.6% в год. В этой группе и упомянутые выше Кувейт, Бруней, Норвегия, Великобритания и Сирия, и несколько стран из «списка Чуковского»: Чад, Нигерия, Йемен, и – внезапно – (уже!) Венесуэла. А вот цивилизованные, кому не повезло с запасами:



Типичная, причём самая большая по размеру, страна-неудачница из второго списка – Австралия. С момента заселения войн на своей территории не вела, зато вела геологоразведку. Изученность варьирует от «весьма детальной» в прибрежных районах до «детальной» и «частичной» на так называемых «задворках» (outback). Данные – по закону – находятся в открытом доступе. Иди в архив, плати за пользование шесть долларов – и ищи свои сейсмопрофили или каротажные диаграммы хоть целый день. Каталоги компьютеризированы, искать нетрудно. Старинная, но годная 2D-сейсмика есть практически везде. В Австралии обнаружены значительные запасы

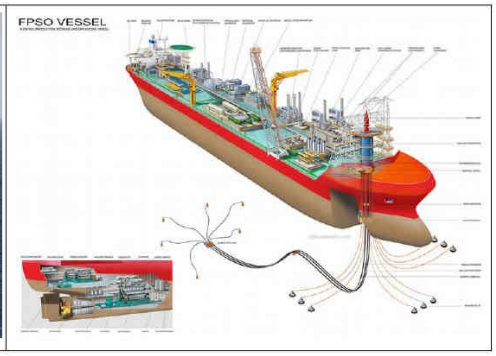
205 Газа в Афродите кот накакал, причём «блок 12» является частью израильского месторождения Левиафан; предсказываю, что эта зона Средиземного моря скоро станет спорной территорией.

железных руд, цветных металлов, угля, урана, природного газа; лишь с нефтью не повезло. Хотя нефть искали активно – и нашли в 1912 году, с момента начала промышленной добычи в 1953 получено всего 1'169 млн тонн, в основном на шельфе Западной Австралии, и сейчас добыча уже снижается. Площадь континента вместе с шельфом – 7'692.0 тыс км², с каждого «квадратика» территории добыли пока всего лишь 150 тонн нефти и «жидкостей», и вряд ли это число превысит 250.

В Новой Зеландии маори геологией не занимались, так как воевали друг с другом. Однако уже в середине позапрошлого века их помирили. Нефть открылась в 1865 году – месторождение Мауи недалеко от городка Нью-Плимут. С тех пор по всей стране добыто 110-120 млн т нефти и жидкостей (как одна годовая добыча Самотлора в 1986 году, ага) и осталось вроде бы около 20 млн т извлекаемых[206]. В 2016 году Новая Зеландия добыла, по данным EIA, 1.7 млн т нефти, обеспечив 25% потребности страны. Новая Зеландия при этом экспортирует нефть в Сингапур и Австралию. Обратно везут бензин, авиационный керосин, масла, дизтопливо. Последний крупный нефтеперегонный завод – в том же Нью-Плимуте – в 1972 году закрылся.

График добычи Новой Зеландии похож на верблюда с «горбами» по 3.0 млн тонн в 1997 и 2009 годах. Второй «горб» – когда австрийская компания «*OMV*» купила старинный – 1965 года постройки – танкер «Афрамакс» и переделала его в плавучее хранилище нефти (FPSO) на месторождении Маари, в 80 морских милях (145 км) от берега. Теперь танкер носит гордое королевское имя «Рароа». Добыча – подводная. С морского дна на глубине 50-75 м к «Рароа» идут гибкие трубы; головки скважин обслуживаются подводными роботами. Ажурная конструкция на борту судна – не буровая вышка, а факельная горелка для сброса попутного газа.



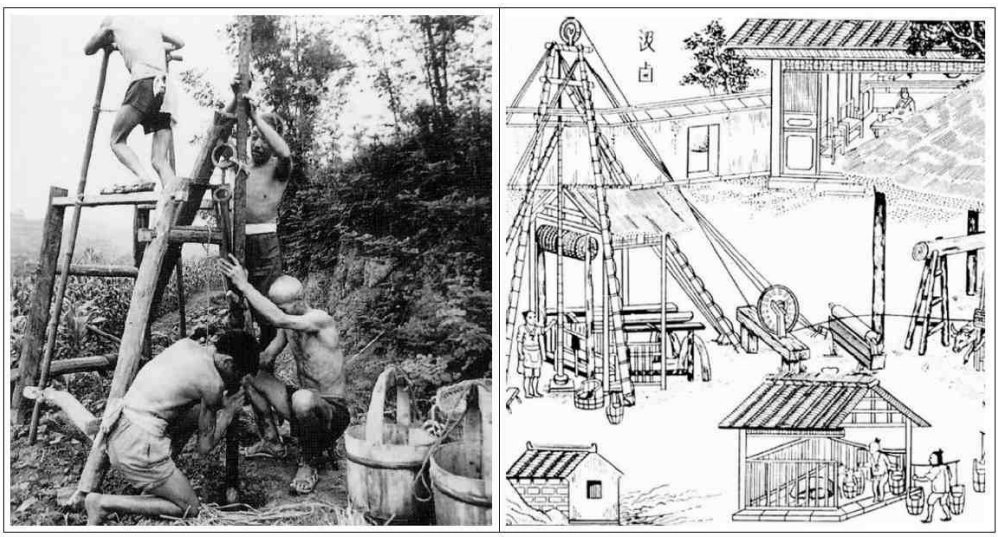


Нефть Таранаки-Маари выходит золотой. Прокладывать по дну трубы и вести добычу с морских платформ в Новой Зеландии ещё дороже, так как там трясёт сильнее, чем даже в Японии; платформы потребовались бы сейсмостойкие. С 2009 года добыча неуклонно снижается – в среднем по 6.5% в год, однако изучают и бурят довольно активно, например, «*Ройал Датч Шелл*» и та же

206 Викиложцы в качестве «оставшейся» называют годовую добычу 2015 г. Ошиблись на порядок.

«*OMV*». Изученность территории и шельфа – «детальная», до «весьма детальной» на Северном Острове. Общая территория, включая шельф, – 270.5 тыс км². На одном квадрате территории (до начала добычи) – 425 т нефти и жидкостей.

В КНР накопленная добыча с 1965 по 2017 годы составляет 6'885 млн тонн (чуть больше, чем два полных Самотлора). На квадратный километр территории получается 700 тонн. Пик добычи нефти и конденсата вроде бы пройден в 2015 году на уровне 214.6 млн тонн, в 2017 – всего 194.8, то есть спад по 5% годовых. Характерно, что в Китае совершенно отсутствуют сколько-нибудь крупные месторождения нефти до глубин 300-500 м, а в исторических документах обнаруживаются упоминания «нефтяных колодцев». Значит ли это, что часть нефти добыли пару тысяч лет назад? А почему нет? Вот историки-реконструкторы из 2010 года пробуют технологию империи Сун (960-1279 нашей эры).



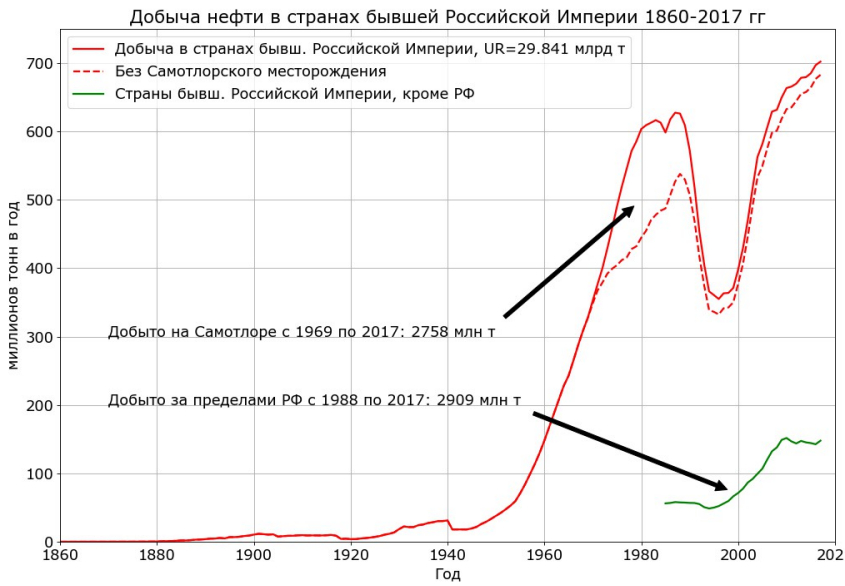
Отчего основанная в 1956 г «*OMV*» ведёт разведку в Новой Зеландии, а не дома в Австрии? Оттого, что в Австро-Венгрии уже искали, там грибов нет – в переводе на геологический язык: «изученность детальная». Первая промышленная нефть – в 1837 году. Американский «полковник»[207] Дрейк нервно курит в сторонке от своей «первой в мире нефтяной скважины» 1858 года. В 2016 году общая накопленная добыча на территории Румынии, Австрии и Венгрии (сосчитать кусочки, отошедшие Италии, странам бывшей Югославии и Польше, не представляется возможным): около 960 млн т – как треть Самотлора. Добыча в 2016 году осталась в Венгрии – 0.65 млн т в год, и в Румынии – 3.8 млн т. Остаточные запасы оцениваются в «несколько млн тонн» в Венгрии и «не менее 80 млн т» в Румынии. Всего природа одарила

207 В армии Эдвин Лаурентин Дрейк (1819-1880) не служил ни разу. К моменту начала Гражданской войны был уже в непризывном возрасте, а прозвище «полковник» то ли присвоил себе сам, напечатав на визитке, то ли друзья помогли, адресуя письма: «Титусвилль, Пенсильвания, полковнику Дрейку».

территорию 415 тыс км² (включая кусочек акватории Чёрного моря) 2'430 тоннами нефти и конденсата на км².

Открытие нефти в Индонезии – 1880 год. В 1897 компания «*Ройал Датч*» (которая ещё не «*Шелл*») начала добычу, а сама «*Шелл*» в следующем году построила порт для экспорта и нефтеперегонный завод. Всего с 1897 по 2017 год, с пятилетним перерывом на Вторую мировую, страна добыла 113% Самотлора: 3'608 млн т. Добыча прошла пик в 1991 на дебите 91 млн т и с тех пор снижается по 2.5% в год. Территория страны вместе с шельфом – 1'911 тыс км²; значит, на каждом квадратном километре, с учётом планируемой добычи до 2050 года – как в бывшей Австро-Венгрии: 2'470 тонн.

К середнячкам относится и территория стран, входивших в Российскую Империю / СССР / СНГ: пятнадцать «союзных республик», Польша и Финляндия. Зачем нужно именно так объединять? Статистические данные по добыче нефти в Российской Империи начинаются с 1860 года. Если выкинуть из статистики польских и финских товарищей, придётся отказаться от «хвоста» с 1860 по 1917 годы.



Общая территория Российской Империи 23.1 млн км², то есть 12.8% площади земной суши (включая Антарктиду); геологическая изученность варьирует от «весьма детальной» в европейской части и на акватории Каспийского, Чёрного и Балтийского морей, до «обзорной» – на побережье Арктики и в акватории Северного Ледовитого океана. С перерывами на войны и революции, условия для работы геологов были вполне приемлемые. Не Багамы, конечно, но явно и не «список Чуковского». Суммарная накопленная добыча к 2017 г 29'840±3'000 млн т; с квадратного километра территории пока добыли по 1'160-1'420 т нефти. Для сравнения масштабов показана также добыча без

Самотлорского месторождения и добыча империи без РФ. Один Самотлор (с 1969 по 2017) – почти точный эквивалент «четырнадцати некогда союзных» и Польши с 1988 по 2017 гг.

Запасы по данным «*BP*» 2018 года в России – 14.5 млрд тонн, в «14 союзных» суммарно – 5.2 млрд тонн (из них 3.9 в Казахстане), в Польше – существенно менее 0.1 млрд, в Финляндии – нет. Если принять эти данные за основу, то начальная плотность извлекаемых запасов нефти в Российской Империи – 2'200±300 toe/км², то есть в пределах всепланетного среднего, посчитанного по оценке Лагеррера. Проект «Стратегии развития минерально-сырьевой базы РФ до 2030 г» указывает запасы нефти по категориям A+B+C_1 «свыше 18.0 млрд тонн» (из них 12 млрд – трудноизвлекаемые)[208]. Там же указано:

В России ежегодно добывается около 500 млн т нефти [В рамках данной Стратегии нефть рассматривается без конденсата, так как запасы и ресурсы конденсата связаны с месторождениями свободного газа. А с нефтью связаны запасы и ресурсы растворенного газа, сырьевая база которого будет развиваться параллельно с МСБ нефти.]; обеспеченность добычи разведанными запасами разрабатываемых месторождений составляет 35-36 лет, однако обеспеченность добычи без учета ТрИЗ нефти составляет не более 20 лет [М.Я.: 6/0.5=12. Всяко меньше 20 лет]. Степень выработанности разведанных запасов достигает 55%, степень разведанности начальных суммарных ресурсов – 46%, то есть в России еще могут быть выявлены сотни новых месторождений нефти, в том числе десятки крупных. В последние годы запасы нефти в России стабильно растут, но основной прирост идет не за счет открытия новых месторождений, а за счет доразведки отрабатываемых объектов и внедрения современных технологий добычи, что позволяет существенно увеличить коэффициент извлечения нефти [М.Я.: То есть тот же процесс, что и в США на месторождениях «как-бы сланцевой»]. При нынешнем состоянии МСБ, без вовлечения в отработку ТрИЗ нефти, удержать достигнутый уровень добычи в период после 2020 г. будет практически невозможно, поэтому нефть относится к числу недостаточно обеспеченных запасами полезных ископаемых.

Если заменить 14.5 млрд тонн (1P) из отчёта «*BP*» на оптимистические 18 млрд т (примерно 2P), получится плотность начальных извлекаемых 2'300 toe/км, то есть в точности мировое среднее Лагеррера. Было бы странно, если бы шестая часть не покрытой ледниками земной суши не попала по статистике на медиану! В России, вне всякого сомнения, будут ещё открыты сотни мелких месторождений нефти, но существование на суше неоткрытых крупных довольно маловероятно. Крупные могут найтись на арктическом шельфе, но они требуют вложений не только несоизмеримо большего капитала, чем на суше, но и времени. Если от утверждения проекта арктической добычной платформы до начала добычи прошло 15 лет – у нефтяников называется «ускорение по-полной». А на суше «сланцевая революция», то есть «бурим, детка, бурим» на трудноизвлекаемых залежах в России идёт полным ходом. Можно даже поспорить, кто начал раньше – Россия или США. Во всяком случае, в 1998 году на месторождениях «*Юкоса*» уже вовсю рвали.

Полный список стран по критерию «пика нефти» по состоянию на 2017 год представлен в Приложении VI. В этом году в хвосте таблицы, где пик пока не пройден, – 9 счастливчиков: Боливия, Бразилия, Гана, Ирак, Казахстан, Конго, Оман, Польша и Суринам. Они занимают 9.4% суши и шельфа, обеспечивая 13.4% мировой нефтедобычи, притом в них проживает 4.8% населения

208 «*СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ до 2030 года*», Москва, 2016, стр. 8.

планеты. Впрочем, реально крупных игроков в девятке всего четыре: Бразилия (133.1 млн тонн нефти и лицензионного конденсата в год), Ирак (226.7 млн тонн), Казахстан (90.2 млн тонн) и Оман (49.3 млн тонн). Польша и Суринам – просто всплеск на статистике, с добычей порядка 1 млн тонн в год в каждой из стран.

Конечно, лидеры списка ещё несколько раз поменяются. У Соединённых Штатов, прошедших пик в 1970 году, и у России (с пиком в 2016) есть реальные шансы на год-два побить собственные рекорды. Однако уже в 2020 побивать можно будет лишь за счёт массированного бурения сотен тысяч новых «сланцевых» / «ТрИЗовых» скважин. Да ведь побитие рекордов – не самоцель. Зададимся лучше вопросом, долго ли удастся удерживать добычу на рекордных отметках более 500 млн т в год.

Пик добычи природных ресурсов сам по себе не проблема. Оттого что наступил пик, не перестают ходить поезда, пахать трактора и летать ракеты. Проблемой является снижение уровня жизни после пика, а оно за неделю-другую произойти не может просто физически. Я не смог установить, кто первый запустил метафору про зеркало заднего вида, оттого использую цитату.

...Пик нефти часто путают с прекращением добычи. Иногда возникает подозрение, что противники пика делают это нарочно: создай себе соломенное чучело, чтобы победить его в честном бою...

Момент прохождения пика нефти точно определить невозможно, мы увидим его последствия в зеркале заднего вида, через несколько лет после бесповоротного снижения добычи...[Раули Партанен, Харри Палохеймо, Хейкки Варис, 2014][209]

На самом деле ресурс не кончается ни за тридцать лет, ни за сто тридцать, просто душевое потребление с какого-то момента перестаёт расти, а затем начинает сокращаться пропорционально остаточным запасам. Хороший пример за пределами геологии: обвальное падение каспийской популяции осетра. Несмотря на запреты, и даже на изобретение имитационной чёрной икры «из мяса мойвы и других океанических», настоящую икру продолжают в небольших количествах добывать, и при наличии денег деликатесом можно полакомиться. Другое дело, регулярно лакомиться могут немногие.

Экономисты при этом говорят, будто «кончается спрос». Вот и колбасу в старом политическом анекдоте никто не спрашивал.

Труднее всего оценить запасы природного газа. В 1956 году Хабберт вынужден был ограничиться грубой оценкой по порядку величины:

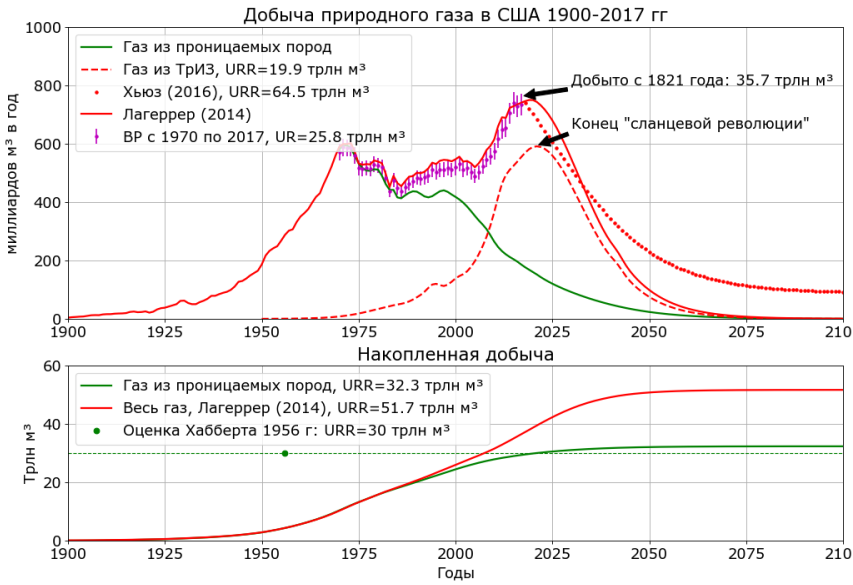
Так как происхождение нефти и природного газа связано с одними и теми же геологическими процессами, вероятно наиболее надёжный метод оценки запасов природного газа – из отношения кумулятивных объёмов газа и нефти в текущей добыче и подтверждённых запасах. Из-за недостаточной статистики, пока [до 1956 года] никто не делал оценок для мировых запасов газа, но про США известно, что в 1955 году добыча природного газа составила 10.1 триллионов кубических футов [286 млрд м³], а чёрной нефти без конденсата – 2.42 млрд баррелей [385 млн м³, или около 320 млн тонн]. В среднем на каждый баррель добытой нефти пришлось 4200 фт³ газа [740 м³ газа на м³ нефти или 890 м³/т].

209 Rauli Partanen, Harri Paloheimo, and Heikki Waris, **The World After Cheap Oil**, Routledge, 2014, ISBN 1138806374

Подтверждённые запасы газа и нефти в США на 1 января 1956 года получены от Американской ассоциации производителей газа (1956) и Американского института Нефти (1956) – соответственно 224 триллиона кубических футов газа и 30.0 млрд баррелей нефти. Это позволяет оценить отношение газа к нефти в структуре запасов как 7500 фт³/баррель [1320 м³/м³ или 1590 м³/т].

[...] таким образом, остаточные запасы природного газа в США могут быть оценены между 540 и 860 триллионами кубических футов [15.3 и 24.3 трлн м³]. Большее значение, вероятно, более надёжно, так как запасы представляют гораздо более надёжную статистическую выборку. Последнее значение близко к оценке Погью и Хилла из банка «Чейз-Манхэттен»(1956) – 750 трлн фт³, и оценке Пратта(1956) – 850 трлн фт³. [19], стр 18.

Посмотрим, как оценки Хабберта ложатся на график фактической добычи в США и прогнозные значения Д.Хьюза и Ж.Лагеррера. Программа **Chapter 14\Graph_10_Laherrere_US_Gas.py**

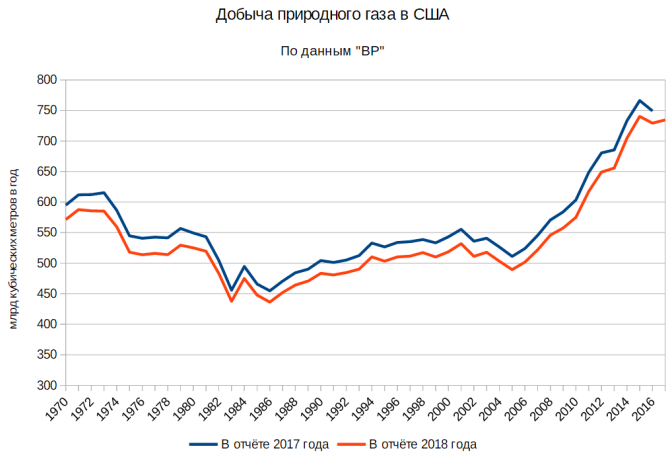


Как видим, оценка Хабберта и Пратта из далёкого 1956 года довольно близка к современной оценке запасов «традиционного» газа – 30 трлн м³ против 32.3 трлн м³. Конечно, кроме «традиционного» есть ещё и газ из ТрИЗ, он же «сланцевый». Хабберту не могло пройти в голову, что в погоне за «жидкостями» американские буровики будут добывать природный газ первичным гидроразрывом себе в убыток!

Заметим также, что в отчёте «*BP*» 2018 года значения годовой добычи идут на 4% ниже, чем исторические значения. Это не случайно. В 2018 Бонды, Джеймсы Бонды, пошурудили в сейфах газовых компаний, и история газодобычи США внезапно поменялась. В 2009 году аналогичный трюк был проделан с историческими данными добычи газа в РФ[210]. Одновременно в отчёте «*BP*» поменялся пересчётный коэффициент из газа в условные тонны нефти (toe). В 2017 году 1'000 кубометров газа соответствовала 0.90 toe, а в 2018 – всего 0.86. Ясное дело, лицензию на ~~убийство~~ правду имеют лишь

210 См. график на странице 182.

самые продвинутые агенты; всё по рецепту Дж.Оруэлла: «*Кто владеет настоящим, тот владеет прошлым. Кто владеет прошлым, тот владеет будущим… Война — это мир. Свобода — рабство. Незнание — сила*».



Выдвигаю предположение, что креаклов и мерчандайзеров (они глубже статистики прошлого года редко смотрят) морально готовят к глобальному пику природного газа. Плавно. По одной стране за отчёт.

Если применить подход Хабберта и посмотреть на долю природного газа, конденсата и ШФЛУ в мировой накопленной добыче, получается отношение (105+15+7)/169 = 0.75 toe «газовых» на toe «нефтяных». Ну или если использовать новый, «самый более правильный» пересчётный коэффициент 0.86 вместо 0.90, то (100+15+7)/169 = 0.72 toe/toe – в пределах погрешности. Тогда, вслед за Лагеррером, глобальные запасы суммы природного газа, конденсата и ШФЛУ можно оценить как 230±40 млрд toe, из них 190±30 млрд toe (210 трлн м³) «сухого» природного газа, 28 млрд toe лицензионного конденсата и 12 млрд toe NGPL/ШФЛУ.

Плотность начальных технически извлекаемых запасов «сухого» природного газа в США варьирует от 5.4 млн м³ / 4'900 toe/км² по оценке Лагеррера 2014 года до 6.8 млн м³/ 6'000 toe/км² по оценке Хьюза 2016 года, что несколько превышает плотность запасов нефти (3'900±400 toe/км²).

В относительно богатой газом Великобритании накопленная добыча с 1970 по 2017 годы – 2'564±130 млрд м³, а остаточные запасы 1P, по данным «*BP*» 2017 и 2018 годов – менее 200 млрд м³. Пик добычи газа случился в 2000 году на уровне 113.5 млрд м³ в год и с тех пор добыча снижалась по 5.7% в среднем за год. Вряд ли общие запасы существенно изменятся, оттого плотность начальных извлекаемых запасов «сухого» газа на территории островов – 11.6 млн м³/ 10'400±1'200 toe/км². Как мы считали выше, для нефти тот же показатель был порядка 17'500 toe/км².

В отчётах «*BP*» начальные извлекаемые запасы природного газа на Земле оценивались как показано в таблице:

Отчёт	Накопленная добыча, трлн м³	Остаточные (1P), трлн м³	Начальные извлекаемые, трлн м³	Начальные извлекаемые, млрд toe
2002 года	69.4	155.1	225	203
2017 года	113.1	186.6	300	270
2018 года	116.7	193.5	310	267

Оценка «*BP*» 2002 года близка к оценке Лагеррера (203 млрд toe против 190±30 млрд toe), а оценки 2017-2018 годов – выше на 35%. В отличие от нефти, коэффициент восполнения запасов природного газа в XXI веке оставался больше единицы: с 2002 года добыто 47.3±2.4 трлн м³ газа, а добавлено запасов 85.6 трлн м³, то есть в среднем за 15 лет коэффициент восполнения 1.81. Данные по регионам представлены в таблице ниже:

Регион	Добыто 2003-2017, трлн м³	Добавлено запасов 2003-2017, трлн м³	Коэффициент восполнения в среднем за 15 лет
Северная Америка	12.22	15.49	1.27
Южная Америка	2.43	3.49	1.44
Европа	4.15	2.25	0.54
Страны бывш. СССР	11.47	14.55	1.27
Ближний Восток	7.00	30.22	4.31
Африка	2.92	5.56	1.90
Азия, Австралия и Океания	7.03	14.07	2.00
ВСЕГО	**47.22**	**85.61**	**1.81**

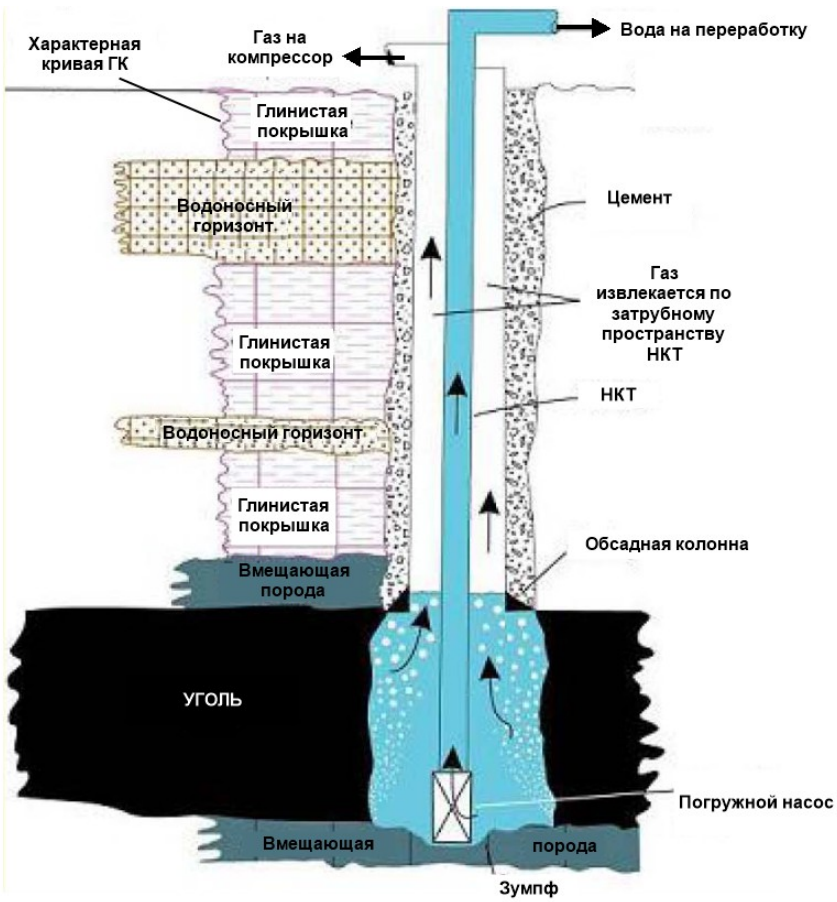
Единственный регион, где находили меньше газа, чем добывали – Европа, что при детальной геологической изученности неудивительно. Добыча газа в Европе прошла пик в 2004 году на уровне 318 млрд м³ в год; единственная ещё не прошедшая пик страна – Норвегия. В 2017 Норвегия добыла 123.2 млрд м³, или половину европейского природного газа. Даже с Норвегией добыча газа в Европе падает по 2% в год. Потребление газа в Европе тоже прошло пик – 568 млрд м³ в 2010 году, и снижается по 1% в год. Типа, колбасу и икру «всё меньше спрашивают». Только вот отчего-то хотят «Северный поток» и другие трубы. Кстати, весь экспорт России 2017 года, включая Японию и страны бывшего СССР – 210 млрд м³, а импорт Европы (исключая страны бывшего Союза) – 290 млрд м³. Европа диверсифицирует поставки газа не столько из-за эмбарго и желания насолить России, сколько от аппетитов, падающих вдвое медленнее, чем собственная добыча.

Собственные аппетиты России если не падают, то и не растут. Пик потребления природного газа был в 2011 году на уровне 435.6 млрд м³, а потребление находилось на «полочке» 420 млрд м³ с 2004 года (в 2017 – 424.8 млрд м³).

Восполнение запасов газа в Северной Америке достигнуто исключительно за счёт ТрИЗ («сланцевого газа»). Сейчас запасы «традиционного» газа обеспечивают не больше 40% добычи в США. Подробно прогнозы разбирались в главах 10 и 11.

Число 30.22 трлн м³ для Ближнего Востока вероятно завышено на 8-10 трлн м³. Там по традиции «забывают» отнимать от запасов годовую добычу. Особенно отличились неизменными константами запасов Иран, Саудовская Аравия, Кувейт и ОАЭ. Приятное исключение – Катар.

Кроме «классического» и «сланцевого» природного газа на Земле есть газ «нетрадиционный». Источников два: «рудничный газ» (он же «метан угольных пластов») и метан-гидраты. Типичная схема добычи рудничного газа показана ниже.



Как в кружке «Умелые руки», нам потребуется четыре предмета:

- Уголь приличного качества. Чем выше ранг угля, тем больше там газа. В лигните метан тоже есть, но его на единицу площади/объёма пласта мало, оттого добывать невыгодно. В отличие от месторождений «классического» и «сланцевого» газа, метан в угле сидит не в порах, а между атомами углерода в самом угле. Выделение такого газа – процесс физико-химический, называется десорбцией и управляется законом Ленгмюра (электронщики знают этот закон под именем закона Чайлда – Ленгмюра – Богуславского или уравнения Шоттки).
- Надёжная «покрышка», то есть пласты глинистых непроницаемых пород. Если покрышки нет, газ просто убежит в атмосферу.
- Чтобы газ изначально накопился в угле (натурально, через абсорбцию) и там миллионы лет ждал хитрого геолога, необходим «мощный аквифер», то есть горизонт, способный снабжать пласт угля водой.
- Наконец, уголь должен быть трещиноватый, чтобы десорбированный газ мог найти дорогу к нашей скважине. Гидроразрыв при отсутствии естественной микроскопической трещиноватости помогает мало, так как сам по себе уголь высоких рангов плохо проницаем.

Добыча рудничного газа сложнее, чем обычного и «сланцевого». После бурения, обсаживания и цементажа скважины надо вызвать вторичную трещиноватость, то есть соединить микроскопические трещины угля трещинами большими. В США широко использовали гидроразрыв пласта, но при этом часто повреждались вышележащие водоносные горизонты, и метан, вместе с вредной химией от гидроразрыва, в них убегал. В Австралии были придуманы щадящие механические методы – расширение ствола скважины в пределах пласта до диаметра 600-1'200 мм гидравлическим андеррimером. Американская компания-изготовитель считала, что подобное невозможно, но австралийцы прикрутили аппарат к бурильной колонне «вверх ногами» и после открытия андеррimера чуть ниже подошвы пласта стали вытягивать колонну из скважины. Появился новый буровой параметр – вместо «вес на долоте» – «тяга на долоте». Специалисты уже улыбаются!

Далее в скважину спускают насосно-компрессорные трубы (НКТ) с погружным насосом. Лучше всего работают вытеснительные насосы PDP (Positive Displacement Pump). Если кто представляет, как работает турбобур, так это турбобур и есть, только повёрнут на 180 градусов и с поверхности его вращает – передаёт торсионное усилие – специальная штанга (вот вам и применение торсионных полей в нефтяной промышленности, хе-хе). Вода по НКТ поднимается на поверхность и идёт в отстойник. Если при строительстве скважины не делали гидроразрывов, качество воды может быть даже пригодным для сельского хозяйства (если только вода в ваших угленосных пластах не солёная). По мере откачки воды десорбированный метан находит дорогу к скважине и поднимается к устью. Здесь его приходится дополнительно сжимать компрессором, чтобы загнать в трубопровод.

Давление газа на устье – всего несколько атмосфер, а в местной газовой линии – 15 или 20.

Угля на Земле много, но далеко не везде четыре геологических условия существования рудничного газа сходятся вместе. Есть конспирологическая теория, что недавняя война в Донбассе была вызвана переоцененными запасами рудничного газа. Во всяком случае, украинские власти через «*Нафтогаз Украины*» и «*Донецкуголь*» пытались найти инвестора для геологоразведочных работ. То ли война помешала разработке, то ли геологи поняли, что условия Донбасса не соответствуют, но внезапно интерес к разработке угас, а новорожденные республики остались разгребать последствия конфликта.

Разведка рудничного газа в соседней Польше пока не дала практических результатов[211]. И судя по результатам предварительных исследований, больших запасов там нет.

В 2018 году активно добывают рудничный газ в Австралии и КНР, где он известен под аббревиатурой CSG (Coal Seam Gas). В США, где тот же газ называют CBM (Coal Bed Methane), разработка началась довольно бодро в начале 2000-х, но пока не взлетела. Кроме метана и углекислого газа в CBM почти ничего нет, оттого отбивать на сепараторах лицензионный конденсат и называть последний «сланцевой нефтью» никак не выходит, а добывать метан в условиях, когда рынок и так завален сухим природным газом, из которого «сланцевые» коллеги вкусняшки отбили, крайне невыгодно.

Теперь перейдём к метан-гидратам (они же метан-хелаты, они же «гидрометан», «метановый лёд», «огненный лёд» и «газогидраты»). В Интернете и прессе часто встречается, будто немереные запасы газогидратов рассыпаны по дну моря, надо только их как-то собрать. Даже в западной прессе проскакивает: «methane hydrate mining», то есть разработка гидратов шахтами (не дай бог, открытым способом). Плотность метан-гидрата при любом давлении ниже плотности дистиллированной воды: 0.92 г/см³ примерно. В более плотной морской воде эти кристаллы всплывают даже быстрее обычного водяного льда! Поэтому ни на морском дне, ни в слабо консолидированных осадках гидраты долго находиться не могут. Злой дед Архимед подбивает их к всплытию и самоуничтожению. Те кусочки, которые изредка находят глубоководные аппараты, месторождениями не являются: удивляет ли вас кусок перемешенного с грязью льда, застрявший на дне лужи? Долго он ждать нас не будет.

Большинство геологов придерживаются органической теории происхождения метан-гидратов, то есть источник газа тот же, что и в «классических» и «сланцевых» месторождениях. Глубоко под землёй в породе разлагается кероген. Если кероген нагреть несколько выше 60°Ц, начинает образовываться нефть и немного газа. За границей около 150°Ц образуется в основном газ, ну

211 https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/polandprefeasibility.pdf

и надо помнить границу «газового окна» в 225°Ц, за которой даже метан образуется неохотно. Образовавшись, нефть и газ медленно просачиваются вверх. Если по пути встречается пористая и проницаемая порода (например, песчаник), покрытая плохо проницаемой («покрышкой»), то нефть и газ там и остаются – образуется залежь углеводородов. Метан-гидратное месторождение – это просто такой необычный тип залежи. Если термогенный метан достигает проницаемого водонасыщенного пласта с соответствующими условиями давления и температуры, то в порах начинают образовываться кристаллы метан-гидратов. При этом проницаемость на 5-6 порядков падает – и пласт начинает задерживать поступающие снизу молекулы метана. И так до тех пор, пока весь поровый объём не заполнится хелатными комплексами.

Есть ещё биогенная теория происхождения метан-гидратов, сторонники которой полагают, что метан – продукт жизнедеятельности бактерий, проживающих в морском иле на глубинах свыше 250-300 метров. Желающих обсудить абиогенную теорию происхождения метан-гидратов из мантии отсылаем к главе 6 и далее.

Самой продвинутой в мире компанией по разведке метан-гидратов является японская «*Jogmec*» (Japan Oil, Gas and Metals National Corporation, Национальная корпорация по добыче нефти, газа и металлов). В 2013 году они заявили, что совершён «прорыв» в области добычи: «первая скважина дала метан из гидратов!»[212] О конкретных величинах дебитов компания умалчивала, а затем информация как-то перестала поступать.

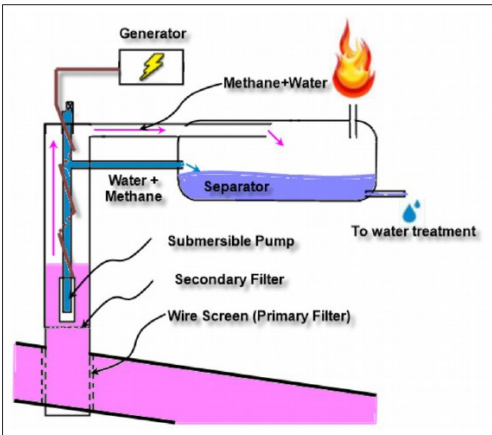
На самом деле «*Нью-Йорк Таймс*» ошиблась, а скважина в Японском море была совсем не первой газогидратной скважиной. Например, в 2003-2004 году консорциум компаний с участием «*Мауэр*», «*Анадарко*» и «*Шлюмберже*» бурил скважину «Hot Ice – 1» на Аляске в районе месторождения Купарук-Ривер, но гидратов не нашёл[213].

Работы в районе дельты реки Маккензи в Канаде (месторождение Маллик) велись с 1972 года другим консорциумом, как раз под предводительством «*Jogmec*». В 1972 была пробурена первая (разведочная) скважина L-38, в 1998 – вторая, 2L-38. В самом конце 2001 приступили к бурению ещё трех скважин: «наблюдательных» 3L-38 и 4L-38 и «испытательной» 5L-38 (все глубиной чуть больше 1'150 м). Весной 2002 года по данным каротажа обнаружилась залежь метан-гидратов с мощностью до 110 метров. В том же году пыталась добывать метан в интервале глубин 907-920 метров, прокачивая через бурильную колонну воду при температуре около 80°Ц. За пять дней испытаний из скважины 5L-38 получилось всего 470 м³ газа[214], после чего площадку законсервировали, оставив в 3L-38 и 4L-38 датчики температуры и давления (в 5L-38 кабель был повреждён).

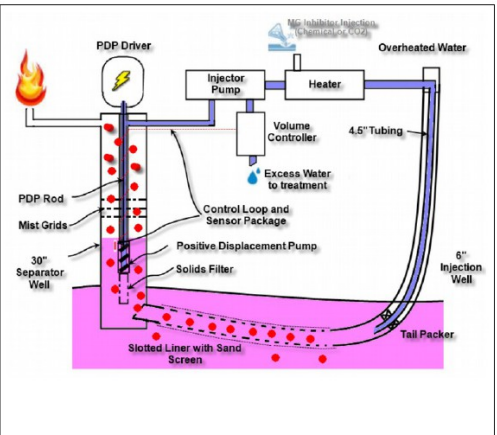
212 Скачано в июле 2018: http://www.nytimes.com/2013/03/13/business/global/japan-says-it-is-first-to-tap-methane-hydrate-deposit.html?_r=0

213 Guntis M., *Seeking flammable ice*, Oil and Gas J., 2003, 101/21, стр 15.

214 H.Takahashi, E.Fercho, and S.R.Dallmore, *Drilling and operations of the Mallik 2002 Production Research Well Program*, Geological Survey of Canada, Bulletin 585, 2005.



Технология добычи за счёт тепловой энергии аквифера (2007-2008)



Технология добычи за счёт внешнего нагрева пласта (2013)

В начале 2007 старую скважину 2L-38 углубили с 1150 м до 1310, а скважину 3L-38 – до 1275 метров. На скважине 2L-38 провели 12 – часовое испытание, получив 870 м³ газа, причём технология была усовершенствована по сравнению с 2002 годом. Вместо бурильной колонны в скважину спускали насосно-компрессорные трубы (НКТ), а чуть выше глубины пласта к НКТ был прикручен скважинный электронасос. Ниже насоса был установлен фильтр, защищавший насос от выноса песка. Ничего такого особенного в системе нет. Точно такие насосы висят в нефтяных скважинах по всему миру. Сепаратор и всё остальное оборудование были вполне стандартные, нефтяные.

Где-то в прессе проскочило, что «*Jogmec*» придумала некий хитрый процесс добычи, когда кусочки метан-гидратов поднимают на поверхность, и там уже разгазируют. Журналисты опять ошиблись! Когда бурят скважину, на поверхность выходят кусочки породы – шлам. Счастливым корреспондентам показывали обыкновенные вибросита, на котором как раз во время бурения буровой раствор освобождался от шлама. Так как бурили зимой, то показывали фокус: при поднесении пропановой горелки шлам загорался лёгким голубоватым огоньком. Обмануть никого не хотели, но так уж повелось, что журналисты никогда на этих грязных, вонючих, гадких буровых не бывали, и откуда берётся шлам не догадывались. К собственно технологии добычи эти фокусы отношения не имеют.

Весной 2008 года снова проводили испытания в скважине 2L-38, а 3L-38 использовали под закачку извлечённой воды. При испытаниях 2007 года в скважине был один фильтр – вокруг колонны, в 2008 году добавили второй: внутри скважины. В высокопористом коллекторе, который имел место на Маллике, с песком намучились.

Итак, после первого блина 2002 – комом, и второго неудачного блина 2007 – с песком и безнадёжно загубленным насосом, третий блин вышел почти

удачным. За 5.5 дня испытаний добыли 13'000 кубов газа, то есть по 2'400 кубика в сутки[215]. К несчастью, тот первый фильтр вокруг колонны был спроектирован неадекватно, и забой скважины между первым и вторым фильтрами забился намертво. Однако «санд-скрин», как называют этот первичный фильтр специалисты – это отработанная технология. На обычных нефтяных и газовых месторождениях тоже иногда ошибаются с расчётом (он зависит от размера зёрен породы, который заранее угадать невозможно), но в последующих скважинах всегда находят правильное инженерное решение.

К лету 2008 «*Jogmec*» обсуждала бурение новой скважины 6L-38, но полугодом раньше, в декабре 2007, случилась заварушка в Нью-Йорке, и «*Лехманы*» и все прочие отчего-то стали разоряться по всей планетке. Короче, многим участникам консорциума на Маллике стало не до экспериментов. Тут же «*Jogmec*» с удивлением обнаружила, что их технология разработки уже используется примерно в пяти тысячах скважин в США, только не в метан-гидратных, а в скважинах рудничного газа (CBM), что мы разбирали выше. Более того, метод был запатентован компанией «*Weatherford*», причём в патенте умные юристы прописали: «для добычи CBM и *других химически-связанных* углеводородов»! Хелаты – химические соединения? Химические! Пожалуйте на баблос. К счастью для «*Jogmec*», прибыли никакой она сделать не успела, так что судиться было не о чем, а патент благополучно истёк в 2011. О чём конкретно договорились юристы «*Jogmec*» и «*Weatherford*», мы никогда не узнаем, но с Североамериканского континента «*Jogmec*» таки ушла.

Чему научились японцы?

- Надо искать месторождения с водой в жидкой фазе, потому что её качать легче, и не надо тратить энергию на фазовый переход воды из льда в жидкость.
- Надо куда-то девать килотонны откачанной слегка солоноватой воды. Технология бурения скважин на Маллике мало чем отличалась от бурения артезианской скважины на воду, и никакого ГРП с ядовитой химией не проводили, но вода в пласте оказалась солёной просто в силу зловредности природы. Приемистость (способность забирать воду) у скважины 3L-38 оказалась недостаточной.
- Для успешной добычи нужен сильный аквифер. Это значит, что на нижней границе гидратов пористая проницаемая порода не заканчивается, а пласт ниже не просто насыщен водой, но и может эту воду легко отдавать. Реакция выделения метана из гидратов – эндотермическая. Мы откачиваем из скважины ледяную воду, а аквифер подаёт снизу чуть тёплую и бесплатно для нас снова греет породу. И всё хорошо, кроме всё тех же килотонн воды на поверхности, смотрим выше.
- Для успешной добычи на месторождении должна быть малопроницаемая «покрышка», чтобы газ шёл в скважину, а не в

215 Ai Oyama and Stephen M. Masutani, *A review of the Methane Hydrate Program in Japan*, Energies, 2017.

атмосферу.

- Надо учитывать технические детали, вроде прочности породы, попадания метана в насос и выноса песка, но это уже мелочи.

Из всего вышеозначенного следовало, что бурить надо не на суше, а на шельфе: тёплый аквифер найти легче, а откачанную почти чистую воду можно сбрасывать в океан. В самой Японии существование месторождения метан-гидратов в Нанкайском прогибе Японского моря было подтверждено 16 разведочными скважинами 2004 года, а в 2012 году была пробурена и та пара скважин для добычи, о которых писала «*Нью-Йорк Таймс*». В наклонно-направленную подаётся насыщенная углекислотой подогретая вода, а из вертикальной скважины большого диаметра выходит газ. Та же вертикальная скважина играет роль сепаратора, а излишек воды сбрасывается за борт. Углекислота нужна в системе как вытеснитель метана из воды. Короче, добывать газ из метан-гидратов можно, но не везде, и страшно дорого.

В 2013 году вышел отчёт «*Jogmec*», где заявлялось о добыче 119'500 м³ газа в течение 6 суток[216], то есть суточный дебит порядка 20 тыс м³. Обещали даже промышленную добычу газа с 2016 года, но в «*Jogmec*» произошла реорганизация, и метан-гидратами там вроде более не занимаются[217], хотя в мае 2017 проскакивал мутный пресс-релиз об испытании разведочной скважины вблизи полуострова Атсуми[218].

Никакой промышленной добычи метан-гидратов к 2018 году не случилось. Поговаривали о продолжении в 2017 году разведочных работ «*Анадарко*» на Аляске, но пока тишина.

В России пока единственное работающее месторождение, где подозревают по сейсмике и моделированию существование метан-гидратов – Мессояхское газогидратное (гипотеза предложена д.т.н. Ю.Ф.Макогоном в 1966 году), однако физическим отбором образцов существование гидратов на Мессояхе пока не подтверждено[219]. Также по сейсмическим данным вероятно есть метан-гидраты по примеру акватории Охотского моря. Глубины залегания залежей – около 400 м (т.е. давление воды примерно 40 атм). Пластовая температура – около +5°Ц. Типичная пористость на малых глубинах – 30%, то есть на один кубометр породы приходится 0.3 куба гидратов. В одном кубометре гидрата метана при таких пластовых условиях содержится 160-190 кубометров стандартного метана: 1 моль метана на 5.75 моль воды. Из кубометра породы можно получить 0.3·180=54 кубометра метана, что соответствует пористости порядка 25% на месторождении «классического» природного газа с глубиной залегания порядка 2 км.

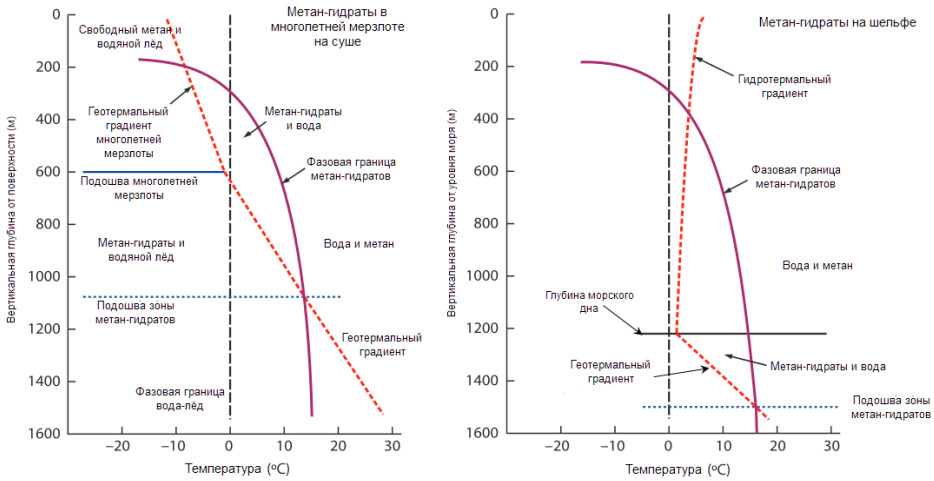
216 Yamamoto, K., *Overview and introduction: Pressure core-sampling and analyses in the 2012–2013 MH 21 offshore test of gas production from methane hydrates in the eastern Nankai trough*. Marine Petroleum Geology. 2015.02.024

217 http://www.meti.go.jp/english/press/2016/1007_02.html

218 https://www.naturalgasworld.com/japan-flares-gas-during-2nd-hydrate-test-37416

219 http://www.oilnews.ru/18-18/promyslovo-geologicheskie-osobennosti-messoyaxskogo-gazogidratnogo-mestorozhdeniya/

Вообще гидраты могут существовать на суше почти с поверхности[220] до глубины несколько ниже подошвы пермафроста (максимальная зафиксированная глубина – в верховьях реки Вилюй – 1370 м), а на море – с глубин порядка 300 м до 1'500-2'200 м. То, что сидит выше подошвы многолетней мерзлоты, добывать с положительным выходом энергии невозможно – там масса тепла должна тратится на перевод «обычного» водяного льда в жидкость. На фазовой диаграмме ниже показаны зоны добычи для суши и шельфа. Нижняя граница гидратов определяется геотермальным градиентом – красная пунктирная линия на графике (заметим, что как геотермальный градиент, так и глубина морского дна в разных местах разные):



USGS в 2008 году оценивала перспективные ресурсы метан-гидратов на Североамериканском континенте между 25 и 158 трлн м³, то есть от 12 до 75% мировых извлекаемых запасов природного газа. В то же время оценка технически извлекаемых, но ещё не подтверждённых 3P – не более 2.7 трлн кубометров[221]. Мировые ресурсы метан-гидратов иногда оценивают огромными величинами – до 20'000 триллионов м³. Очевидно, что подобные оценки берутся из того же места, откуда взялись «3'280'549 млн тонн перспективного угля в Восточной Сибири».

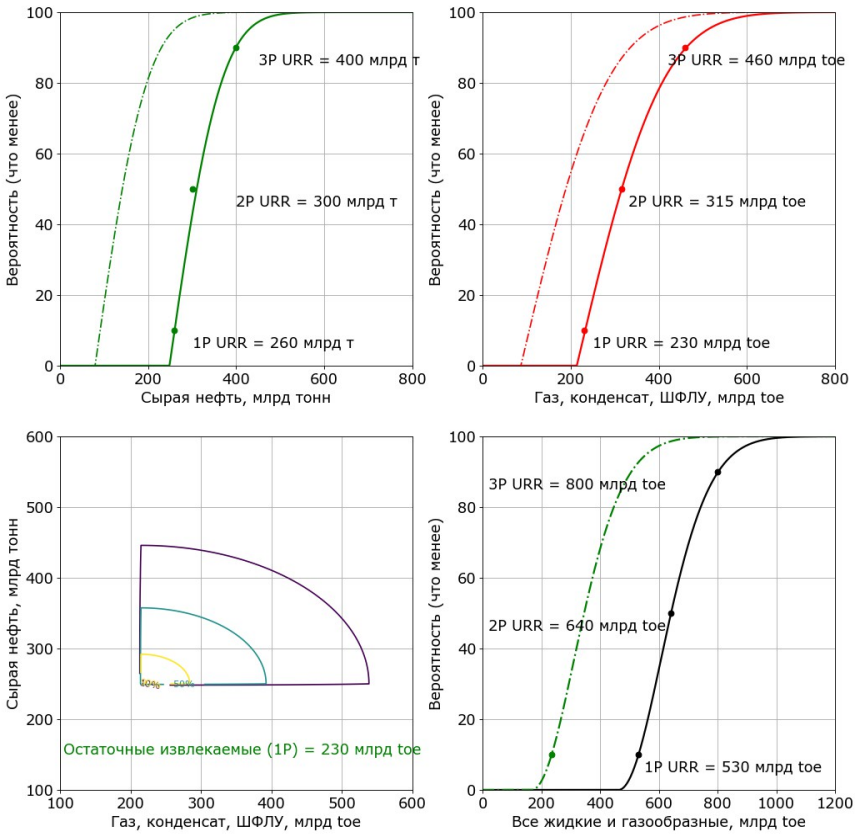
Сведём начальные экономически извлекаемые запасы «жидких», «условно жидких» и «газообразных» в таблицу. В качестве оценок для сырой нефти использована оценка Лагеррера и оценки «*BP*»/EIA. Считать вероятности запасов будем так же, как считали суммарные запасы угля на двух гипотетических месторождениях в прошлой главе. Программа **Chapter 14\Graph_11_Probability_LG.py**

220 В самой верхней части многолетней мерзлоты метан просто «вморожен» в лёд. Этот так называемый «криогаз» – помеха при бурении обычных нефтяных и газовых скважин. На Ямале бурят специальные «разгрузочные скважины» глубиной до 500м для отжига этого газа, и некоторые работают до полугода с дебитом до 50 тыс м³/сутки, однако вряд ли залежи «криогаза» можно использовать как надёжный источник энергии.

221 https://www.netl.doe.gov/File%20Library/Research/Oil-Gas/methane%20hydrates/MH-Primer2011.pdf

Категория	Оценка 1P, млрд toe	Оценка 2P, млрд toe	Оценка 3P, млрд toe
«Классическая» сырая нефть (исключая сверхтяжёлые и битум)	280 («*BP*» с «коррекцией ОПЕК»)	300 (Лагеррер, 2014)	400 («*BP*» без коррекций)
«Сухой» природный газ, конденсат и NGPL	230 (как доля от сырой нефти)	315 (отчёт «*BP*» 2018 года)	460 (включая рудничный газ и метан-гидраты)
ВСЕГО (вероятностная оценка)	530	640	800
Кумулятивная добыча	296	296	296
Остаточные[222]	230	340	500

Распределение вероятностей жидких и газообразных, 2017 год



222 Округлено до двух значащих цифр

Суммарная добыча нефти, конденсата, NGPL и природного газа в 2017 году по данным «*BP*» – 7.552 млрд toe. Вычисленные нами остаточные запасы (1P) – 230 млрд toe. Значит, «при существующем уровне добычи 2017 года» запасов 1P хватит на 230/7.552 = 30 лет. Заметим, что наша оценка – это не только «подтверждённые» запасы, но и то, что с вероятностью более 90% может быть обнаружено в пределах жизни следующего поколения. Нефтяные компании вообще любят делать высказывания типа «При существующем уровне добычи X запасов достаточно на Y лет». Переведём эти высказывания, однако, на человеческий язык:

Заявление геологов / журналистов	Перевод
При существующем уровне добычи / потребления 2017 года, **подтверждённых** запасов нефти и газа достаточно на 30 лет.	Если человечество будет добывать нефть и газ по 7.6 млрд toe в год, а душевое потребление будет снижаться по 1% год, с вероятностью около 10% нефти и газа **не хватит** на 30 лет (до 2048 года).
При существующем уровне добычи / потребления 2017 года, **подтверждённых и вероятных** запасов нефти и газа достаточно на 45 лет.	Если вследствие роста населения человечество будет увеличивать добычу нефти и газа на 1% ежегодно, а душевое потребление останется постоянным, с вероятностью около 50% нефти и газа **не хватит** до 2054 года.
При существующем уровне добычи / потребления 2017 года, **подтверждённых, вероятных и возможных** запасов нефти и газа достаточно на 66 лет.	Если начиная с 2018 года человечество будет сокращать добычу нефти и газа на 1% ежегодно, с вероятностью более 90% нефти и газа **не хватит** до 2125 года.
Перспективных ресурсов нефти и газа достаточно на 300 лет.	Я – Гарри Поттер, у меня есть ~~волшебная палка~~ умклайдет, а в моей 25-литровой канистре – полтонны бензина!

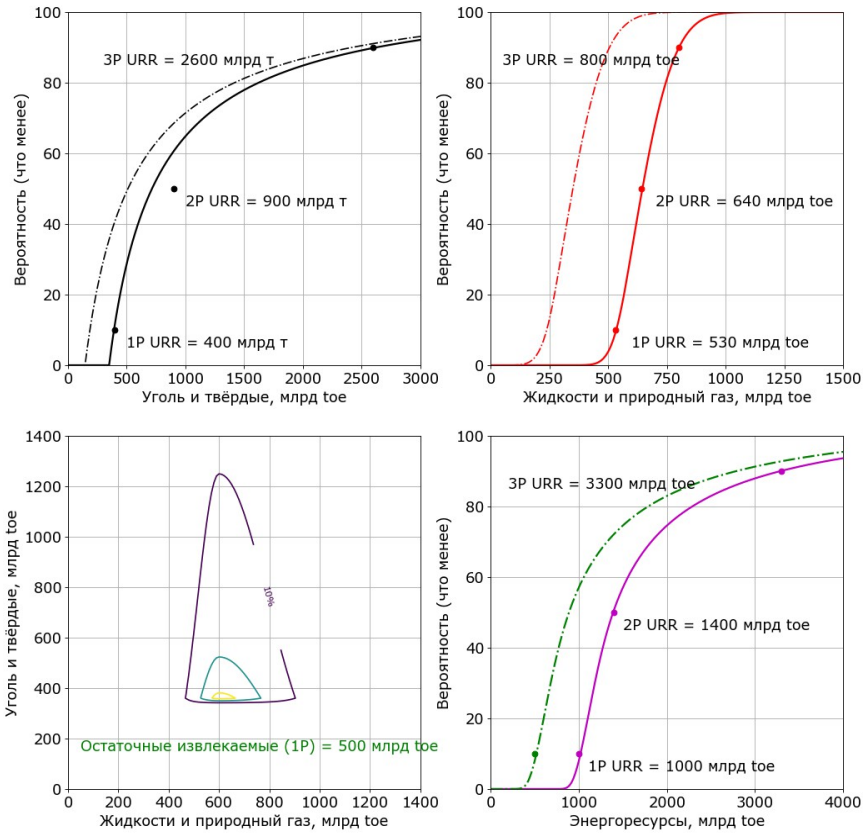
Таблица выше сделана не для того, чтобы кого-то пугать. Тридцать лет – срок долгий, более поколения. В панику впадать не стоит, вполне есть время принимать меры. Однако исторический опыт показывает, что для среднего политика или президента нефтяной компании 30 лет – это целая вечность, и никакого стратегического планирования на подобный срок никто в правительствах и корпорациях делать не станет.

Следуя корпоративной традиции не пугать потенциальных инвесторов, большинство геологов, а вслед за ними и журналисты, используют обтекаемые заявления из левой колонки, оттого предсказания климатологов IPCC о повышении уровня мирового океана на 30-40 см к 2100 году у всех на слуху, а «Пик Нефти» население считает мифом, хотя по факту для сырой нефти пик уже наступил в 2005 году, а для 148 стран и территорий, примерно половины площади суши и шельфа земного шара, – окончательно пройден в прошлом веке.

Теперь повторим вероятностный расчёт для всех энергетических полезных ископаемых программой **Chapter 14\Graph_12_Probability_SLG.py**

Категория	Оценка 1P, млрд toe	Оценка 2P, млрд toe	Оценка 3P, млрд toe
Уголь (включая лигнит), торф, природный битум, сверхтяжёлая нефть	400	900	2'600
Сырая нефть природный газ, конденсат и NGPL	530	640	800
ВСЕГО (вероятностная оценка)	1'000	1'400	3'300
Кумулятивная добыча	501	501	501
Остаточные[223]	500	900	2'800

Распределение вероятностей твёрдых, жидких и газообразных, 2017 год



223 Округлено до двух значащих цифр

По расчёту выходит, что к 2018 году добыта ровно половина технически извлекаемых запасов 1P. При уровне добычи как в 2017 – 11.3 млрд toe, остаточных технически извлекаемых запасов угля, нефти и газа *не хватит* до 2060 года с вероятностью 10% и до конца XXI века *не хватит* с вероятностью 50%. Кстати, «постоянный уровень добычи» означает, что душевое потребление энергетического сырья будет плавно снижаться. К 2060 году демографы ООН обещают нам 10.3 млрд человек. Если сейчас «спроса на электричество нет» у 800 млн жителей Земли[224], то к 2060 году такого спроса не будет у 3.3 миллиардов, то есть у каждого третьего землянина. Вы хотите, чтобы у ваших детей или внуков «не стало спроса» на электричество?

Конечно, добыча ни на какой «полочке» оставаться не будет. Возможные модели изменения добычи от времени будут приведены в последующих главах, а пока итоги наших расчётов:

- Со времён Хабберта нижняя оценка мировых технически извлекаемых запасов чёрной нефти (исключая сверхтяжёлые) увеличилась со 170 млрд тонн до 250-280 млрд тонн. Накопленная добыча к 2017 году – 169±9 млрд тонн, или более 60% от начальных запасов.
- По материалам в открытых источниках начальные технически извлекаемые запасы нефти, природного газа (включая метан из угольных пластов и залежей метан-гидратов) и сопутствующих «жидкостей» (включая «сланцевую нефть») можно оценить между 530 и 800 млрд тонн нефтяного эквивалента (наиболее вероятное значение 640 млрд toe). Из этих запасов 296±30 млрд toe уже добыто. При сохранении уровня добычи 2017 года (7.6 млрд toe в год), остаточных технически извлекаемых запасов с вероятностью около 10% *не хватит* до 2048 года.
- Также по материалам в открытых источниках начальные технически извлекаемые запасы каменного угля, торфа и углеводородного топлива (включая все категории выше и природный битум) можно оценить между 1'000 и 3'300 млрд тонн нефтяного эквивалента (наиболее вероятное значение 1'400 млрд toe). Из этих запасов 501±50 млрд toe уже добыто. При сохранении уровня добычи 2017 года (11.3 млрд toe в год), остаточных технически извлекаемых запасов с вероятностью около 10% *не хватит* до 2060 года.
- При неизменном абсолютном уровне добычи 2017 года и снижении душевого потребления примерно на 1% в год, с вероятностью *менее 10%* остаточных технически извлекаемых запасов жидких и газообразных хватит до 2080 года, но всех запасов энергетического сырья (угля, торфа, битума) – на 250 лет и более. Последнее число вроде бы успокаивает, хотя успокаиваться не следует. Сядете ли вы в такси, если водитель говорит вам, что вероятность доехать до точки назначения – менее десяти процентов?

224 https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS



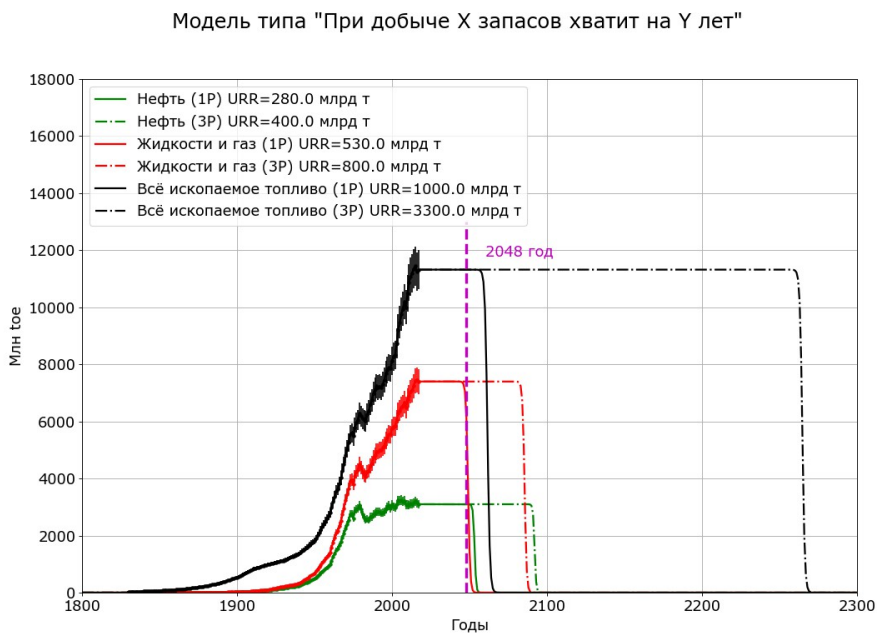
Глава 15.
Ерой нашего времени.

В котловане копошились сотни людей, летела земля с лопат, вспыхивало солнце на отточенном железе. Гружённые грунтом подводы вереницей тянулись по противоположному склону, у штабелей бетонных плит скапливалась очередная смена. Ветер крутил красноватую пыль, доносил обрывки маршей из репродукторов, установленных на цементных столбах, раскачивал огромные фанерные щиты с выцветшими лозунгами: «Гейгер сказал: надо! Город ответил: сделаем!», «Великая Стройка – удар по нелюдям!», «Эксперимент – над экспериментаторами!».

А. и Б. Стругацкие, «Град обречённый»

Простейшую математическую модель добычи мы разобрали в главе 8 – уравнение {8.4} с решением в виде хаббертианы. Там годовая добыча была пропорциональна, во-первых, уже добытому ресурсу и, во-вторых, ещё не добытому, а решением служила специальная функция – хаббертиана {8.5} или {8.6}. Набор из трёх хаббертиан – отдельно по нефти, газу и углю – использовал Йорген Рандерс (и критиковала Гайл Тверберг) в модели *NewWorld*, которая подробно обсуждалась в главе 7. Усложним эту модель.

Сначала применим простейшую калибровку по любимому методу нефтяных компаний и энергетических агентств: «при уровне добычи X запасов хватит на Y лет». Просьба убрать детей и домашних животных, а затем закрыть листочком правую часть графика до пунктирной линии 2048 года. Отрисуем программой **Chapter 15\Model_01_Production_X_over_time_Y.py**



Сплошные линии – оценка 1P, то есть вероятность «обвала» ранее 2048 года – менее 10%. Штрих-пунктирные линии – это оценка 3P, или граница, где ресурс «кончится» с вероятностью более 90%. Теперь желающие могут быстро передвинуть листочек справа налево, закрыть графики до 2100 года и любоваться «бесконечным» количеством каменного угля. Которое произойдёт с вероятностью менее 10%.

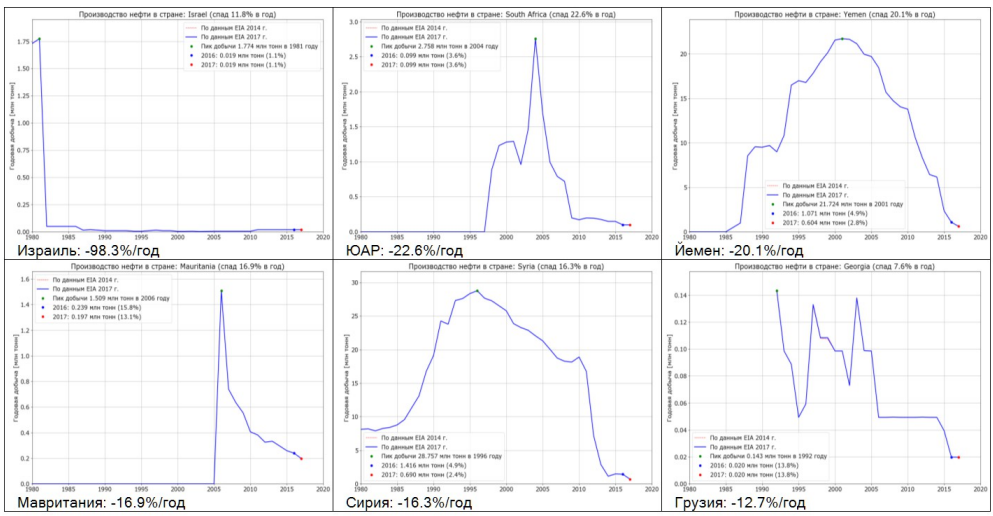
Ясно, что в реальном мире подобных графиков добычи случиться не может. Графики подразумевают, что за год-полтора добыча с 11 миллиардов toe в год рухнет до нуля. Единственный способ добиться такого обвала – выморить популяцию, как происходило в моделях чашки Петри и острова Св.Мэтью из главы 4. Однако люди – не олени, а нефтяные скважины (включая и короткоживущие «сланцевые») и угольные разрезы – не агаровое желе. Даже в случае глобальной термоядерной войны хоть какая-то добыча должна остаться.

Здесь и далее величину спада добычи будем считать по формуле:

$$\delta = 1 - \left(\frac{Q_{2017}}{Q_{пик}} \right)^{\frac{1}{2017 - T_{пик}}} \qquad \{15.1\}$$

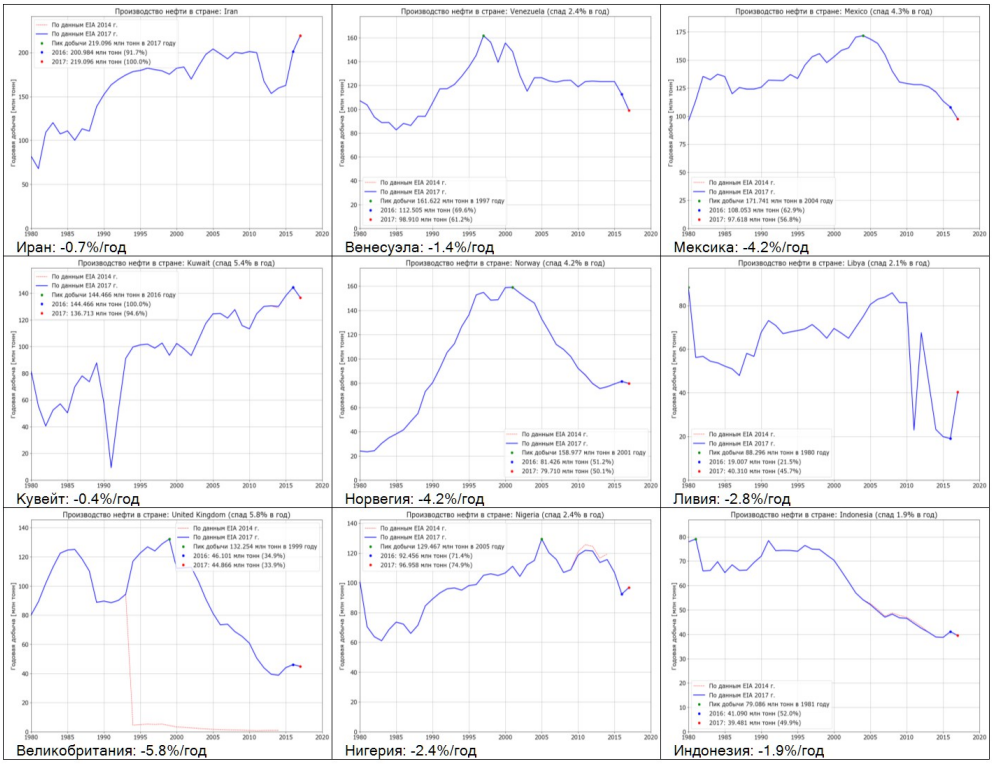
Здесь:
Q_{2017} – годовая добыча в 2017 году;
$Q_{пик}$ – годовая добыча на пике;
$T_{пик}$ – год пика.

Максимальная скорость снижения добычи нефти (включая газовый конденсат) зафиксирована в Израиле, где в 1982 году в связи с закрытием единственной в стране морской нефтяной платформы годовая добыча мгновенно упала с 1.76 до 0.03 млн тонн – то есть на 98.3% за год. Израиль и ещё пять стран, где спад оказался быстрее 10% в год, представлены ниже.



Относительно крупных игроков здесь всего двое: Йемен (с добычей на пике 22.3 млн тонн в год) и Сирия (29.5 млн тонн). В обеих странах обвал добычи привёл к гражданской войне. Впрочем, понемножку воюют все шесть стран.

У игроков крупных, как Иран[225] или Венесуэла[226], спад добычи происходил значительно плавнее – самая высокая скорость спада пока у Великобритании – 5.8% в год, а самая низкая – у Кувейта[227] – 0.4% в год. В среднем по группе из 66 стран, прошедших пик добычи до 2007 года (приложение VI) пик добычи нефти и конденсата прошёл в 1998 году на уровне 1.550 млрд тонн в год, а добыча 2017 года составила 74% от пика, или 1.152 млрд тонн. Среднегодовой спад добычи по формуле {15.1} – 1.5%. «Визуально» на графиках EIA добыча растёт в Иране и Кувейте, да и Венесуэла выглядит почти пристойно. Это оттого, что уважаемое агентство специально выбрало в качестве начала статистики 1980 год – говорят, будто добыча XX века публике неинтересна – только вот пик добычи в этих богатых нефтью странах прошёл в 1970-х.



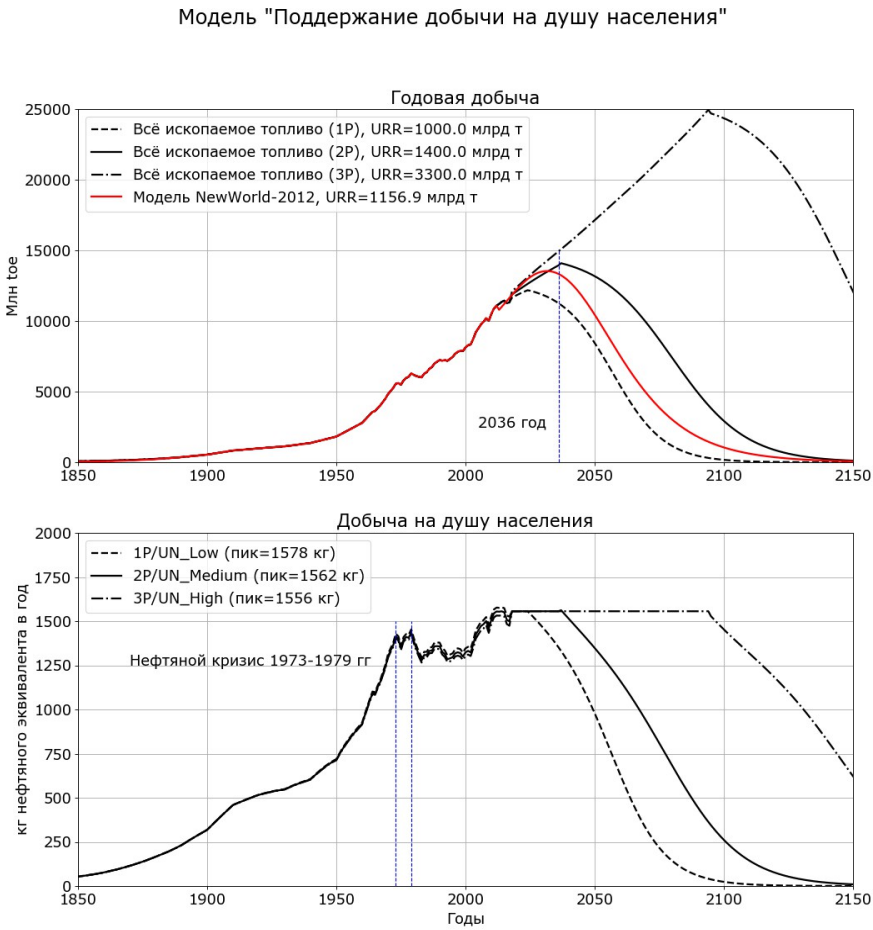
Что модель «при уровне добычи X запасов хватит на Y лет» неприменима к реальной жизни, писали ещё авторы «*Пределов роста*» 1972 года[1]:

Для многих ресурсов потребление растёт даже быстрее, чем народонаселение, так как не только

225 Пик добычи в 1974 году – 303.2 млн тонн; добыча в 2017 году 225.0 млн тонн.
226 Пик добычи в 1970 году – 197.2 млн тонн; добыча в 2017 году 101.6 млн тонн.
227 Пик добычи в 1972 году – 167.3 млн тонн; добыча в 2017 году 140.8 млн тонн. Детальный график на стр. 329.

большее количество людей потребляет ресурс, но и средние запросы членов общества год от года увеличиваются. Другими словами, экспоненциальный рост потребления обусловлен двумя положительными обратными связями: ростом населения и ростом капитала (стр 55).

Если задаться целью поддерживать добычу ископаемого топлива на уровне 1.57 toe на душу в год (около 2 кВт мгновенной тепловой мощности), то с вероятностью около 10% пик добычи по тройке «уголь, нефть и газ» пройдёт в 2025 году, а с вероятностью 90% – до конца XXI века. Наиболее вероятное наступление пика всех угле(водо)родных энергетических ископаемых – 2036 год. Программа **Chapter 15\Model_02_Maintaining_Per_Head_Production.py**

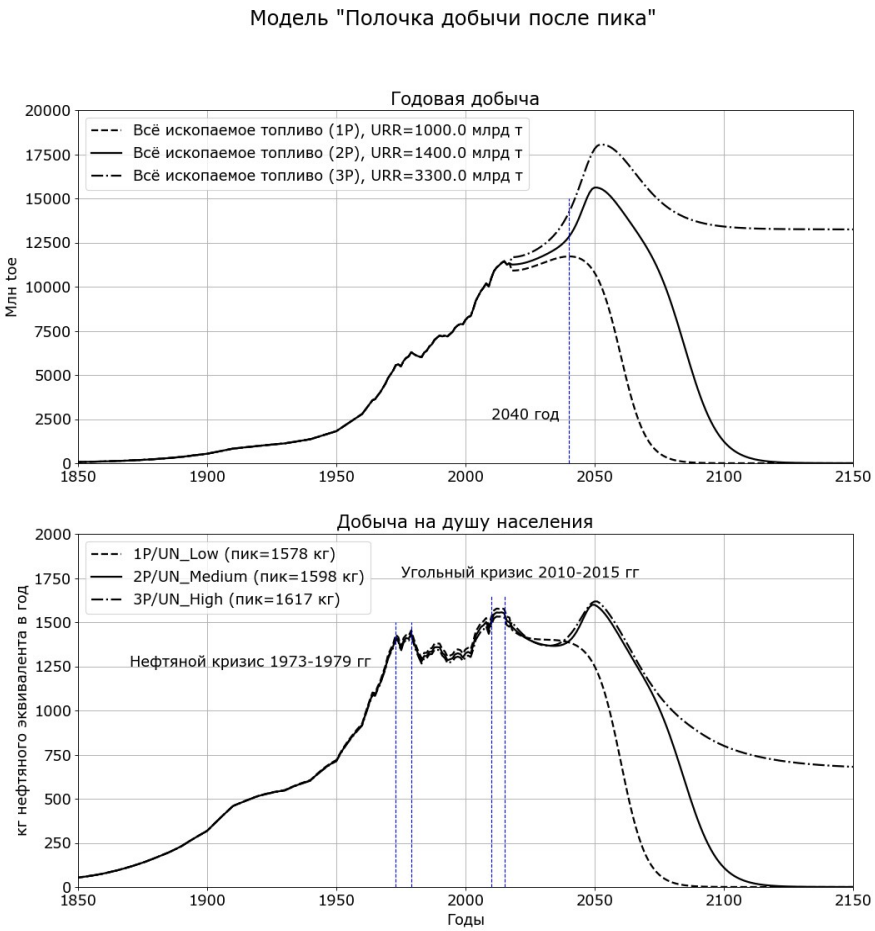


Для сравнения на графике показана красной линей оценка Рандерса из 2012 года. Напомним, что Рандерс предсказывал максимум населения планеты (8.1 миллиарда) в 2040 году, а максимум добычи ископаемого топлива – в 2031.

Здесь и далее в этой главе мы не будем делать предсказаний отдельно по нефти (точнее, «жидкостям»), природному газу и каменному углю (включая торф). Причин этому три. Во-первых, в статистику «жидкостей» непрерывно добавляют вещества не совсем жидкие (или совсем не жидкие): битум из Канады, ШФЛУ с нефтезаводов и прочее, поэтому пик нефти маскируется

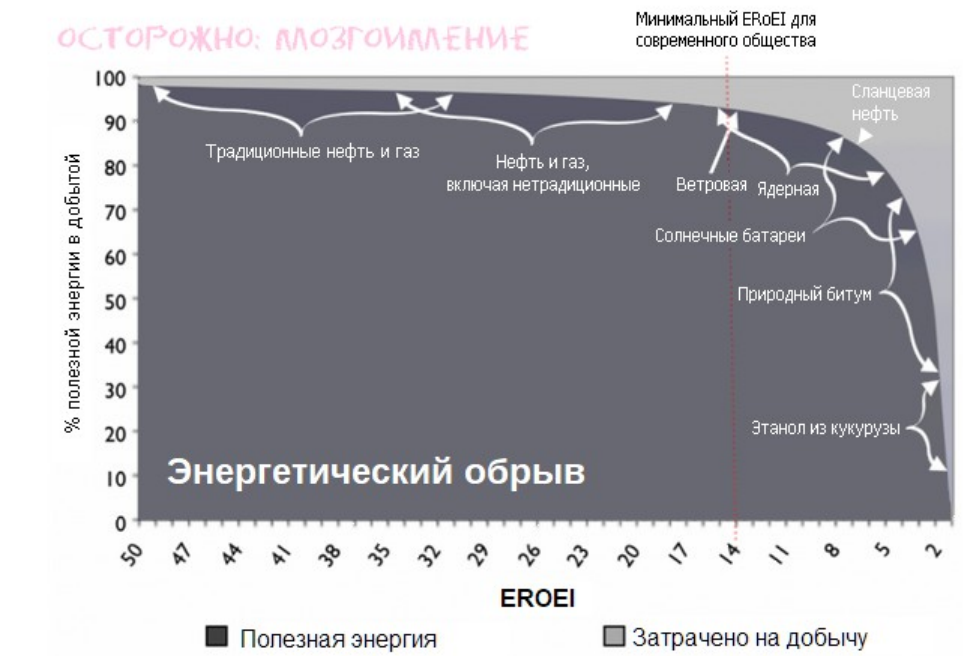
этими добавками. Во-вторых, энергия из нефти – в виде моторного топлива – «спонсирует» добычу природного газа и угля, энергия газа «спонсирует» добычу нефти – например на передвижных ТЭС при гидроразрывах, а энергия угля – к примеру в виде стали для труб – «спонсирует» добычу нефти и газа. Всё накрепко взаимосвязано. В-третьих, по мере исчерпания нефти экономика плавно переходит на газ или уголь: автомобили и поезда могут ездить – после модификаций – и на метане, а из угля можно делать авиационный керосин; натурально, и мазут, и уголь, и газ можно использовать для выработки электроэнергии и тепла на городских ТЭЦ.

Потребление ископаемого топлива на душу населения проходило локальный пик в 1973-79 годах, и тогда этот пик был «нефтяной» – ведь добыча нефти прочти вдвое превосходила добычу угля (в пересчёте на тонны эквивалента) и втрое – добычу природного газа. За пиком последовала двадцатилетняя «полочка» на уровне 1'290-1'390 кг нефтяного эквивалента на душу в год. Почти весь прирост энергии в XXI веке происходил за счёт угледобычи в КНР, и там угольный бум уже остановился. Программа **Chapter 15\Model_03_Plateau_Per_Head_Production.py**



Предположим гипотетически, что вслед за «пиком угля» в Китае случится двадцатилетняя (с 2020 по 2040 год) «полочка» потребления ископаемого топлива на уровне 1'400 кг нефтяного эквивалента на душу, аналогичная стагнации 1980-2000 годов. Далее с вероятностью около 10% произойдёт обвал добычи почти в ноль за 40-50 лет, и с вероятностью также около 10% – плавная стабилизация добычи на уровне 1950-х (700 кг/душу/год), а наиболее вероятный сценарий – абсолютный пик добычи ископаемого топлива в 2050 году с последующим обвалом в ноль за 50-60 лет. Меня согревает мысль, что гипотетический пик 2050 года будет связан с массовым строительством термоядерных реакторов. В этом случае у цивилизации-как-мы-её-знаем есть шанс.

Теперь посмотрим, какая часть добытых ресурсов будет затрачена на саму добычу. На форумах «Нефтепикников» очень любят обсуждать циферки с героическим названием «ERoEI» (Energy Returned over Energy Invested[228], «производство энергии на единицу затраченной», произносится обычно с буровицким акцентом: «е-рой»). Вот типичный график[229]:



Как правило, на тех же форумах дело кончается безудержным холиваром.

Кто-то считает затраты энергии исключительно на добычу ископаемых на поверхность. Параметр называется $ERoEI_{st}$ (стандартный). Например для нефти из конкретного месторождения надо просуммировать энергетические затраты на бурение и оборудование скважины и добавить энергетическую

228 Встречается также британская аббревиатура EROI (Energy Returned Over Invested).
229 Адаптировано с http://thenextturn.com/eroei-energy-cliff/

стоимость регулярного ремонта и обслуживания и расход энергии на насос-качалку. Далее берём энергетическую ценность добытой за время полезной жизни скважины нефти и делим на полученную сумму…

$$ERoEI_{st} = \frac{k \cdot URR}{\sum E_i} \qquad \{15.2\}$$

Здесь:
URR – накопленная добыча за время жизни скважины или месторождения;
k – теплотворная способность на единицу добычи;
$\mathbf{E_i}$ – энергозатраты на бурение, оборудование, обслуживание скважин, и т.д.

«Стоп! — говорит геолог, — Помимо добывающих скважин у нас были разведочные. Нефти мы из них получили всего по два десятка литров на анализ, но бурили-то всяко не бесплатно! Добавьте сюда энергию, потраченную на геофизические исследования и прочую ерунду. Без этой ерунды вы бы даже не знали, куда бурить».

Инженер-разработчик добавит, что кроме скважин добывающих есть и нагнетательные. Сами они нефть не производят, но без них давление в залежи упадёт, и добывающие достанут вдвое меньше. Кроме оборудования отдельных скважин есть оборудование общее – на кустах и на заводах по подготовке нефти.

Буровик стукнет по столу: «Не работает ваш хитрозадый расчёт, господин экономист! Чтобы бурить, надо проложить дороги, отсыпать площадки, поставить вагончики для людей, подтащить и смонтировать вышки (а по окончании работ – демонтировать и утащить). Ваша формула этого не учитывает, а горючее на это мы тоже тратим немерено».

Даже в пределах одного месторождения $ERoEI_{st}$ двух соседних скважин может различаться на порядок. Вот вертикальная скважина 1960 года, пробуренная в богатую основную залежь и честно дававшая нефть 36 лет. На строительство этой скважины ушло 2 км стальных труб, а бурила её простенькая установка с бригадой 30 человек, включая бульдозериста. А вот пробуренная в 2012 соседка: десятикилометровая горизонтальная, с первичными гидроразрывами. Бурили её чудом техники сто восемь специалистов, под землю совали космическую электронику, и одних инженеров по геофизической проводке скважины в реальном времени одновременно трудилось целых четверо. Потом сорок разбойников (за деньги) на тридцати насосах два дня делали гидроразрывы… Эта золотая скважина добывает нефть из крохотной второстепенной залежи (пардоньте, ТрИЗ) на фланге месторождения. Точнее, добывала. На дворе 2018 год, а на куст уже поехала бригада КРС – пробку ставить и головку демонтировать. Была скважина, да вся вышла.

Экономист соглашается, что по отдельным скважинам считать $ERoEI_{st}$ – пустая трата времени, и что этот показатель имеет смысл только на уровне целого

месторождения, а то и целой страны. Вычисление по формуле {15.2} – занятие крайне трудоёмкое, потому что сумма в знаменателе для средней руки месторождения на сотню скважин состоит примерно из миллиона слагаемых. Тут вам и бурильные трубы разных типов, и долота, и обсадные колонны, и цементы (ага, они тоже разные бывают), и бентонит… Можно продолжать перечисление жизненно необходимых и недешёвых «мелочей» ещё страниц на тысячу.

Наконец подымается бухгалтер, поправляет очки и говорит: «Не смогу я вашу ерою посчитать! Вот долото буровое алмазное БКВД на 152 мм. Стоит по прейскуранту 9'000 гривен. В гривнах могу посчитать, а также в рублях и американских долларах. Если поставите пол-литра, то и в тугриках сумею. А в джоулях не могу. Нету такого параметра в прейскуранте». Тогда экономист пробует считать по другой формуле:

$$ERoEI_{st} \approx \frac{\bar{c} \cdot URR}{\sum C_i} \qquad \{15.3\}$$

Здесь:
URR – накопленная добыча из месторождения в рыночных единицах;
$\bar{\mathbf{c}}$ – усреднённая рыночная цена ресурса в долларах, с учётом инфляции;
$\mathbf{C_i}$ – затраты на бурение, оборудование, обслуживание скважин, и т. д. в долларах, с учётом инфляции.

Получается несколько проще, так как в знаменателе сумма капитальных затрат и накопленной стоимости эксплуатации месторождения, а эти показатели любой бухгалтер считает по определению. Хуже, что рыночные цены нефти, газа и угля (а также труб, долот и бентонита) скачут как попало, оттого точность вычисленного $ERoEI_{st}$ – плюс-минус один лапоть.

В энергетической отрасли подсчётами $ERoEI_{st}$ никто не занимается. Бухгалтерам, буровикам и шахтёрам этот показатель не нужен, геологам и разработчикам – тем более.

Нет сомнений, однако, что по мере добычи ископаемых показатель $ERoEI_{st}$ в среднем уменьшается. Природный битум для обработки днища своего каноэ умелый франко-канадский охотник в 1750 году добывал штыковой лопатой прямо из берега речки, выход полезного продукта «на один втык лопаты» был порядка пяти килограммов, а четырёх втыков с лихвой хватало на всё судёнышко. Полезная энергия битума раз в миллион превышала амортизацию всяко нужной в хозяйстве лопаты, $ERoEI_{st}$=1'000'000. Теперь для добычи битума требуется лопата самоходная, с черпаком сто тонн, да ещё монстрообразные карьерные самосвалы, обогатительная фабрика и крекинг-конвертеры.

В 1821 году Уильяму Харту для добычи «сланцевого газа» понадобилась пара смолёных бочек и всего 21 метр стальной трубы. В 2018 только обсадной

колонны вам надо несколько километров, да прикиньте стоимость гидроразрыва, да прибавьте трубопровод и насосно-компрессорные станции. Затраты растут куда быстрее объёма добычи.

Следующая разновидность: $EROEI_{pou}$ (point of use – на точке применения) – включает расходы не только на добычу, но и на доставку полученных ресурсов конкретному потребителю, а также неизбежные потери при транспортировке. Одно дело везти уголь на львовскую ТЭЦ с Донбасса, а совсем другое – из Южной Африки!

$$EROEI_{pou} = \frac{k \cdot (1 - d_{tr}) \cdot URR}{\sum E_i + \alpha \cdot URR} \qquad \{15.4\}$$

Здесь:
URR – накопленная добыча за время жизни месторождения;
k – теплотворная способность нефти на единицу добычи;
$\mathbf{d_{tr}}$ – доля потерь при транспортировке;
$\mathbf{E_i}$ – энергозатраты на бурение, оборудование, обслуживание скважин, и т. д.;
α – энергозатраты на перевозку единицы ресурса до потребителя (транспортный тариф).

Для каменного угля $EROEI_{pou}$ был на уровне 1000:1 в Англии XIV века, где босоногие дети с корзинками собирали на пляжах Уэльса «морские кочерыжки» (sea coles) – окатанные прибоем кусочки угля из прибрежных месторождений. «Доставка к потребителю» – это прошагать пару миль до ближайшей фермы или кузницы, а «потерь при транспортировке» не случалось вовсе – если корзинка по дороге порвалась, сбегаешь за новой и соберёшь рассыпанное. Уже в начале XVII века уголь возили баржами по рекам и каналам, и стоимость доставки стала существенной. Существенными были и потери. На заставке этой главы – лондонские «мадларки»[230]. В низкий прилив бедные оборвыши копались в жидкой грязи Темзы, вылавливая упавший с барж уголь.

Для масштаба величин прикинем $EROEI_{pou}$ 1900 года. Электровозов пока не внедрили. Паровозик «Овечка» весело тащит из Юзовки в Киев состав из 70 двуосных полувагонов – 700 тонн прекрасного донецкого антрацита. Длина состава предельная для того времени – почти 570 метров. На дистанции 675 вёрст (примерно 720 км) израсходовано около 5 тендеров того же антрацита по 7 тонн. Делим 700 тонн на 35, получается EROEI=20, а мы даже не принимались ещё считать расход угля в шахтной паровой машине, подвоз дубового бруса для крепи и рацион овса для усталых подземных пони! Могут возразить, что кроме Киева есть и Запорожье, до него всего-то 160 вёрст. Но на Запорожье есть и Воронеж, и Минск, и Львов, и Москва, и всем уголь нужен, а не то начнётся разруха. В военную зиму 1916-1917 попробовали – все знают, что получилось.

230 Mudlarks – буквально: «играющие в грязи». Хотя на пустой желудок вряд ли забавно.

Конечно, и развитие транспортной технологии может увеличивать $ERoEI_{pou}$. Например, переход к дизельной или электрической тяге на железной дороге позволил повысить показатель для транспортировки угля примерно в 6-8 раз, так как общий КПД тепловоза (нефть на нефтеперегонном заводе – дизтопливо на станции – механическая работа локомотива) или электровоза (природный газ на ТЭС – электроэнергия в контактной сети – механическая работа локомотива) – порядка 20%, а КПД паровоза – сами знаете.

Специалисты замечают, что надо, однако, включить в показатель и стоимость обогащения и переработки ископаемого топлива (как, например, превращение сырой нефти в дизтопливо и бензин или товарную подготовку газа). $ERoEI_{ext}$ (extended – в потребительском виде):

$$ERoEI_{ext} = \frac{k \cdot (1 - d_{tr}) \cdot (1 - d_{proc}) \cdot URR}{\sum E_i + \alpha \cdot URR + \beta \cdot URR} \qquad \{15.5\}$$

Здесь:
URR – накопленная добыча за время жизни месторождения;
k – теплотворная способность нефти на единицу добычи;
$\mathbf{d_{tr}}$ – доля потерь при транспортировке;
$\mathbf{d_{proc}}$ – доля потерь при переработке;
$\mathbf{E_i}$ – энергозатраты на бурение, оборудование, обслуживание скважин, и т. д.;
α – энергозатраты на перевозку единицы ресурса до потребителя;
β – энергозатраты на переработку единицы ресурса.

Чтобы не замыкаться на нефти, газе и угле, приведём исторический пример из книги Чарльза Халла и Кента Клитгаарда «*Энергия и богатство народов: основы физической экономики*»[29]. Горная Швейцария примерно с 1560 по 1720 годы славилась в Европе самым крепким железом. Каждый попаданец мечтал купить доспехи швейцарской работы, ну или на худой конец научить жителей неприступных Альп делать пулемёты. Авторы так описывают среднестатистическую семью швейцарского лесоруба того времени (сокращённый русский перевод и комментарии в квадратных скобках мои):

Типичный лесоруб с семьёй вёл полу-натуральное хозяйство на площади 50 га: 2 га пашни, 8 га пастбищ и 40 га леса (50 га в год получают порядка 1'500 ТДж солнечной энергии) [У меня выходит больше: 0.5 км²·163.2 МВт·32·10⁶ сек/год = 2'600 ТДж; спишем на облачный климат Швейцарии]. В неделю семья вывозила в город полтонны древесного угля, или 25 тонн в год. Энергия сгорания этого угля – 760 ГДж [Значит, КПД системы «лес + лесоруб = древесный уголь» по солнечной энергии – порядка 0.05%]. Работа требовала не менее 0.5 ГДж мускульной человеческой энергии и не менее 3 ГДж работы лошадей. Если считать только по затратам мускульной силы человека, то $ERoEI_{ext}$ системы около 1500:1, но с учётом затрат мускульной силы животных – порядка 220:1. […]Однако этот расчёт не включает трату энергии на выращивание продовольствия, обогрев дома и прочие затраты на содержание самого лесоруба и членов его семьи (включая детей – замещение рабочей силы). На это уходило по расчёту не менее 105 ГДж, и видимо почти столько же энергии на содержание домашнего скота. [Авторы не приводят окончательный расчёт, но можно сделать за них: $ERoEI_{soc}$ = 760/(105+105+3.5) = 3¾:1.[231]]

231 Отдельно отметим, что 40 га леса захватывают в год менее 0.4 км²·0.6 МВт·1'500/2'600·31.6·10⁶ сек/год = 4'300 ГДж энергии Солнца; и «возобновляемым» такое лесное хозяйство может быть только если КПД перевода дров в уголь более 760ГДж/4'300ГДж = 18%. Естественно, подобная эффективность в Средние века только снилась, оттого леса вырубались примерно втрое быстрее, чем росли. Почти все леса в

Согласно расчёту авторов, на содержание семьи примерно из 6 человек, с четырьмя рабочими лошадьми (будем считать их «средневековым трактором») и коровой (это «средневековый холодильник»), уходило порядка 200 ГДж в год, то есть по 200 10^9 Дж / 6 / 31.6·10^6 сек/год = 1.1 кВт мгновенной тепловой мощности на душу. Это уровень жизни вполне зажиточной и благополучной семьи лесоруба в 1650 году[232]. «Благополучие» относительное, конечно: четыре ребёнка – вероятно выжившие из восьми или десяти родившихся.

Пример выше показывает ещё одну разновидность нашего показателя: социальный $ERoEI_{soc}$. Его обычно пробуют считать не по энергии, а по деньгам:

$$ERoEI_{soc} \approx \frac{\bar{c} \cdot (1 - d_{tr}) \cdot (1 - d_{proc}) \cdot URR}{\sum C_i + \alpha\, URR + \beta\, URR + \sum G_j} \qquad \{15.6\}$$

Здесь:
$\underline{U}$RR – накопленная добыча из месторождения в рыночных единицах;
$\bar{c}$ – усреднённая рыночная цена ресурса;
C_i – затраты на бурение, оборудование, обслуживание скважин, и т. д.;
d_{tr} – доля потерь при транспортировке;
d_{proc} – доля потерь при переработке;
G_i – заработная плата и социальное обеспечение занятых работников;
α – стоимость перевозки единицы ресурса до потребителя;
β – стоимость переработки единицы ресурса.

Стило бы сюда включить и экологический ущерб от добычи – шахтные терриконы и карьеры битуминозных песков ландшафт явно не красят. К сожалению, надёжных методов оценки необходимой для рекультивации энергии пока не существует, да если они и появятся, расчёт для аравийской пустыни, канадской тайги и техасских равнин придётся делать по совершенно разным алгоритмам, а значит в знаменателе опять добавляется множество трудно поддающихся учёту слагаемых. Вряд ли, однако, следует включать в затраты стоимость радиомаяков и предродовых УЗИ для беременных китих, как предлагают некоторые «Зелёные», которые хотят насчитать ERoEI нефти и газа поменьше, чтобы потом сравнить с ERoEI приливной электростанции.

Отдельный холивар – что считать в затратах **G_i**: только ~~еду для рабов~~ зарплату и «бесплатную» спецодежду или стоимость всей потребительской корзины занятых в энергетике работников и членов их семей (включая образование, медицину, государственные пенсии и т. п.) Нужна ли детишкам шахтёра средняя школа? Пусть после пятнадцатого дня рождения ~~на хрен~~ в шахту идут! Трудовая смена, как до сих пор практикуется в Индии и КНР.

Швейцарии были за 160 лет вырублены, и страна плавно перешла от выплавки железа к производству пистолетов, часов, сыра и шоколада. Леса восстановились. По данным управления лесов Швейцарии, в 2016 году там было 1'220'000 га лесов, но из них лишь 14'000 – реликтовые. Можно оценить, что к 1720 году трудолюбивые альпийские лесорубы вырубили леса на 95-98%.

232 В главе 12 приводились данные по среднему потреблению в Англии и Уэльсе в 1650 году: менее 850 Вт на душу.

Впрочем, даже с едой и спецодеждой не так всё однозначно. Энергетическая ценность миски тюремной баланды из брюквы вероятно даже превышает калорийность порции филе-миньон в пятизвёздочном ресторане – ведь пятизвёздочные клиенты фигуру-то берегут, – однако для приготовления звёздного ужина уходит куда больше энергии (музыка Моцарта и ежедневный массаж для коров чего-то стоят). Можно включить в спецодежду шахтёра респиратор, а можно и не включать. Последнее явно повышает эффективность угледобычи – товарищ помрёт в сорок пять, и пенсию не платить. Лично я подобный чёрный юмор не одобряю, но из песни слова не выкинешь – это типичный уровень цинизма у желающих насчитать ERoEI каменного угля побольше, чтобы доказать, что АЭС (на которых труд пятнадцатилетних-с-неполным-восьмилетним отчего-то не востребован) ~~не крутят~~ не катят.

Ясно, конечно, что для любого энергетического ресурса:

$$1 < EROEI_{soc} < EROEI_{ext} \leq EROEI_{pou} \leq EROEI_{st}$$

С точностью «плюс-минус лапоть» ERoEI считают энтузиасты – экономисты в академической и полуакадемической среде, как, к примеру, в вышедшем в 2013 году исследовании группы учёных из британского центра экологических исследований SUNY[30]. Приведём выдержку (перевод мой, в скобках ссылки авторов работы). Речь ниже идёт о $EROEI_{st}$:

- ***В Соединённых Штатах показатель ERoEI новых открытых нефтегазовых месторождений снизился с 1'000:1 в 1919 году до 5:1 в 2010, для добычи с уже освоенных месторождений – с 30:1 в 1970-х до менее чем 10:1 сегодня (Gilford et al, 2011). Тот же показатель в целом по планете (включая США) снизился с 30:1 в середине 1990-х годов до примерно 18:1 в 2006 (Gagnon et al, 2009). ERoEI отдельно для нефти и для природного газа установить затруднительно, поскольку мировая статистика добычи не показывает отдельно «жидкости» из газовых скважин и попутный газ из нефтяных (Murphy and Hall, 2010, Gupta and Hall, 2011).***
- ***В угольной промышленности ERoEI к 1980-м годам снизился с 80:1 до 30:1, но затем, в связи с ускоренной разработкой месторождений открытым способом [М.Я.: и наплевательского отношения к рекультивации], вернулся к 80:1 примерно в начале 1990-х. Качество добываемого угля продолжает снижаться, в то время как добыча в тоннах до последнего времени росла (Hall and Klitgaard, 2012) [М.Я.: это писали в 2013 году, тогда ещё росла]. В добыче США[233] начали преобладать низкие ранги угля, и несмотря на увеличение добычи в тоннах пик добычи угля по энергии прошёл в 1998 году (Hall et al, 2009, Murphy and Hall 2010).***
- ***Подсчёт ERoEI по ядерной энергии оживлённо дискутируется. Сложность расчётов вызвана необходимостью оценки технологических затрат и экологических последствий извлечения урановой руды разнородного качества, а также ликвидации возможных аварий (таких как Чернобыль и Фукусима). Большинство исследователей (например, Hall and Klitgaard, 2012) полагают значение ERoEI в пределах от 5:1 до 15:1, есть неопубликованные исследования, показывающие существенно больше.***
- ***Почти все возобновляемые источники энергии имеют низкие значения ERoEI по сравнению с традиционным ископаемым топливом. Этанол на основе кукурузы имеет ERoEI меньше чем 2:1 (например, Patzek, 2004, Pimentel and Patzek, 2005, Farrell et al. 2006, Hammerschlag, 2006). Ветровая энергия имеет относительно высокое значение ERoEI, возможно до 18:1 (Kubiszewski, 2010), но для солнечных электрических батарей [М.Я.: сюда не включают солнечные нагреватели воды, где значения существенно выше] показатель продолжает оставаться низким, как абсолютный максимум, не выше 7:1 (Prieto and Hall, 2012). Если учитывать необходимость затрат на решение проблемы прерывистости солнечной и ветровой энергетики [М.Я.: например, гидроаккумулирующих станций, как разбирали в главе 12], то их***

233 Пик добычи угля в США подробно обсуждался в главе 13.

ERoEI уменьшается ещё сильнее [М.Я.: вероятно до 3:1 у ветровых и 1:1 у солнечных], но с другой стороны, электрическая энергия [по сравнению с химической энергией ископаемого топлива] может быть преобразована в механическую работу с гораздо большей эффективностью.

В 2014 году Джессика Ламберт и её коллеги[234] предложили считать $EROEI_{soc}$ по упрощённой схеме:

$$EROEI_{soc} \approx \frac{GDP}{\sum q_i \cdot \bar{c}_i} \qquad \{15.7\}$$

Где:
GDP – внутренний валовый продукт (ВВП) страны или региона в текущих долларах (либо в долларах за какой-то конкретный год, например 2010);
$\mathbf{c_i}$ – усреднённая рыночная цена ресурса (угля, нефти, газа, гидро и т. д.) в текущих долларах (либо в долларах за какой-то конкретный год, например 2010);
$\mathbf{q_i}$ – потребление ресурса (угля, нефти, газа, гидро и т. д.) экономикой страны либо региона.

Красота подхода, безусловно, в том, что значения потребления угля, нефти, и так далее для стран и регионов, благодаря «*BP*» и EIA мы знаем довольно-таки неплохо, а цены на ресурсы даёт биржа. Коэффициент нечувствителен к инфляции, так как доллары в числителе сокращаются с долларами в знаменателе. С методикой подсчёта ВВП (мы используем числа МБ[235])дело обстоит значительно хуже, но об этом чуть позже.

Для примера приведём прикидку показателя $EROEI_{soc}$ для США, КНР, Индии, России, Кувейта и Украины в 2017 году.

Потребление ископаемого топлива в единицах и условных затратах (2017 г):

Страна	Нефть, млн барр.	Газ, трлн фт^3	Уголь, млн ст. тонн[236]	Затраты, млрд $	% в мире	Энергия, 10^{18}Дж	% в мире
США	7'256	26.1	688	601	17.7	77	16.3
КНР	4'672	8.5	3'919	681	20.0	111	23.5
Индия	1'712	1.9	878	188	5.5	28	6.0
Россия	1'177	15.0	191	167	4.9	25	5.3
Кувейт	164	0.8	0	13	0.4	2	0.3
Украина	75	1.1	51	15	0.4	2	0.5
В мире	35'838	129.6	7'727	3'399	100.0	472	100.0

234 Jessica G. Lambert, Charles A.S. Hall, Stephen Balogh, Ajay Gupta, Michelle Arnold, Energy, **EROI and quality of life**, Energy Policy, 64(2014)153–167
235 Данные тут: https://data.worldbank.org/indicator/ny.gdp.mktp.cd
236 Пересчитано из тое как 2.07 стандартные тонны на тое.

В качестве условных цен (для прикидки точные региональные значения нас не интересуют) используем средние по данным «*BP*» за 2017 год[10]: $53.1 за баррель нефти, $5.7 за тысячу кубических футов газа, $98 за метрическую тонну угля и $0.1 за киловатт-час поставленной в общую сеть электрической энергии (сюда включается ядерная и гидро плюс все прочие возобновляемые).

Китай потребляет каменного угля больше, чем все остальные страны мира, вместе взятые. Лидером по потреблению сырой нефти (в баррелях) и природного газа являются США (20.2 и 20.1% от мировой добычи соответственно). КНР по этим позициям отстаёт (13.0 и 6.6 %). На втором месте по потреблению газа – Россия (11.6%). Если пересчитать в условные доллары по нефтяным ценам, то весь мир тратит на ископаемое топливо 3.4 триллиона долларов в год, из них КНР – ровно пятую часть: $680 млрд. Если считать по чистой энергии, то весь мир потребляет $472 \cdot 10^{18}$ Дж в год[237], из которых Китай – 23.5%. Энергия обходится Китаю несколько дешевле в связи с преобладанием в структуре потребления каменного угля.

Потребление ядерной, гидро и прочей возобновляемой энергии в единицах и условной стоимости (2017 г):

Страна	Ядерная, ТВт·ч	Гидро, ТВт·ч	ВИЭ без гидро ТВт·ч	Затраты, млрд $	% в мире	Энергия, 10^{15}Дж
США	847	297	419	156	17.7	5'626
КНР	248	1'156	472	188	21.2	6'753
Индия	37	136	96	27	3.0	970
Россия	203	183	1	39	4.4	1'395
Кувейт	0	0	0	0	0.0	0
Украина	1	9	2	2	0.2	69
В мире	3'636	4'060	2'152	885	100.0	31'849

Если считать по цене $0.1 за киловатт-час, человечество затратило 0.9 триллиона долларов на производство $31.8 \cdot 10^{18}$ Дж электроэнергии, то есть на один триллион можно было бы купить $35.3 \cdot 10^{18}$ Дж. Из ископаемого топлива на $1 трлн капусты покупалось $138.8 \cdot 10^{18}$ Дж, то есть в 3.9 раза больше.

Сторонники «экологически чистой» энергии указывают, что каждый джоуль электроэнергии гораздо полезнее, чем джоуль тепловой энергии из нефти и угля, потому что его можно превратить в механическую работу с КПД порядка 90%.

Сторонники ископаемой энергии возражают, что электроэнергию трудновато запасать впрок и передавать на большие расстояния: всяческие глобальные

237 Для пересчёта во мгновенную мощность надо поделить это значение на $31.6 \cdot 10^6$ (количество секунд в году). Получится 14.9 ТВт. В 2016 году было 14.7 ТВт.

ЛЭП, литиевые батарейки Илона нашего Маска (на целый город) и гидроаккумулирующие станции (ГАЭС) – и стоят немало, и имеют КПД в районе 75-85%, притом что на нормальных ТЭЦ из 3.9 Дж ископаемого топлива гарантировано получается 1.5 Дж местной (а не за тысячу километров) и в данный момент необходимой (а не произведённой прошлым летом) электроэнергии, да дармовое тепло. Бывают и ситуации, когда технологический процесс требует не электричества, а просто высокой температуры – к примеру, производство цемента. Из 4.9 Дж природного газа грамотный теплотехник выжмет никак не менее 4.8 Дж теплоты, а из 1 Дж электроэнергии даже с подподвывертами типа тепловых насосов[238] удастся выжать реально 2-2.5 Дж полезного тепла, да и то не для обжига цемента, а для разве что для обогрева помещений. Наконец, из электроэнергии очень сложно делать пластик, удобрения и прочие полезные материалы, а из газа, нефти и угля – довольно-таки легко. Расчёты можно продолжать до бесконечности – ещё один повод затеять холивар, но мы не будем.

Теперь просуммируем всё вместе и добавим ВВП (в долларах 2017 года):

Страна	Ископаемая энергия, млрд $	Ядерная и ВИЭ, млрд $	Всего, млрд $	ВВП, млрд $	Оценка $ERoEI_{soc}$ по формуле 15.7
США	601	156	757	19'391	25.6
КНР	681	188	869	12'238	14.1
Индия	188	27	215	2'598	12.1
Россия	167	39	206	1'578	7.7
Кувейт	13	0	13	120	9.2
Украина	15	2	17	112	6.6
В мире	3'399	885	2'152	80'684	18.8

Внезапно оказывается, что самый высокий показатель $ERoEI_{soc}$ – у Соединённых Штатов! Импортирующие энергоресурсы Китай и Индия имеют вдвое меньше, а экспортёры энергоресурсов – примерно втрое меньше, чем США. Ну и сразу понятно, отчего это. В ВВП США велика доля услуг, которые стоят относительно дорого, но требуют малых затрат энергии: университетское образование и услуги корпоративного тренинга, страшно дорогая медицина, а также всякая лабуда: платные парковки, кутюрье и модные парикмахерские (а вот кому стрижку за $960?), психотерапевты для нервных кошечек и собачек, юристы, чтобы судиться с «*Макдональдсом*» за разлитый кофе, поездки на «*Uber*», и тому подобное. В странах, где ВВП в основном строится из произведённых на экспорт предметов потребления, энергоёмкость выше, соответственно ниже и показатель. Ну и экспортёры

238 Тепловые насосы для обогрева помещений обсуждались в главе 12. При желании можно насчитать КПД куда больше 100%, но это при температуре окружающей среды близкой к комнатной. Если в комнатах хочется 25°, а на улице 22°, хороший тепловой насос может выдать «условный КПД обогрева» до 800%; а если в на улице – те же 25°, то «условный КПД обогрева» бесконечен – просто откройте окна.

сельхозпродукции и/или энергетического сырья (как Кувейт, Россия и Украина) автоматически попадают вниз, вне зависимости от $EROEI_{st}$ и $EROEI_{pou}$.

Уважаемые авторы не вполне понимают значение слова «энергия». Достаточно сказать, что в таблице 2 на стр. 157 мегаджоули магическим способом переводятся в киловатты (должно быть, конечно, «киловатт-часы» – kWh, но букву h Ламберт «позабыла»). Последователи цитируют с той же ошибкой:

Table 2
Energy (MJ) per unit of fuel (E_T).

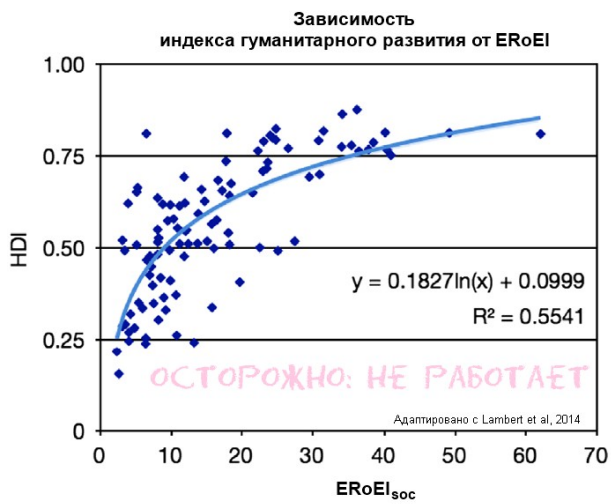
Fuel	Energy per unit of fuel	Source
Coal	4,882 to 29,107 MJ/t	EIA (2012a)
Oil	5,455 to 6,521 MJ/bbl	EIA (2012a)
Natural gas	945 to 1372 MJ/cf	EIA (2012a)
Combustable renewables	5,702 MJ/t (Green wood)	USDA (2012)
Primary energy	3.6 MJ/kW	BP (2012)

Далее Ламберт и К° начинают коррелировать свой кривоватый $EROEI_{soc}$ с другим довольно кривым коэффициентом – HDI, индексом человеческого/гуманитарного развития, который с 2010 года подсчитывается ООН по формуле:

$$HDI = 0.0729 \sqrt[3]{(LEB - 20) \cdot \left(\frac{MYS}{5} + \frac{EYS}{6}\right) \cdot \ln\left(\frac{GNI_{ppc}}{100}\right)} \qquad \{15.8\}^{239}$$

Здесь:
LEB – ожидаемая продолжительность жизни;
MYS, **EYS** – среднее число лет в школе/университете для населения в целом и для учащихся;
GNI_{ppc} – валовый национальный доход на душу населения (по покупательной способности).

Ламберт получила корреляцию, как показано ниже:



239 До 2010 года формула чуть отличалась и давала чуть меньшие значения.

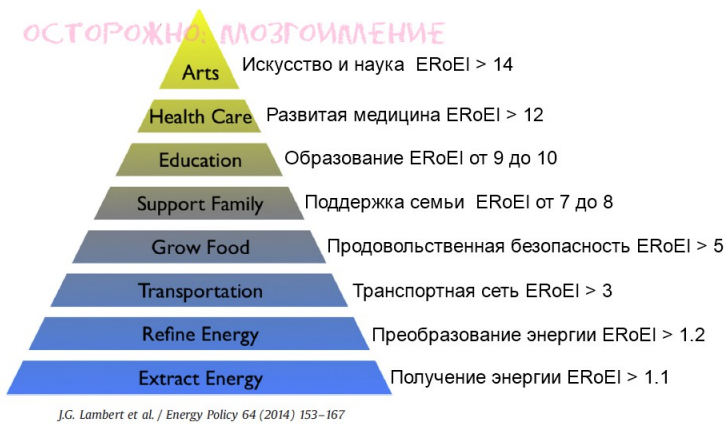
Волшебная ~~скандинавская~~ страна, где люди (а) в среднем живут до 85; (б) семья в среднем из 4 человек; папа с мамой, (в) отучившись в колледже, MYS=15, (г) приносят домой с работы по $150'000 в год до налогов, GNI=$75'000; и (д) все детки в среднем поступают в университеты и доучиваются до бакалавров EYS=18, будет иметь HDI ровно 1.0. С другой стороны, ещё более волшебная страна нефтяных магнатов с LEB=85, где дети ходят только в начальную школу MYS=EYS=5, но годовой доход по $257 миллиардов на каждого мажора, будет тоже развита на 1.0. Миллиардерам образование ни к чему, у них секретарши есть.

В реальности волшебных стран не бывает, а для 2017 года воспользуемся оценкой ООН[240]

Страна	Оценка $ERoEI_{soc}$ по формуле 15.7	HDI по данным ООН за 2017 год	HDI по корреляции Дж.Ламберт	$ВВП на кДж затраченной энергии	Мгнов. Мощность Вт/душу
США	25.6	0.924	0.692	234	7'860
КНР	14.1	0.752	0.583	104	2'590
Индия	12.1	0.640	0.555	88	670
Россия	7.7	0.816	0.472	60	5'740
Кувейт	9.2	0.803	0.505	75	11'960
Украина	6.6	0.751	0.446	44	1'810
В мире	18.8	0.720	0.636	160	2'040

Как видим, «корреляция Ламберт» в 2017 году не работала от слова «совсем». Как бы ни критиковали HDI, но США не может иметь такой же показатель, как Вьетнам (0.694), а Украина пока не скатилась ниже уровня Йемена (0.452).

У Ламберт статья закончилась пирамидкой Маслоу[241]:



240 http://hdr.undp.org/en/countries
241 Адаптировано с http://thenextturn.com/eroei-energy-cliff/

По показателям выходит, что Украина стоит на грани голода, Россия совсем не может позволить себе образование, в Кувейте образование ещё как-то держится, а вот с медициной швах, в Индии есть медицина, но нет искусства и науки, и лишь Китай и США могут позволить себе развитую цивилизацию.

Рассуждения Джессики Ламберт ломаются теоретическим контр-примером. Пусть есть три островных государства: A, B и C. В нашем гипотетическом мире – паропанк: нефти и газа пока не нашли, ядерной энергии так и не открыли, единственным ископаемым источником энергии является уголь (зато его много). Все три страны добывают по 50 млн тонн в год, но A использует на собственные нужды 1 млн тонн, B – 3.5 млн тонн, C – 10 млн тонн. Остальной уголь направляют на экспорт на материк D, откуда на острова импортируют продовольствие и предметы потребления (а также роскоши). По формуле {15.7}, $ERoEI_{soc}$ получается 50, 14.3 и 5 соответственно. Следует ожидать в стране A рассвета высоких искусств, образования, медицины и науки, в стране B – приемлемый уровень жизни, а в стране C – ад кромешный, на уровне регулярных голодоморов населения.

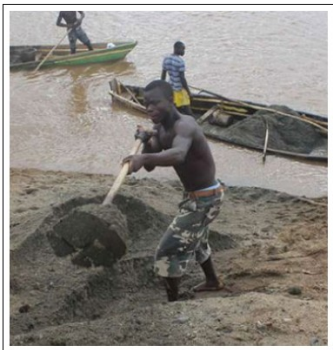
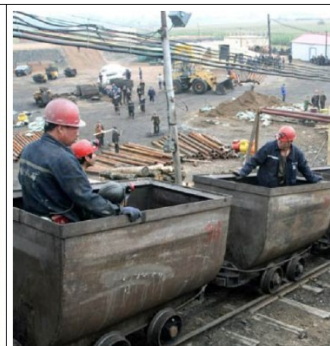
Табличка ниже показывает, что всё совсем наоборот:

Показатель	Страна A	Страна B	Страна C
Добыча угля, млн т в год	50.0	50.0	50.0
Потребление угля, млн т в год	1.0	3.5	10.0
В том числе на собственные нужды угледобычи, млн т в год	0.5	2.0	7.0
$ERoEI_{soc}$ по формуле {15.7}	50.0	14.3	5.0
$ERoEI_{st}$ по формуле {15.2}	100.0	25.0	7.1
Потребление угля в домашнем хозяйстве, млн т в год	0.5	1.5	3.0
Население, млн	10.0	1.0	0.1
Эквивалентная мощность по добыче на душу населения, Вт	3'165	31'650	316'460
Эквивалентная мощность по расходу на душу населения, Вт	63	2'215	63'291
Эквивалентная мощность по расходу в домашнем хозяйстве, Вт	32	949.0	18'987
Эквивалентная мощность за вычетом затрат на добычу, Вт	3'133	30'380	272'152
Доходы от экспорта угля, млн $	4'900	4'650	4'000
Доход на душу населения, $ в год	490	4'650	40'000
Ожидаемая продолжительность жизни, лет	30	60	80
Среднее число лет образования	3	10	12
HDI по формуле {15.8}	0.189	0.602	0.849

В **стране А** проживает 10 миллионов народа, из них около 50 тыс «элиты»: от многочисленной семейки короля до охраны и шестёрок – со среднегодовыми доходами по $25'000 на душу. Остальные 9'950'000 имеют по доллару в день и работают «за миску похлёбки», выкапывая уголёк кайлом и перемещая на тачке к пристани[242]. Детишки полноправно участвуют в трудовом процессе лет примерно с десяти, детская (да и взрослая) смертность – сами понимаете. На хозяйственные нужды средний гражданин имеет 32 ватта – ни о каком электричестве не идёт и речи; общая печка в бараке на пятьсот рыл – вершина технологии. Показатель гуманитарного развития – 0.189 (такого в списке ООН нет; на 188 месте – Центрально-Африканская Республика с индексом 0.367).

В **стране В** проживает 1 миллион человек, среднегодовой доход по $4'650. Типичная семья: родители и двое детей, папаша – натурально, шахтёр (отбойным молотком уголёк рубит), мама – учительница, повариха, продавщица или фельдшерица. Электричество в доме имеется почти у всех (ну кроме самых нищебродов): лампочка ~~Ильича~~ «*Osram*», да ещё приёмник или телевизор. У соседей вот даже холодильник есть – комфорт! Уровень жизни соответствует Бангладеш (там 0.608).

Население **страны С** – всего лишь 100'000, а живут они примерно как в Португалии (0.847). Средний взрослый мужчина – государственный служащий или уже пенсионер. Среднегодовой доход на душу населения – $40'000. На местном угольном разрезе трудится всего 400 мужиков – десять сменных операторов трёх самоходных лопат (это там, где один ковшик – 100 тонн угля), полста водителей карьерных самосвалов, да всякие там геологи, механики и менеджеры. Естественно, и медицина, и образование – на высоте. Футболистов выписываем из Испании, хоккеистов – из России. И наука академическая есть – Цэшенский институт угольной геологии – слыхали? Имея почти по 19 киловатт тепловой мощности на душу, среднему жителю страны гарантируется порядка 5 кВт домашнего электричества. Сейчас залезу в домашнюю электрическую сауну, ага!

		
$ERoEI_{soc}$ = 50 $ERoEI_{st}$ = 100	$ERoEI_{soc}$ = 14.3 $ERoEI_{st}$ = 25	$ERoEI_{soc}$ = 5 $ERoEI_{st}$ = 7

242 При мелком залегании угля и месторождении вблизи побережья это вполне технически возможно: 5 миллионов работников добывают в год по 10 тонн угля каждый, то есть по 30 килограммов в сутки в среднем. Рабочая норма каторжника на Сахалине в 1900 году была почти в 12 раз больше.

Приведённое выше рассуждение не для того, чтобы убедить читателя, будто со снижением $EROEI_{soc}$ повышается благосостояние страны, а для демонстрации, что уровень жизни конкретного региона зависит от массы факторов: популяции, климата, наличия или отсутствия средств производства, точек сбыта, ну и от геологии месторождений, конечно. Пытаться коррелировать уровень жизни *исключительно* с EROEI, то есть с только с местной геологией, игнорируя всё остальное, – бесполезно.

В пределах *конкретной* страны или провинции снижение EROEI, естественно, приводит к ухудшению качества жизни. Допустим, что таблица выше относится к условному 2000 году (напоминаю, что у нас гипотетическая Земля, на которой паропанк). Исключительно в связи с истощением месторождений[243] ожидается снижение $EROEI_{soc}$ в два раза за 25 лет, то есть снижение по 2.7% в год.

В **стране С** к условному 2025 году расходы на добычу остаются прежними – в новые экскаваторы никто, натурально, инвестировать не собирался; добыча опускается до 20.0 млн тонн в год (остальное – пустая порода). На материк теперь вывозят не 40 млн тонн, а всего 12. Сократилось и потребление электроэнергии населением: вместо 3 млн тонн угля в год местные ТЭЦ тратят 1 млн тонн, а электричества вырабатывают по 1.7 кВт на душу. Домашние сауны в наличии, но их включают крайне редко – средний доход на душу населения рухнул с $40'000 до $12'000, не до излишеств! Вместо университетов у детишек обязательная десятилетка. Из-за нехватки денег на продвинутую медицину ожидаемая продолжительность жизни – 75 лет. HDI = 0.721, как сейчас в реальном Узбекистане или на Ямайке.

В **стране В** добыча выросла с 50 млн т до 57, но теперь на нужды добычи уходит куда больше энергии: 8 млн тонн. Шахты стали глубже, рабочий день шахтёра – полных 13 часов, из которых 10 в забое. На шахты идут в 15 лет, а в стране всеобщее семилетнее образование. Ожидаемая продолжительность жизни мужчин – 39 лет, женщин – 61, а в среднем – 50. Но есть и положительные стороны! Вместо телевизоров теперь – китайские подделки под iPhone, а средние доходы повысились с $4'650 до $4'900, потому что хозяин шахты щедро платит пособия по инвалидности и потере кормильца. Жить стало легче, жить стало веселее™, а когда веселее, и HDI = 0.488, как на неунывающем острове ~~Чунга-Чанга~~ Гаити (0.498).

Страна А в 2025 году… Простите, такой страны нет! К 2009 году добыча сократилась до 39 млн тонн (EROEI=39), на душу населения стало приходиться менее $1 в сутки, возник голод. Местная «элита», собрав золотишко, рванула когти. Я слышал, наследный принц стал владельцем сети супермаркетов и кормит престарелых родителей. Вся семейка живёт в столице D, уже без

243 В блоге возразили, что политические проблемы могут возникать в странах и по другим причинам, кроме истощения месторождений. Возражение молчаливо принимается! Не будем спорить, что было раньше – курица или яйцо. Иногда спусковой собачкой кризиса являются политические проблемы, например, война; иногда это может быть неурожай или стихийное бедствие. В гипотетическом примере исследуется исключительно влияние параметра EROEI на благосостояние народа.

особых почестей. В 2011 разразилась «народная революция», в которой кирками забили и на тачках вывезли полмиллиона народу. Пара удачливых миллионов кое-как добралась до побережья D… где их встретили ~~цветами~~ бронепоездами. Что конкретно сейчас происходит на острове A – неизвестно. Возможно, каннибализм. Проверять опасаемся, а HDI = XZ.

Из примеров следует, что ERoEI=2.5 совсем не обязательно означает уничтожение народного образования и медицины, а ERoEI=40 – вовсе не гарантия, что добыча в этой стране будет продолжаться. Опять-таки всё зависит *от массы факторов* за пределами геологии.

Короче, показанную выше пирамидку Абрама Маслоу следует засунуть туда же, куда и «биорезонансные» пирамидки Александра Голода, и сразу следом – формулу {15.7}. Сомневаюсь, что можно что-то полезное подсчитать по формуле {15.6} – слишком много допущений. С другой стороны, и $ERoEI_{st}$ по формулам {15.2} и {15.3} не даёт полной картины. Действительно, нефть в цистерне посреди аравийской пустыни сама по себе обществу бесполезна. Чтобы принести конкретную пользу, нефть должна доехать на танкере до конкретного нефтезавода в Амстердаме, пламенно соединиться там с природным газом хиреющего Северного моря, а потом в виде бензина и дизтоплива попасть на конкретные автозаправки *хереющей* Европы. Значит, имеет смысл рассматривать в дальнейшем только $ERoEI_{pou}$ и/или $ERoEI_{ext}$ по формулам {15.4} и {15.5}.

В качестве рабочей гипотезы выскажем предположение, что уровень жизни зависит от нетто (полезной) энергии на душу населения:

$$q_{pc}(t) = \frac{q(t)}{P(t)}\left(1 - \frac{1}{ERoEI_{ext}(t)}\right) \qquad \{15.9\}$$

Где:
q_{pc} – нетто энергии на душу населения в год как функция от времени;
q – годовая добыча;
P – население.

Член $(1\text{-}1/ERoEI_{ext})$ имеет тот же физический смысл, что и термодинамический КПД по формуле {2.1}. Выразим $ERoEI_{ext}$ как функцию от накопленной добычи ископаемого топлива Q(t):

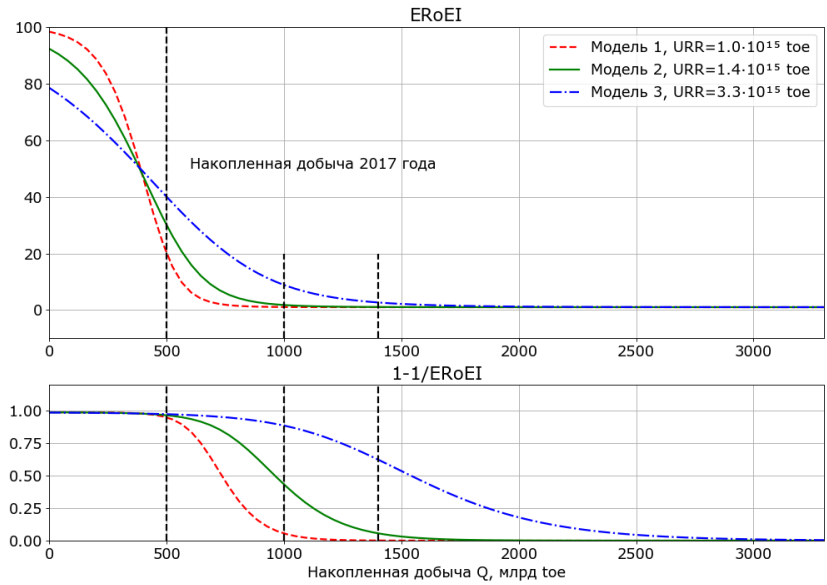
$$ERoEI_{ext}(t) = 10^{Sig(Q(t), Q_0, \sigma, 2, 0)} \qquad \{15.10\}$$

Здесь:
$0 \le Q(t) \le 3'300$ – накопленная добыча в млрд toe как функция от времени;
$0 < Q_0$ – накопленная добыча (501 млрд toe) в 2017 году;
σ – подгоночный коэффициент.

Три модели показаны программой **Chapter 15\Model_04_ERoEI_estimates.py**

Параметр	Модель 1	Модель 2	Модель 3
$ERoEI_{2017}$	20	30	40
URR, млрд toe	1'000	1'400	3'300
σ	0.010	0.006	0.003
ERoEI при Q=1'000	1.1	1.8	8.9

Иллюстрация ERoEI(Q)

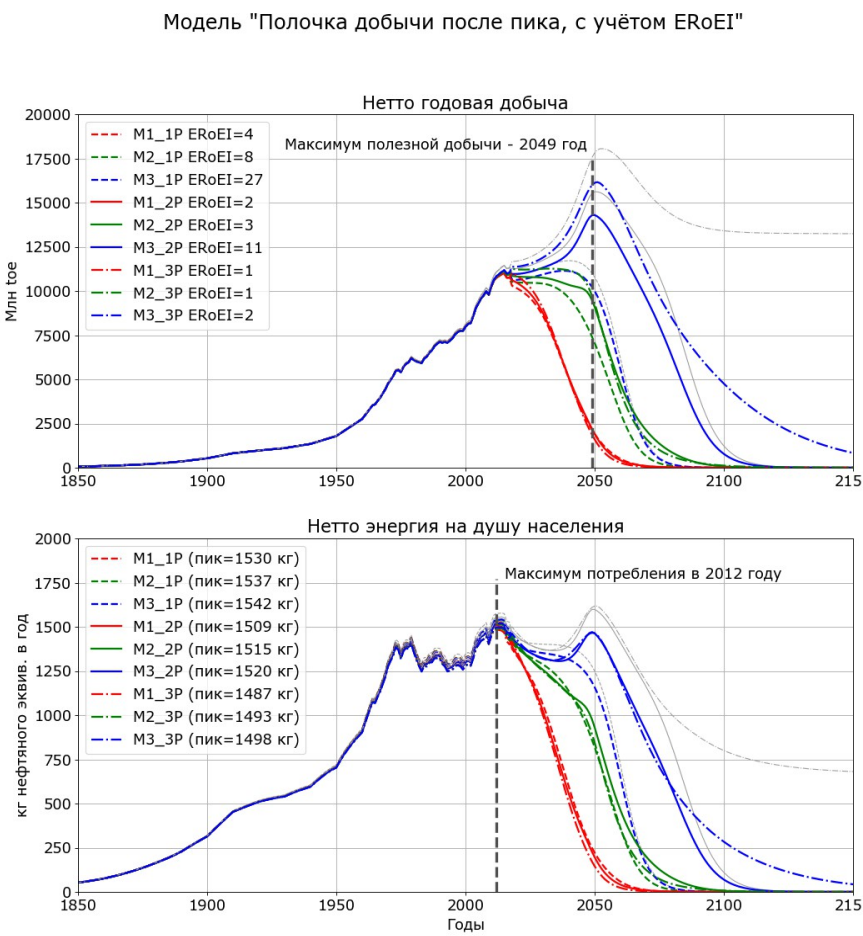


Далее на основании формул {15.9} и {15.10} приведём чисто качественную прикидку выхода полезной энергии из ископаемого топлива, используя в качестве входных данных гипотетическую модель «Полочка после пика», которая была представлена выше. Программа **Chapter 15\Model_05_Plateau_Per_Head_Production.py**

Три группы сценариев представлены цветом:

- С вероятностью около 10% начавшийся в 2012 году глобальный спад уровня жизни продолжится довольно быстрыми темпами – примерно по 5% в год – вплоть до 2050 года (красные линии). В 2050 году, при населении планеты от 9.0 до 10.6 млрд, уровень жизни будет соответствовать 1890 году, с потреблением порядка 200 кг нетто ископаемого топлива на душу в год, что соответствует 270 Вт мгновенной тепловой мощности. Электричество будет в каждом доме… примерно у 500 миллионов. Остальной мир можно не описывать – откройте вашу любимую книжку про пост-апокалипсис. Как примечание, вряд ли при продолжении спада по 5% в год применима плавная модель – скорее начнётся опережающее разрушение социальных институтов, как продемонстрировано в

гипотетической стране А из таблицы выше, и о чём так любит бложить Гайл «Наше-всё» Тверберг[244].



- Также с вероятностью около 10% никакого обвала не будет до 2049 года, а уровень жизни останется примерно там, где он был в последней четверти XX века (синие кривые). Пик добычи по полезной энергии происходит между 2040 и 2052 годами, наиболее вероятное значение – 2049 год, 14.0 млрд toe. При увеличении населения планеты мы увидим не 1.2 млрд систематически недоедающих, а 1.5 (из них примерно 800 млн в Африке), электричества в 2018 году нет у 800 млн, а в 2050 не будет у миллиарда. Читатель почти наверняка принадлежит к лучшей трети человечества, проживая в стране с «сильной экономикой». Если в 2018 вам стукнуло 40, можете особо не беспокоиться… О себе, но не о своих детях и внуках.

- Наконец, наиболее вероятный сценарий (зелёные кривые). 2050 год. «Сланцевые» компании, следуя правилу ~~«улыбаемся и машем»~~ «бурим, детка, бурим», продолжают делать в земле дырки, чтобы текло больше

244 https://ourfiniteworld.com/author/gailtheactuary/

нефти и газа. Всё бóльшая часть добытого тратится на бурение всё большего числа дырок. Качество угля упало с 0.5 toe/т до 0.3 (это лигнит!), но поезда везут дóбытое куда надо. Пик добычи нетто ископаемого угле(водо)родного топлива на душу населения прошёл в 2012 году на уровне 1'390-1'550 кг нефтяного эквивалента. Наиболее вероятное значение – 1'500 кг или 1.99 кВт тепловых. С тех пор происходит спад уровня жизни по 1.5% в год, что большинству населения не заметно: принцип лягушки в кастрюльке. Средний уровень жизни по планете – как в 1960 году. Это не значит, однако, что Америка будет жить как США образца 1960 года. Скорее Америка, Европа и Китай в среднем станут жить как КНР образца 2000 (то есть относительно неплохо, но далеко не на уровне потребления богатеньких американцев середины XX века). Африканский 1960 год наступит, как ни удивительно, в большинстве стран Африки, а индийский 1960 – в Индии, Пакистане и Бангладеш. Проверять опасно – а вдруг каннибализм? Природный газ – это не только электричество в розетке, но и удобрения, пестициды и прочая сельхозхимия; нефть – это не только «Формула-1», но и трактора.

Предвижу, что сторонники ВИЭ уже плотоядно потирают руки, собираясь обвинить автора в недооценке их любимых ветряков и солнечной панели. Для полноты картины следует добавить в графики все остальные источники индустриальной энергии, как мы это делали в главе 7.

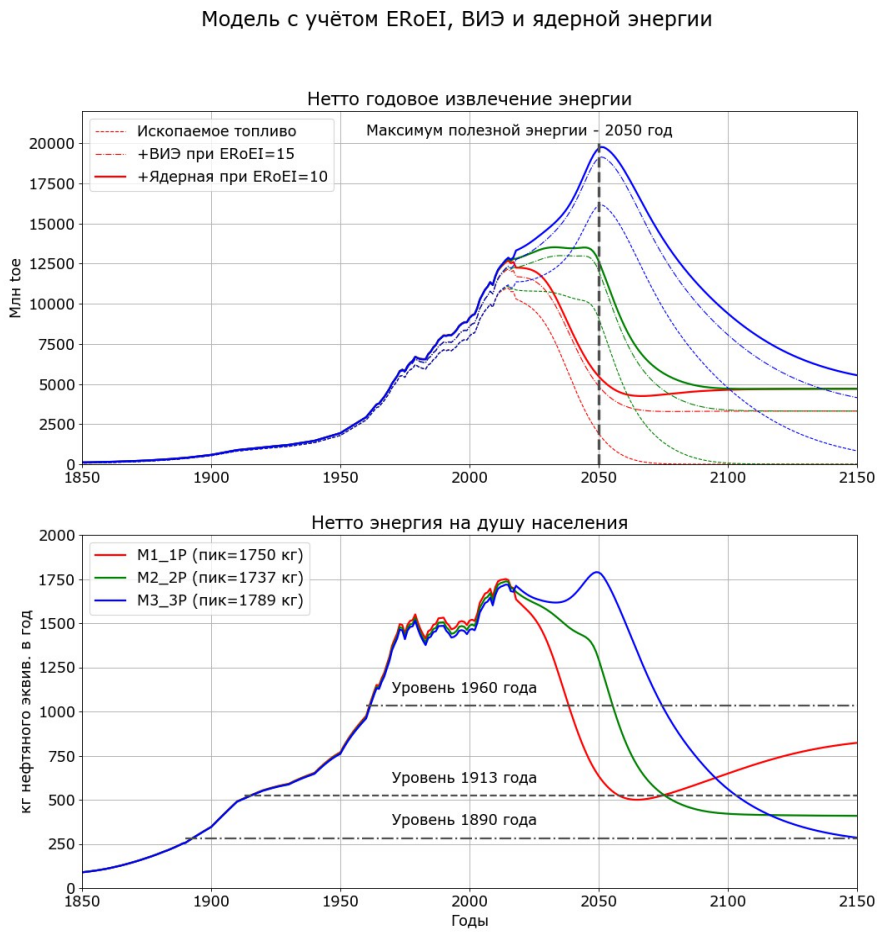
Чтобы не обвинили в пессимизме, будем считать $ERoEI_{ext}$ для возобновляемых источников энергии на уровне 15:1 (у ветряков порядка 18, у солнечных электростанций – около 7), а для ядерной энергетики примем это значение как 10:1. Из 9 моделей выше будем рассматривать только 3: умеренно пессимистическую, среднюю и оптимистическую – остальные 6 моделей находятся в «коридоре» между пессимистической и оптимистической моделями, и для оценки несущественны.

Опять-таки, чтобы не обвинили в излишнем пессимизме, пересчёт из тераватт-часов электрической энергии в тонны нефтяного эквивалента будем делать так же, как это делается у «*BP*»[10]. Один тераватт-час – $3.6 \cdot 10^6$ ГДж. Если считать по тепловой энергии, тонна нефти даёт 41 или 42 ГДж на тонну, то есть нужно всего 0.087 млн тонн нефти. «*BP*» по традиции считает в три раза больше: 0.227 млн тонн на ТВт·ч, молчаливо предполагая при этом КПД современной ТЭС или ТЭЦ (включая утилизацию вторичного тепла) на уровне 0.087/0.277 = 39%. Могут возразить, что у двигателей внутреннего сгорания (включая изготовление бензина) КПД несколько ниже; на это есть контр-возражение, что из природного метана или угля можно делать азотные удобрения, а из чистого электричества от ГЭС – затруднительно[245].

245 Аммиак получают по процессу Губера – реакцией водорода и атмосферного азота. Теоретически водород можно добывать электролизом воды, а не из природного газа, как делается сейчас. На производство тонны аммиака на современном заводе надо чуть более 1'100 м³ природного газа (что соответствует 0.95 toe), либо 2'200 м³ водорода – эквивалент 11'000 кВт·ч электроэнергии «от ветряка». По коэффициенту «*BP*» – это более 3.0 toe.

Аналогично, тепловую энергию газа и угля можно использовать и напрямую, например для поджаривания гамбургеров в забегаловке незабвенного Уильяма Харта из 1821 года. В данной модели мы полагаем умеренно-оптимистический сценарий развития ядерной энергетики, то есть продолжение строительства АЭС по 10 ГВт в 2019 году, с ростом по 2% годовых[246]. Что будет, если ядерную энергетику примутся сворачивать, мы обсудим отдельно.

Программа **Chapter 15\Model_06_Plateau_Nuclear_and_Renewable.py**



В 2017 году в мире выработано (по данным «*BP*»[10]) 596.4 млн toe электроэнергии из ядерных реакторов, 918.6 млн toe гидро, 74.3 солнечной и 254.0 ветровой. Сжигание биомассы и всякие гео-термо-приливные прибамбасы дали ещё 132.6 млн toe. Из биомассы также было выработано 84.1 млн toe этанола и другого жидкого биотоплива. Итого от ВИЭ получено 1'460 млн toe, а ядерная энергетика добавила к этому ещё 40%. Число 2'060 млн toe, несомненно, впечатляет. Пока вы не сравните его с общей добычей нефти и газа (включая битум и жидкости): 7'550 млн toe. Каменный уголь добавляет сюда ещё 3'770 млн toe. Итого, по самым оптимистическим подсчётам, доля

246 График представлен в главе 12 на стр. 284.

АЭС и ВИЭ в современной мировой экономике – менее ⅕, а производство ядерной и возобновляемой энергии на душу населения – всего лишь 273 кг нефтяного эквивалента в год.

Даже с наиболее оптимистическим сценарием развитием ВИЭ, обвал на уровень потребления 1960 года неизбежен; это произойдёт где-то между 2038 и 2075 годами, наиболее вероятно (зелёные линии) – в 2055 году. Что существенно, в наиболее вероятном сценарии спад уровня жизни остаётся плавным и постепенным: примерно по 0.8% в год вплоть до 2045 года. Большинство населения в «развитых» странах успешно продолжает тянуть одеяло на себя, и принцип «лягушки в кастрюльке» сохраняется. Крупных социальных потрясений в этих странах не происходит, мелкие универсально замалчиваются, а государственные дефолты, кризисы и перевороты экспортируют в страны «недоразвитые». Доля возобновляемых в экономике плавно вырастает до ⅓, о чём с упоением докладывают миру Перецы и прочие пропагандоны (не об уровне жизни же писать, в самом деле!)

Средний уровень жизни 1913 года может случиться на планете с 2058 по 2103 годы, наиболее вероятно – в 2075 году. Это два поколения, времени на подготовку достаточно. Среднее потребление энергии высокой концентрации составит 520 кг эквивалента на душу в год, это тепловая мощность 675 Вт, при доле ВИЭ около ⅔. Следует признать, что с примерно с 2045 года гладкая модель вряд ли реализуется. Снижение уровня жизни с 2045 по 2075 годы в наиболее вероятной модели – по 3.5% в год, а это уже населению заметно. Представьте, что ваши дети должны жить в среднем как жила в молодости ваша бабушка!

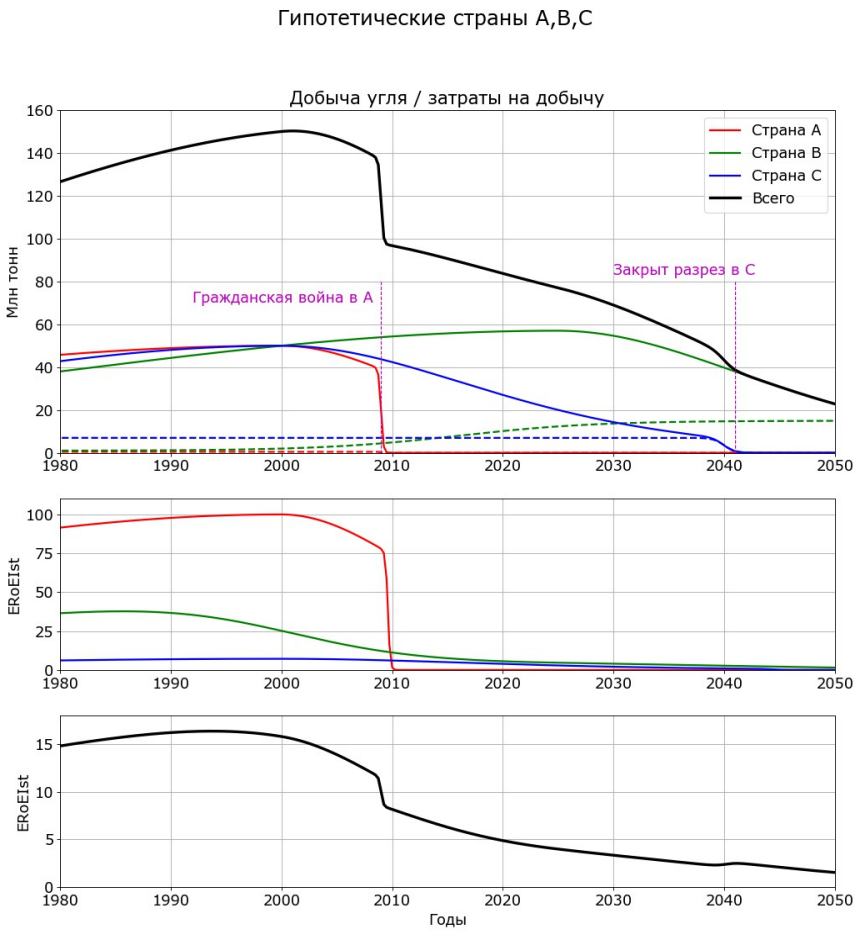
Тут, однако, самое время вспомнить о Гайл Тверберг с её критикой плавного решения Рандерса. Рассмотрим на той же модели гипотетических стран A, B и C. Нарисуем программой **Chapter 15\Model_07_Production_Decline.py**

Для простоты, пусть на островах A, B и C и континенте D проживает суммарно 100 млн человек, и население стабильно. Значит, в 2000 году на каждого жителя нашей учебно-тренировочной планеты приходилось, по формуле {15.9}, (150-0.5-2-7)/100 = 1.4 тонн нетто угля в год, то есть почти столько, как в среднем по стране B, примерно в 20 раз меньше, чем у угольных магнатов из C, и раз в тридцать больше, чем у нищего жителя страны A. У 89 млн жителей страны D, натурально, существует неравенство, но в среднем житель D потреблял в год 135.5/89 = 1.5 тонны угля – точно, как в B. Согласно нашей гипотезе, и уровень жизни среднего гражданина D был примерно как в B.

В 2000 году суммарная добыча трёх стран – 150 млн тонн, а общий усреднённый $ERoEI_{st}$ по трём странам – около 16:1.

Теперь перенесёмся в условный 2008 – революция в A уже созрела, но пока не началась. Считайте, что низы уже не могут, но верхи пока хотят. Или наоборот, неважно. Общее производство угля на нашей учебной планетке –

140 млн тонн, нетто 128, душевое потребление с 2000 года плавно снижалось по 1.2% в год и в среднем по планете 1.28 тонны; в стране D – 1.39 тонны в год на душу. Народ в D почти ничего не заметил, не говоря уж о странах B и C, которым борьба голодающих пролетариев в A глубоко по барабану.



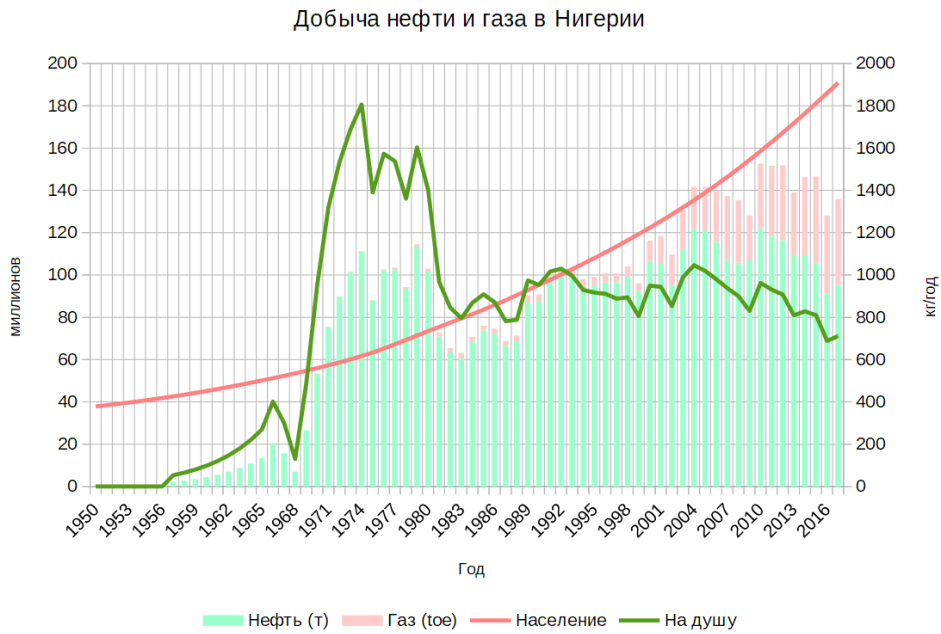
В 2009 году в стране A происходит революция, оттого наша мировая добыча падает за год примерно до 95 млн тонн, а общемировой $EROEI_{st}$ при этом за два года скачком снижается с 12:1 до 8:1. В самой стране A показатель уже отсутствует, потому что потребление угля на нужды добычи прекратилось, как, собственно, и сама добыча. Ноль поделить на ноль – неопределённость!

Состояние дел в послереволюционном 2010 грустное: мировая добыча угля – 96.7 млн тонн (падение по 34% за два года). За вычетом потраченного на добычу остаётся 85 млн тонн, то есть по 0.85 тонны нетто на жителя планеты в среднем. В стране A… не будем о плохом. Нас интересует страна D, куда влилось 3 млн встреченных бронепоездами и гуманно ~~пущенных на удобрения~~ размещённых в лагерях для беженцев. Население D теперь – 92 миллиона, а на

душу населения – всего 0.85 тонны угля. Уровень жизни за 2 года рухнул на 40%. Приведёт ли это к гражданской войне в D и, как следствие, голоду в странах B и C? Неизвестно. Вполне может получиться и так, что страна D введёт на остров A войска и кое-как восстановит часть добычи.

В 2041 году происходит плановое закрытие угольного разреза на острове C. «Мировая добыча» при этом довольно быстро снижается на 10 млн тонн, а вот $EROEI_{st}$… внезапно слегка увеличивается! Всё правильно: закрытие уже нерентабельного в 2040 году месторождения и должно приводить к улучшению экономических показателей. Никакого социального катаклизма, однако, не происходит. В 2041 году на острове C есть город-призрак, где вахтовым методом трудятся 500-600 человек; их семьи уже лет 10 как вывезены на «большую землю» D. Конечно, большинство из понаехавших из C живут не лучше коренного населения D: 230 кг угля в среднем на год.

Пример выше приведён не для того, чтобы конкретно предсказывать будущее саудовских нефтяных магнатов и китайских шахтёров из Шанси, а для математической иллюстрации положения Гайл Тверберг о том, что вызванное истощением месторождений *плавное* снижение добычи может приводить к экономическим либо политическим катаклизмам, а они, в свою очередь, приводят к *обвальному* снижению добычи. Далее возникает порочный круг: дальнейшее снижение добычи вызывает падение уровня жизни, дальнейшее обнищание – новые политические потрясения, и так далее.



Великолепный пример – Нигерия. Население стабильно удваивается каждые 27 лет. В 2017 году – 190.9 млн, в 1990 – 95.3, в 1963 – 48.0 миллиона[247].

247 Статистика ООН. Для сравнения, в 13 С-АШ с 1700 по 1860 годы получалось несколько быстрее:

Промышленная добыча нефти началась в 1957 году, пик по нефти и конденсату пройден в 2005, по сумме нефти и газа – в 2010.

Угля мало. Четыре гидростанции с установленной мощностью 2'040 МВт (по состоянию на 2017 г) могли бы дать на душу населения целых 10.6 ватта (!) электричества, то есть 21 кг нефтяного эквивалента. Дали, правда, в районе нуля, так как линии электропередач непрерывно срезают для отправки алюминия в Китай. Контракт с китайской «*Синогидро*» по постройке ГЭС Мамбилла был разорван в 2013 году после того, как местные борцуны за свободу захватили и вероятно обезглавили 10 китайский специалистов[248].

Нефтедоллары тратятся на вооружение банд; к каждому инженеру с карандашом теперь надо приставить правительственного солдата с «Калашом», а вдоль нефтепроводов регулярно гонять бронетранспортёры. Значит, увеличиваются затраты. Умные инженеры ехать в страну опасаются, приходится довольствоваться специалистами второсортными, что технические решения, натурально, не улучшает. В Нигерии уже несколько раз и боевики, и взбунтовавшиеся бравые полковники захватывали нефтеналивные терминалы и вежливо просили у правительства «ну там скинуться и помочь кто чем может». Можно грубо оценить $ERoEI_{pou}$ на уровне где-то между 5:1 и 10:1.

Добыча нефти и газа на душу населения в Нигерии уже снизилась до 700 кг нефтяного эквивалента, а с учётом $ERoEI_{pou}$ получается между 560 и 630 кг нетто, то есть втрое ниже, чем у среднего землянина. Практически вся не использованная для содержания и защиты нефтяной инфраструктуры нефть идёт на экспорт в обмен на ~~зеркальца и бусы~~ продовольствие и оружие. Индекс гуманитарного развития – 0.532 (147 место в мире). Страна – член ОПЕК, мля.

Шестьсот килограмм нефтяного эквивалента в год – это 800 Вт мгновенной мощности; вместе с местными огородами и лесоповалами получается порядка 1.0-1.2 кВт на душу, что соответствует уровню жизни швейцарского лесоруба из 1700 года. Конечно, лесоруб был тёмен, не цивилизован, про бананы, мобильные телефоны и Калашникова ничего не знал, а из-за более сурового климата тратил куда больше дров на обогрев жилища. Зато у него под окнами гораздо реже стреляли.

Замкнутый круг: *снижение ERoEI* вызывает *снижение уровня жизни*, затраты вверх, эффективность вбок, а ERoEI продолжает падать. Вам нравится такое объяснение? Мне – не очень. Попробуем переписать этот абзац другими словами:

Замкнутый круг: в связи с *истощением месторождений*, *добыча плавно снижается*, что при постоянной высокой рождаемости вызывает *постепенное снижение уровня жизни*. Рано или поздно снижение уровня жизни приводит к

удвоение за 25 лет, см стр. 69.

248 Hugo Foster et al, *NIGERIA: ESCALATION OF BOKO HARAM THREAT*, 2014. Скачано с https://cdn.ihs.com/www/pdf/IHS-Nigeria-Boko-Haram-Threat.pdf

социальной напряжённости, что, натурально, приводит к *скачкообразному росту затрат на добычу.* Добыча плавно вниз, затраты резко вверх, эффективность куда-то вбок, как следствие уровень жизни и далее вниз. Может возникнуть ситуация, когда система катастрофически (скачкообразно) разрушится.

Как видим, ерой этой главы для объяснения ситуации в Нигерии совсем не нужен. ERoEI – это просто технический показатель, отражающий увеличение затрат при снижении добычи ресурса. Примерно так же мы бы сказали, что «в стране Z гражданская война оттого, что отношение государственного долга к ВВП стало хуже». График роста госдолг/ВВП полезен для понимания скорости процесса, но надо всегда говорить о факторах, приведших к падению ВВП и/или к росту долга.

Если же говорить о конкретной Нигерии, то причиной существующей ситуации является: «5.53 родов на женщину»[249]. В переводе с международно-банковского на человеческий это значит: «90% живущих в 2016 году женщин старше 36 лет рожали 9 и более раз». Ну и эффективность современной медицины, если на то пошло, хотя с прививками от полиомиелита страна в начале XXI века страна успешно боролась и вроде почти поборола[250]. К геологии это никакого отношения не имеет.



Если вы полагаете, что в Нигерии – хана и ужас, обратите внимание на их западного соседа – Бенин. Вообще-то королевство Бенин находилось поначалу на севере Нигерии, а на государственном флаге этой добросердечной и мягкой страны был изображён правоверный, исполняющий мечом декапитацию безоружного унтерменша (вероятно, неверного). Доупражнялись с мечами до того, что в 1897 специальная британская карательная экспедиция королевство зачистила в ноль, а столицу и флаги сожгла дотла. Современная республика Бенин (бывшая Дагомея) получила независимость от Франции в 1960 и успела даже немножко строить коммунистическое грядущее – с 1975 по 1990 годы. В 1990 весь социализм кончился (с чего бы это?) В 2004 в Бенине ВНЕЗАПНО кончилась нефть! Правда, в отличие от Нигерии, много нефти в Бенине не было: на пике добычи в 1985 страна производила всего 400 тыс тонн в год. Сейчас HDI в республике – 0.515, а минимальное количество нефтепродуктов 11±1 млн жителей получает из Нигерии. Плюс-минус миллион – не описка. Многие жители не знают, что надо где-то зачем-то регистрировать роды и смерти. По данным американского DOL, до 15% детишек в возрасте до 5 лет вообще не отражены в статистике, а 680 тыс детей в возрасте от 5 до 14 лет работают наравне со взрослыми, не посещая школу[251].

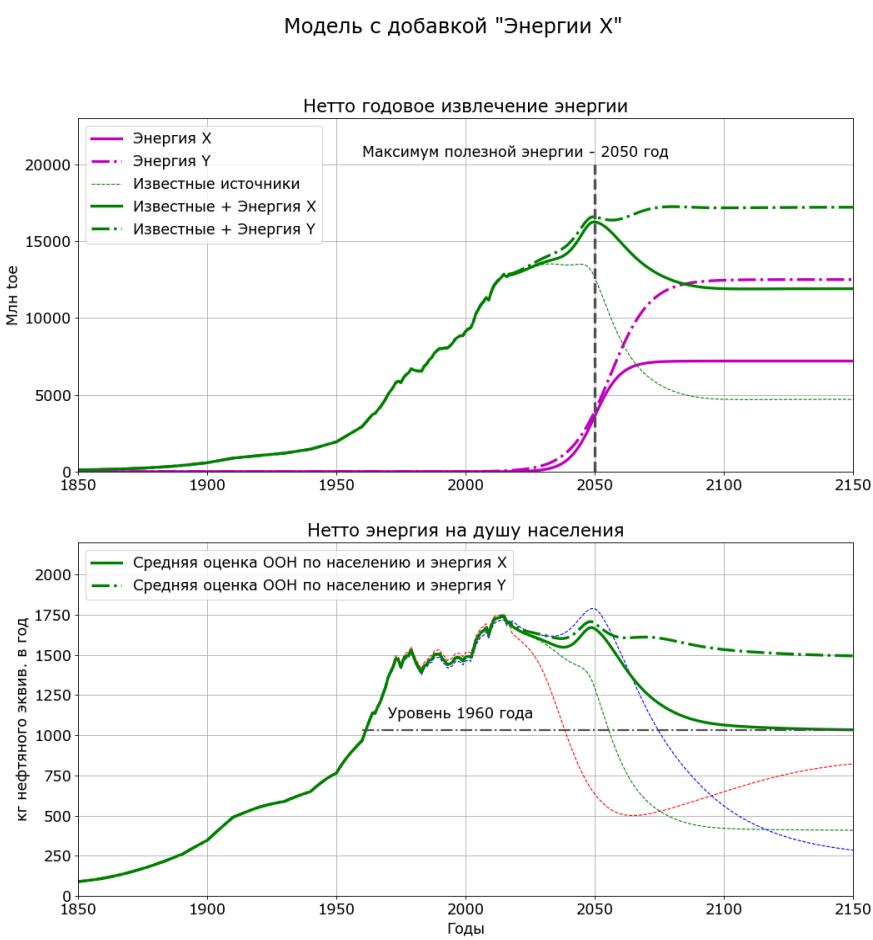
249 World Bank, https://data.worldbank.org/indicator/SP.DYN.TFRT.IN

250 Cecilia Chen, *Rebellion against the polio vaccine in Nigeria: implications for humanitarian policy*, African Health Sciences. 2004 Dec; 4(3): 205–207.

251 https://www.dol.gov/agencies/ilab/resources/reports/child-labor/benin

С севера с Нигерией граничат ещё две весёлые страны: Нигер и Чад, с HDI 0.354 (самый низкий из 189 стран, где этот показатель вообще можно подсчитать) и 0.404 (186 место в мире) соответственно. На восток от Нигерии – Камерун с HDI 0.556, далее через границу – Центрально-Африканская республика с HDI 0.367 (почётное 187 место в мире). Добыча нефти в Камеруне прошла пик в 1985 на уровне 9 млн тонн в год. В 2017 добыли всего 4 млн тонн, при этом население за то же время выросло с 10 млн до 24.1±0.5 млн.

Как-то не хочется, чтобы наши внуки в 2070 году жили как в Нигерии конца XX века, оттого попробуем соорудить ещё пару моделей. Первая модель вводит «энергию X», а на роль X можно выбрать (пока) реакторы на быстрых нейтронах или термояд по вашему вкусу. Другие известные науке источники мы уже учли. Пусть «обычная» ядерная энергетика работает как в нашем умеренно-оптимистическом прогнозе из главы 12. Программа **Chapter 15\Model_08_Energy_X.py**



Предположим, поставлена задача удержать цивилизацию не ниже уровня потребления 1960 года. Тогда с 2025 по 2075 надо добавить в энергосистемы

«энергии X» на 7'200 млн toe в год (тепловых). Энергоблок типа РБМК-1000 (того самого, который случайно) вырабатывает 1 ГВт электрической мощности или 3.2 ГВт тепловой. Последнее значение соответствует 2.5 млн toe в год. С учётом того, что реакторы надо обслуживать, а $EROEI_{st}$ (оптимистично) 10:1, потребуется 7'200/2.5/0.9/0.9 = 3'600 энергоблоков, или около 900 АЭС с мощностью как Чернобыльская (там было четыре реактора). Каждый год надо запускать по 72 дополнительных энергоблока, и после 2075 года строить дальше, ибо новые реакторы понадобятся взамен изношенных. Если население Земли – 10 млрд, на каждые 2¾ миллиона надо один «энергоблок X». В той же Нигерии, на 620 млн народу[252] придётся построить 55 эквивалентов Чернобыля. Заметим, что РБМК тут просто для масштаба величин. Энергетическая цепочка реальных реакторов на быстрых нейтронах наверняка получится гораздо сложнее – поглядим на чудеса техники: пущенный на Белоярской АЭС в 2015 году БН-800 и строящийся там же БН-1200 – оба с натриевым теплоносителем. Насколько сложны реакторы термоядерные – пока рано обсуждать.

Программа максимум – удержать среднее мировое потребление энергии высокой концентрации на уровне свыше 1'500 кг нетто условной нефти на душу. Тогда общее количество дополнительных реакторов – 12'500/2.5/0.9/0.9= 6'200 (штрих-пунктирная линия на графике с обозначением «энергия Y»), а на планете надо строить по 125 «гигаваттников» ежегодно.

Почти нет сомнений, что в развитых странах массовое строительство бридерных АЭС организовать можно, но что делать со странами недоразвитыми? Опыт показывает, что даже эксплуатация ГЭС там небезопасна, а вы хотите дать террористам возможность захватить АЭС и понаделать короткоживущих изотопов для «грязных бомб»? К тому же, с нефти жители имеют по 600 кг эквивалента на нос, а с АЭС – всего 210. Не увеличится ли число желающих обвязаться динамитом?

Второй вариант «спасения цивилизации» – уменьшение рождаемости с плавным сокращением населения, так, чтобы «безопасной» возобновляемой энергии из ГЭС, ветра, солнечных батарей и прочих приливов хватило всем. Предположим, что от ядерной энергии плавно отказались к 2070 году (это пессимистический сценарий из главы 12[253]). Подсчитаем программой **Chapter 15\Model_09_Population_Z.py**

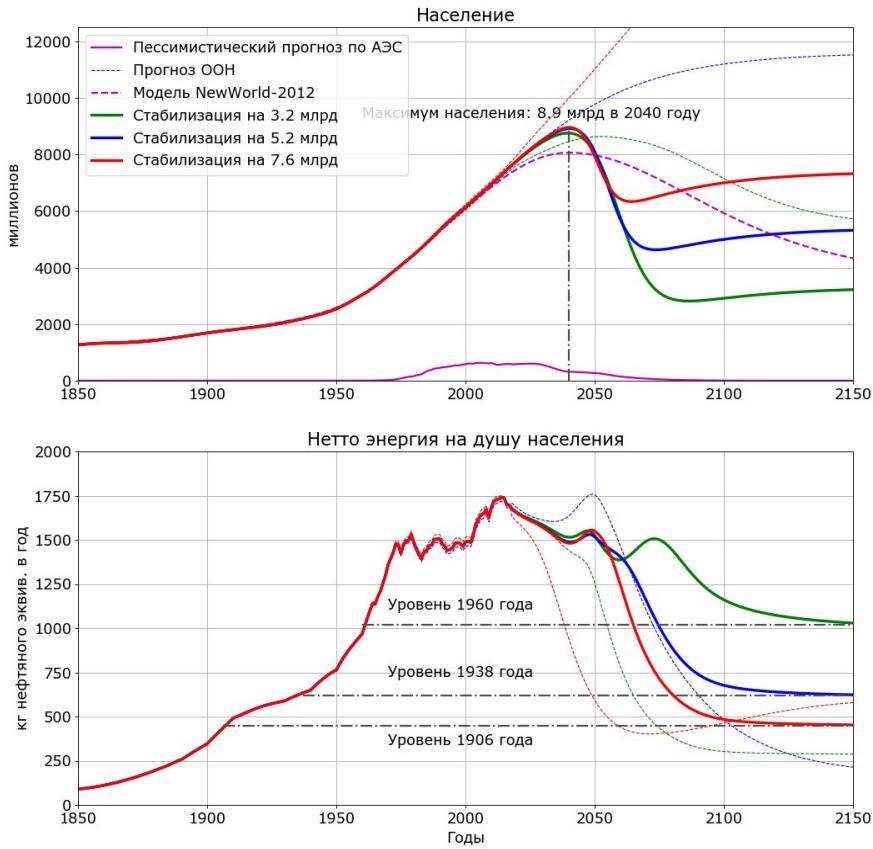
Для сравнения показано малиновым пунктиром раскритикованное Тверберг «плавное» решение Йоргена Рандерса[18] из главы 7. В нашей модели вероятное сокращение популяции начинается в том же 2040 году, однако максимум на 0.8 млрд выше. После этого возможны несколько сценариев: в базовой модели среднее потребление падает на уровень конца Великой

252 Это не шутка, а прогноз ООН на основании оценок, предоставленных правительством Нигерии. По их мнению, в Нигерии 2075 года будет жить от 500 до 760 млн человек, а на душу населения приходиться ровно 15 соток территории страны (которая, несомненно, к тому времени станет цветущим ~~маркизом де~~ Садом).

253 См. график на стр. 286.

депрессии – 620 кг/душу, а население стабилизируется на уровне 5.3 млрд. Примерно два миллиарда живёт как современные китайцы – 1'300 кг эквивалента в год, остальные имеют по 200 кг (и бесплатные бананы). Если население снизится до 3.2 млрд, есть надежда удержать цивилизацию не ниже уровня 1960 года. Если же пытаться стабилизировать население на уровне свыше 7 млрд, то сваливание на уровень жизни начала XX века неминуемо.

Модель с сокращением рождаемости "Население Z"



Подведём итоги главы:

- Реалистические модели не должны включать обвального сокращения добычи полезных ископаемых «в ноль за два года». В пределах одной страны или одного месторождения это вполне возможно, но по общей сумме в мире – крайне маловероятно. Нужен природный катаклизм масштаба удара сверхкрупного астероида, а в этом случае полезные ископаемые ~~зомбей~~ людей интересовать уже не будут. Наибольшая скорость спада добычи нефти зафиксирована в Израиле – 98% в год. Типичное значение – 1.5%.

- Рассмотрен один из любимых показателей «Нефтепикников» – ERoEI. Продемонстрировано, что все считают его по-разному, часто получая результаты, отличающиеся на порядок величины. Приведено 6 формул для подсчёта 4 версий ERoEI: «стандартного», «транспортного», «потребительского» и «социального». ERoEI можно считать и через денежную стоимость – получается значительно проще, но не точно. В качестве полезного совета, если ваш оппонент начинает оперировать понятием ERoEI, спросите у него, какой конкретно ERoEI имеется в виду. Если оппонент затрудняется назвать конкретную методологию подсчёта, полезнее и интереснее будет спорить о точном количестве ангелов/чертей на кончике швейной иглы.

- Показано, что по мере истощения месторождений энергетических полезных ископаемых $ERoEI_{st}$ снижается; развитие технологий добычи, перевозки и обогащения/переработки ресурсов может временно повышать $ERoEI_{pou}$ и $ERoEI_{ext}$.

- В 2014 году Джессика Ламберт со товарищи предложила коррелировать социальный $ERoEI_{soc}$ с индексом человеческого/гуманитарного развития HDI. Из статей Ламберт по Интернету пошла гулять специальная ~~олимпиада~~ версия пирамидки Маслоу, где уровню $ERoEI_{soc}$ сопоставляется развитие науки, медицины, образования, и т. д. Мы поставили мысленный эксперимент, который подход Ламберт полностью опровергает. Уровень жизни гораздо лучше коррелирует с добычей/использованием ресурса на душу населения (что, впрочем, замечает и сама Дж. Ламберт).

- Из четырёх версий для моделирования полезны только $ERoEI_{pou}$ и $ERoEI_{ext}$. «Стандартный», вероятно, может быть интересен в пределах индивидуальных месторождений, но считать затруднительно. Методика подсчёта $ERoEI_{soc}$ через ВВП – слишком ненадёжна.

- Сравнение стран и территорий «по ERoEI» – бессмыслица. Низкий ERoEI не означает низкого уровня жизни или социальной нестабильности, а высокий ERoEI не гарантирует от социальных потрясений. В конкретных условиях конкретной страны снижение ERoEI приводит к снижению уровня жизни, но абсолютная величина показателя никакой роли не играет.

- Нами высказано предположение, что из-за уменьшения $ERoEI_{ext}$ (вследствие выработки месторождений) падение уровня жизни будет происходить быстрее, чем снижение добычи; скажем, если мировая добыча падает по 1% в год, полезная энергия снижается по 1.5%. Существует период, когда абсолютная добыча растёт, а полезная (нетто) энергия уменьшается. В этой модели уровень потребления 1960 года в среднем по планете будет достигнут между 2040 и 2052 годами, наиболее вероятная оценка – 2049 год.

- Добавление в модель возобновляемой и ядерной энергетики, при самых оптимистических предположениях отсрочит наступление «нового, 1960 года» до 2038 или 2075 годов, наиболее вероятно – в 2055 году. Вся зелёная и все ядерные дают всего лишь 6 лет отсрочки, однако позволяют избежать обвала в ноль во второй половине XXI века.

- Удержать цивилизацию выше уровня 1960 возможно, но потребует либо массового – тысяча электростанций по 4 ГВт – внедрения новых источников энергии (пока единственный достойный кандидат – реакторы-бридеры), либо сокращения населения планеты до порядка 3 млрд человек. По-видимому, оптимальное решение находится где-то посередине.

- Расчёты выше приведены не для каких-то особых предсказаний, а с целью показать, что ситуация с ископаемым топливом не так печальна, как представляют хардкорные «Нефтепикники», но и не такая радужная, как воображают «Корнукопианцы». В любой публикации по пику нефти в комментариях можно прочитать с одной стороны «~~пеесец~~ пик пришёл, всё пропало, мы все умрём», а с другой: «будем бензин из угля делать, на тысячу лет хватит». «Хватит», вероятно (и при благоприятном раскладе), на одно поколение – до 2045 года. Дальше будет слегка нерадостно, и хватать будет уже далеко не всем. Лишние самовыпилятся, но цивилизация выживет, и каменный век не наступит.

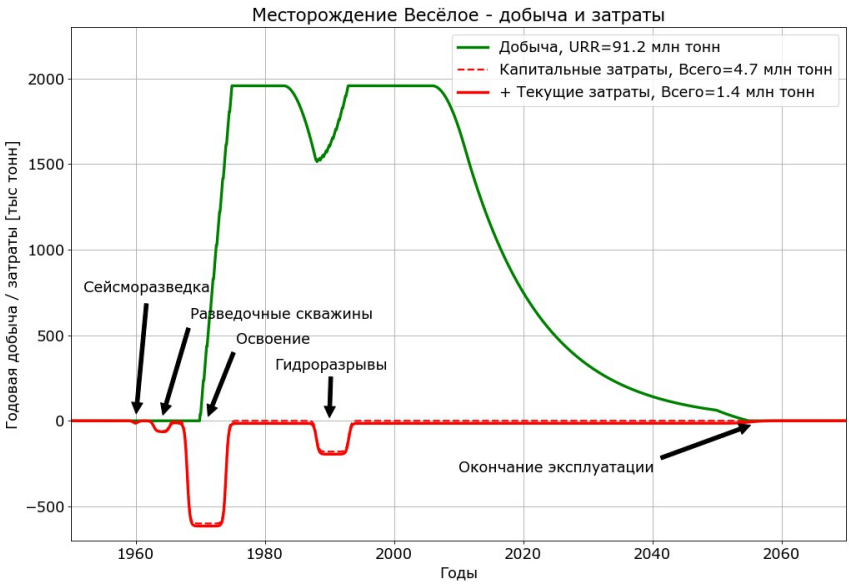


Глава 16.
Акулий плавник.

— Леди и джентльмены, — прозвучал голос из радиоприёмника — чёткий, спокойно-неумолимый мужской голос, совсем непохожий на те, что звучали в эфире уже много лет, — мистер Томпсон сегодня не будет говорить с вами. Его время истекло. С этого момента время принадлежит мне. Вы собирались выслушать сообщение о глобальном кризисе. Именно его вы сейчас и выслушаете.

– Айн Рэнд «Атлант расправил плечи»

Существует ещё одна причина, отчего модели с использованием ERoEI могут отклоняться от реальности. Формула {15.9} предполагает, что затраты энергии происходят одновременно с извлечением ресурса. В большинстве случаев это не так, что мы продемонстрируем программой **Chapter 16\Model_01_Field.py** на примере знакомого нам нефтяного месторождения Весёлое из главы 8:



На графике показана добыча из месторождения, а также затраты, пересчитанные в тонны условной нефти. Расходы бывают разные. Пунктирной линия – капитальные затраты, то есть потраченное на разведку, освоение месторождения и интенсификацию добычи вместе с капремонтом скважин. Сплошная красная линия добавляет сюда текущие эксплуатационные расходы. За время существования типичного месторождения капитальные затраты примерно втрое превышают текущие расходы; при этом капитальные затраты происходят неравномерно и начинаются ещё до добычи.

Аналогичная картина наблюдается и с любыми другими источниками энергии: например, сначала вы в течение 5 лет тратите $5 млрд на строительство ГЭС

или АЭС (ну или «ветровой фермы», если вам больше нравится), а потом лет 20-30 потихоньку отдаёте кредиты. Основные затраты на постройку станции происходят заведомо до начала производства электроэнергии, а во время эксплуатации станции текущие расходы относительно невелики. Любители насчитать для гидроэнергии ERoEI в районе 500 забывают, сколько энергии потрачено на бетон, сталь, топливо для самосвалов, производство турбин и генераторов, и так далее.

ERoEI отлично описывает текущие расходы, но плохо учитывает капитальные затраты. Бухгалтеры применяют математический трюк – амортизацию (depreciation), раскидывая капитальные затраты на сколько-то лет, чтобы вычитать из прибыли и меньше платить налогов, но нас-то волнуют не налоги, а физический поток полезной энергии!

В 2011 году Пол Пукайт выпустил книгу под названием «Таинственная бочка[254] нефти»[31], и оттуда по веб-ресурсам отправилось гулять несколько интересных графиков. Первая часть книги посвящена попыткам количественной оценки пика нефти и скорости спада добычи. Сам автор пришёл в оценку запасов нефти из прикладной физики; он занимался сверхчистыми кристаллами и полупроводниками, оттого взгляд на энергетику немного «со стороны».

Первые пять глав рекомендуется смело пропустить – там автор пытается строить модель дисперсии нефти от времени и распределения запасов в больших и малых месторождениях. Проскакивают заявления типа:

In a global context and given enough time, this simple kinetic flow model would eventually grow to such an extent that a single large reservoir would engulf the entire world's reserves.

Если дать достаточно времени, эта простая модель кинетического потока в конечном итоге соберёт всю нефть планеты в одно гигантское месторождение, включающее в себя все запасы планеты [стр 38].

Главной посылкой автора является то, что распределение нефти по месторождениям следует формуле вероятности:

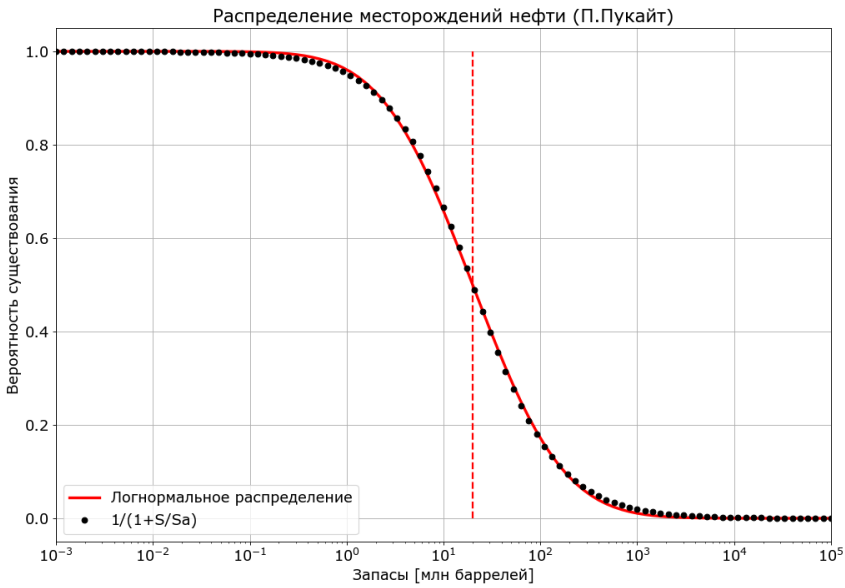
$$\rho(q)=\left(1+\frac{q}{\bar{q}}\right)^{-1} \qquad \{16.1\}$$

Где **ρ(q)** – вероятность существования месторождения с извлекаемыми запасами более **q**, **q̄** – нормировочный коэффициент, имеющий физический смысл «среднего размера месторождения». В подсчёте запасов геологи (тот же Ж.Лагеррер) уже давно используют логнормальное распределение:

$$\rho(q)=\frac{1}{2}\cdot\left(1-Erf\left(\frac{\ln(q)-\ln(\bar{q})}{\sqrt{2}\sigma}\right)\right) \qquad \{16.2\}$$

254 Непереводимая игра слов. Английское название книги «*The OIL ConunDRUM*». «Conundrum» – это «загадка», а «DRUM» – это «бочка». Последняя редакция – декабрь 2014 года.

Функция {16.1} есть не что иное, как версия функции {16.2} для нищебродов, так и не купивших себе «маму» на процессоре Пентиум. На деле логнормальное распределение работает не только для нефти и газа, но и для полезных ископаемых совершенно нетекучих, таких как каменный уголь или коренные золотоносные жилы. Типичным распределениям ловушек нефти и газа по размеру посвящены целые монографии[255], и вдаваться в подробности в данной книге неуместно. Достаточно упомянуть, что геологические тела зачастую описываются фракталами, а размерность элемента фрактала зачастую следует логнормальному распределению. Числовой пример ниже показывает, отчего не следует придавать особого значения типу функции. Логнормальное распределение сделано для σ=1.8 и $\bar{q}$=20 млн баррелей.



Пукайт резонно предполагает, что каждое открытое месторождение проходит через несколько стадий. Решение о начале разработки могут принять немедленно после открытия, а могут и позже. Пусть вероятность перехода запасов из категории «открытые» в категорию «открытые и одобренные к разработке» описывается функцией:

$$\rho = \rho_0 \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right), t \geq t_0 \qquad \{16.3\}$$

Где:

ρ – вероятность принятия решения в год **t**;

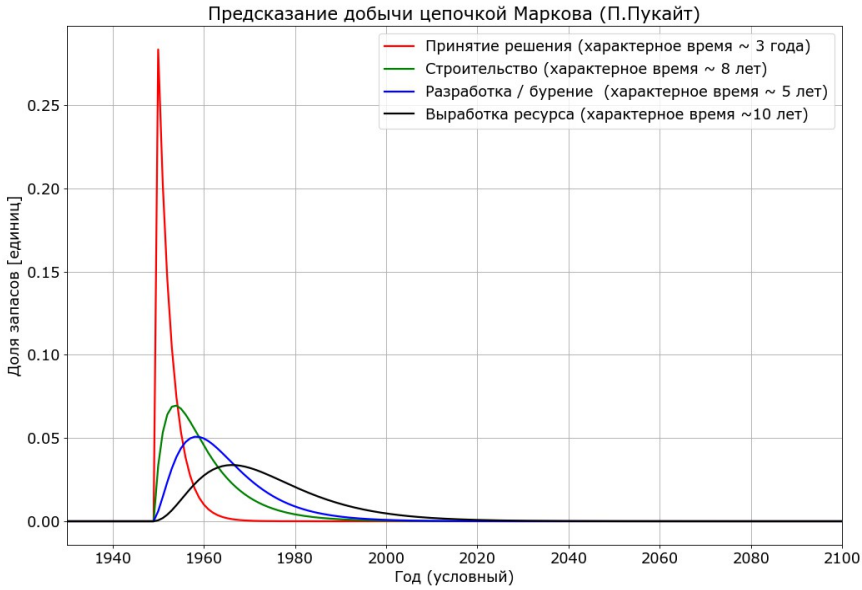
t_0 – год открытия;

τ – характерное время принятия решения;

ρ_0 – нормировка, чтобы сумма вероятностей была равна единице.

255 Isaaks, E.H., Srivastava, R.M., ***An Introduction to Applied Geostatistics***, Oxford University Press; 1 edition (January 11, 1990), ISBN 978-0195050134.

Для примера проиллюстрируем функцию {16.3} программой **Chapter 16\Model_03_Markov_Chain.py** . Пусть в условном 1950 году открыто 100 месторождений. Тогда решение о добыче из 28 месторождений будет принято в том же 1950, 20 месторождений будут дожидаться 1951 года, 14 месторождений – 1952 года, и последнее решение будет принято в 1960 году (красная кривая). Почему решение о разработке откладывается? Причин может быть масса: от всеобщего экономического кризиса до конкретного географического положения – скажем, какие-то месторождения находятся в странах из «списка Чуковского», и инвестировать туда опасно.



Теперь из категории «открытые и одобренные к разработке» месторождения надо перевести в категорию «готовые к бурению». На некоторых месторождениях это делается почти мгновенно – решили и сразу начали бурить. На других месторождениях надо сначала утвердить проект, подготовить площадки, отсыпать дороги, проложить трубопроводы, построить морские платформы и заводы для подготовки нефти, и так далее. Распределение вероятностей будет описываться той же формулой {16.3}, только с другим τ. Общая вероятность превращения месторождения в «готовое к бурению» выражается свёрткой[256]:

$$\rho = \rho_1 * \rho_2 = \frac{1}{\tau_1 \tau_2} \int_{x=t_0}^{x=t} \exp\left(-\frac{x-t_0}{\tau_1}\right) \exp\left(-\frac{t-x-t_0}{\tau_2}\right) dx \qquad \{16.4\}$$

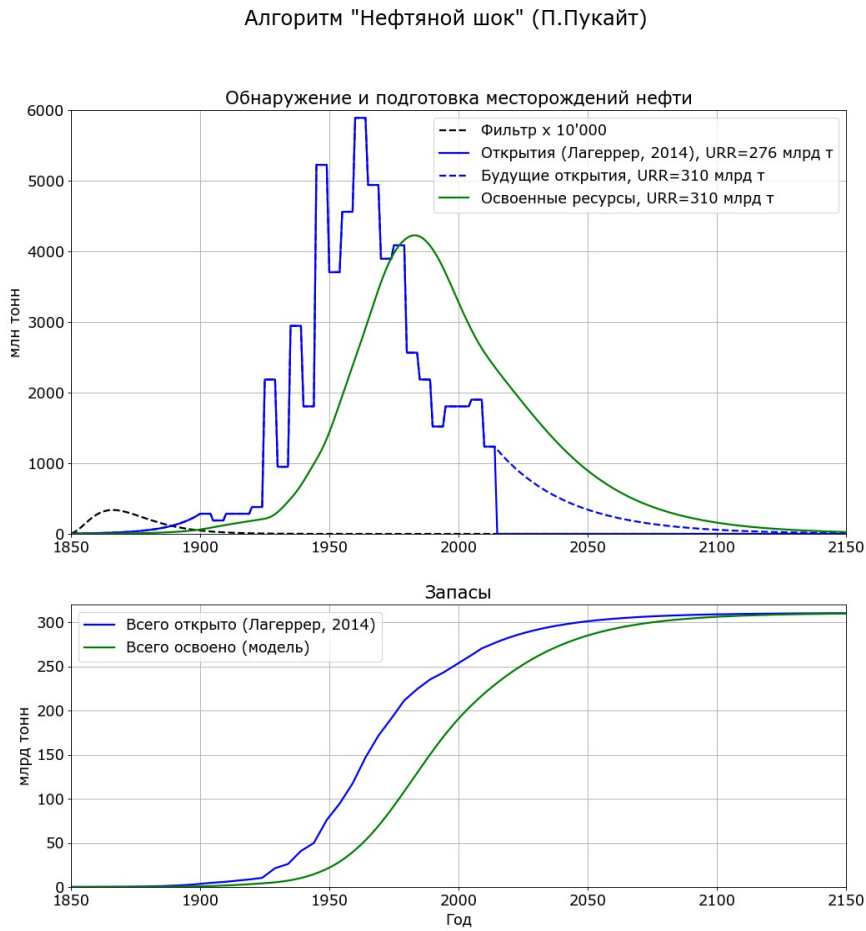
Раз мы выбрали экспоненты, то свёртку можно решать аналитически[257], но нам

256 Напомним, что свёртка в этой книге применялась и ранее: в главе 9 мы считали при помощи свёртки накопление углекислоты в атмосфере (формула {9.3}), а в главе 10 мы численно воспроизводили расчёты университета Райса для добычи из газового месторождения Барнетт.

257 Аналитическое решение для модели Пукайта {16.5} в упрощённом частном случае распределения запасов {16.1} представлено в книге. Это решение – специальная функция и носит название функции

это не особо надо – достаточно численного эксперимента. После свёртки получается зелёная кривая: из 100 открытых месторождений всего 3 немедленно готовы к бурению в 1950 году, 7 месторождений готовы к буровым работам в 1953, и так далее.

Свёртку {16.4} надо повторить ещё дважды: для бурения (τ_3 = 5 лет) и для добычи (τ_4 = 10 лет). Получилась чёрная кривая, сильно похожая на кривую Вейбулла {8.3}, а сам метод последовательных свёрток в математике носит название «цепочки Маркова», по имени Андрея Андреевича Маркова-старшего (1856-1922). Если есть желание, кроме бурения и добычи можно добавить ещё фильтры: перевозку, переработку в бензин, логистику нефтепродуктов в танкерах и даже задержку в стратегических резервах. Получится чуть более плоская кривая, это несущественно.



Теперь тупо применим полученный фильтр к кривой открытий, собранной по данным Ж.Лагеррера из его же доклада 2014 года[258]. Свёртку

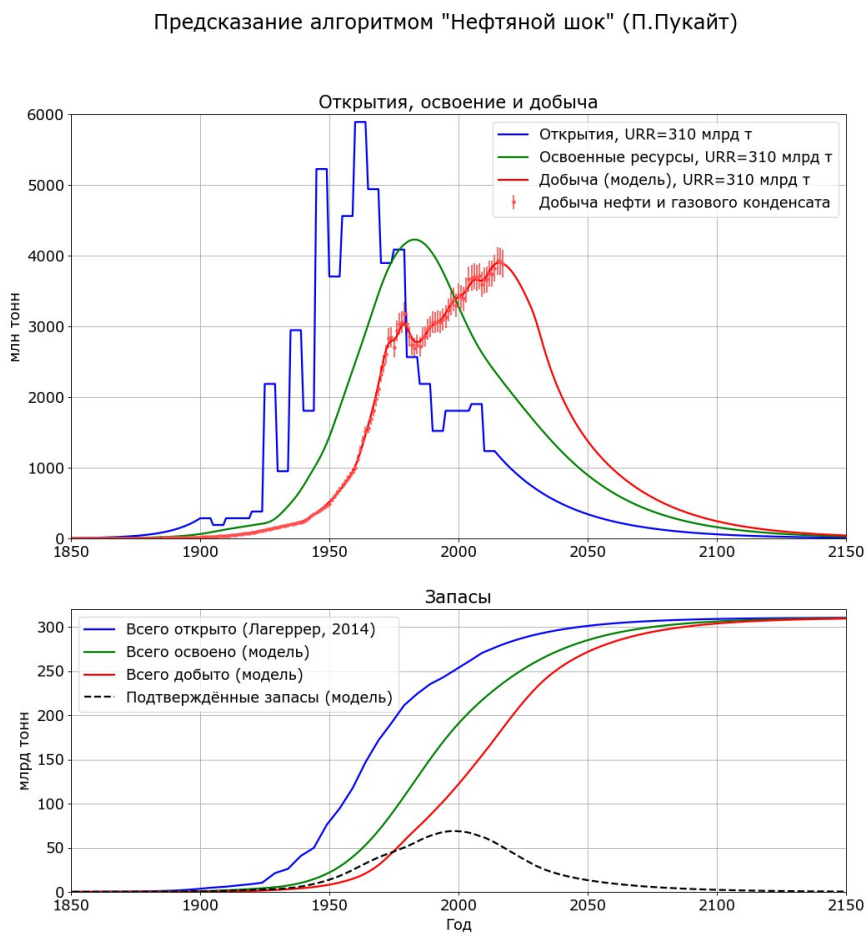
Гомперца (1779—1865). Обсуждение аналитического решения интересно, но выходит за рамки нашей дискуссии.

258 Jean Laherrere, ***The end of the peak oil myth***, ASPO France, 2014 http://aspofrance.viabloga.com/files/JL_MITParis2014long.pdf

*Открытия*Фильтр* подсчитает программа **Chapter 16\Model_04_OIL_ConunDRUM_1.py**

Пик открытий пришёлся на начало 1960-х – тогда открывали по 6 млрд тонн нефти в год. Пик освоения месторождений (примерно по 4 млрд тонн в год)– середина 1980-х. Действительно, тогда интенсивно осваивали по всей планете: от Северного моря до Вьетнама; активно искали и бурили и СССР, и страны ОПЕК. Спад после 1985 года из-за того, что открывают всё меньше новых месторождений – постепенно становится нечего осваивать.

Получив плавную кривую освоенных ресурсов, Пукайт использует стандартную модель для описания добычи, как показано программой **Chapter 16\Model_05_OIL_ConunDRUM_2.py**



$$\frac{\partial Q_{reserves}}{\partial t} = q_{available}(t) - Q_{reserves}(t) \cdot s(t)$$

$$q(t) = \frac{\partial Q_{produced}}{\partial t} = Q_{reserves}(t) \cdot s(t) \qquad \{16.5\}$$

Здесь:
$Q_{reserves}(t)$ – подтверждённые остаточные извлекаемые запасы в год t;
$q(t)$, $Q_{produced}(t)$ – годовая и накопленная добыча;
$q_{avalable}(t)$ – добавка открытых и освоенных месторождений (внешняя функция);
s(t) – фактор использования запасов (отношение текущей добычи к освоенным ресурсам) (внешняя функция).

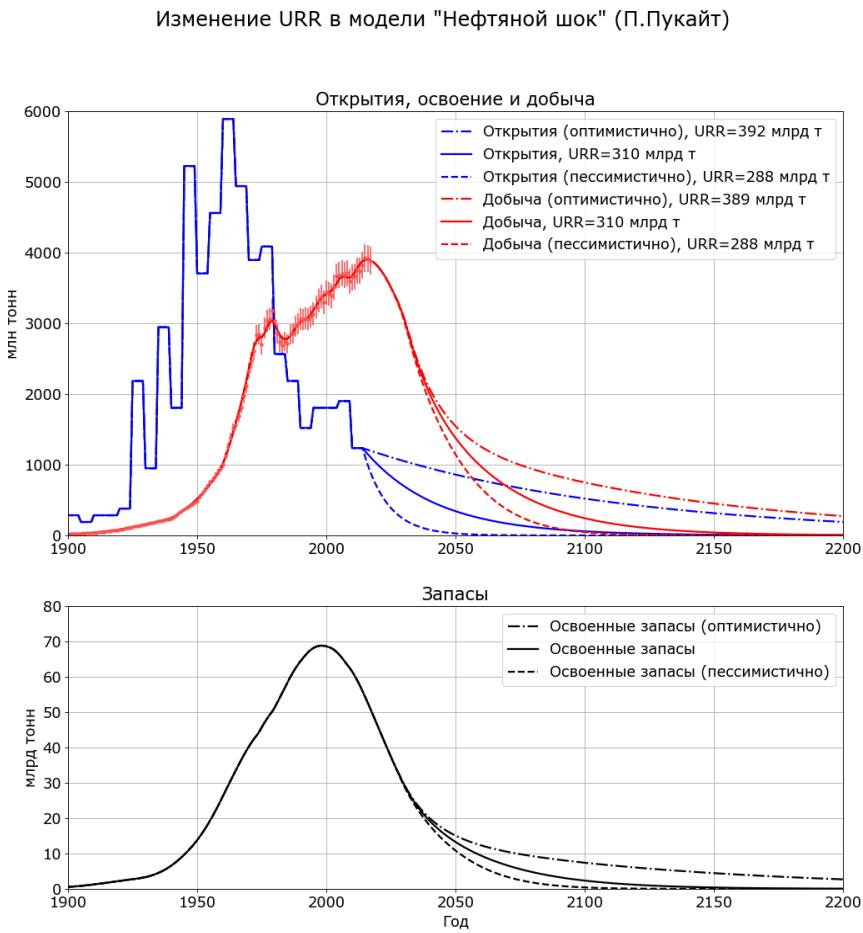
Никакой магии тут нет. Кривая открытий скачет вверх-вниз – геологическая удача переменчива, год на год не приходится. Цепочка Маркова делает из скачущей кривой сглаженную колоколообразную – нечто среднее между степенно́й хаббертианой {8.5} и гауссианой {8.7}. Далее доктор Пукайт (или ваш покорный слуга) гнёт эту сглаженную кривую как хочет, задавая произвольную внешнюю функцию **s(t)**. В книге Пукайта кривая задаётся так:

Период:	Фактор s(t):	Оправдание:
С 1850 по 1973 годы	6.0%	Просто так
С 1974 по 1980 годы	5.1%	Последствия нефтяного эмбарго 1973 года
С 1981 по 1984 годы	Линейное снижение с 5.1% до 3.4%	Последствия Иранского кризиса 1979 года
С 1984 по 1990 годы	3.4%	Глобальная рецессия второй половины 1980-х
С 1990 по 1992 годы	Линейное снижение с 3.4% до 3.0%	Первая война в Ираке
С 1993 года до конца модели	3.0%	Экстраполяция последнего выбранного значения

Автор этой книги добавил ещё точек (всего их получилось 22): с 1880 по 2030 годы s(t) колеблется в пределах от 3.1% (перед Первой мировой) до 10% в 2030 (произвольно выбранное значение для подгонки добычи 2016 и 2017 годов). В качестве дополнительных событий выбраны: Первая мировая война, Великая депрессия, Вторая мировая, «космическая гонка» (ну или Холодная война, если вам такое имя больше по душе), развал СССР и далее СНГ, кризис «дот-комов» 2000 года и, натюрлих, наш родимый Глобальный Финансовый. То, что модельная кривая чётко следует реальным историческим данным по добыче нефти, – не свойство модели, а просто *хорошая подгонка*. Форма кривой после 2014 года целиком и полностью зависит от суммы всех открытий. Если вы берёте данные Лагеррера, то получается чуть круче, а если (вероятно завышенные) данные «*Шелл*» – чуть положе.

Второй важный фактор – ваши взгляды на будущие открытия нефти. В модели выше предполагается спад открытий по 3.5% за год. Попробуем два варианта: оптимистический, со спадом по 1%, и пессимистический – спад по 10%.

Программа **Chapter 16\Model_06_OIL_ConunDRUM_3.py**



Интересно наблюдать, что от будущих открытий положение дел вплоть до 2050 почти никак не меняется! По факту пик добычи сырой нефти и конденсата – почти твёрдый битум и почти газообразные ШФЛУ мы тут не считаем – прошёл в 2015 году, тогда было около 3'930 млн тонн[259]. Так вот: и при оптимистических, и при пессимистических предположениях в модели происходит спад добычи нефти с 2015 по 2050 годы в среднем по 3% в год! Разницу почувствуют наши внуки в 2075.

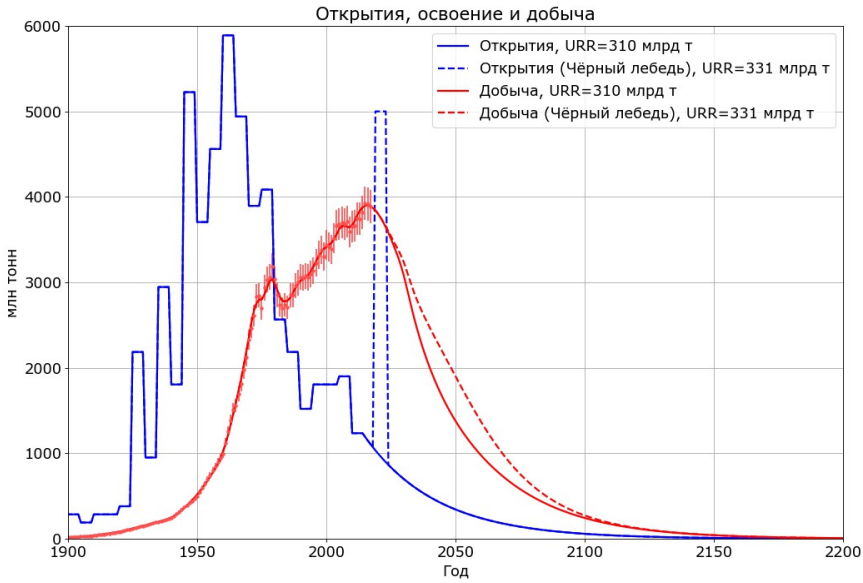
Что будет, если прилетит «чёрный лебедь», как описано в книжках у Нассима Николя Талеба[260], и в пятилетку 2019-2023 годов человечество станет открывать на абсолютно новых месторождениях по 5'000 млн тонн извлекаемых ежегодно? Двадцать пять миллиардов тонн за пять лет – это всего-то по два Самотлора за год! Программа **Chapter 16\Model_07_OIL_Black_Swan.py**

259 Если верить данным ЦДУ ТЭК, с 2015 по 2017 наблюдалась «полочка» на уровне 3950 млн т. Разница 20 млн т железобетонно находится в пределах статистической погрешности ±3% (или ±130 млн т).

260 Талеб Н., «***Чёрный лебедь. Под знаком непредсказуемости***», «*КоЛибри*», 2016, ISBN 9785389098947. Читайте критически!

Кто к месту вспомнил известный анекдот про героев Гражданской и сказал «а ничего не будет» – угадали! Обвал получается более плавным, только и всего. Не спасут чёрные лебеди цивилизацию, хоть тресни. Хотя, конечно, некоторые биржевики на событии заработают неплохие бабки, этого не отнимешь.

Прилёт "Чёрного лебедя" в модели "Нефтяной шок" (П.Пукайт)



Подчеркнём ещё раз: входными данными модели Пукайта являются: во-первых, кривая открытий и, во-вторых, подгоночный коэффициент **s(t)**, основанный на данных реальной добычи и потребления нефти. Добычу и потребление мы знаем с точностью примерно ±5%, а следовательно мы неплохо знаем и подгонку. Открытия, к сожалению, нам известны очень плохо – для большинства государственных нефтяных компаний это секрет, а опубликованные числа запасов имеют скорее политическую окраску. Надеяться, что одни компании будут по политическим соображениям завышать, а другие – занижать оценки извлекаемых, а при суммировании магически получится «примерно правильное число» – довольно наивно. Многие независимые исследователи[261] полагают, что в среднем отчёты национальных компаний систематически завышены.

Несмотря на развитую математику, модель Пукайта не обладает предсказательной силой относительно времени наступления пика добычи. Автор признаёт это вполне открыто:

До определённого предела, я признаю скептический аргумент: пока пик фактически не пройден, причём с запасом, чтобы не влияли погрешности данных, мы не можем определить положение пика (математики сказали бы: «точку реализации пика») со 100% вероятностью [стр 278].

Однако положительной стороной модели является математическая

261 Те же геологи Ж.Лагеррер и К.Кэмпбелл, чьи оценки подробно разбирались в главе 14, или финансист М.Симмонс, чьё мнение было проиллюстрировано в главе 9.

демонстрация наступления пика вне зависимости от будущих открытий. Даже если вот-прямо-завтра откроется несколько новых Самотлоров, на график спада это почти никак не повлияет. Более того, модель демонстрирует, что даже если бесконечно добавлять к запасам всё меньшие и меньшие залежи нефти (например – числа условные – сегодня мы не считаем «месторождением» залежи «менее 100 тыс т извлекаемых», через 10 лет – «менее 25 тыс т извлекаемых», через 20 лет – «менее 10 тыс тонн», и так далее), запасы-то могут расти «почти бесконечно», а вот пик добычи всё одно будет пройден.

Ещё одно полезное свойство модели Пукайта – причинность. Экономисты-аналитики типа Майкла Линча[262] постоянно указывают, что хаббертиана «не причинна». Объяснение примерно такое: «если верить хаббертиане, то даже тысячи лет назад годовая добыча нефти на планете Земля не была равна нулю, но мы-то знаем, что реальная добыча имеет вполне конкретное начало». Действительно, возражает математик, из формулы {8.6} следует:

$$q = \frac{4 \cdot q_0 \cdot e^{-\sigma Y}}{\left(1 + e^{-\sigma Y}\right)^2}$$

$$\left(e^{-\sigma Y}\right)^2 + \left(2 - 4\frac{q_0}{q}\right)e^{-\sigma Y} + 1 = 0$$

$$e^{-\sigma Y} = 2\frac{q_0}{q} - 1 \pm 2\sqrt{\frac{q_0}{q}}\sqrt{\frac{q_0}{q} + 1} \approx 4\frac{q_0}{q},\ q_0 \gg q$$

$$Y \approx -\frac{1}{\sigma}\ln\left(4\frac{q_0}{q}\right) \approx -34\ln\left(\frac{1.5 \cdot 10^{13} kg}{q}\right)$$

Если следовать классической формуле Хабберта, то первая тонна нефти (q=1000) на планете Земля была добыта около 800 лет назад; первый килограмм нефти (q=1) – около 1'000 лет назад, а первая молекула декана $C_{10}H_{22}$ ($q=2.37 \cdot 10^{-25}$ кг) – около 3'000 лет назад. У европейца или китайца подобные значения отторжения не вызывают: греки твёрдо знают, из чего делался «греческий огонь», румыны и австрийцы помнят историю своей родины, россияне цитируют петровские «Ведомости» №1 от 2 января 1703 года:

Из Казани пишут, на реке Соку[263] нашли много нефти, и медной руды, из той руды медь выплавили изрядно, от чего чают немалую быть прибыль Московскому Государству.

Но американцы отчего-то непременно хотят, чтобы в любой модели в 1858 году добыча нефти планеты Земля была точный ноль (все же знают, что до «полковника» Дрейка нефть *вообще не добывали*), и у них дурацкие аргументы

262 https://peakoil.com/production/michael-lynch-what-ever-happened-to-peak-oil
263 Современное название – река Сок. Нефть в тех местах добывают и в XXI веке.

М.Линча неизменно находят поддержку. Издержки системы образования. Нам остаётся только пожать плечами и указать на модель Пукайта. В ней можно сделать точный ноль в любом году, но что это меняет с точки зрения пика и запасов?

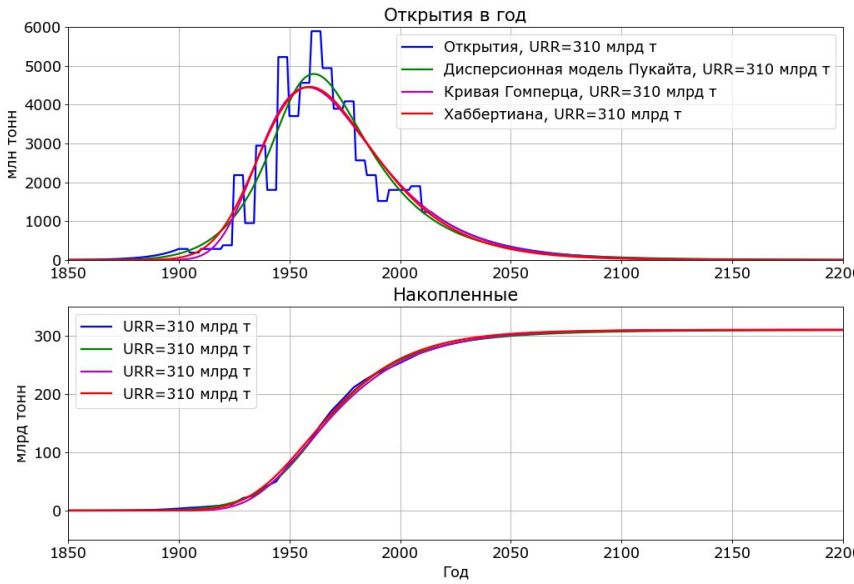
Сам Пукайт не удержался от едкого комментария:

Я не в курсе, финансируют ли нефтяные компании деятельность Линча, Ергина и им подобных, но тактика нефтекомпаний проста, как два цента:

1. ***Не давать никакой достоверной информации по запасам или применяемым расчётным методикам и***
2. ***Нанимать консультантов и пропагандонов, чтобы мутить воду [стр 309-310].***

Линч также любит покритиковать «необоснованную симметрию» пика Хабберта: в простейшей модели пик наступает точно при добыче половины ресурса. Единственное возражение: Майкл Линч не умеет (или намеренно делает вид, будто не умеет) в ОДУ. Помимо симметричной хаббертианы есть и «степенна́я хаббертиана», как показано формулой {8.5} и программой **Chapter 16\Model_08_Dispersion.py**, и та же функция Гомперца, и функция Капицы {5.6}, и множество других красивых аналитических решений, удовлетворяющих условию Хабберта. Под каждое из этих решений можно при желании подвести теоретический базис.

Описание открытий кривой Хабберта и дисперсионной кривой Пукайта

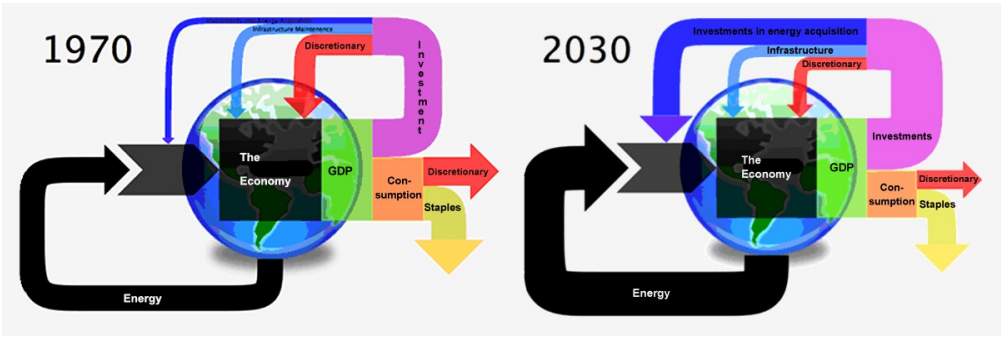


Как модель Пукайта, так и степенную хаббертиану, и множество других решений можно сделать несимметричными, а описание реальной кривой открытий во всех случаях вполне удовлетворительное.

К сожалению, модель Пукайта основана на данных об открытиях

месторождений, что не позволяют применить её к природному газу и углю. В первом случае, открытия и потери (например, факельное сжигание попутного газа) ещё менее документированы, чем у нефти. В случае угля, официальные оценки извлекаемых запасов были в основном установлены ещё до Второй мировой войны и с тех пор подвергались непрерывной ревизии в сторону уменьшения (мы подробно разбирали уголь в главе 13).

Теперь попробуем от нефти перейти к остальным энергетическим ископаемым. Упомянутые в главе 15 Чарльз Халл и Кент Клитгаард[264] пробуют объяснить проблему пика энергетических ресурсов качественной моделью:



Чёрная стрелка обозначает поток энергии[265]. Экономика преобразует энергию в валовый продукт (зелёное GDP). Продукт этот расходуется на потребление (оранжевое) и на реинвестирование в экономику (малиновое). Потребление бывает двух типов: жизненно-необходимое (жёлтое – staples) и роскошь (красное – discretionary). Инвестиции делятся на три части: затраты на добычу энергии (тёмно-синяя стрелка), затраты на амортизацию (светло-синяя стрелка) и затраты на расширение производства (красная стрелка).

Нарисовано состояние дел в условном 1970 и условном 2030 годах. В 1970 показатель $ERoEI_{ext}$ большой, затраты на добычу энергии – маленькие; соответственно больше энергии остаётся на расширение производства, а также на необязательную для жизни роскошь. В условном 2030 на добычу энергии и на амортизацию расходуется больше, соответственно на расширение производства и роскошество остаётся меньше.

Художник немного схитрил, уменьшив жёлтую стрелочку жизненно-необходимых затрат для рисунка 2030 года. Население планеты в 1970 году было 3.7 млрд, а в 2030 демографы ООН обещают нам от 8.1 до 9.0 млрд, то есть жёлтая стрелочка должна быть как минимум в 2.5 раза толще, чем в 1970 году. Если мы говорим о жизненном минимуме, то экономить не на чем! Нетрудно заметить, что делая жёлтую стрелочку толще, мы полностью убиваем красные стрелочки: и роскошество, и расширение производства.

264 Charles A. S. Hall, Kent Klitgaard, ***Peak Oil, EROI, Investments, and Our Financial Future***, Energy and the Wealth of Nations, SringerLink, 03 March 2018.

265 Я не знаю, зачем художнику понадобилось загибать энергию в колечко – в тексте ясно написано, что энергия забирается из Земли и Солнца и рассеивается в процессе производства и потребления.

Подозреваю, что дело даже хуже: немножко от красной стрелочки затрат на роскошь останется (надо же кому-то плавать яхты и ездить «Бентли»?), а светло-синяя стрелочка затрат на амортизацию уйдёт в ноль. Вследствие естественной амортизации через какое-то время экономика схлопнется.

Клитгаард выразился так[266]:

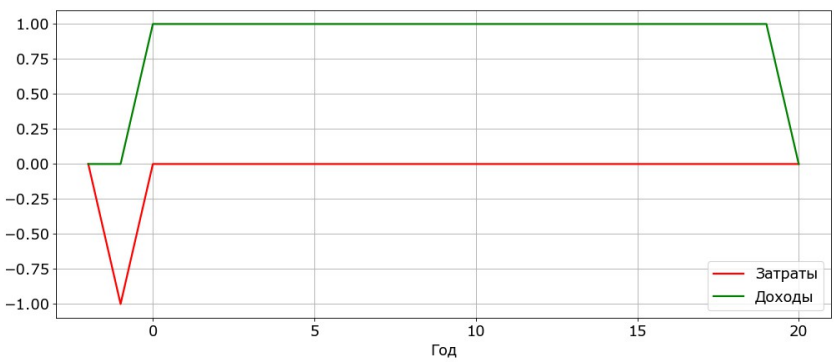
Всякий, кто говорит, будто экономика может [бесконечно] расти по экспоненте на планете конечных размеров, – либо безумец, либо экономист.

Разобрав модель Халла и Клитгаарда качественно, попробуем воспроизвести её количественно. Сами авторы код, к сожалению, не публикуют[267].

В качестве калибровки возьмём следующие данные:

- Оценку суммарных извлекаемых запасов угля, нефти (жидкостей) и природного газа из главы 14 – от 1'000 до 3'300 млрд toe (наиболее вероятное значение 1'400 млрд toe).
- График добычи тех же энергетических полезных ископаемых из главы 13; накопленная добыча с 1830 по 2017 годы – 501±50 млрд toe.
- Данные ООН по населению Земли и демографические прогнозы из того же источника (глава 3).
- Оценку потребления энергетических полезных ископаемых из главы 15 и оценку $EROEI_{ext}$ по формуле {15.10}

Для простоты предположим, что деньги в системе жёстко привязаны к стоимости ресурсов: например, вместо доллара – килограмм нефти. Подобное выражение позволяет абстрагироваться от инфляции, действий государственных эмитентов и т. п. Под «капиталом» здесь и далее подразумеваются не деньги, а овеществлённая энергия – инструменты, заводы, транспорт, нефтяные скважины, АЭС, ветряки и так далее. Пусть затраты и получение прибыли от времени распределены по времени как показано ниже:

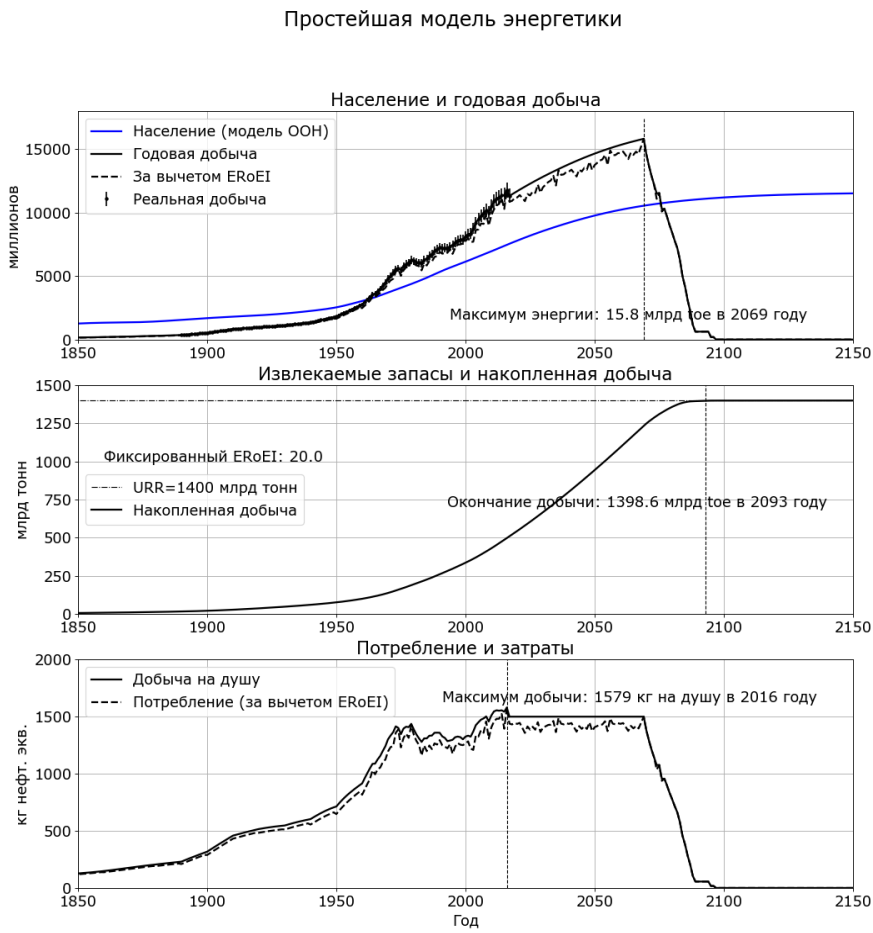


Например, в минус первом году вы потратили 1 toe угля, чтобы найти залежь.

266 https://www.wells.edu/faculty-staff/kent-klitgaard

267 Во всяком случае, поиск в Интернете обнаружил лишь программы по природопользованию Коста-Рики.

Затем из этой залежи вы добываете 20 полных лет (с нулевого по 19 год включительно). В 20-м году месторождение заканчивается, но вы заранее идёте искать новое: $EROEI_{ext}$=20:1. Шахтёры в нашей простейшей модели во время добычи ничего не потребляют (кроме еды), а все добытые ресурсы тратятся на развитие других средств производства (за пределами энергетики). Если вас не пугает такая аналогия, думайте о первой модели как о рабовладельческом строе в тропиках, где даже самый главный инженер ходит в травяной набедренной повязке. Кнуты надсмотрщиков и цепи рабов считаются «капиталом». Вычислим программой **Chapter 16\Model_09_Basic_Energy.py**

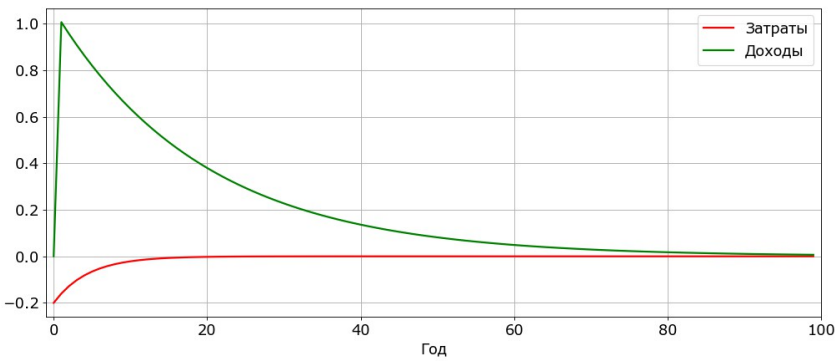


Тут самое время вспомнить, что некоторые траты в модели Халла-Клитгаарда имеют эпитет «discretionary», сиречь «по собственной воле»: общество в целом (или какая-то значимая часть общества), на основании каких-то своих социальных законов решает, сколько тратить на потребление, а сколько – инвестировать в производство. Законы меняются от времени. Ясно, что фактическая кривая добычи угля, нефти (точнее «жидкостей») и природного газа с 1890 по 2017 годы есть следствие инвестиционной политики. Постигать ход мысли нефтеброкеров и председателей советов директоров тут ни к чему,

надо просто принять мир как он есть по факту и инвестировать в нашу модельную энергетику ровно столько, сколько нужно, чтобы идеально описать добычу в реальном мире. Точно так же в модели П.Пукайта выбиралась функция **s(t)**.

После 2017 года мы условно полагаем, что экономика стремится сохранить абсолютную добычу на душу населения: около 1.5 тонн нефтяного эквивалента в год. Допущение вполне нормальное, а точная подгонка нам не нужна – модель ещё «сырая». Не стоит придавать особого значения и годам – они пока условные. Максимум добычи ископаемых энергоресурсов – 2069 год (15.8 млрд toe/год), максимум добычи на душу населения – 2016 (1'579 кг/год). Повторим: не надо придавать… однако задумаемся. С 2016 по 2069 год в модели происходит странная ситуация. Валовой продукт вроде бы растёт: вокруг всё больше «сланцевых» нефтескважин в Северной Дакоте, газопроводов «Северный поток» на Балтике и карьерных экскаваторов в Альберте. При этом среднее, на душу населения, *вещественное* потребление (не услуги ~~проститутки~~ дипломированного гомеопата, а джинсы, мобильные телефоны и «Форд-Фокусы») – не меняется. В реальном обществе нефтепроводы и экскаваторы принадлежат не владельцам «Фокусов», а элите. Значит, «бедные остаются бедными, средний класс остаётся средним классом, а богатые богатеют». Так идёт до 2069 года, а дальше… обвал! Инвестиции почти полностью прекращаются, и за 10-15 лет добыча ископаемого топлива уходит в полный ноль.

Однако показанные на картинке выше затраты и доходы могут существовать только в воображаемом мире. От применения резко падающих функций кривая потребления получается нестабильной, так как инвестиции год от года резко меняются. В реальности надо применять плавно убывающие вероятностные функции {16.3} как в модели Пукайта. Пусть, для начала, функции будут простыми экспонентами:



Здесь мы полагаем, что часть капитала ежегодно амортизируется:

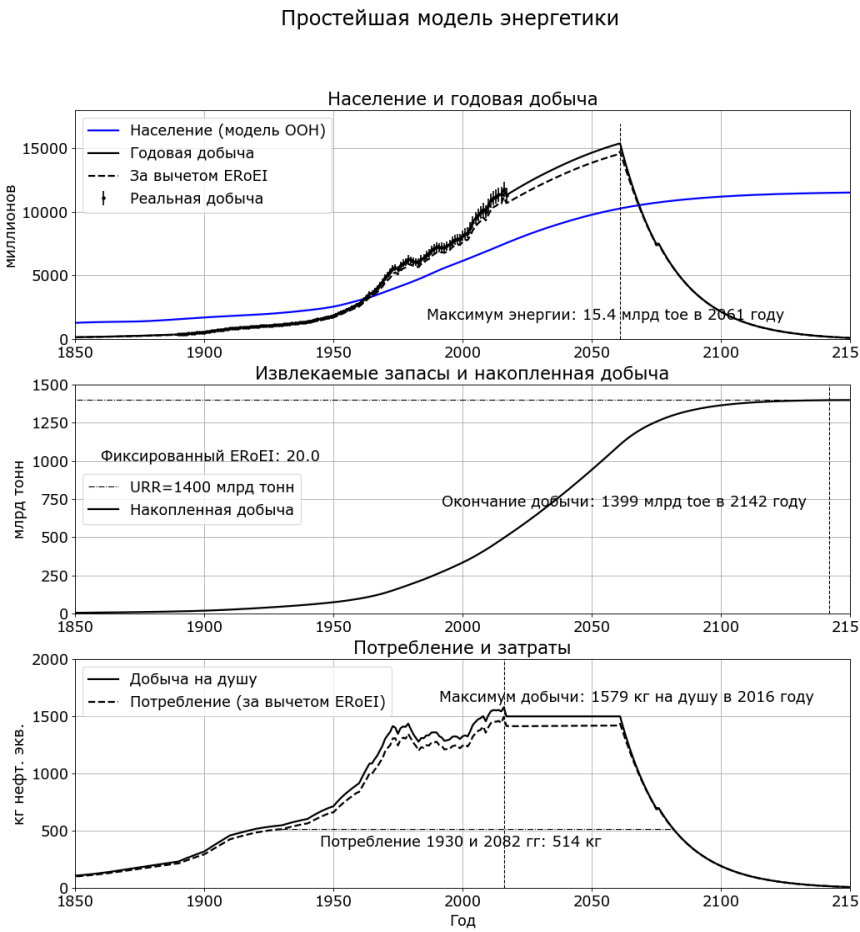
$$\frac{\partial C}{\partial t}=(1-d)\,C \qquad C(0)=C_0$$

Если константу **d** положить равной нулю (амортизации нет, капитал работает

вечно), то ERoEI получится бесконечным. Мы полагаем, что капитал изнашивается за характерное время 20 лет, то есть **d=0.05**. Скажем, в 1800 году вы инвестировали в экономику тонну нефти. Этот капитал будет работать много десятилетий (как на месторождении Весёлое). Через сто лет от тонны ваших инвестиций останется, в среднем, $0.95^{100}=0.006$ – шесть килограммов нефтяного эквивалента[268]. За сто лет тонна капитала произвела бы:

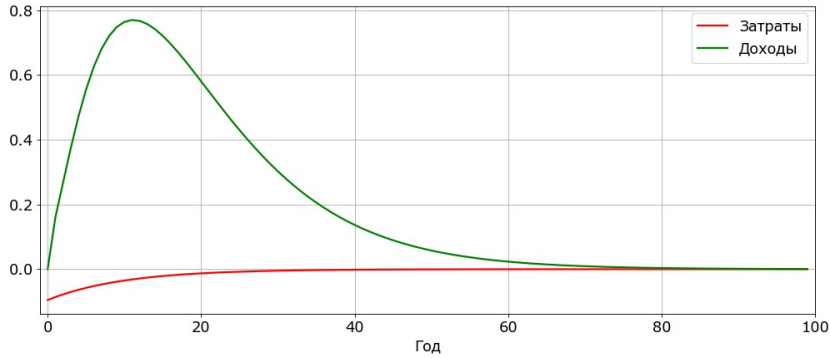
$$ERoEI_{ext}=\rho_0 \cdot \int_{1800}^{1900} (1-d)^{t-1800} dt = \frac{\rho_0}{\ln(0.95)}\left[0.95^{100}-0.95^{0}\right]=19.4\,\rho_0 : 1$$

Выбирая ρ_0 = 1.031, получаем ERoEI = 20:1. Считаем программой **Chapter 16\Model_10_Basic_Energy2.py**

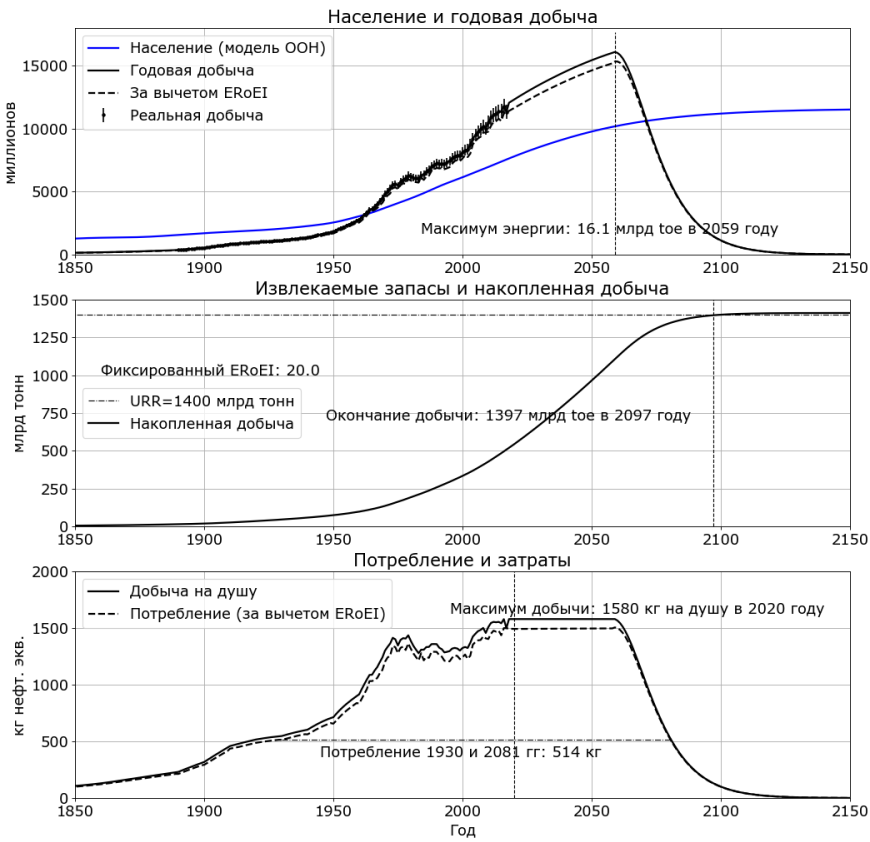


268 Например, вы сдали насос-качалки в металлолом. Это всё равно выгодней, чем добывать новую руду. Считайте, что вы получили назад разницу в затратах энергии при производстве стали из качественного лома и из руды (в последнем случае вместе с добычей и обогащением). Не следует путать физическую амортизацию капитала с тем, как используют термин бухгалтеры. У бухгалтеров так: если вы купили станок за $1 млн, то стоимость станка будет поделена на сколько-то лет, скажем 20. Потом в течение 20 лет вы имеете право добавлять по $50'000 к годовым издержкам и уменьшать таким образом налог на прибыль.

Заметим, что теперь функция потребления стала гладкой. Если вас смущает острый пик на вершине «акульего плавника», можно заменить простые экспоненты на цепочки Маркова как показано программой **Chapter 16\Model_11_Basic_Energy3.py**

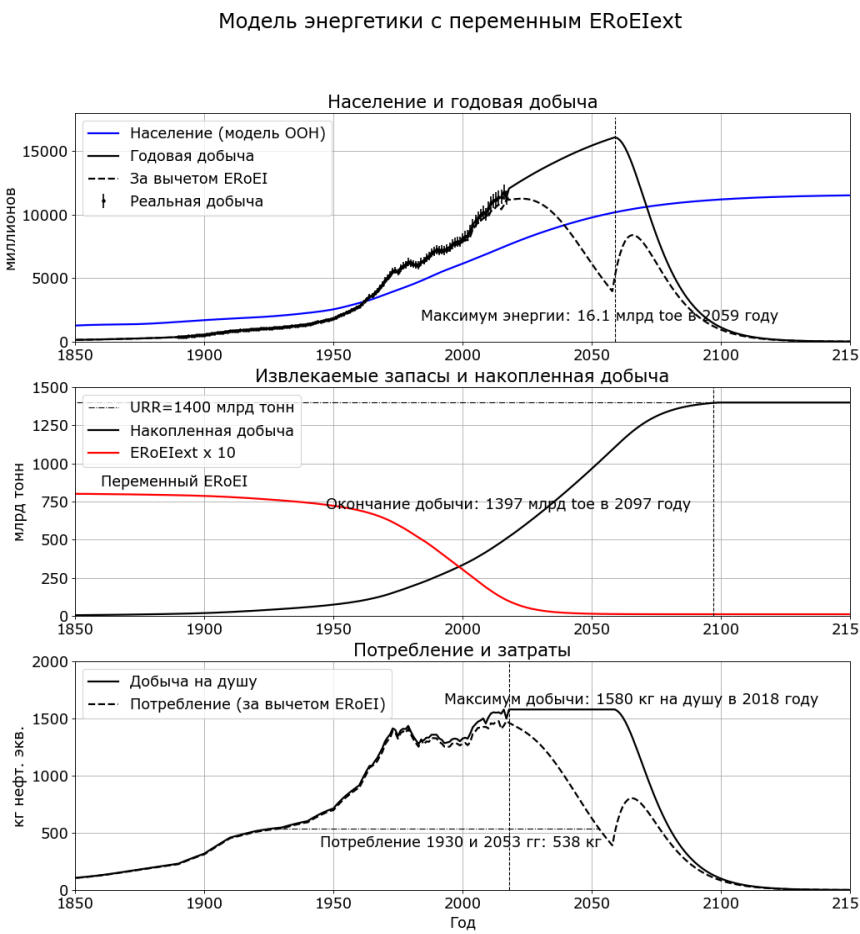


Простейшая модель энергетики (цепочки Маркова)



Теперь функция добычи стала похожа на кривую численности оленей из главы 4 или функцию численности зайцев из главы 5 (система {5.8}). В отличие от этих решений, общее количество извлекаемых запасов в нашей модели ограничено. Можно считать, что кривая добычи повторит себя, если ось **x** расширить вправо на несколько десятков миллионов лет – характерное время естественного созревания угля, нефти и газа. Добывать, правда, будет уже не *homo sapiens*, а какой-то другой разумный вид. Скорость образования и накопления полезных ископаемых выходит далеко за пределы этой книги, но вкратце разбиралась в главе 6.

Как обсуждалось в главе 15, $EROEI_{ext}$ по мере истощения месторождений будет уменьшаться. Для следующей модели используются фильтры затрат и доходов как выше, а $EROEI_{ext}$ рассчитывается по формуле {15.10}. Используем программу **Chapter 16\Model_12_Basic_Energy4.py**



В уточнённой модели максимум добычи по тройке «уголь-нефть-газ» наступает в 2059 году на уровне 16 млрд toe. Пик потребления – в 2014 году, 1'480 кг.

Нас не интересует абсолютная величина килограммов на душу в год. Споры о том, сколько нефти тратится на производство «Айфона» модели 2016 года и насколько «Айфон» полезнее в хозяйстве, чем чёрно-белый телевизор «Изумруд» образца 1979 – по меньшей мере наивны. Что интересно: с какой скоростью будет снижаться потребление во второй четвертушке XXI века? При сокращении доступной энергии на душу населения технический прогресс может и вспять пойти. Например, в вашем городе есть и энергосберегающие лампочки, и «Айфоны», и даже «Теслы», но 20 часов в день в сети нет электричества. Не всё ли вам равно, какая у кого версия «Айфона»? В построенной нами модели, «Новый, 1930 год» с уровнем потребления 540 кг эквивалента на душу наступает в 2053 году. С 2014 по 2053 происходит довольно чувствительный спад материального уровня жизни по 2.5% в год. Всё это время продолжается увеличение добычи ископаемого топлива (в основном газа и угля; нефть уже прошла пик) и наращивание энергетической инфраструктуры: «бедные беднеют, а богатые богатеют».

Можно возразить, что снижение уровня потребления энергоресурсов будет компенсироваться увеличением эффективности производства и внедрением энергосберегающих технологий. Возражение верное. Энергосберегающая лампочка со светодиодом на 7 Ватт светит примерно так же, как 60-ваттная накаливания. Продукция «*Дженерал Моторс*» жрала на 100 км – 35 литров бензина, а японский гибрид или мотоцикл едят 3-5 (но ими нельзя буксировать кэмпер или лодку, да!) И то, и другое – снижение затрат энергии примерно один порядок величины, но никак не два порядка. С другой стороны, на производство тонны стали, или тонны пластмассы, или тонны азотных удобрений уходит вполне определённое химией процесса количество угля, нефти или газа, и экономия тут может быть на проценты, но не в разы. Некоторые энергосберегающие технологии мы подробно разбирали в главе 13, возвращается не будем.

Всплеск потребления между 2059 и 2079 годом связан с прекращением инвестирования в *новые* проекты «классической» угольно-газовой отрасли; при этом освобождается довольно много средств. Правдоподобной такая модель не выглядит – вряд ли все компании планеты разом договорятся прекратить инвестирование. Наша модель пока не включает минимальный уровень потребления («staples» на диаграмме). Где конкретно этот уровень лежит, сказать сложно – авторы приводят лишь грубые оценки. Вероятно, он изменяется в зависимости от страны, привычек населения и климата. В странах, где исторически был высокий уровень потребления, социальный взрыв может наступить раньше, чем там, где уровень потребления был низок; в странах рядом с полярным кругом выключение отопления на одну зиму равносильно смерти.

Один из возможных сценариев, когда мировая экономика проходит через серию кризисов, а энергопотребляющие регионы отваливаются по мере накопления социальных проблем – в программе **Chapter 16\Model_13_Basic_Energy5.py** Программа не пытается предсказывать

конкретные кризисы – это нереально, – а просто отключает на один год инвестирование при достижении среднего уровня потребления 1'400, 1'250, 1'100… (и так далее) кг эквивалента на душу.

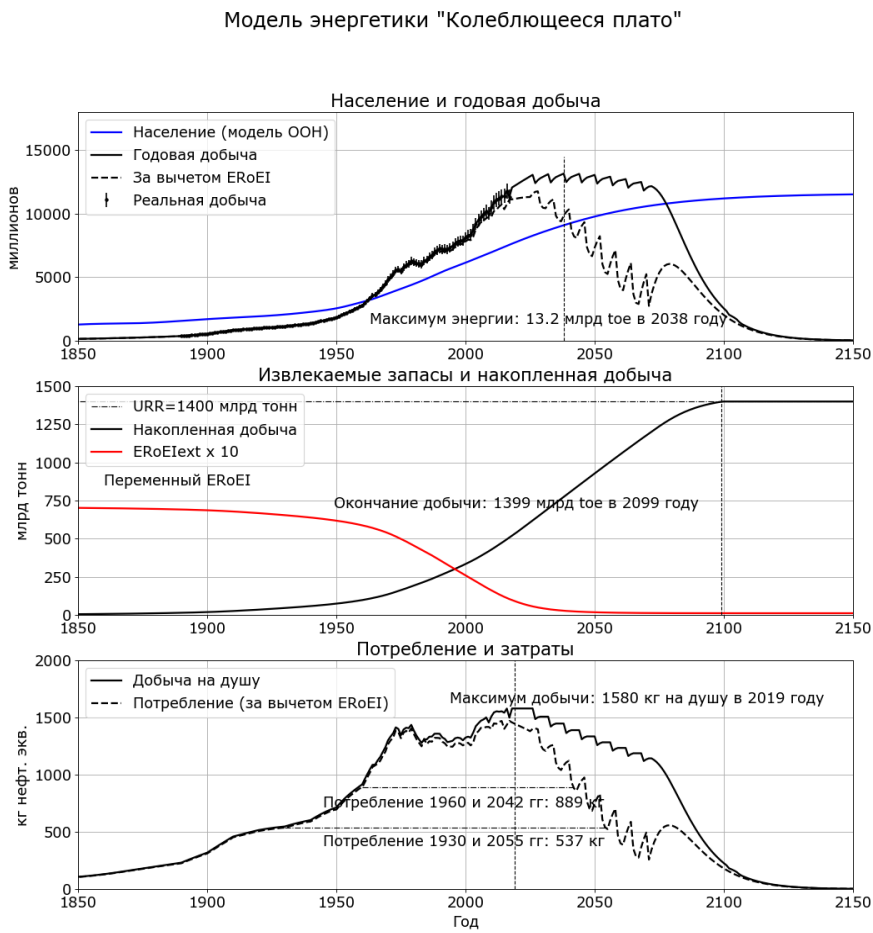


График добычи сильно напоминает модель о. Пасхи, обсуждавшуюся в главе 4[269].

Этот вариант развития событий «любят» примерно с 2005 года в IEA, называя его «сценарием колеблющегося плато» («Undulating Plateau»)[270]. Если закрыть листочком всю нижнюю часть графика и не думать, что *на душу населения* снижается как абсолютная, так и скорректированная за $EROEI_{ext}$ добыча, то всё выглядит вполне красиво и мирно: добыча по тройке «уголь-нефть-газ» с 2025 по 2075 годы колеблется на «полочке» около 13.5 млрд toe в год. Но если вспомнить про душевое вещественное потребление, можно было бы сказать, что «бедные беднеют, а богатые *не богатеют*». Представляется, что всё будет несколько сложнее, и ситуацию придётся описывать так: «бедные беднеют,

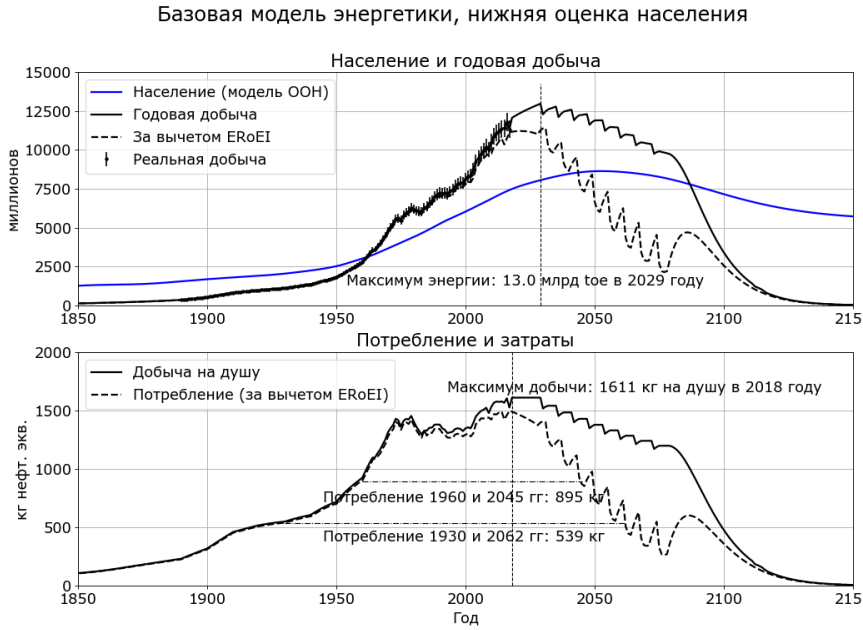
269 Система уравнений {5.9} на странице 93.

270 Ещё один способ сделать модель с «колеблющимся плато» – уменьшать душевое потребление на 0.5-1% в год. Это эквивалентно ежегодному «микрокризису», а уровень потребления 1930 года достигается в 2059. В Цифровом приложении есть программа **Chapter 16\Model_14_Basic_Energy6.py**

некоторые богатые становятся бедными, остальные богатые – богатеют». Скорее всего, «социальные лифты» продолжат работу, поднимая наверх сотни счастливчиков. «Социальные мусоропроводы», правда, будут трудиться куда активнее, сбрасывая как обитателей элитных пентхаузов (тысячами), так и жильцов из трёшек «среднего класса» (десятками миллионов) в помойный контейнер нищеты.

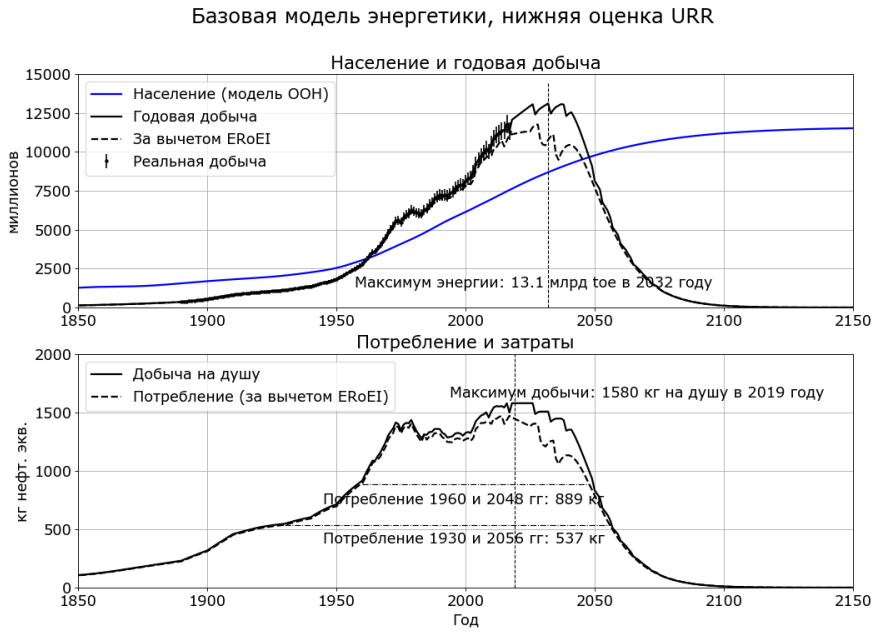
Сравним полученное с базовым сценарием модели 5 из главы 15. Максимум потребления в новой модели наступает на 5 лет позже: в 2017 году (на уровне 1'470 кг), а в базовом сценарии он был в 2012 году (1'500 кг). В базовом сценарии «Новый, 1960 год» наступал в 2050 году, а в новой модели – в 2042 (890 кг). «Новый, 1930 год», с уровнем потребления современной Нигерии (540 кг) наступает в обеих моделях примерно одновременно: в 2055.

Имея в руках модель, самое время с нею немного поиграть! Что может пойти «так» и что может пойти «не так»? Сначала – позитив. Демографы ООН заверяют нас, что с вероятностью примерно 15% рост населения планеты остановится в 2050 году. «Новый, 1930 год» будет при этом отсрочен на 10 лет. Программа **Chapter 16\Model_15_Basic_Energy_Low_Population.py**

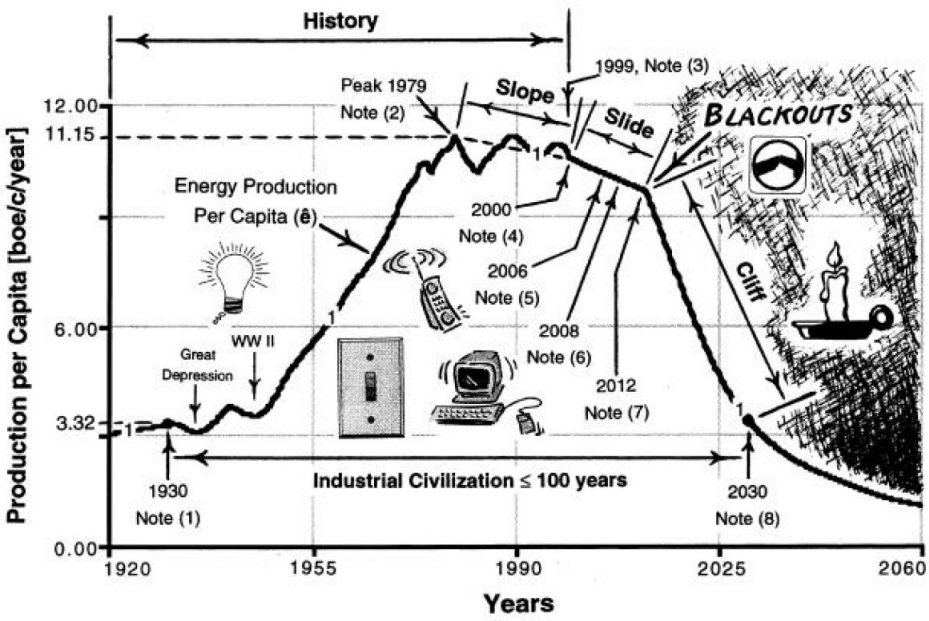


В общем, разница по населению планеты в 2060 году – как видит её ООН – не так уж велика: между 8.6 и 12.1 млрд, наиболее вероятное 10.2, разброс ±14%. Существенной роли это не сыграет.

Теперь новости похуже. С вероятностью около 10% у нас может случиться URR=1'000 млрд toe. Что получится, показывает программа **Chapter 16\Model_16_Basic_Energy_Low_URR.py**



В 2056 году наступает не «Вторая великая депрессия»™, а просто обвал в XIX век и далее. Тут к месту вспомнить ~~патолоанатома~~ социолога Ричарда Данкина[271], запустившего в оборот «Олдувайскую теорию»:



По вертикали тут отложены баррели условной нефти на душу населения: 11.15

271 Richard C. Duncan, **World Energy Production, Population Growth, And the Road to the Olduvai Gorge**, Population and Environment, May-June 2001, v. 22, № 5 стр. 503-522

барреля – это примерно 1'510 кг. Можно с уверенностью утверждать, что основное положение гипотезы Данкина[272] вряд ли сбудется:

The Olduvai theory is a data-based schema that states that the life expectancy of Industrial Civilization is less than or equal to 100 years.

Олдувайская теория основана на данных и говорит, что время жизни Индустриальной Цивилизации меньше либо равно 100 годам.[стр 503]

Время жизни индустриальной цивилизации как минимум (в самых пессимистичных предположениях) на тридцать лет дольше. Однако, если заменить «сто лет» на «двести», то полной уверенности в опровержении Олдувайской гипотезы у нас нет.

Для полноты картины следует добавить в модель ВИЭ и ядерную энергию, как мы делали в прошлой главе, но начнём с другого конца «энергетического спектра». Халл и Клитгаард указывают, что сравнение по низкоэнтропийной энергии с 1960 или 1930 годом вполне приемлемо, но с более ранними периодами сравнивать напрямую нельзя. Во-первых, статистика «*BP*»[10] включают в «возобновляемые ресурсы» не всю биомассу, а только то, что перерабатывается промышленно. Дрова, солому и сушёный навоз в статистику включить затруднительно, но они явно используются и по сей день, составляя (особенно на селе) существенную долю бытовой энергии.



Филиппины (2015)



США (2008)



Индия (2011)

272 Правильно называть Олдувайскую теорию не теорией, а гипотезой. Расчёты Данкина основаны на предсказаниях количества населения Земли по сигмоиде и добыче ресурсов по хаббертиане. Ясно, что в долговременной перспективе как минимум население по сигмоиде не развивается.

В эту же энергию включается прямое использование солнца: от древней как человечество сушки зерна до высокотехнологичного нагрева воды на бытовые нужды.

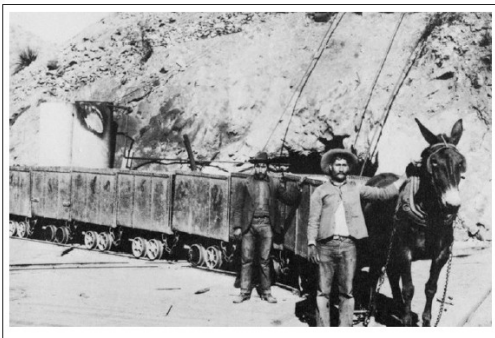


Сушка риса на Кубе (2012)



Бытовой водонагреватель в Азии (2016)

Во-вторых, до 1930-х, и даже много позднее, существенную часть «энергетики» (в том числе, и в промышленности) составляла мускульная сила животных. Ты послухай, как пындосы нашу насос-качалку называют? «*donkey pump*»! «Осёл-насос», ежели кто не понял. Да, в XIX веке усталые пони и ослики поднимали на поверхность уголь, нефть и другие ископаемые. Гужевой транспорт мы даже не упоминаем. Лошади успешно отвоевали во Второй мировой, а ~~боевые~~ слоны и буйволы отличились во время Четырёх Индокитайских войн (1946-79). Во многих местах животные успешно заменяют трактор и являются основой сельского хозяйства и по сей день (вспомним амишей в США).



Мул на медном руднике в Аризоне (1911)

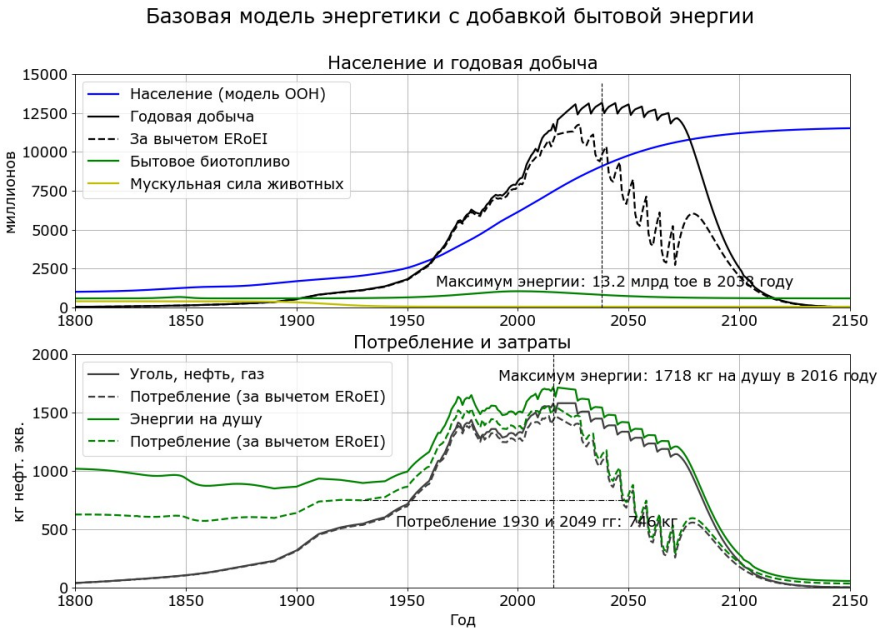


Буйвол во Вьетнаме (2012)

Поскольку модель Халла-Клитгаарда вводит понятие «минимальной прожиточной энергии», для честного описания слегка модифицируем нашу модель. Добычу полезных ископаемых трогать не будем – никто не предлагает плавить сталь на дровах, – а просто сдвинем потребление энергии на душу, полагая для биотоплива и прямого использования солнечной энергии $ERoEI_{ext}$ на пессимистическом уровне 2.5:1[273]. «*Межправительственная комиссия по*

273 В случае, когда вы отапливаете хлебопекарный завод берёзовыми поленьями, ~~вырубленными~~ спиленными лесоповальной машиной в 1'600 км от вашего города и приехавшими к вам на четырёх видах транспорта, ERoEI вполне может оказаться и 1:10. «Экологически чистое производство» такое

изменению климата» (IPCC)[32] оценивает получение бытового тепла сжиганием биомассы на уровне 600-1'000 млн toe в год – это примерно как нефтедобыча России и Саудовской Аравии вместе взятых[274]. Программа **Chapter 16\Model_17_Residential_Biofuel.py**



Весь XIX век потребление энергии на душу населения находилось на «полочке» около 650±150 кг нефтяного эквивалента, или в пересчёте на мгновенную тепловую мощность – 860±200 Вт. Вспомним, что для средневекового крестьянина в Уэльсе археологи насчитали «менее 850 Вт», а Халл и Клитгаард для семьи швейцарского лесоруба образца 1560-1720 года получили 1'100 Вт на душу. Последние два значения включают от 100 до 200Вт в виде продовольствия, поэтому их надо на это же значение уменьшить, ведь мы продовольствие не считаем. Можно выдвинуть осторожное предположение, что «энергетический минимум технологической цивилизации» (staples в терминологии Халла и Клитгаарда) лежит где-то на уровне 500 кг нефтяного эквивалента на душу в год, так как весь XIX век, согласно нашим вычислениям, было на 30% больше, а цивилизация землян была несомненно «технологической»[275].

Графики показывают, что биотопливо и мускульная сила животных останутся

экологически чистое! Ну и хлебушек стоит по 1'650 рублей буханка. https://www.metronews.ru/novosti/peterbourg/reviews/german-sterligov-otkryl-magazin-v-peterburge-hleb-stoit-1650-sol-1500-rubley-1242701/ Ко вкусу хлеба претензий нет.

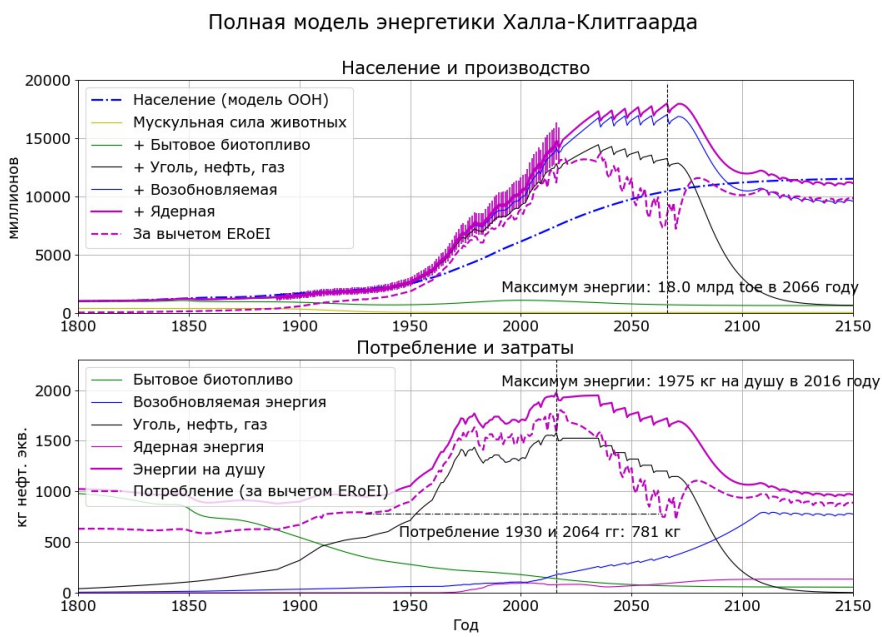
274 График изготовлен Рембрантом Копелааром по данным Ваклава Смила и «*BP*» http://euanmearns.com/fossil-fuels-and-mankind/ Погрешность в оценке потребления биотоплива ±25%.

275 «Средний уровень» не значит, что в некоторых странах не может быть существенно меньше, а в некоторых – существенно больше. Это также не значит, что при этом уровне в *любой* стране мира наступает развал общества. То, что разные страны как минимум находятся в разных климатических условиях, мы уже обсуждали.

важной частью бытовой энергетики, однако в 1850 году дрова и лошадки делились (грубо) на миллиард человек, а в 2050 – на 10 миллиардов. Естественно, и полезной энергии от них на душу населения получается примерно на порядок меньше.

Разобравшись с дровами и навозом, нам осталось добавить в модель источники низкоэнтропийной энергии: ядерную, гидро, ветровую (речь только о ветряках с генерацией электричества), солнечные электростанции (photovoltaic), ну и «прочие» (геотермальные, приливные, сжигание биомассы для производства электроэнергии и промышленного тепла и т.п.) Прибавка существенная: в 2017 году[276] мировая гидроэнергетика произвела 918.6 млн toe; в одном лишь Китае – 261.5 млн toe. «Прочие» отчитались в том же году о 486.8 млн toe. Суммарно по гидро и «прочим» получается примерный эквивалент добычи нефти в России, США и Саудовской Аравии вместе взятых. Для начала положим $EROEI_{ext}$ ЯЭ и ВИЭ оптимистично, как сделано в предыдущей главе: 10:1 для ядерной энергетики и 15:1 для всех возобновляемых. Развитие АЭС будем считать по умеренно-оптимистическому сценарию, как обсуждалось в главе 12, рост возобновляемых – оптимистично – по 2% в год. Технический предел ВИЭ – 4'600 ГВт(э) или порядка 9'000 млн toe в год – обсуждался в главе 2.

Программа **Chapter 16\Model_18_Total_Renewable.py**



В целом прогноз достаточно благоприятный. Уровень потребления Великой депрессии (780 кг эквивалента, включая бытовую энергию) будет достигнут в середине 2060-х, но затем человечество, даже с учётом стабилизации населения по «средней» модели ООН, гарантировано останется на этом

276 По данным «*BP*» [10]. Все значения с погрешностью ±5%.

уровне, или даже несколько выше, по крайней мере до конца XXI века. Без ядерной энергии и ВИЭ ситуация получилась бы куда хуже.

Отсрочка в 40 лет допускает как развитие новых источников энергии (например, управляемого термоядерного синтеза), так и нетрадиционное использование «классических» энергоресурсов для поддержки ~~штанов~~ добычи остаточных энергетических ископаемых: природного битума, торфа[277], рудничного газа, метан-гидратов[278], и т.п. Например, тепло от ядерных реакторов можно использовать для пиролиза природного керогена, а вторичное тепло – для флотационной очистки битума из «нефтяных песков»[279]. Нефть и уголь – перевозить так же, как это делали в конце XIX – начале XX века.

	
Парусный танкер «Томас У. Лоусон» (1902)	Покуда «Фотошоп» (2016)

Если речь зашла о парусниках, вероятно следует упомянуть и классическое применение ветра там, где непрерывная подача энергии совсем не нужна. От ветряков нельзя напрямую (без какой-либо системы хранения выработанного электричества или другого резерва мощности) запитать металлорежущие станки, но можно приводить в действие насосы, поднимая воду из скважин и шахт, или намораживать лёд в хорошо изолированных холодильниках. Полученная энергия тратится куда эффективнее, чем при зарядке батарей – с последующей разрядкой, или выработке водорода электролизом – с последующим расходом в топливных элементах.

Аналогично ветру можно использовать и солнечную энергию. Тепловые насосы обсуждались в главе 12. Есть интересные разработки, когда солнечная панель комбинируется с элементами Пельтье и охлаждает обращенную в помещение часть потолка – именно тогда, когда снаружи светит горячее тропическое солнце и хочется прохлады; ночью солнца нет, и система не нужна – просто откройте пошире окна. По книжкам выживальщиков[280] гуляют схемы «солнечных кухонь», позволяющих сварить суп или поджарить куриные

277 Перевозка угля на велосипедах и немеханизированная добыча торфа обсуждались в главе 13 (стр. 290-295). Удивляться не надо: это же откат в 1930-е годы прошлого века!

278 Рудничный газ и метан-гидраты разобраны в главе 14.

279 В блоге упомянули об использовании вторичного тепла АЭС для обогрева городов (как это делается на ТЭЦ). Практическое применение метода затруднительно: вряд ли АЭС следует строить в непосредственной близости – имеются в виду первые десятки километров – от мегаполисов. Отапливать городки ядерщиков, безусловно, можно.

280 McBay, Aric, *Peak Oil Survival: Preparation for Life After Gridcrash*, ISBN: 9781592281275, 2006

крылышки вообще без ~~шума и пыли~~ использования топлива, правда только в солнечную погоду. Для России, Англии, Новой Зеландии – не актуально, а вот для Индии и Австралии, как и для Мексики с Техасом – в самый раз. Плита «*Индиа МАРТ*» сварена из нержавейки. Если аккуратно обращаться с зеркалом и стеклом – хватит лет на 80.



Плита «*Индиа МАРТ*» (2016)



Солнечная шашлычница «SLiCK SM70» (2016)

К несчастью, существуют и откровенно вредные изобретения, которые под видом «зелёной микро-энергетики» тупо переводят полезные ресурсы в мусор. В середине 2000-х китайские умельцы нашли способ, как избавляться от устаревших (и ядовитых) никель-кадмиевых батареек: их комбинировали с небольшими солнечными панелями и простейшей электроникой и продавали в богатых странах в качестве садовых фонариков. *Бизнес взлетел*. На картинке ниже – фонарик «*Дурацелл*» образца 2016 года (до сих пор продаётся в сети магазинов «*Баннингс*» и «*Хоум Депо*»). «У мене внутре… гм… не… неонка». Простите. Внутри находятся: три светодиода по 25 мА каждый, маленькая плата с двумя чипами и фототранзистором, одна пальчиковая никель-металлгидридная – спасибо – батарейка на 900 мА·ч (из урожая вроде бы 2011). Простейшим расчётом можно установить, что при полной зарядке фонарь должен давать вам свет более 10 часов – всю ночь, если надо.



Солнечный фонарик «*Баннингс*»



Аналогичные фонари «*Гринпис*» в Индии

А вот и хрен. С новой батарейкой светодиоды светили нормально часов 6-7, потом тускло тлели, изображая работу. Через примерно полгода (200 циклов зарядка-разрядка) батарейки уже хватало примерно на 3 часа приличного света. Самое главное, кроме батарей с безумной силой состарились маленькие солнечные панели, что под дужкой – тоже, видно, из некондиции. Для полной зарядки фонарик должен находиться под прямыми солнечными лучами... примерно 15 часов. Два световых дня заряжаем, один вечер светим. Умерший фонарик подарил мне сосед, я выдрал оттуда электронику. Светодиодами теперь освещает себе дорогу игрушечный робот, а внутри довольно крепкого корпуса фонаря – установлена… свечка. Невероятно романтично.

Но ладно бы потребители в Австралии. Кому там жалко 30 баксов? В 2017 году «*Гринпис*» принялся распространять аналогичные устройства, только побольше, в качестве *замены* центрального электроснабжения в индийских деревнях. В комплект поставки входит ~~егавняканная~~ спаянная из той же некондиции, что и творение «*Дурацелл*», солнечная панель на 1.5 Вт, трёхметровый провод, литий-ионная батарея на 1'300 мА·ч и потолочный светильник с шестью светодиодами по 35 мА. Хорошая новость: благодаря бóльшей площади солнечных панелей штучка зарядится за 5-6 часов инсоляции. Счастливым индийским леди с картинки всучили микрокредит, чтобы они приобрели себе чудо техники. Которое чудо им прослужит, в лучшем случае, полтора года. Китайцы довольны – расширение рынка. «*Гринпис*» доволен: развиваем солнечную энергетику. И правительство Индии довольно: ещё одну деревню можно считать «электрифицированной»[281].

Но никель-кадмиевые фонарики в Индии – это, натурально, эксцессы. Хорошая новость в том, что если всё пойдёт примерно по базовой модели Халла и Клитгаарда, то возвращения в Олдувай не случится. Человечество уцепится зубами и ногтями за уровень жизни 1930 года и провисит так достаточно, чтобы не погибнуть, взять под контроль численность населения и, вероятно, совершить новый виток технологической цивилизации. Перечислим предположения модели в явном виде:

- Начальные извлекаемые запасы ископаемого топлива: 1'400 млрд toe (к концу 2017 извлечено 500);
- Рост населения Земли согласно «средней» модели ООН: 10.2 млрд человек к 2060 году;
- Умеренно оптимистический рост ядерной энергетики: ввод в 2019 году не менее 10 ГВт электрической мощности, с последующим ежегодным увеличением вводимых мощностей по 2%[282];
- Оптимистический рост ВИЭ (включая гидро) с увеличением по 2% в год вплоть до технического максимума 9'000 млн toe в год;

281 https://www.siemenpuu.org/en/event/promoting-solar-energy-and-solar-innovations-rural-areas

282 WNA обещает в 2019 году ввод примерно 15 энергоблоков с номинальной мощностью от 15.2 до 16.3 ГВт, что хорошо. Однако в 2020 ожидается 11 реакторов, 11.7 ГВт, а в 2021 – 6 реакторов, 6.3 ГВт. В среднем по 11.4 ГВт в год. http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/plans-for-new-reactors-worldwide.aspx

- $ERoEI_{ext}$ для ядерной энергетики – 10:1, для ВИЭ – 15:1;
- Тонна нефти эквивалентна 16.3 ГДж электроэнергии (принимается коэффициент «*BP*» 39%). К сожалению, из электричества трудновато делать пластмассу;
- Снижение потребления до уровня жизни времён Великой депрессии не приведёт *к самым тяжёлым* социальным последствиям, например, к глобальной ядерной войне. В этом смысле модель менее оптимистична, чем у Й.Рандерса, но не так пессимистична, как предсказания Г.Тверберг. Во всяком случае разработанная нами модель учитывает ~~зомби-апокалипсис~~ экономические кризисы.

Надо сразу отметить, что модель совершенно исключает ситуации, когда вследствие кризиса «каннибализируется» существующая работающая инфраструктура – процесс фактически обратный капвложениям. Воровство цветных металлов, например электропровода, пока отмечается лишь в небольших объёмах, зато повсеместно – от Центральной Африки до США. В дальнейшем воры могут перейти на другие дефицитные материалы. Ниже один из взглядов в будущее в книге Й.Рандерса[283]. На этот раз в «холодное лето 2052» ездил Крис Таппен, владелец компании «*Advancing Sustainability LLP*» и почётный профессор в университете Киля, ранее – один из руководителей «*Бритиш Телеком*».

6-4. Добыча металла в городах

К 2052 году в «городских джунглях» будут добывать больше материалов (в особенности металлов), чем на месторождениях. Станет выгодней извлекать и переплавлять, чем копать и обогащать. Трансформация будет обусловлена сочетанием трёх ключевых факторов. Во-первых, будет увеличиваться дефицит некоторых встречающихся в природе металлических руд. Во-вторых, в городах уже сосредоточены огромные запасы более распространенных элементов, таких как железо и алюминий. Наконец, в-третьих, энергозатраты на обогащение руды станут неподъёмными[...]

Принимая во внимание эти факторы, довольно просто предсказать, какие металлы будут в достаточном количестве в ближайшие годы. К счастью, критически важные для промышленности элементы: алюминий, железо, кремний и титан можно пока добывать и из руд. Металлы, которые скоро увидим в списке «дефицита», включают индий, серебро и некоторые редкоземельные.

Индий по своей природе скуден. Экономически обоснованные доказанные запасы составляют около 11'000 тонн, что соответствует 15 годам при нынешних темпах потребления. Даже самая оптимистичная оценка прогнозируемых глобальных ресурсов составляет всего 50'000 тонн. За последние пятнадцать лет добыча индия возросла более чем в десять раз в связи с растущим использованием в оптически активных полупроводниковых элементах и использованием оксида индия и олова в качестве прозрачного электрического проводника на передней панели экрана компьютера, смартфона и телевизора, а также на тонкоплёночных солнечных панелях[...]

Серебро имеет экономически обоснованные доказанные запасы около 500'000 тонн, этого достаточно на семнадцать лет текущего потребления. Серебро широко используется как в промышленности, так и в ювелирных изделиях. Некоторые виды использования растут очень быстро; в частности, солнечные панели стали важным промышленным потребителем. Спрос на серебро в этом секторе вырос на 30% в 2009 году, и ожидается, что в ближайшие несколько лет он увеличится еще на порядок.

Редкие земли (лантаноиды): неодим, диспрозий и тербий – используются для создания сильных и лёгких магнитов, которые особенно эффективны в ветрогенераторах и электромобилях. С точки зрения естественных концентраций (кларков) лантаноиды не так уж редки, однако жизнеспособных месторождений мало. КНР не только обладает самыми большими запасами этих элементов, но и полностью доминирует в их промышленной переработке.

Исходя из доказанных и прогнозируемых запасов, индий, серебро, диспрозий и еще несколько металлов вполне могут стать дефицитом к 2052 году. Некоторые проблемы, несомненно, будут решены

283 Полный текст: http://www.2052.info/glimpse-64/

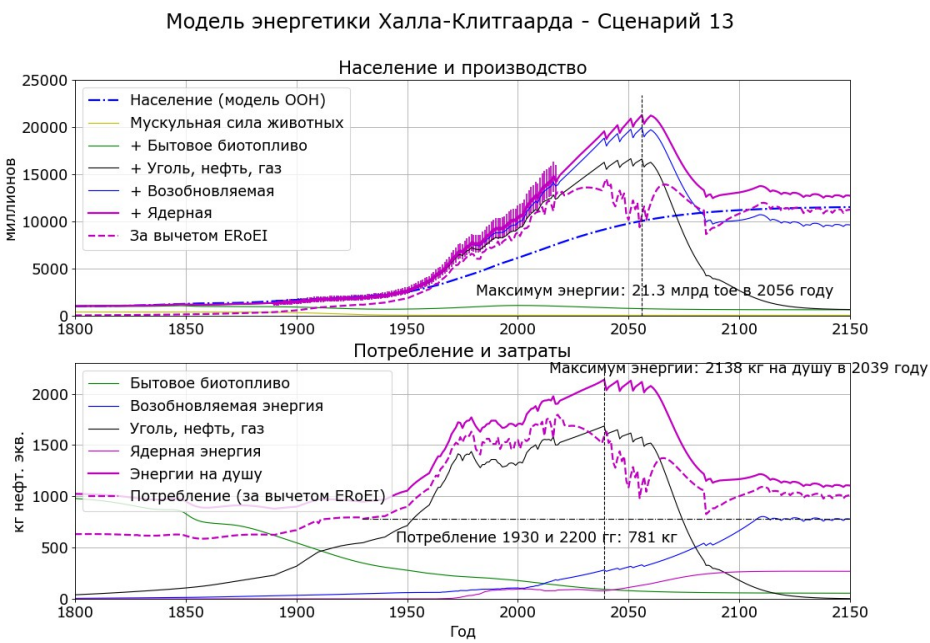
технологическими разработками и заменой на более доступные металлы, в то время как увеличение рыночной цены будет способствовать сбору лома редкий металлов.

Анализ приводит меня к выводу, что в течение следующих сорока лет [писалось в 2009 г] будет происходить значительное увеличение «городской добычи» – в некоторых случаях из-за того, что запасы больше не доступны, а в других из-за того, что такое занятие станет финансово привлекательным. Мечта о полной утилизации вторсырья осуществима, но только через традиционные экономические движущие силы, а не из-за философии [о спасении планеты].

К сказанному можно лишь добавить, что солнечные панели на крышах и ветряки в полях придётся кому-то охранять, как кое-где охраняют сейчас линии электропередач и нефтепроводы. У соседа ветряк? Ага. Был.

Разберём, что в модели может пойти «не так». Что произойдёт, если извлекаемые запасы нефти, газа и угля окажутся не 1'400, а 1'000 млрд тонн, мы разбирали выше. С добавлением ВИЭ и ЯЭ обвал произойдёт на 4-6 лет позже – в пределах погрешности модели. Сведём данные всех изменений в таблицу. Для краткости используется сокращение «ВВД» – «Вторая Великая Депрессия», то есть уровень материального потребления 1930 года.

Хорошие новости: *уничтожение цивилизации не происходит ни в одном сценарии*. Про Олдувайскую гипотезу можно пока забыть, во всяком случае до 2100 года. Существует один печальный сценарий – №1 по списку, который, к сожалению, *от действий человечества уже не зависит*: если (с вероятностью около 10%) окажется, что URR ≤ 1'000 млрд toe, за провалом к ВВД последует быстрое снижение уровня жизни; человечеству, с долей везения, удастся закрепиться на уровне XIX века. Новости плохие: провал на уровень ВВД почти неизбежен. Есть, однако, три сценария (3, 6 и 13), где уровень жизни снижается не к ВВД, а чуть выше: до показателей 1940-1950 годов.



Изменения модели	Среднесрочный прогноз	Долгосрочный прогноз
1. Начальные запасы ископаемого топлива URR=1000 млрд toe.	ВВД в 2061 году.	Прекращение инвестиций в ВИЭ и ЯЭ в 2035 и провал на уровень жизни конца XVIII – начала XIX века.
2. Начальные запасы ископаемого топлива URR=3300 млрд toe.	ВВД в 2064 году.	Восстановление к уровню жизни 1950-х в конце XXI века.
3. Рост населения Земли согласно «нижней» модели ООН.	ВВД не происходит. Снижение потребления до уровня 1950-х годов.	Восстановление к уровню жизни 1990-х в 2125 году.
4. Рост населения Земли согласно «верхней» модели ООН.	ВВД в 2060 году.	Дальнейшее снижение на уровень жизни XIX века.
5. Пессимистический прогноз по ЯЭ. Вывод всех мощностей к 2070 году.	ВВД в 2063 году.	Уровень жизни остаётся на ВВД.
6. Оптимистический прогноз по ЯЭ. Ввод мощностей с увеличением по 4% в год.	ВВД не происходит. Снижение потребления до уровня 1940-х годов.	Стабилизация потребления на уровне 1960-х годов.
7. Умеренно оптимистический прогноз по ВИЭ. Ввод мощностей с увеличением по 1% в год.	ВВД в 2061 году.	Стабилизация потребления на уровне 1900-х годов.
8. Пессимистический прогноз по ВИЭ. Инвестирование пропорционально населению.	ВВД в 2058 году.	Дальнейшее снижение на уровень жизни XVIII-XIX века.
9. Пессимистический прогноз по $ERoEI_{ext}$ – 7:1 для ЯЭ и ВИЭ.	ВВД в 2063 году.	Восстановление к уровню жизни 1940-х в конце XXI века.
10. Планомерное снижение добычи энергетических ископаемых по 1% душевого потребления в год	ВВД в 2066 году.	Восстановление к уровню жизни 1950-х в конце XXI века.
11. Планомерное снижение добычи энергетических ископаемых по 2% душевого потребления в год	ВВД в 2052 году.	Восстановление к уровню жизни 1950-х в конце XXI века.
12. Временное увеличение добычи энергетических ископаемых по 0.5% душевого потребления в год	ВВД в 2085 году.	Восстановление к уровню жизни 1950-х в конце XXI века.
13. Аналогично 12, плюс оптимистическое развитие ЯЭ	ВВД не происходит. Снижение потребления до уровня 1950-х годов.	Стабилизация потребления на уровне 1950-х годов.

Предсказать точно, куда человечество пойдёт, математическая модель, натурально, не может. Та же проблема стояла и перед моделью *World-3* из «*Пределов роста*» 1972 года. Тем не менее, модель может показать, куда точно ходить не следует, и в отличие от неблагоприятного сценария №1, эти неблагоприятные сценарии пока можно (и уже нужно) предотвратить:

- Сценарий №4 – рост населения Земли в соответствии с «верхней» моделью ООН приводит к ВВД в 2060 году и дальнейшему обвалу в XIX век. Ваш любимый политик орёт с трибуны, что в каждой семье надобно шесть детей? То же самое окормляет ваш священник? Пересмотрите ваши предпочтения, а то все шестеро детишек без машины времени попадут в 1850.

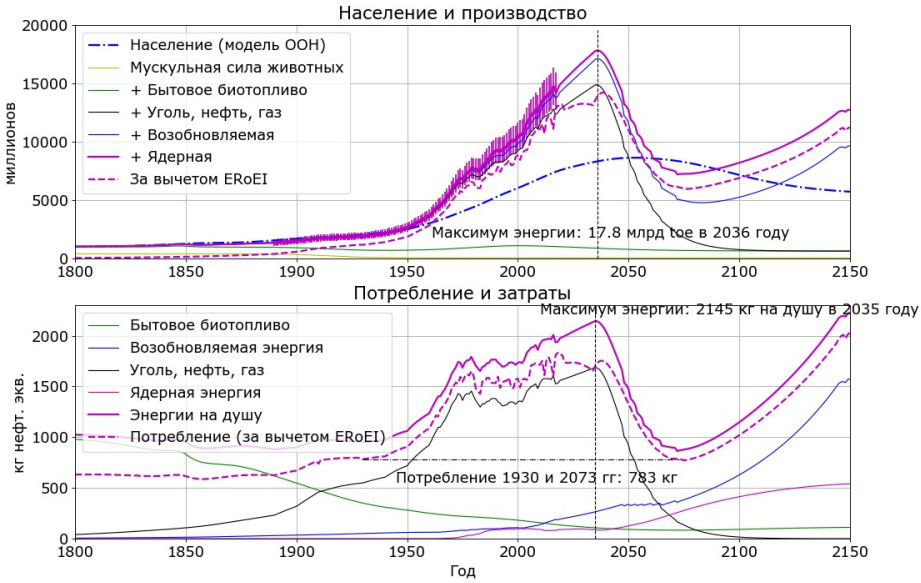
- Сценарии №7 и №8 – строить АЭС как строится, а на ВИЭ – забить (сценарий 7 – слегка, 8 – полностью). Ничего хорошего не происходит. Есть шанс опуститься на ВВД в 2058 и далее либо болтаться на уровне 1900-х, либо вообще провалиться в XIX век. Если некто говорит: «Ветряки неэффективны, анти-экологичны, портят вид из моего окна, строить их не надо», потребуйте *продолжить фразу*. Если субъект произносит: «Вместо ветряков надо делать **X**», а далее обосновывает, что это за **X** (АЭС, солнечные, гидро, добыча метан-гидратов…), и какая именно мощность может быть получена, – пациент вменяем, можно ~~лечить~~ вести конструктивную дискуссию. А если пациент зациклен на «просто не надо, мне птичек жалко», без предложения замены, то лучше сразу отдать психиатру.

- Сценарий №5 – то же самое, что сценарий №8, но для пациентов зелёных (наверно от печени). Если есть обоснованные сомнения в экологической безопасности ядерной энергетики – предлагайте конструктивную замену, а не то случится выход на ВВД в 2063, и придётся там остаться. Планы для Великобритании подробно обсуждались Д.Мак-Кеем в главе 12[284].

Конечно, никто не спорит, что и солнечные панели, и ГЭС, и ядерные реакторы надо применять так, чтобы не было потом мучительно больно™. Примеры разумного и неразумного применения – выше.

У землян есть один беспроигрышный сценарий №3: постараться удержать население ниже «нижней» оценки ООН. Куча преимуществ: и обвал на ВВД не происходит, и в середине XXII века будет жизнь не хуже, чем в конце XX (посередине XXI века – извиняйте, уж как получится). Что немаловажно, это единственный сценарий из тринадцати, который успешно работает в сочетании с неблагоприятным и неподконтрольным людям сценарием №1. То есть пик Хабберта (точнее Пик Всего) неизбежен, но последствия – если не для наших детей, то для правнуков – будут не такие уж суровые. Двойной сценарий считает программа **Chapter 16\Model_20_Total_Renewable_3.py**

284 Стр. 258-259.



Осталось сравнить нашу оценку с базовой моделью Й.Рандерса из главы 7. Рандерс не учитывал в модели бытовое биотопливо, и мы не будем. Считается общая потребляемая энергия (без поправки за ERoEI). Напомним, что BRISE означает «Бразилия, Россия, Индия и сильные экономики», а ROW – «Остальной Мир»(то бишь экономики «несильные»). Итак, холодное лето 2052:

Группа	Население, Рандерс-2012, млн[285]	Потребление, Рандерс-2012, кг/год/душу	Население, «средняя» оценка ООН, млн	Потребление, модель, кг/год/душу	Население, «нижняя» оценка ООН, млн	Потребление, модель, кг/год/душу
США	350	5'250	390	4'590	350	5'120
ОЭСР	650	3'100	720	2'730	650	3'020
КНР	1'200	4'500	1'360	3'870	1'200	4'390
BRISE	2'700	2'000	3'000	1'760	2'800	1'880
ROW	3'100	750	4'330	450	3'600	530
Всего / среднее	**8'000**	**2'120**	**9'800**	**1'690**	**8'600**	**1'920**

С вероятностью около 50% в 2050 году четыре миллиарда человек будут жить «примерно» за пределами цивилизации. Неплохо совпала и оценка Д.Мак-Кея для Великобритании: у него получалось для британцев по 2'650 кг на душу в год, у нас для жителей стран ОЭСР – в среднем по 2'730.

Подведём итоги главы:

285 Все значения округлены до десяти.

- При моделировании добычи следует учитывать не только значение ERoEI, но и характерное время задержки инвестиций. Любое месторождение с момента открытия проходит ряд стадий: принятие решения, подготовка освоения и т.д.
- Рассмотрена модель «Нефтяной шок» из книги Пола Пукайта «*Таинственная бочка нефти*» (2011-2014). Пукайт использовал для моделирования спада нефтедобычи фильтры («цепочки») Маркова. Нами воспроизведён работающий код на Python, проведены численные эксперименты с использованием «оценки Лагеррера» 2014 года и реальными данными добычи по 2017 год.
- Вслед за П.Пукайтом продемонстрировано, что пик добычи мало зависит от маловероятных открытий в будущем крупных месторождений («чёрных лебедей» в терминологии Н.Талеба), а также перевода в категорию подтверждённых запасов десятков тысяч малых, сверхмалых и карликовых залежей нефти, вне зависимости от года их открытия и формальной «привязки» карликовых к крупным месторождениям.
- Обсуждается качественная модель Чарльза Халла и Кента Клитгаарда о перекачке энергии из ресурсов планеты (и Солнца) сначала в капитал, а затем в потребление. Предпринята попытка численно воспроизвести эту модель. Численная модель учитывает задержку времени между инвестированием энергии и получением энергии в виде энергетического сырья.
- Численная модель показывает, что в любых обоснованных предположениях материальное потребление по тройке «уголь-нефть-газ» на душу населения возвращается к уровню 1930 года примерно к 2060. Абсолютный пик добычи энергетического сырья может при этом варьировать в широких пределах, особенно по времени наступления. Пик добычи энергетических полезных ископаемых не обязательно наступает при добыче примерно половины ресурса. Скорее, пик наступит после добычи ⅔ или ⅗ совокупных извлекаемых запасов угля, нефти и газа, то есть на уровне накопленной добычи порядка 1'000±200 млрд toe; извлекаемые запасы нефти (от 280 до 400 млрд тонн) к тому времени будут выработаны на 85-95%.
- Наступление абсолютного пика добычи нефти или абсолютного пика всех энергоресурсов никак не связано с пиком потребления на душу населения. Последний пик по тройке «уголь-нефть-газ» в большой долей вероятности уже прошёл между 2009 и 2017 годами (наиболее вероятно в 2014 году) на уровне около 1'480 кг эквивалента в год. Следует ожидать снижения уровня жизни в среднем по 2.5% за год; конечно, в некоторых развитых и экономически сильных странах такое снижение будет идти медленнее, за счёт «экспорта проблем» в страны недоразвитые и/или слабые.
- Учитывая «бытовую энергию» (дрова, солому и прочую биомассу)

можно грубо оценить «энергетический минимум технологической цивилизации» (staples в терминологии Халла и Клитгаарда) на уровне 500 кг нефтяного эквивалента на душу в год. Потребление энергии в XIX веке оставалось практически постоянным на уровне 650±150 кг.

- Мы рассмотрели модель с учётом возобновляемых источников энергии. Развитие ВИЭ и ЯЭ позволяет растянуть «полочку» потребления уровня «Нового 1930 года» на 20-30 лет, и сгладить остроту кризиса, делая возможным ввод новых источников энергии. Модель получилась существенно менее плавная и несколько более пессимистическая, чем у Йоргена Рандерса.
- На полученной модели качественно протестирована чувствительность к изменению параметров. Во всех сценариях наступает снижение душевого потребления энергии высокой концентрации (включая бытовую) на уровень около 780 кг эквивалента в год.



Глава 17. Консенсунс – шмонсенсус.

...Грузовик тронулся, и в ту же минуту включили солнце.

С трудом удерживаясь на ногах, поминутно хватаясь за соседей, Андрей, вывернув шею, наблюдал, как на своём обычном месте медленно разгорается малиновый диск. Сначала диск дрожал, словно пульсируя, становясь всё ярче и ярче, наливался оранжевым, жёлтым, белым, потом он на мгновение погас и сейчас вспыхнул во всю силу так, что смотреть на него стало невозможно.

Начался новый день. Непроглядно чёрное беззвёздное небо сделалось мутно-голубым, знойным, пахнуло жарким, как из пустыни, ветром, и город возник вокруг как бы из ничего, — яркий, пёстрый, исполосованный синеватыми тенями, огромный, широкий...

А. и Б. Стругацкие «Град обречённый»

Честно признаться, я не собирался писать эту главу. Гипотеза антропогенного катастрофического изменения климата (ГАКИК) настолько погрязла в политике, что её лишний раз лучше не трогать. Читатели блога, однако, несколько раз высказались о необходимости внедрения возобновляемых источников энергии – ветряков и солнечных панелей – для того, чтобы предотвратить разогрев планеты. Им активно возражали: массовое введение ВИЭ, оказывается, планету тоже может слегка нагреть, хотя бы необходимостью производства стали, меди и сверхчистого кремния (и многого другого) для установки миллиона квадратных километров солнечных панелей и десятков миллионов ветровых турбин. Термодинамику мы обсуждали в главе 2.

Вопросу изменения климата уделяет пристальное внимание Йорген Рандерс [18], модель которого представлена в главе 7. Его предсказания неутешительны: к 2052 году от глобального потепления и повышения уровня мирового океана будет страдать не менее миллиарда народа. Для начала посмотрим на глобальную картину и действующих лиц[286] холивара ГАКИК.

Основные оппоненты в холиваре делятся на три неравные команды:

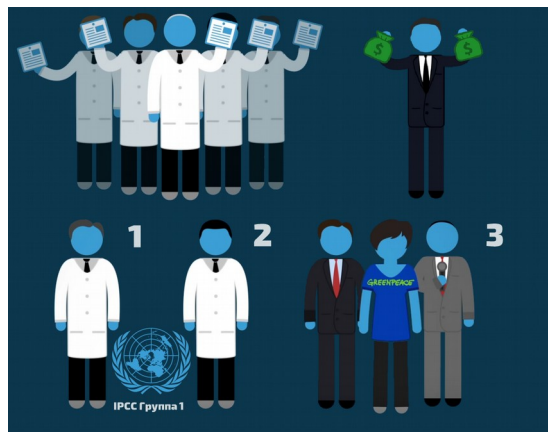
1. **Научные сторонники ГАКИК** – это *учёные* разных специальностей ~~е панели~~ из рабочей группы №1 «Межправительственной группы экспертов по проблемам изменения климата»[287](IPCC WG1). Множество научных сторонников ГАКИК в IPCC пока/уже не работает. Панель большая, но нерезиновая. Всех желающих принять хотели бы,

286 Действующие лица на картинке позаимствованы из видеоролика профессора *MIT* Ричарда Линзена https://www.youtube.com/watch?v=OwqIy8Ikv-c&t=220s

287 IPCC – Intergovernmental Panel **on** Climate Change. В русских переводах (в том числе официальном ООН) это звучит как «Межправительственная группа экспертов **по изменению климата**». Укажем горе-переводчикам, что специалисты **сами климат не меняют**, а просто изучают его изменения. Если бы в английском варианте было про ~~изнасилование~~ изменение климата группой, то написали бы не «**on** Climate Change», а «**for** Climate Change».

но не можем.

2. **Научные противники ГАКИК** – тоже *учёные*. Хотя это вам покажется странным, в работе IPCC WG1 они тоже активно участвуют. Так, видные противники ГАКИК профессора Рой Спенсер и Джон Кристи (о них чуть ниже) поставляли данные для всех пяти отчётов IPCC (1990, 1995, 2001, 2007, 2013 годов), а в отчётах 1995 и 2001 годов Кристи назван в числе «ключевых авторов» (key contributor / key author). Есть научные противники ГАКИК с IPCC никак не связанные. Кто-то хотел, но не получил гранта, а кто-то мараться политикой не хочет.
3. **Политический бомонд ГАКИК** – сюда входят *политики*, *«зелёные» НГО* и *журналисты* (в том числе, публикующие в Интернете). На глобальное потепление или похолодание (или засуху, или дожди) им в душе наплевать, а ГАКИК используется для получения краткосрочных выгод. Под видом борьбы с глобальным потеплением политики борются за места в парламентах ну или там за кресло в очень Овальном кабинете. Получив, что хотелось, проталкивают какие-то законы (чаще к климату отношения не имеющие). Зелёные собирают пожертвования на святое дело охраны природы и занимаются прочей лабудой. Журналистам очень выгодно писать о скором приходе следующего Песца, причём в какую шкурку, летнюю или зимнюю, Полярный Зверь при этом одет – совсем не важно: публика любую катастрофу схавает. Служащие в IPCC карьерные бюрократы ООН тоже принадлежат бомонду; у этих интерес один – оставаться на непыльной и хлебной должности по возможности до пенсии.

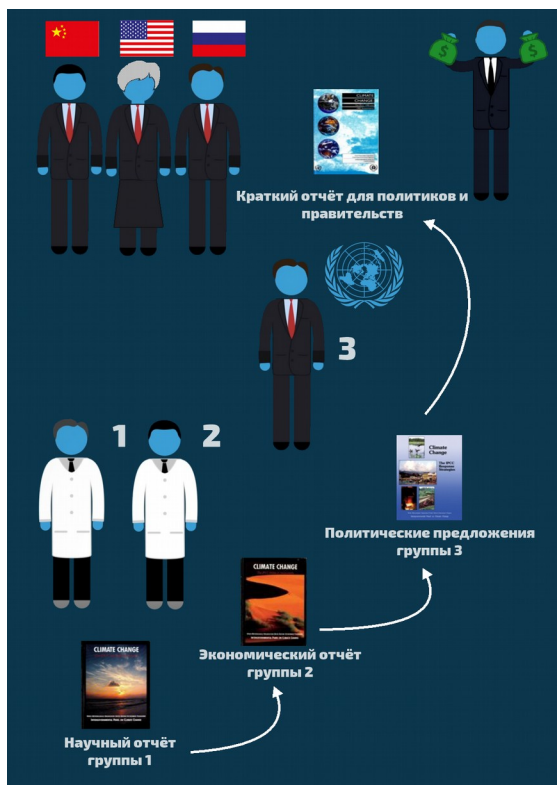


В любой специальной олимпиаде должны быть болельщики, и у нас они есть! Во-первых, среди болельщиков действуют представители большого бизнеса и их политическое лобби. Некоторые поддерживают учёных из команды сторонников ГАКИК, некоторые – научных противников ГАКИК, но большинство бизнесменов в науку не лезет, предпочитая работать напрямую с командой политического бомонда. При этом жупел ГАКИК, через политиков, «зелёных» и журналистов, используется для получения государственных субсидий на солнечные панели или для *довления* над конкурентами –

нефтяниками и ядерщиками.

Во-вторых, среди болельщиков – не связанные с климатом учёные и инженеры: от авиаконструкторов и компьютерщиков до ботаников и филологов. Примерно поколение назад стало модным ввернуть в научную статью или технический регламент обороты типа (пример выдуманный, дабы никого не обидеть): «внедрение разработанных в нашей лаборатории запупыристых технологий харвестирования парникового газа *может* стать ответом на проблему *возможного* глобального *изменения* климата». Заметим, что добросовестный автор написал обтекаемо: «может», «возможного», «изменения» (а не «потепления»). В переводе с русского на русский это так: «Начальник! Проект нашей лабы – очень важный и крайне нужный! Подкинька нам бабла, да поскорее!» Ну и скептики ГАКИК, особенно в среде физиков «железячников», – тоже не редкость: «Да хер ли ваше потепление? На коллайдер денег дайте!»

В IPCC есть три рабочие группы. В первую входят климатологи, атмосферные физики и математики, они готовят отчёт под названием «*The Physical Science Basis*» («*Научное обоснование*») [13]. Вторая и третья группы комплектуются экологами, социологами, агрономами, медиками, экономистами… Они выпускают два отчёта: «*Impacts, Adaptation, and Vulnerability*» («*Последствия, адаптация и уязвимость*») и «*Mitigation of Climate Change*» («*Смягчение последствий изменения климата*»).



Труд громадный, авторский коллектив громадный, объёмы громадные. Для сравнения, три тома «*Капитала*»[16] в схожем с IPCC по размеру шрифтов полноформатном английском издании 1906 года: 549, 319 и 645 страниц.

Отчёт	1990	1995	2001	2007	2013
Рабочая группа 1	Июнь 1990, 414 стр.	Февр. 1995, 588 стр.	Январь 2001, 893 стр.	Июнь 2007, 1007 стр.	Сент. 2013, 1552 стр.
Рабочая группа 2	Июль 1990, 296 стр.	Июль 1995, 891 стр.	Май 2001, 1042 стр.	Июль 2007, 987 стр.	Март 2014, 1846 стр.
Рабочая группа 3	Окт. 1990, 332 стр.	Июль 1995, 438 стр.	Июль 2001, 754 стр.	Июнь 2007, 863 стр.	Апрель 2014, 1454 стр.
Краткая выжимка для политиков	Март1990 / март 1992, 88 стр.	Окт. 1995, 36 стр.	Окт. 2001, 34 стр.	Сент. 2007, 22 стр.	Окт. 2014, 24 стр.

Чисто теоретически прочитать этот объём можно. Практически – ну очень тяжело. Для тех, кому читать некогда – надо же иногда и руководить – пишется «*Policymaker Summary*» («*Краткая выжимка для политиков*»). Опять-таки чисто теоретически группы 1, 2, 3 должны работать по очереди: сначала климатологи готовят первый том, затем экологи, на основании данных первого тома – второй том, далее политологи и экономисты, на основании первых двух томов – третий том. «Выжимку» надо писать в конце, по результатам трёх томов. На практике получается так (выделение моё):

Нами приняты следующие предположения:

- ***(i) При «стандартном сценарии», удвоение атмосферной концентрации CO_2 между 2025 и 2050 годами.***
- ***(ii) В тот же период, вследствие удвоения атмосферной концентрации CO_2, – повышение глобальных температур от 1.5 до 5 °Ц***
- ***(iii) Неравномерное распределение этого увеличения температуры, то есть незначительный рост среднегодовых температур в тропических районах и большой рост в полярных районах: от 3 до 10 °Ц***
- ***(iv) Повышение уровня мирового океана на 0.3-0.5 метра к 2050 году и дальнейшее повышение до 1 метра к 2100 году, при повышении среднегодовых температур поверхностного слоя океана между 0.2 и 2.5 °Ц***

Эти сценарии были придуманы до того, как рабочая группа 1 выпустила свой отчёт, но в общих чертах наши предположения совпали с результатами группы 1. Позже мы обнаружили, что в «стандартном сценарии» группы 1 повышение уровня мирового океана – около 20 см к 2030 году и около 65 см к концу XXI века. Глобальный рост среднегодовых температур в том же сценарии – 1 °Ц до 2025 года и 3 °Ц до конца XXI века. [отчёт IPCC 1990 года, том 2, стр. 1].

Пока учёные в рабочих группах проводят взаимные проверки и уточнения текста отчётов, «*Выжимка для политиков*» уже написана, и она может не соответствовать выводам учёных по многим, если не по большинству параметров. Благодаря тому, что экологи пишут, ещё не зная результатов климатологов, а экономисты – не знакомы с результатами экологов, бюрократ всегда может выдернуть из предварительных выводов рабочих групп то, что ему в данный момент нужнее.

«Выжимку» быстро распространяют среди «зелёных» и журналистов, передают политикам. Что там написали учёные на тысячах страниц – уже мало кого волнует. Научные сторонники и противники катастрофического

потепления могут у себя в рабочих группах ругаться до посинения – окончательный документ всё одно пишет и на решения влияет только политический бомонд ГАКИК. Ну и не надо забывать того скромного парня в углу – у которого в руках мешки денег. Слишком зарвавшихся учёных (сторонников или противников ГАКИК – неважно) всегда можно к ногтю прижать. Попробуй только вякни, мол, я вот написал, что температура повышается на градус за столетие, а у вас в «Выжимке» весь лёд Арктики плавится за 10 лет. Как же так? Опс! Для твоей лаборатории или твоего суперкомпьютера больше нету бюджета. Народные деньги ООН экономим, извини.

Конечно, это очень общая схема, а в реальной жизни всё сложнее. Вот, к примеру, учёный из команды сторонников ГАКИК Майкл Эван Манн (Michael Evan Mann, род. 1965)[288] занимается палеоклиматом. Приходит завлаб: «Нам гранта на 2020 год не дают! Что делать?» Ясно что. Надо срочно писать задорную полемическую книгу с карикатурами (серьёзно!) о глобальном потеплении, на баблос «*Гринписа*» издавать, нести по экземпляру членам из Парламента. Глядишь, к бюджету 2020 положение и выправится. А неплохой учёный стал – плохим, негодным журналистом, полностью перейдя из науки – которой заняться уже некогда – в политический бомонд.

Или вот один из первых – с 1971 года – членов «*Гринпис*» Патрик Мур (Patrick Moore). В личном мужестве не откажешь. Камарад участвовал в суровых морских походах: на антикитобое «*Филис Кормак*» и против ядерных испытаний в Тихом океане на «*Не гони волну*» и на «*Рэйнбоу Уоррер*». Последний корабль французские спецслужбы подорвали адской машинкой в Окленде, погиб фотограф Фернандо Перейра… Короче, верный боец политического бомонда. В 2006 году Мур прочитал три доклада IPCC и… вспомнил про свой докторат по экологии. С тех пор активно работает на команду научных *противников* ГАКИК.

Есть подозрение, что в команде Дональда Трампа нашлись люди[289], у которых хватило времени прочесть бóльшую часть интеллектуальной продукции IPCC. Вероятно оттого политическому бомонду ГАКИК Республиканская администрация США показала козырный кукиш.

В Интернете непрерывно муссируют «консенсус 97% ~~британских~~ учёных про ГАКИК». Чаще всего цитируют «исследование» Джона Кука из UQ. В 2013 году опубликована статья[290] девяти авторов, где на основании беглого

288 В русских переводах встречается также «Мэнн» или «Мэн». Не путайте с кинорежиссёром Майклом Манном. Фамилия вызвала град трудно переводимых острот, например «Mann-made global warming» (**«**Вызванное Манном глобальное потепление»**)** как калька с «Man-made global warming» («Вызванное *человеком* глобальное потепление»). Далеко не про всех учёных слагают песни, а про Манна сложили: https://www.youtube.com/watch?v=WMqc7PCJ-nc

289 Есть даже подозрение, что это за конкретный человек – Кельвин Дрёгмейер, метеоролог: https://www.scientificamerican.com/article/trump-taps-meteorologist-as-white-house-science-advisor/

290 John Cook, Dana Nuccitelli, Sarah A Green, Mark Richardson, Barbel Winkler, Rob Painting, Robert Way, Peter Jacobs, and Andrew Skuce, *Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature*, Environ. Res. Lett. 8 024024

прочтения абстрактов[291] 11'944 научных статей (включались работы, опубликованные с 1991 по 2011 годы) сделан вывод, что 66.4% авторам статей перемены глобального климата абсолютно по барабану, а вот из оставшихся – 97.1% обеими руками поддерживают ГАКИК[292]. Представьте, что на демократические выборы президента некой страны с десятимиллионным населением пришло 1'008'000 избирателей, а недовольных к урнам не пустили. Из пришедших довольных 978'800 проголосовало за единственного кандидата. Это консенсус?

Методология исследования показывает, что авторы плохо – или «уже слишком хорошо» – знакомы с приёмами статистики. Статьи выбирались поиском в базе данных «*ISI Web of Science*» по ключевым фразам «global warming» и «global climate change». Абстракты найденных статей раздали добровольцам; каждый абстракт должны были независимо оценить два ~~каторжника~~ человека (11'944×2=23'888 оценок). Всего в проекте участвовало 24 волонтёра, но 12 откололось на ранней стадии, выполнив всего 607 оценок, а оставшиеся 12 героев сделали 23'061. Двенадцать сбежавших с каторги мы не осуждаем: работа адова! На каждого из оставшихся пришлось примерно по 1'920 абстрактов, или (считая по 300 слов на абстракт) – 580 тысяч слов[293]. В романе «*Война и мир*» – 478'458, притом – связное повествование, неплохой сюжет и интересные персонажи.

Волонтёров просили оценить каждый абстракт по двум критериям: (1) какое отношение статья имеет к климатологии и (2) насколько статья поддерживает или отрицает ГАКИК. Авторы признают, что после прочтения абстрактов волонтёры не согласились в разбивке на категории: по первому критерию – в 27% статей, по второму критерию – 33% статей. После обсуждения количество несогласных оценок уменьшилось: 11% и 16% абстрактов соответственно (более 1'300 статей). За мнением по этим статьям вроде ходили к неким «экспертам», про личности которых исследование умалчивает. Есть подозрение, что «экспертом» был сам Кук, произвольно раскидавший «бесхозные» статьи по категориям.

Далее с таким трудом добытый критерий (1)… просто спустили в унитаз! В статье он больше никак не используется. Придётся слегка помочь авторам и подсчитать самим, благо журнал требует полные копии данных[294].

---

291 По-русски «абстракт» переводится оборотом из трёх слов: «тезисы научной статьи». Для краткости и ясности будем использовать англоязычный неологизм.

292 Ещё пропагандоны «консенсуса» любят ссылаться на статью Наоми Орескес *The Scientific Consensus on Climate Change* (2004). Писулька настолько пустая, что вряд ли стоит даже этой сноски. Авторша «не смогла припомнить» названия статей из будто бы прочитанных ей 928 абстрактов. Статья Орескес не проходила экспертной проверки (peer review) и была опубликована в «*Сайенс*» просто как «письмо к редактору». Подробности разоблачения: Craig D. Idso, Robert M. Carter, S. Fred Singer, *Why Scientists Disagree About Global Warming*, NIPCC, 2016, ISBN-13 978-1-934791-59-2

293 Судя по отметкам времени в базе данных, один из волонтёров обработал 765 абстрактов за 72 часа, без перерыва на сон и приёмы пищи.

294 Поначалу Кук отказывался выдать названия использованных статей, однако редакторы журнала проявили настойчивость: http://www.joseduarte.com/blog/the-art-of-evasion Из Кука данные вытрясли и опубликовали: http://iopscience.iop.org/1748-9326/8/2/024024/media/erl460291datafile.txt

Категория	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7
1.2. Влияние глобального потепления на природу, экосистемы и человечество	12 0.21%	316 5.47%	907 15.69%	4'528 78.34%	8 0.14%	5 0.09%	4 0.07%
1.3. Методы снижения выбросов CO_2 или уменьшения концентрации CO_2 в атмосфере	20 0.59%	418 12.34%	1'474 43.53%	1'471 43.44%	1 0.03%	2 0.06%	0 0.00%
1.4. Методы моделирования и измерений климата	28 1.40%	161 8.08%	391 19.62%	1'359 68.19%	42 2.11%	7 0.35%	5 0.25%
1.5. Палеоклимат и геология	4 0.51%	27 3.44%	138 17.58%	612 77.96%	3 0.38%	1 0.13%	0 0.00%
Всего:	64 0.54%	922 7.72%	2'910 24.36%	7'970 66.73%	54 0.45%	15 0.13%	9 0.08%

По горизонтали отложены категории: от (2.1) «теплеет, и виноват человек более чем на 50%», до (2.7) «теплеет, но человек виноват менее чем на 50%». Работы, авторы которых говорят, будто вообще не теплеет, автоматически включены в (2.4) «не высказывают никакого мнения по вопросу ГАКИК». Вы уже видите, как передёрнуто?

Во-первых, табличка выше показывает, что для полноты картины следовало рассматривать тараканов отдельно от бульона. Из 11'944 статей, 9'166 (76.74%) посвящены (по мнению Кука и его волонтёров) либо влиянию глобального потепления на природу и человечество, либо методам снижения выбросов углекислоты. Вот уважаемые врачи пишут[295] (специально привожу абстракт полностью):

Повышение глобальной температуры вызывает серьезные физические, химические и экологические изменения по всей планете. Среди научных организаций и климатологов существует широкий консенсус в отношении того, что эти тяжкие последствия, известные как изменение климата, являются результатом современной человеческой деятельности. Изменение климата создает угрозу для здоровья, безопасности и защиты людей. Дети уникально уязвимы перед этими угрозами. Последствия изменения климата для здоровья детей включают физические и психологические последствия погодных катаклизмов, усиление теплового стресса, снижение качества воздуха, изменение характера заболеваний некоторых инфекций, чувствительных к климату, а также отсутствие продовольственной и водной безопасности в уязвимых регионах. Оперативное внедрение стратегий смягчения и адаптации защитит детей от обострения проблем и связанных с ними последствий для здоровья. В этом техническом отчёте рассматривается природа изменения климата и связанные с ним последствия для здоровья детей и содержатся рекомендации в прилагаемом программном заявлении об изменении климата и здоровье детей.

Эта статья у Кука классифицирована как (1.2-2.1), то есть «теплеет, и виноват человек *более чем на 50%*». Где, в каком месте абстракта написано, что человек отвечает за климат конкретно более чем наполовину? Во-вторых, посмотрим на другую сторону таблички: (1.2-2.7). Тут всего 4 статьи, проверить несложно:

295 Ahdoot S, Pacheco SE, Global Climate Change and Children's Health; COUNCIL ON ENVIRONMENTAL HEALTH. Pediatrics. 2015 Nov;136(5):e1468-84. doi: 10.1542/peds.2015-3233. Epub 2015 Oct 26.

2003 *Global Warming: Are We Confusing Cause And Effect?*[296]
2006 *On Global Forces Of Nature Driving The Earth's Climate. Are Humans Involved?*[297]
2009 *Greenhouse Gases And Greenhouse Effect*[298]
2009 *Potential Dependence Of Global Warming On The Residence Time In The Atmosphere Of Anthropogenically Sourced Carbon Dioxide*[299]

Все четыре статьи посвящены методам моделирования климата. В тексте там много уравнений. И сидеть они должны не там, где доктора медицинских наук пишут о здравии детишек, а где положено: в категории (1.4) «Методы моделирования». Но если их туда переместить, то вся категория (1.4) станет выглядеть слегка бледновато для сторонников «консенсуса», так что Кук на всякий случай комбинирует математиков-климатологов с медиками и агрономами. Могут возразить, что это просто ошибка. Ну, не так отсортировали 4 статьи. Копаем дальше. В третьих, в категории (1.4-2.4) внезапно обнаруживаются статьи противников ГАКИК Роя Спенсера и Джона Кристи:

1991 *Microwave Sounding Units And Global Warming*
1991 *Precision Tropospheric Temperature Monitoring 1979-1990*
1993 *Global Temperature Monitoring From Space*
1997 *How Dry Is The Tropical Free Troposphere? Implications For Global Warming Theory*[300]
2007 *Cloud And Radiation Budget Changes Associated With Tropical Intraseasonal Oscillations*[301]

Если вам срочно понадобилась статья о том, что ГАКИК – это полная лабуда, смело берите любую из этих великолепных работ. Но у Кука эти авторы проходят по списку (2.4) «учёные не высказали мнения». Ну, в тезисах – конечно, не высказали. Чтобы найти мнение учёных, надо же статью прочесть, а там же формулы. А волонтёры – пусть даже при наличии квалификации – для формул времени не имели!

Кристи и Спенсер – не абы кто[302]. Этим парням из университета Алабамы в Хантсвилле (UAH) климатология, и в том числе IPCC, обязаны по гроб жизни.

---

296 L. F. Khilyuk, G. V. Chilingar, *Global Warming: Are We Confusing Cause and Effect?* Energy Sources, 25:357–370, 2003

297 L. F. Khilyuk, G. V. Chilingar, *On global forces of nature driving the Earth's climate. Are humans involved?* Environmental Geology, August 2006, Volume 50, Issue 6, стр. 899–910

298 G. V. Chilingar, O. G. Sorokhtin, L. Khilyuk, M. V. Gorfunke, *Greenhouse gases and greenhouse effect* Environmental Geology, October 2008

299 Robert H. Essenhigh, *Potential Dependence of Global Warming on the Residence Time (RT) in the Atmosphere of Anthropogenically Sourced Carbon Dioxide,* Energy & Fuels 23(5), May 2009

300 Roy W. Spencer and William D. Braswell, *How Dry is the Tropical FreeTroposphere? Implicationsfor Global Warming Theory*, BAMS, Vol. 78, No. 6, 1997, стр. 1097-1106

301 Roy W. Spencer, William D. Braswell, John R. Christy, and Justin Hnilo, *Cloud and radiation budget changes associated with tropical intraseasonal oscillations*, Geophysical Research Letters, vol. 34, 2007

302 Как бы ни поливали викиложцы. Биографии учёных регулярно вандализируются «зелёными», а Джону Кристи в окно офиса какой-то борец за экологию из винтовки пальнул. Климатолог – опасная профессия: https://www.al.com/news/huntsville/index.ssf/2017/04/shots_fired_at_office_building.html

Джон Раймонд Кристи младший (John Raymond Chirsty Jr) – заслуженный профессор атмосферной физики и директор Центра исследований Земли при университете Алабамы; с 2000 – главный климатолог Алабамы; за разработку спутниковых методов измерения тропосферных температур получил медаль НАСА «За Выдающиеся Достижения в Науке»; за это же – «Специальная награда» Американского метеорологического общества. С 2002 года Кристи – «парень» (fellow) этого самого общества.

Рой Уоррен Спенсер (Roy Warren Spencer) до перехода в UAH трудился в НАСА и до сих пор продолжает в НАСА консультировать. Этот учёный и инженер сыграл огромную роль в разработке продвинутых космических инструментов для измерения температур в атмосфере: AMSR-E и «Aqua». Он же разрабатывал алгоритмы для спутников AMSU, что позволяет нам теперь узнавать из космоса заодно и скорость ветра в ураганах, не запуская внутрь самолёты с военными метеорологами-смертниками. Спенсер ведёт великолепный сайт[303], где помимо прочего публикуются данные измерений температур со спутников.

А теперь – кто такой Джон Кук? В собственно науках о Земле он пока никак не засветился. Гуманитарий. Бакалавр *филологии*. Пытался делать магистратуру по психологии в университете штата Квинсленд, да вроде бы не закончил. Статья 2013 года появилась как часть магистерской программы[304]. Теперь Кук – свободный ~~художник~~ журналист, ведёт сайты *RealClimate* и *Sceptical Science*[305], где делает перепост полезных данных по климату Земли. К чести сказать, сайты весьма годные: в последнее время там «похолодало»: оценки стали куда менее категоричны, публикующиеся авторы принялись заниматься наукой, а не пропагандой.

Пересчитывать, сколько конкретно статей в «исследовании» Кука не совпадают с «консенсусом» по ГАКИК, нам совершенно неинтересно (полагаю навскидку, что 10-15% статей из выборки будут откровенно против). Дело в том, что настоящим учёным самим-то на консенсус плевать. Наука не делается голосованиями; одной сильной статьи достаточно, чтобы перевесить пустопорожнее жужжание тысячи исследователей запупыристого харвестирования. К тому же, мы удалились от темы книги. Лженаука и псевдостатистика уже обсуждались в главе 6.

На этом про политику закончим и перейдём к научному феномену ГАКИК. Естественно, эта глава не претендует на полноту охвата темы. Нас изменения климата интересуют постольку, поскольку это связано с моделированием пределов роста.

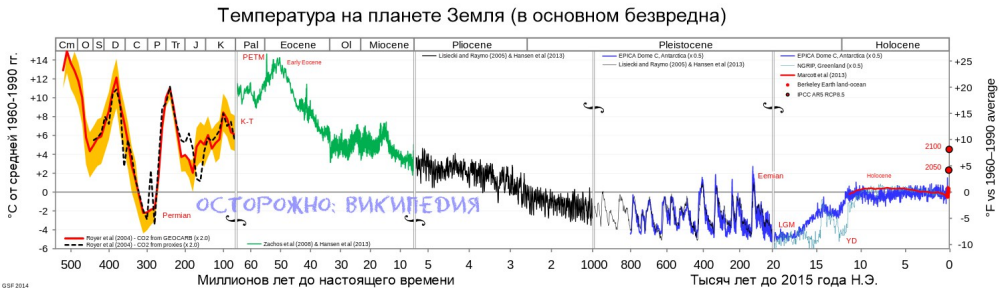
Написанный в 1960-х гимн Новосибирского университета сообщает нам:

303 http://www.drroyspencer.com/latest-global-temperatures/

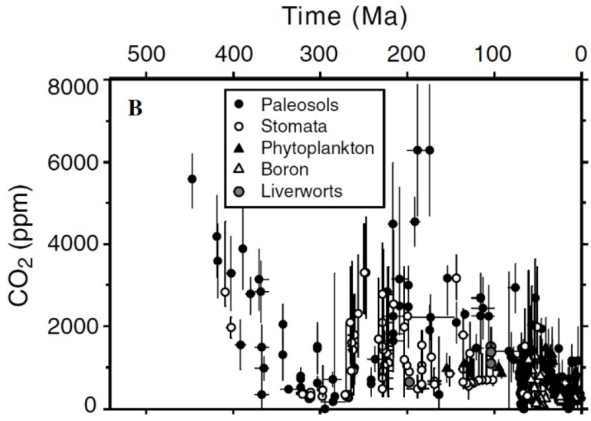
304 Ещё одну статью будущего психолога из журнала **отозвали (retracted)**: Stephan Lewandowsky, John Cook, Klaus Oberauer, and Michael Marriott, *Recursive Fury: Conspiracist Ideation in the Blogosphere in Response to Research on Conspiracist Ideation,* Front Psychol. 2013; 4: 73.

305 http://www.realclimate.org/ и https://www.skepticalscience.com/

«Говорят, что в Арктике климат не меняется…» Геологи говорят по-другому. Климат менялся не только в Арктике, но и по всему земному шару. Весёлая картинка ниже – из Вики:



Как к любой картинке из «Википедии», к этой следует относиться… как к картинке. Начнём с красно-чёрно-оранжевой линии слева. Выходит, что мы знали среднюю температуру Земли в триасовом периоде (около 250 миллионов лет назад) с точностью ±1°Ц? И авторы процитированы: Royer et al, 2004. Фигня. Ниже показано, как представляет температуры фанерозоя сама автор статьи[306]. По горизонтали тут отложены миллионы лет до наших дней, по вертикали – концентрация CO_2 в атмосфере. Точечки, кружочки, треугольнички – отдельные измерения углекислоты в образцах пород (всего 490 анализов). По вертикали – методы анализа: древняя почва, устьица (стоматы) на окаменелых листочках растений, фитопланктон – тоже окаменелый, концентрация бора, распространённость печёночных мхов. Никаких специальных заявлений про абсолютную *величину* среднегодовых температур автор не делает; это было бы совершенно ненаучно.



По тем же данным о концентрации углекислоты в атмосфере Роберт Бернер и Заварет Катавала написали программу для оценки концентрации углекислого газа в атмосфере и мировом океане. Версий программы много, последняя – *GEOCARB III*[307]. Мы знаем вполне конкретно, как авторы программы считают

306 Dana L. Royer, *CO2-forced climate thresholds during the Phanerozoic*, Geochimica et Cosmochimica Acta 70 (2006) 5665–5675

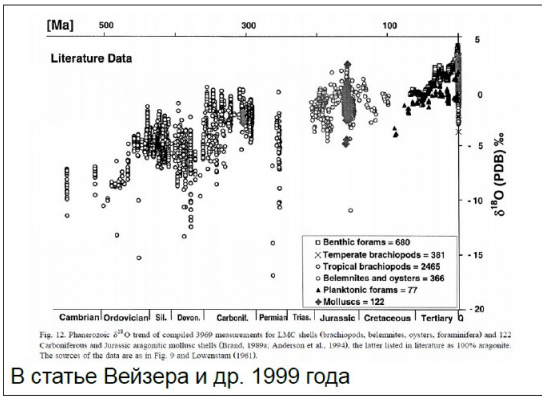
307 Robert A. Berner and Zavareth Kothavala, *GEOCARB III: A REVISED MODEL OF ATMOSPHERIC CO2*

температуру, потому что по правилам публикации им пришлось предоставить журналу полный код на Фортране. Затем независимый эксперт Джонатан Гиллиган[308] программу проверил, прокомментировал и перевёл на Питон, за что ему спасибо. Формула Бернера простая:

$$T = T_0 + 3\log_2\left(\frac{p_{CO_2}}{280}\right) - 7.4\cdot\left(\frac{MYA}{570}\right) \qquad \{17.1\}$$

Здесь:
MYA – геологическое время (миллионов лет назад);
$\mathbf{p_{CO_2}}$ – концентрация углекислого газа в атмосфере (ppmv, частей на миллион);
$\mathbf{T_0}$ = 15°Ц – средняя температура Земли в 1960-1990 годах;
3 – просто такая цифра. Ею авторы выразили увеличение средних температур при удвоении атмосферного CO_2. В фортрановском коде цифра 3 забита жёстко, и заменить на другую величину *нельзя*.

Откуда викиложцы взяли викилажу? Дык, из более ранней работы Ройер со товарищи 2004 года[309]. Махнув волшебной палкой, из фундаментальной работы большого коллектива палеонтологов под руководством Яна Вейзера[310] вычислили:



В статье Вейзера и др. 1999 года

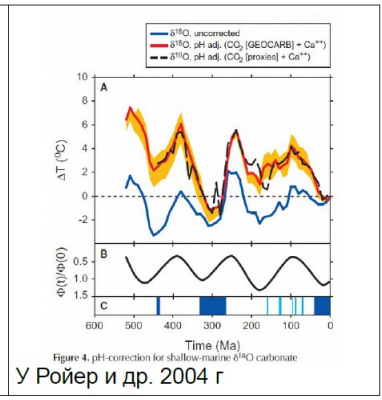


Figure 4. pH-correction for shallow-marine δ18O carbonate
У Ройер и др. 2004 г

Здесь для определения температур используется разница концентрации стабильных изотопов кислорода ^{16}O и ^{18}O, которая в палеоклиматологии обозначается как «$\delta^{18}O$». Вы заметили, что у викиложцев нет на графике «$\delta^{18}O$», а остался только «CO_2»? Учитесь, как лохов разводить! В статье Ройер речь шла о коррекции концентрации изотопа кислорода ^{18}O за концентрацию углекислого газа. При этом концентрации CO_2 вычислялись по программе

OVER PHANEROZOIC TIME, American Journal of Science, Vol. 301, February, 2001, P. 182–204, Тест: http://climatemodels.uchicago.edu/geocarb/ Текст: http://climatemodels.uchicago.edu/geocarb/geocarb.F

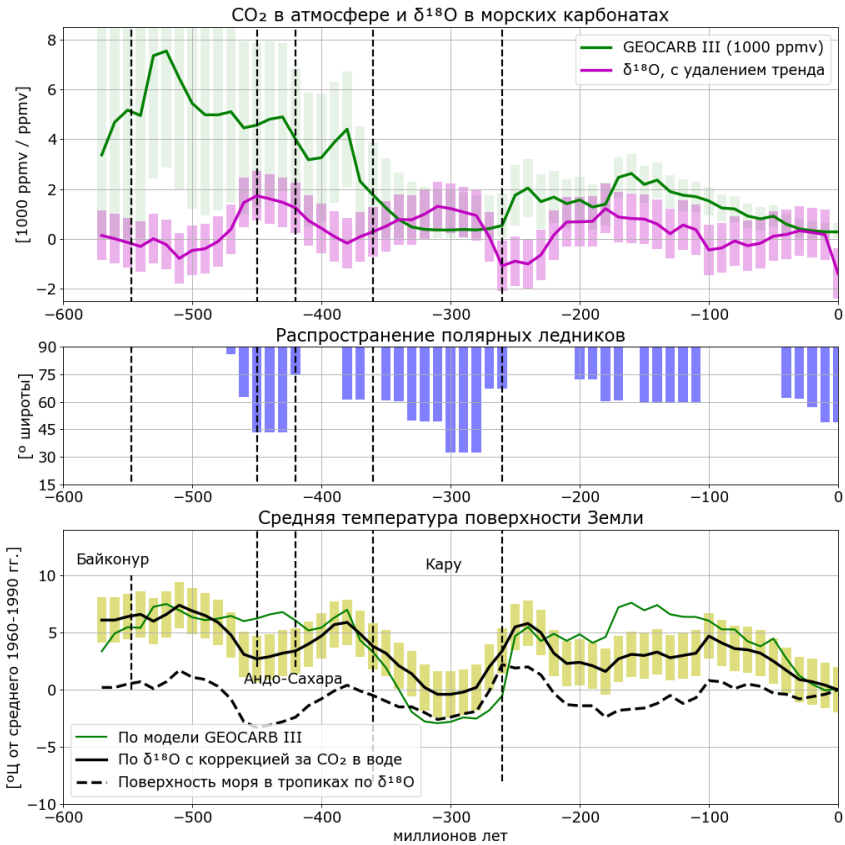
308 https://github.com/gilligan-ees-3310-2018/new_geocarb/blob/master/geocarb_varco2.py

309 Dana L. Royer, Robert A. Berner, Isabel P. Montañez, Neil J. Tabor, David J. Beerling, *CO_2 as a primary driver of Phanerozoic climate*, GSA Today 14(3):3-7 March 2004

310 Jan Veizer, Davin Ala, Karem Azmy, Peter Bruckschen, Dieter Buhl, Frank Bruhn, Giles A.F. Carden, Andreas Diener, Stefan Ebneth, Yves Godderis, Torsten Jasper, Christoph Korte, Frank Pawellek, Olaf G. Podlaha, Harald Strauss, *$^{87}Sr/^{86}Sr$, $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ evolution of Phanerozoic seawater, Chemical Geology*, 161 #1999. стр. 59–88.

Бернера *GEOCARB III*. Викиложцы тихо *удолили* четыре буквы: «δ¹⁸O», и получилось, что концентрация CO_2 почти идеально коррелирует с температурой планеты. Сам Ян Вейзер о корреляции между углекислым газом и температурой высказался категорично в своей статье 2000 г[311]:

[...] наши данные хорошо согласуются с независимыми данными по оледенениям Земли, однако противоречат реконструкциям палеотемператур с использованием модели влияния атмосферного углекислого газа на баланс энергии. Следует заключить, что либо (1) концентрация углекислого газа не была основной движущей силой климата по крайней мере в первой трети Фанерозоя, либо (2) все существующие реконструкции концентрации диоксида углерода в атмосфере в первой трети Фанерозоя недостоверны[312].



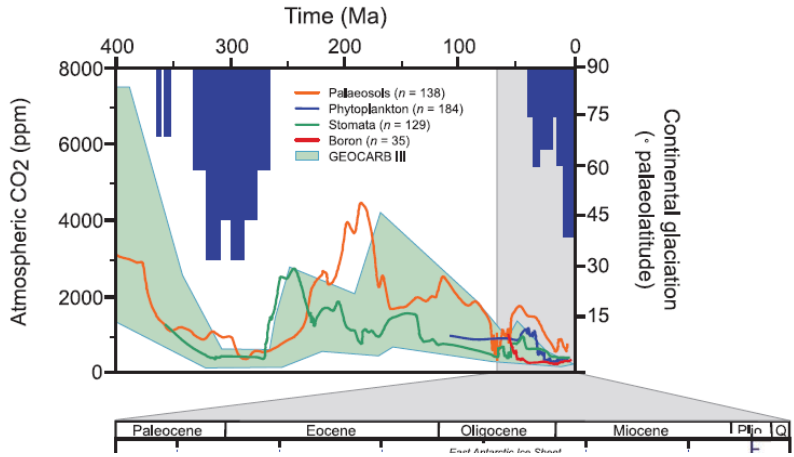
Картинка нарисована программой **Chapter 17\Test_02_dO18_Temperatures.py**
По независимым данным ледниковых отложений геологи знают, что планета Земля несколько раз за геологическую историю была «ледяным шаром», когда ледники спускались от полюсов до 30-35° широты (это как современные Каир или Тегеран). В пределах нашего графика находятся: относительно короткое Байконурское оледенение (547 млн лет назад), более долгое Андо-Сахарское (450-420), длившееся 100 млн лет Кару (360-260) и тот период, когда живём мы

311 Jan Veizer, Yves Godderis, & Louis M. Francois, *Evidence for decoupling of atmospheric CO_2 and global climate during the Phanerozoic eon*, Nature, January 2001, v 408, стр. 698-701.

312 Угадайте с трёх раз: сколько статей Вейзера и его коллег попали в фильтр Джона Кука и сколько из этих абстрактов было классифицировано в категорию «не сделано *никаких* заявлений по поводу глобального потепления»?

с вами – Позднекайнозойское оледенение (началось около 34 млн лет назад).

Начиная примерно с 400 млн лет (у геологов эта точка зовётся ранним девоном), слегка напрягая зрение, можно углядеть корреляцию между углекислым газом в атмосфере и температурами. Поэтому редакторы IPCC выкинули из геологической истории фанерозоя 140 миллионов лет, три полных периода: кембрий, ордовик и силур. В редакции IPCC 2007 года[313] наше с вами геологическое прошлое выглядит так:



Заметим ещё одну интересную деталь: согласно геологической базе данных PRID (palaeolatitudinal distribution of ice-rafted debris), с начала юрского по примерно середину мелового периода (200-110 млн лет назад) на планетке существовали полярные ледовые шапки, изредка доползавшие до 60° широты. Это ниже широты полярного круга. В документе IPCC эти ледники не показаны – *места не хватило*: там нарисовали легенду. Динозаврам и млекопитающим лёд совершенно не мешал, а концентрация CO_2 в атмосфере была между 1'000 и 3'000 ppmv – в 2.5 или 7.5 раза выше теперешней. Если верить научным сторонникам ГАКИК, парниковый эффект добавлял тогда 8.5°Ц. Солнце, правда, светило менее ярко, недоперевыполняя «план по теплу» на 1.3°Ц. Итого: примерно +7 градусов Цельсия. Как это вяжется с ледниками на широте Петербурга – поди разберись.

Прикинем, какие температуры поверхности вообще возможны на шарике под названием Земля. Сначала вычислим среднюю температуру по больнице, включая морг (простите, полюса). Пусть по идеально круговой околосолнечной орбите летает космическая станция, одна плоскость которой, с площадью s, постоянно развёрнута к Солнцу. Пусть Солнце испускает энергию как абсолютно чёрное тело, и станция излучает так же:

313 Jansen, E., J. Overpeck, K.R. Briffa, J.-C. Duplessy, F. Joos, V. Masson-Delmotte, D. Olago, B. Otto-Bliesner, W.R. Peltier, S. Rahmstorf, R. Ramesh, D. Raynaud, D. Rind, O. Solomina, R. Villalba and D. Zhang, 2007: Palaeoclimate. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Рис 6.1 на стр. 441, вверху.

$$W_{sun,emit} = 4\pi R_{sun}^2 \sigma T_{sun}^4$$
$$W_{sat,emit} = s \sigma T_{sat}^4$$

Здесь:
W — поток энергии в ваттах на м²;
σ – постоянная Стефана – Больцмана 5.670 10^{-8} Вт/м²/°К⁴.
$\mathbf{T_{sun}}$, $\mathbf{T_{sat}}$ – температура поверхности. Для Солнца, примем 5'778 °Кельвина.

Поток энергии Солнца равномерно распределяется по площади сферы с радиусом орбиты, и малая часть потока попадает на наш аппарат. Отражающая способность аппарата определяется константой – альбедо Ламберта **α** (для разных материалов константа разная):

$$W_{sat,absorb} = (1-\alpha)\frac{R_{sun}^2}{R_{orbit}^2} s \sigma T_{sun}^4$$

Ясно, что через какое-то время температура плоскости стабилизируется:

$$W_{sat,absorb} = W_{sat,emit}$$
$$s \sigma T_{sat}^4 = (1-\alpha)\frac{R_{sun}^2}{R_{orbit}^2} s \sigma T_{sun}^4$$
$$T_{sat} = (1-\alpha)^{1/4}\sqrt{\frac{R_{sun}}{R_{orbit}}} T_{sun} \qquad \{17.2\}$$

Температура поверхности нашей станции прямо пропорциональна температуре поверхности Солнца, а также зависит от радиуса Солнца и радиуса околосолнечной орбиты. Примем первый $6.96 \cdot 10^8$, а второй – как среднее значение у орбиты Земли – $1.496 \cdot 10^{11}$ м. Самое сильное влияние оказывает альбедо: если, скажем, поверхность космической станции покрыть снегом (**α** ≈ 0.9), то будет 221°К или -52°Ц. Если посыпать снег угольной пылью (**α** ≈ 0.05), то он не только расплавится, но и испарится: 116 °Ц. У горных пород на Луне альбедо примерно 0.12, оттого на лунном экваторе, когда Солнце в зените, температура поверхности достигает 109°Ц. Нетрудно подсчитать, что:

$$\frac{R_{sun}^2}{R_{orbit}^2} \sigma T_{sun}^4 = \left(\frac{6.96 \cdot 10^8}{1.496 \cdot 10^{11}}\right)^2 5.67 \cdot 10^{-8} 5778^4 = 1368 \quad \text{Вт/м}^2$$

Это значение близко к «солнечной постоянной» w_s = 1'361.5 Вт/м², то есть среднегодовому излучению от Солнца при движении Земли по текущей эллиптической орбите[314]. Астрономы указывают, что помимо излучения Солнца есть ещё и реликтовое излучение, соответствующее температуре абсолютно чёрного тела T_r = 2.73 °К. Полагая, что микроволновое излучение

314 Излучение Солнца меняется в пределах 11-летнего цикла: от примерно 1'360 до 1'363 Вт/м². См. https://spot.colorado.edu/~koppg/TSI/

целиком поглощается нашим спутником, получаем:

$$sT_{sat}^4 = s\left(\frac{(1-\alpha)w_s}{\sigma} + T_r^4\right) \qquad \{17.3\}$$

Теперь вместо плоской поверхности пусть будет шар – как планета Земля. Солнце светит с одной стороны, а реликтовое излучение – почти равномерно со всех сторон. Помимо излучения Солнца и реликтового излучения, есть ещё приток энергии от радиоактивного распада и рассеянной приливной энергии внутри Земли (мы разбирали это в главе 2). Добавка по сравнению с Солнцем незначительная: w_g = 0.092 Вт/м², но для полноты учтём. Уравнение {17.3} тогда придётся переписать:

$$4\pi R_{planet}^2 T_{planet}^4 = \pi R_{planet}^2 \frac{(1-\alpha_{Bond})w_s}{\sigma} + 4\pi R_{planet}^2 \left(T_r^4 + \frac{w_g}{\sigma}\right)$$

$$T_{planet} = \sqrt[4]{\frac{(1-\alpha_{Bond})w_s}{4\sigma} + T_r^4 + \frac{w_g}{\sigma}} \qquad \{17.4\}$$

Вместо альбедо Ламберта используется сферическое альбедо Джорджа Бонда $\boldsymbol{\alpha_{Bond}}$. Для Земли и Луны эти астрономические константы – 0.306 и 0.067 соответственно, а *средние эффективные* температуры поверхности по формуле {17.5} получаются -19° и 0°Ц. Как ни странно, на Луне «средняя астрономическая» температура куда как более подходит для жизни! В литературе часто встречается утверждение, будто «парниковый эффект в атмосфере повышает температуру Земли на 33°», то есть с -19° до примерно +14°. Это не совсем верно. Так бы оно и было, если бы планетка была маленькая (диаметром до километра) и сделана из материала с очень высокой теплопроводностью, – чтобы тепло быстро добиралось до полюсов. На реальных планетах всё сложнее.

Пусть, для начала, наша учебно-тренировочная Земля обращена одной стороной к Солнцу, как Меркурий. На вечно обращённой к Солнцу «макушке» (нельзя называть эту точку «полюсом»!) температура будет почти как днём на Луне: +87° Ц, на противоположной от Солнца стороне – вечная ночь с температурой -238°. Заметим, однако, что без потока геотермальной энергии, 0.092 Вт/м², на ночной стороне было бы куда холоднее: -270°. Разреженная атмосфера планеты может состоять из смеси гелия и неона. Остальные газы и водяной пар в конце концов окажутся на «ночной» половинке и там навсегда замёрзнут. Усреднённая по площади температура поверхности нашей гипотетической Земли вовсе не -19°, а -112°Ц. Это оттого, что поверхность при 100°К излучает тепла не в 3 раза меньше, чем поверхность при 300°К, а в 3^4=81 раз меньше.

Теперь пускай гипотетическая Земля делает один оборот вокруг своей оси не за 365 дней, а за 24 часа. Положим, что ось направлена строго поперёк плоскости орбиты, а орбита строго круговая, и оттого нет смены сезонов, а есть только день и ночь. Пусть поверхность планеты покрыта песком с

плотностью 1.6 т/м³ и теплоёмкостью 0.75 МДж/т, а прогреваются днём и остывают ночью только верхние 25 см песка (глубже температура стабильна). Удельная теплоёмкость поверхности получается $C_{surface}$ = 1.6·0.75·0.25 = 0.3 МДж/м². Тогда изменение температуры поверхности от времени выражается уравнением:

$$\Delta T_{surface}(t) = \frac{1}{C_{surface}} \left[(1-\alpha) w_s \sin\theta(t) + \sigma T_r^4 + w_g - \sigma T_{surface}^4(t) \right] \Delta t \quad \{17.5\}$$

Здесь:
$T_{surface}$ (t) – температура поверхности;
Θ(t) – высота Солнца над горизонтом;
t – время суток в секундах (от 0 до 86'400).

Запустим нашу учебно-тренировочную Землю по реальной орбите вокруг Солнца, наклонив полярную ось на современное значение: 23°26′14″. Код для вычислений написан и поддерживается Брендоном Стаффордом[315] на основании алгоритмов Й.Реды[316] и группы Дж.Бишопа[317].

Минимальная температура в текущую астрономическую эпоху должна быть на северном полюсе в конце полярной ночи (23 марта) – те же -238°Ц. Максимальные летние дневные температуры поверхности +25°Ц вовсе не на экваторе, а на 30° ю.ш. (там у современной Земли расположены Австралия, кусочек Южной Америки и ЮАР). В текущую астрономическую эпоху Земля попадает в перигелий – ближе всего от Солнца – 3 или 4 января, когда в южном полушарии как раз лето. Среднегодовая температура нашей «безатмосферной» Земли на экваторе -17°Ц. Усреднённая температура по площади планеты -42°Ц, то есть на 56 или 57° ниже реальной среднеплощадной температуры Земли. Ясно, что разница обеспечивается как раз атмосферой и гидросферой.

Давайте займёмся терраформингом и нальём на нашу модель воды. Удельная теплоёмкость льда или постоянного снежного покрова – 2.11 МДж/т, плотности соответственно 0.93 и 0.25 т/м³, а поверхностная теплоёмкость у слоя 25 см будет между 0.49 и 0.13 МДж/м² – то есть на 60% больше или меньше, чем у песка. Альбедо примем 0.80 – пусть из-под снега кое-где торчат чёрные скалы. Морская вода имеет удельную теплоёмкость 3.9 МДж/т при плотности 1.0 т/м³. Другие материалы и бóльшая точность для вычислений нам не понадобятся, так как наша планета относительно быстро – примерно за 100'000 лет – превращается в ледяной шар.

Гипотеза носит название «Земля-снежок» (Snowball Earth) и её активно разрабатывали с конца XIX века. В начале 1960-х Михаил Иванович Будыко[318] выполнил серию расчётов аналогичных приведённому выше. Сейчас такую

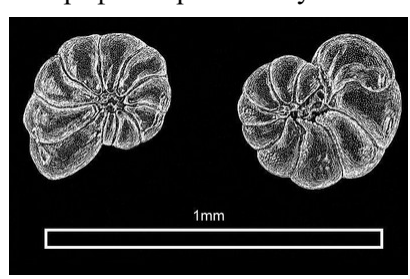
315 Полный код: https://github.com/pingswept/pysolar, описание: http://docs.pysolar.org/en/latest/
316 I. Reda and A. Andreas, *Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications*, National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-560-34302, revised November 2005.
317 J. K. B. Bishop, W. B. Rossow, and E. G. Dutton, *Surface solar irradiance from the International Satellite Cloud Climatology Project 1983-1991*, Journal of Geophysical Research, vol. 102, no. D6, March 27, 1997
318 Будыко М.И., Ронов А.Б., Яншин А.Л., «История атмосферы», М., Гидрометеоиздат, 1985.

математику может осилить продвинутый десятиклассник на обыкновенном домашнем компьютере; в середине прошлого века потребные вычислительные мощности занимали целые машинные залы и носили гордую приставку «супер». Несколько позже проблемой скоростного оледенения Земли занялись американцы: Уильям Селлерс из Института атмосферной физики в Аризоне[319] и Арон Фегри с физического факультета колледжа Рида в Портленде (Орегон)[320].

Когда сторонники ГАКИК вещают в Википедии, будто гипотеза глобального похолодания выдумана журналистами в 1970-х, а у климатологов «никогда не имела существенной научной поддержки», – посылайте… к Будыко, Селлерсу и многим другим книгам и статьям. В статье Селлерса чёрным по белому предлагается посыпáть Арктику и Антарктику сажей с целью замедлить глобальное похолодание (стр. 397); Будыко и Л.Р.Рахипова предлагали то же самое.

Чтобы впредь у народа не возникало лишних вопросов, в пятом издании отчёта IPCC 2013 года [32] геологическая история начинается… в среднем палеоцене (62 млн лет назад). Это ярко-зелёная линия на графике викиложцев, и её следует разобрать подробно. Возле линии приведены ссылки: «Захос (Zachos) и др., 2008», «Хансен и др., 2013». У вас может создаться впечатление, что данные если не новейшие, то по крайней мере свежие. Это, к сожалению, обман. Вторая ссылка просто на статью Хансена, Сато, Рассела и Хареши «*Чувствительность климата, уровень моря и углекислый газ*»[321], где авторы честно воспроизвели график Захоса, сославшись на «Захос и др., 2008». Одна ссылка викиложцев, таким образом, уже отвалилась.

Пойдём, в натуре, по ссылке на Захоса. Статья «*Взгляд из раннего кайнозоя на парниковый эффект и концентрацию углекислоты в атмосфере*» была опубликована в *Натуре*, простите, в журнале «*Нэйчур*», то бишь «*Природа*»[322]. Там на странице 281 обнаруживаем исходный график. Викиложцы поменяли цвет с тёмно-серого на ярко-зелёный и отразили график зеркально: у Захоса современное нам время слева, а в Вики – справа. Заметим, однако, что у Захоса на графике крестики. Это отдельные измерения относительной концентрации ^{18}O в раковинах древних одноклеточных – фораминифер (показаны на врезке). Как видим, разброс измерений для одного и того же периода времени внушительный. В



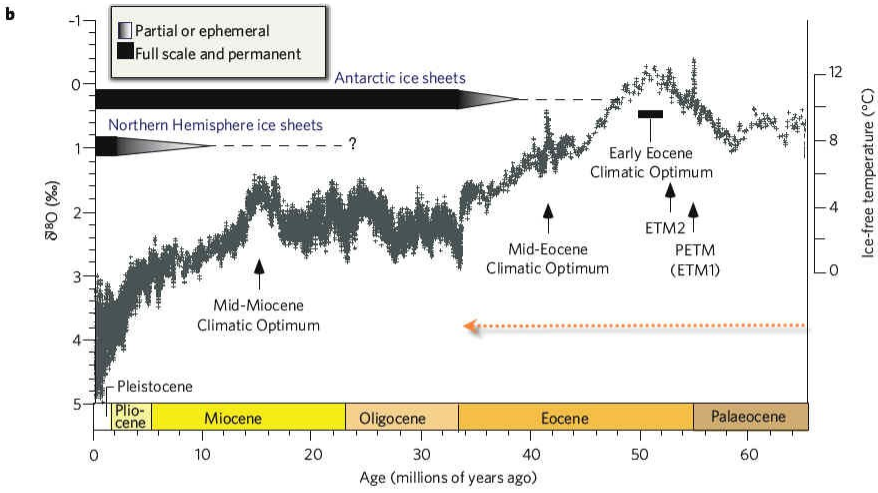
319 William D. Sellers, *A Global Climatic Model Based on the Energy Balance of the Earth-Atmosphere System*, Journal of Applied Meteorology, v 8, June 1969, стр. 392-400

320 A. Faegre, *An Intransitive Model of the Earth-Atmosphere-Ocean System*. Journal of Applied Meteorology, v 11 (1) February 1972: стр. 4–6.

321 James Hansen, Makiko Sato, Gary Russell and Pushker Kharecha, *Climate sensitivity, sea level and atmospheric carbon dioxide*, PTRA, October 2013.

322 James C. Zachos, Gerald R. Dickens & Richard E. Zeebe, An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics, NATURE, Vol 451,17 January 2008, стр. 279-283.

периодах, где достаточно скважин, как, например, 1 миллион лет назад, разные образцы дают разброс порядка ±1δ^{18}O или ±4°Ц (и это при том, что авторы сгладили все выбросы пятиточечным фильтром – смотрите примечание в статье). Для палеоцена линия выглядит «точно», но это оттого, что скважин мало и данные сильно сглажены.



Because the temporal and spatial distribution of records used in the stack are uneven, resulting in some biasing, the raw data were smoothed by using a five-point running mean. The $\delta^{18}O$ temperature scale, on the right axis, was computed on the assumption of an ice-free ocean; it therefore applies only to the time preceding the onset of large-scale glaciation on Antarctica (about 35 million years ago).

Заметим также, что авторы ясно указывают, что (цитируем) «шкала температур справа вычислена для планеты без полярных ледовых шапок, и оттого *применима лишь до времени образования существенных ледников в Антарктиде* – около 35 млн лет назад» (конец цитаты). На картинке я подрисовал оранжевую стрелочку – так показано время, до которого шкала температур – по заверениям Захоса – кое-как работает. Всё, что на графике слева от стрелочки, как график *температур* воспринимать не сто́ит. Это просто относительная концентрация изотопа кислорода. Если быть совсем точным, то шкала температур во время формирования и изменения полярных шапок Кайнозойского ледникового периода – от 0 до 35 млн лет назад – нелинейная[323].

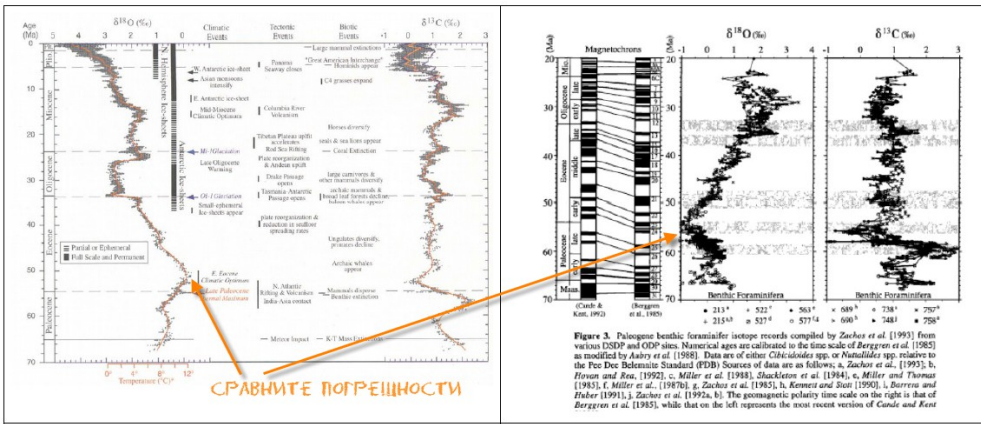
А откуда Захос данные получил? Идём по ссылкам автора. В статье 2001 года тот же Захос и другие[324] приводят график, повернутый на 90 градусов. Данные и оговорки про шкалу температур – всё те же. Но ведь и эти данные откуда-то взялись? А взялись они, как ни странно, из статьи того же Захоса 1993 года[325],

323 В статье Хансена предложено считать зависимости как ΔT=12.0-4.088δ для периода 65-35 млн лет назад и ΔT=8.6-2.243δ для периода 35-0 млн лет назад. Никакой великой сермяжной правды там нет, простая подгонка данных. «Склейка» производится в точке ΔT=4.5°Ц, δ=1.84, а современная ΔT=0°Ц.

324 Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E. & Billups, K., *Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present*. Science 292, стр. 686–693 (2001).

325 Zachos, J.C., K. C. Lohmann, J. C. G. Walker, and S. W. Wise, *Abrupt Climate Change and Transient Climates*

только выглядело там всё сильно иначе. Посмотрите на разброс значений, например в районе 60 млн лет и сравните с «тоненькой» вроде бы «точной» кривой на графике слева.



В статье Захоса 2001 г	В статье Захоса 1993 г

Но и данные 1993 года должны были откуда-то взяться? Источник указан: «разные файлы DSDP и ODP». DSDP – Deep Sea Drilling Program, программа морского глубоководного бурения, проводившаяся с 1968 по 1983 годы. В 1968 году Джеймсу Захосу было 9 лет от роду. Будь он трижды вундеркиндом, к керновому материалу его бы не пустили. В 1983 Захос делал магистерскую степень в университете Ю.Каролины, оттого в DSDP принять участия, за недостатком времени, не мог. Защитив в 1988 году степень доктора философии (PhD), уважаемый учёный поучаствовал в морских походах второй программы – ODP (Ocean Drilling Program, Программа океанического бурения, 1985-2004). Молодой кандидат наук Захос выходил в море в качестве геохимика: плавания 105 (август 1985) и 120 (февраль 1988), затем – седиментолога в плаваниях 154 (январь 1994) и 198 (август 2001). Незадолго до плавания 154 Захос стал доцентом в университете Санта-Круз в Калифорнии и так получил доступ к керновому материалу DSDP и тем самым мистическим «файлам», на базе которых построены графики. Последний раз Захос ходил в море в марте 2008 (плавание 208), в качестве главного геолога экспедиции. Претензий к карьере учёного нет, есть претензии к попыткам «редактирования» данных и подгонки чужих наблюдений под текущую концепцию IPCC.

Собственно, по публикациям различных участников DSDP и приходится восстанавливать картину. Буквально по крупицам. Реальные данные приведены, например, в отчёте Джея Музы о 71-м плавании «*Гломар Челленджера*»[326], отчёте Ника Шаклтона о 138-м плавании[327], в статье

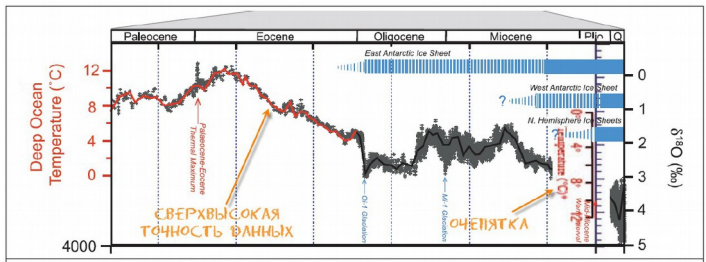
in the Paleogene: A Marine Perspective, Journal of Geology, 1993, v.100, стр. 191-213.

326 Jay P. Muza, Douglas F. Williams, Sherwood W. Wise, Jr., *PALEOGENE OXYGEN ISOTOPE RECORD FOR DEEP SEA DRILLING SITES 511 AND 512, SUBANTARCTIC SOUTH ATLANTIC OCEAN: PALEOTEMPERATURES, PALEOCEANOGRAPHIC CHANGES, AND THE EOCENE/OLIGOCENE BOUNDARY EVENT1.* Proceedings of the Deep Sea Drilling Program.

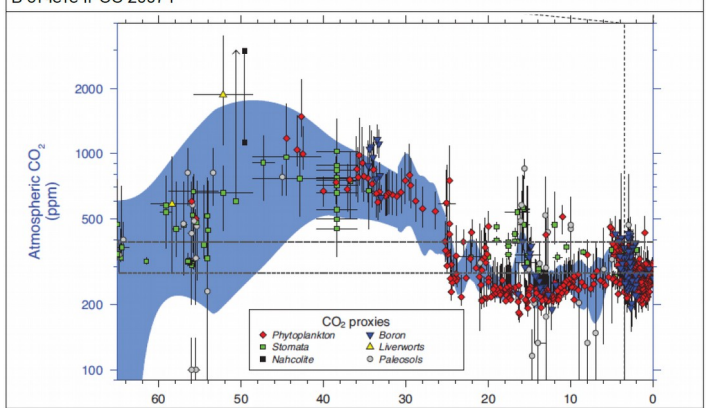
327 N.J. Shackleton, M.A. Hall, and D. Pate, *PLIOCENE STABLE ISOTOPE STRATIGRAPHY OF SITE 8461,*

участников 198-го плавания Тимоти Бларoувера, Изабеллы Сильвы и Митчелла Маллоне[328]. Полных исходных данных по лабораторным измерениям $\delta^{18}O$ в табличном виде в *свободном доступе просто нет*. Если кто обнаружит в библиотеке старые дискеты или лазерные диски – цифровое приложение DSDP – автор убедительно просит распространить пошире через Интернет или хотя бы передать энтузиастам.

Палеоклиматическая ~~фантазия~~ реконструкция Захоса была воспроизведена в отчёте IPCC 2007 года[329] на странице 441. Зачем-то впечатанная перевёрнутая шкала температур в самом интересном месте – так у авторов в PDF, я не виноват. В списке опечаток[330] этот пунктик всё ещё не значится. В отчёте IPCC 2013 года удивительный график Захоса уже убрали. Вместо него нарисована вполне достойная картинка измерений концентрации углекислоты в атмосфере[331].



В отчёте IPCC 2007 г



В отчёте IPCC 2013 г

Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol. 138

328 Timothy J. Bralower, Isabella Premoli Silva, and Mitchell J. Malone, *New evidence for abrupt climate change in the Cretaceous and Paleogene: An Ocean Drilling Program expedition to Shatsky Rise, northwest Pacific*, GSA TODAY, NOVEMBER 2002, стр 4-10.

329 См. ссылку 313.

330 https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4-wg1-errata.pdf

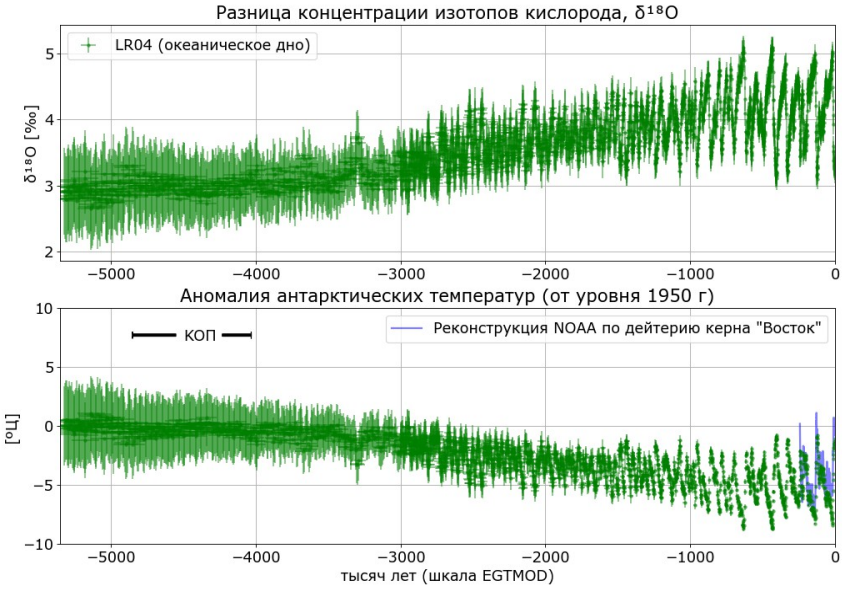
331 Masson-Delmotte, V., M. Schulz, A. Abe-Ouchi, J. Beer, A. Ganopolski, J.F. González Rouco, E. Jansen, K. Lambeck, J. Luterbacher, T. Naish, T. Osborn, B. Otto-Bliesner, T. Quinn, R. Ramesh, M. Rojas, X. Shao and A. Timmermann, *2013: Information from Paleoclimate Archives. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Во время Климатического Оптимума Эоцена-Палеоцена (КОЭП, он же по-английски PETM – Paleocene-Eocene Temperature Maximum) – 56-52 млн лет назад, концентрация углекислого газа была между 300 и 2'000 ppmv, то есть глобальные температуры ожидаются либо такие же, как в середине XX века, либо на 8-10 градусов выше; наиболее вероятное значение отклонения от уровня 1950-1990 годов: +4°. Кайнозойское оледенение началось при концентрации CO_2 между 500 и 1'000 ppmv, и только через 8 млн лет с начала оледенения уровень углекислоты постепенно снизился до современных 180-320 ppmv.

Двинемся далее по графику из Википедии. Чёрная кривая имеет две ссылки: «Лисеки (Liciecki) и Раймо (Raymo), 2005», «Хансен и др., 2013». Как и в случае с предыдущим графиком, Хансен и коллеги тут почти ни при чём – они просто цитируют данные Лоррейн Лисеки[332], причём даже не все 5.3 млн лет, а последние 3.5 миллиона. В отличие от Захоса и его соавторов, Лисеки и Раймо опубликовали и исходные данные, и результат работы в цифровом виде[333], правда, исключительно на собственной веб-странице. Официальная ссылка http://www.ngdc.noaa.gov/paleo/paleocean.html куда-то делась.

Реконструкция включает данные из 57 скважин тех же программ DSDP и ODP с широтами от 60° с.ш. до 45° ю.ш.; большинство точек бурения – в Атлантике. Общий график Лисеки за 5.3 млн лет, представленный с полным указанием неопределённости, должен выглядеть примерно как показано ниже. Сама автор пересчитывать изотопы кислорода в температуру отказалась, потому что это как вилами по воде писано. Программа **Chapter 17\Test_04_LR04_full.py**

Температурная аномалия Земли по Лисеки и Раймо (2005)

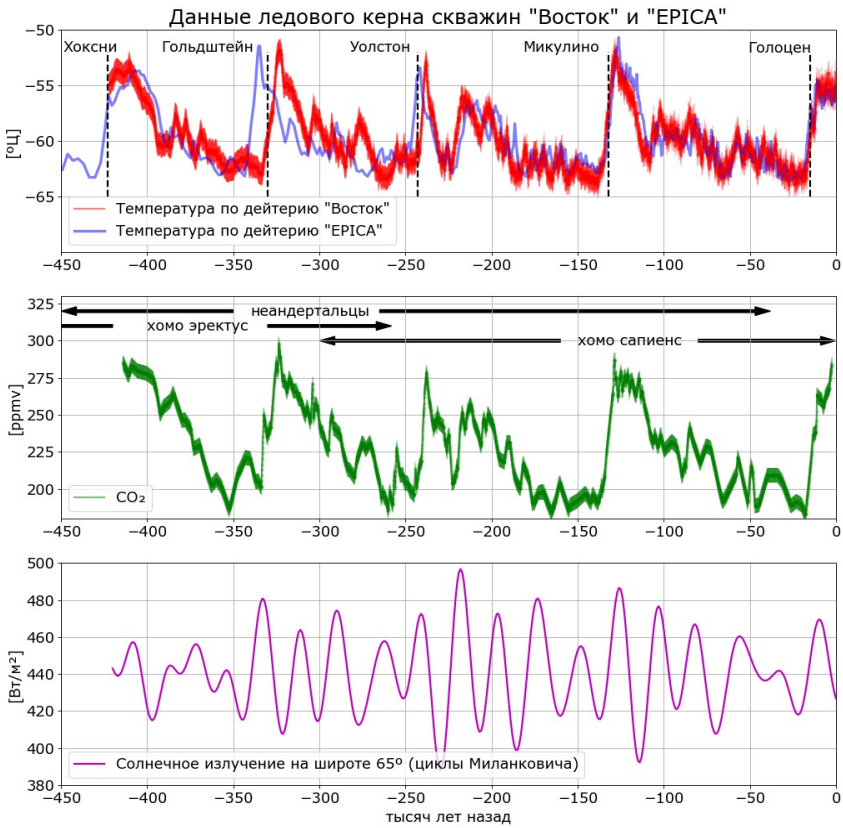


332 Lorraine E. Lisiecki, Maureen E. Raymo, *A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records*, PALEOCEANOGRAPHY, VOL. 20, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071, 2005

333 http://lorraine-lisiecki.com/stack.html, но не 57 скважин, а всего 51!

Становится понятным, почему авторы отчёта IPCC укоротили график Лоррайн Лисеки слева по отметке 3.5 млн лет. Политикам совершенно ни к чему знать, что 4.3 млн лет назад, во время климатического оптимума плиоцена (КОП), среднегодовая температура в Антарктиде была, вероятно, выше теперешней, что климат планеты последние 4 млн лет в среднем холодает, а колебания температуры Земли на десяток градусов – нормальное явление.

Изменение температур планеты за последние 400-500 тыс лет – со всеми оговорками про неопределённость как по времени, так и по абсолютным значениям – нам неплохо известна по ледовым кернам. Самый известный из известных кернов получен на советской антарктической станции «*Восток*», но есть и масса прочих, как в Антарктиде, так и в Гренландии. На нашем графике, сделанном программой **Chapter 17\Test_05_Vostok_EPICA.py** помимо «*Востока*» показана также скважина «*EPICA Dome C*» (она же на картинке Википедии).



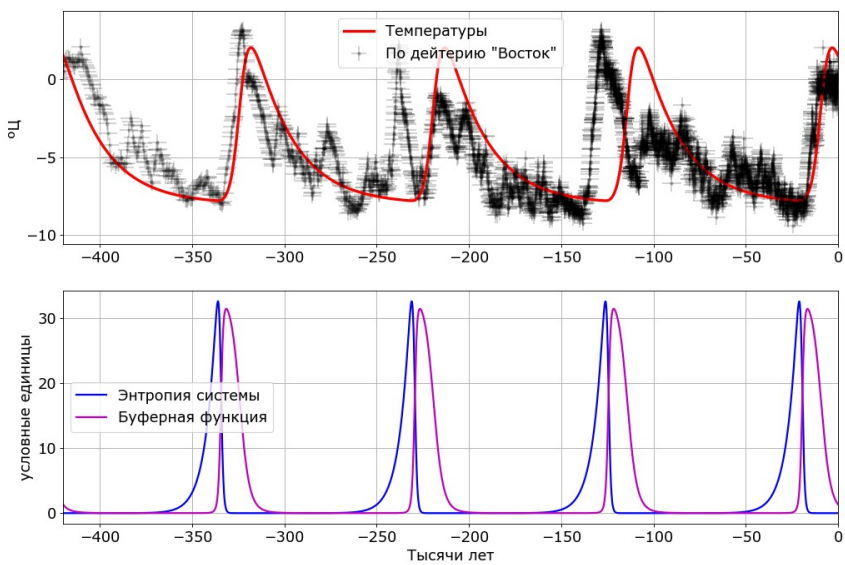
Мы живём в межледниковый период, называемый Голоценом; человек разумный пережил как минимум три похолодания и два межледниковья: Уолстон и Микулино. Межлениковья были не менее тёплыми, чем голоцен. Неандертальцы до голоцена не дожили, вымерев в Вейшельское, оно же «Висконсинское», похолодание. Наши прямые предки, хомо эректус, появившиеся на Земле более миллиона лет назад, вероятно, не сумели

пережить Саальское похолодание (около 130-190 тыс лет до наших дней). Упорно циркулируют гипотезы, что изменения климата за последний миллион лет вызваны деятельностью разумных человекообразных, в особенности рисоводством в Азии. Я даже видел на *Youtube* версию, что когда становится холодно и совсем невмоготу, разумные жгут большие костры, что приводит к лесным пожарам… Вряд ли к этому бреду сто́ит относиться серьёзно.

Гипотез, отчего медленные похолодания с периодичностью 80-120 тысяч лет сменяются резкими потеплениями, а потом снова начинает холодать, высказана масса. На изменение параметров земной орбиты первым обратил внимание шотландский учёный (по причине крайней бедности работавший уборщиком в музее университета Глазго) Джеймс Кролл (1821-1890), затем идею развивал сербский инженер и геофизик Милу́тин Мила́нкович (1879-1958). Согласно гипотезе Кролла-Миланковича, основную роль играет количество солнечной энергии, поступающей на Землю за год – годовая инсоляция – в высоких широтах северного и южного полушарий.

По состоянию на конец 2018 года связной теории, объясняющей цикличность ледниковых периодов, не существует. Климатологи делятся на три неравных лагеря. Первый лагерь, начиная с Кролла и Миланковича, пытается искать причины циклов за пределами Земли: тут и параметры земной орбиты, и изменение солнечной активности. Второй лагерь полагает, что внеземные механизмы важны, но надо искать причины самоорганизации и саморегуляции климата в пределах планеты.

Модель ледниковых периодов Л Маслова (2014 г)



К примеру, в модели Льва Маслова используется модифицированная система уравнений Лотки-Вольтерры-Колмогорова – задачка о зайцах и лисах, разобранная нами в главе 5. Выше показан расчёт из статьи Л.Маслова 2014

года[334]. В качестве энтропии системы может выступать «наземная вода»: ледники, реки, озёра, болота, грунтовые воды, вода, запасённая в зелёных растениях на суше, и т. п. Буферная функция – испарение этой воды в атмосферу и вызванный испарившейся водой (и в меньшей степени – углекислым газом от гниения вымерших растений) «парниковый эффект». Модель воспроизводится с параметрами автора программой **Chapter 17\Test_06_Maslov_Ice_Ages.py** Попадание у Маслова, прямо скажем, так себе, впрочем, у А.Бергера в начале 1980-х[335] получалось ещё хуже.

Работ по климату голоцена было много во второй половине XX века, но с развитием политического бомонда ГАКИК, примерно с 2000 года, возобладал третий лагерь климатологов. Эти утверждают, что палеоклимат на 20 тыс лет назад *изучать не нужно*. Раз технологической цивилизации тогда не было, то и причин для антропогенного изменения климата не было и быть, натурально, не могло. Кто глубже «индустриального периода» (примерно 1750 года новой эры) копнёт да вдруг, не дай Бог, заявит, будто температура плясала в то весёлое время без всякого вмешательства угля, нефти и газа – отрубим ~~хвост~~ финансирование! Большинство работающих на климатических грантах учёных молчаливо примкнуло к третьему лагерю.

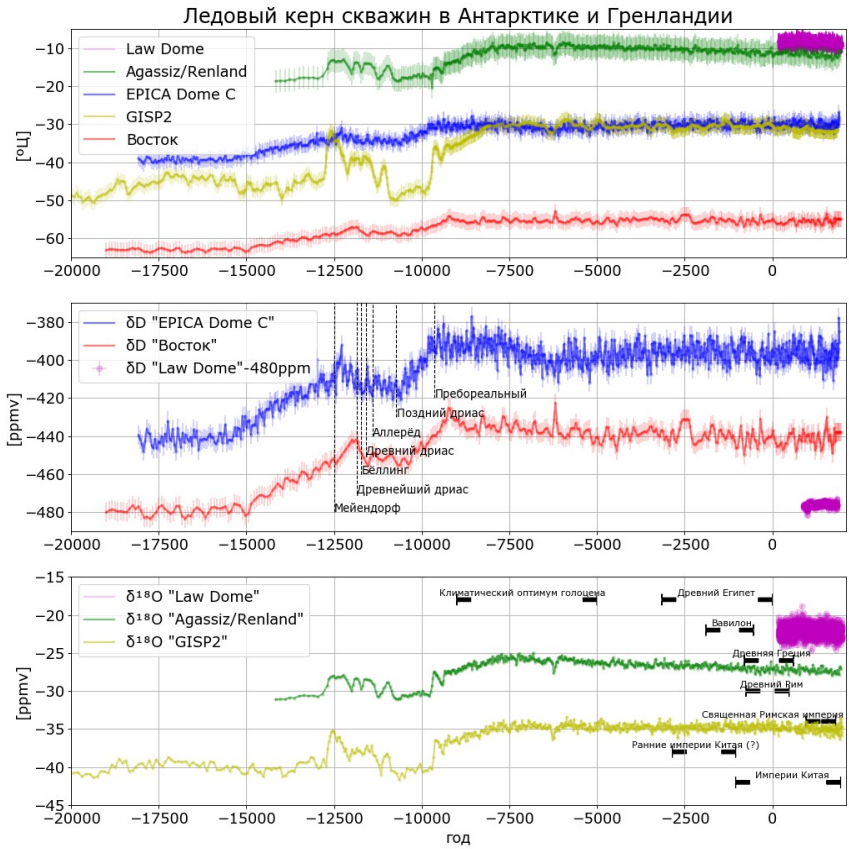
Добытые в XX веке ледовые керны Антарктики и Гренландии показаны ниже. Помимо упомянутых ранее скважин «*Восток*» и «*EPICA*», тут есть пробуренные на кромке ледового щита Гренландии «*Агассис*» и «*Ренленд*» и скважина на самой «макушке» того же щита «*GISP2*». Малиновым показана скважина «*Купол Ло*» (*Law Dome*) на побережье Антарктиды. Среднегодовые температуры на графиках – абсолютные, а не сдвинутые к условному нулю. Геологическое время можно смело заменить на астрономическое (Рождество Христово в нулевом году). Датировка ледового керна выполняется путём подсчёта годовых слоёв, точность в правой части графика ±10 лет (неясно, с какого конкретно года считать), а в левой части ±100 лет (могли обсчитаться). Программа **Chapter 17\Test_07_Vostok_EPICA_GISP2_LD.py**

Температуры ледового щита Гренландии менялись энергичнее антарктических. Около 15'000 лет до н.э. самоликвидация ледников на территории современного штата Нью-Йорк вызвала в Антарктиде очень плавное потепление: примерно 7-9°Ц за 2'600 лет, или 0.3° в столетие. В Гренландии всё двигалось в десять раз быстрее: 12° за три-четыре столетия. Период скоростного потепления Гренландии около 12'500 до н.э. у геологов называется – по имени формации и соседнего городка в Германии – Миендорфом. А дальше произошла… хочется написать «глобальная катастрофа», но на самом деле ничего, что историки и археологи (а не геологи) понимают под термином «глобальная катастрофа», не происходило. Балтийское ледниковое море, а затем и ледниковое море на месте Великих озёр Северной Америки открылись в приполярную Атлантику, добавив холодной пресной воды. Океанические

334 Maslov, L. A. (2014), *Self-organization of the Earth's climate system versus Milankovitch-Berger astronomical cycles*, J. Adv. Model. Earth Syst., 6, стр. 650–657

335 Berger A., *Insolation signatures of Quaternary climatic changes,* Il Nuovo Climinto 20(1), 1979, стр. 63-87

течения поменялись, макушка Гренландии похолодала на 8°, северное полушарие в целом – на 2-6°. Мифические пингвиногуманоиды Антарктиды записали в своих летописях похолодание на градус, аборигены тропической Австралии и экваториальной Африки ничего не записали (письменности не было), но археологи говорят, что вроде бы стало меньше дождей.

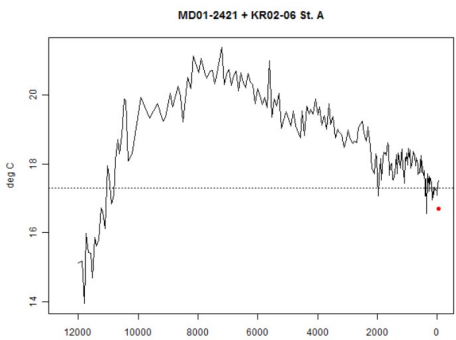


Забавные герои «*Ледникового периода*» (на врезке) преувеличивают скорости происходивших процессов примерно в полмиллиона раз. Глобальное похолодание северного полушария оказалось очень медленным: не более 0.4° в столетие. На фоне похолодания были периоды вре́менных – притом достаточно энергичных – потеплений: из крупных геологи выделяют Бёллинг (Bølling) и Аллерёд (Allerød) – оба по названиям геологических формаций в современной Дании.



В позднем дриасе[336] (10730±100 до н.э.) атлантические течения вернулись на место, и климат северного полушария начал стремительно теплеть: в Гренландии – до 12° за столетие, в умеренных широтах – до 4° за сто лет, затем потепление замедлилось. В 9640±100 году до н.э. наши предки, гордо подняв над головой каменные топоры, вступили в голоцен, и геологическая история закончилась. События, аналогичные прорыву ледниковых морей в дриасе, вероятно, происходили во всех прошлых межледниковьях: от Микулино до Хоксни и ранее. В горных породах и ледовом керне мы этих событий не видим, так как сильно *не хватает точности по времени*, чтобы сравнивать температуры южного и северного полушарий, как мы можем это делать для дриаса.

Существование климатического оптимума голоцена (КОГ, 9000-5000 до н.э.) подтверждает не только геология, но и археологические находки стоянок первобытных племён. Гляциологи заверяют, что на ледовом керне Антарктиды и Гренландии тёплый период отчётливо виден; геологи обнаруживают в концевых моренах современных ледников полноразмерные стволы теплолюбивых деревьев, росших тогда у самого полярного круга. Идея, что температуры 7'000 лет назад были выше на пару градусов, чем «до индустриальной эпохи» вызывает у политического бомонда ГАКИК зубовный скрежет, а учёным проплачивают гранты для квазинаучного переписывания геологии и археологии. Одна из таких работ и приведена на графике Википедии. Шон Маркотт со товарищи[337] выбрали 74 керна: из ледовых скважин Антарктики и Гренландии и из малоглубинных скважин в морских отложениях, смело отбросив всё, что можно было выбросить, не вызывая у геологов лишних вопросов. Например, отброшены «за ненадобностью» целиком гренландская скважина «*GISP2*» и последние (ближайшие к нашему времени) точки донных кернов «*MD01-2421*» и «*OCE-326/GGC30*». Красная точка на графике – это «ненужное» (как два туза в прикупе при заявленном мизере). Ноль соответствует 1950 году.



Дабы проверяльщики не лезли с советами, из ледовых скважин *вычистили изотопы кислорода*, а в качестве исходных данных химического анализа для вычисления температур авторами приводится… да сама же вычисленная температура. Наверно, кто-то ездил в прошлое на машине времени и ставил ледникам градусники. Три керна из списка авторов имеют разрешение по времени в 500 лет и более; то есть весь голоцен – порядка 20 точек. Сорок

336 Он же «верхний» дриас, по-английски «younger dryas». Никогда не говорите геологам «младший дриас», ибо засмеют. Эпоха названа по имени цветка – дриады восьмилепестной. Этот цветок – отличный маркер холодного климата: там, где прочие цветы вымирают, дриады цветут и пахнут.

337 Shaun A. Marcott, Jeremy D. Shakun, Peter U. Clark, Alan C. Mix, *A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years*, SCIENCE, VOL 339, 8 марта 2013, стр. 1198-1201

пять кернов имеют разрешение хуже 100 лет. Кернов с разрешением лучше 50 лет всего 9, из них «*Восток*» (разрешение 40 лет), «*EPICA Dome C*» и «*Агассис / Ренленд*» (разрешение 20 лет), мы уже видели. Остальные шесть героев никакого «консенсуса» не проявляют, можно только заключить, что на Фолклендах климат был не похож на Европу и Канаду.

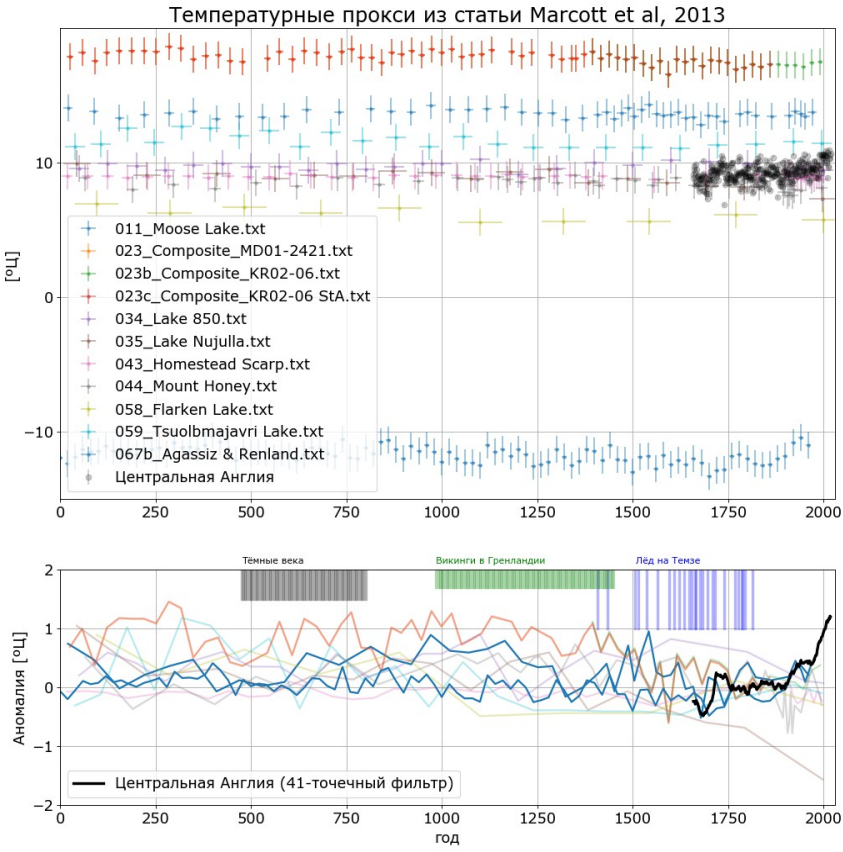
Девять из 74 использованных в статье кернов заканчиваются достаточно близко к нашему времени, чтобы можно было сравнить с данными наземных метеостанций. Сравнивать будем с климатической базой данных Центральной Англии, где наблюдения среднемесячных температур ведутся с 1659 года[338]. Желающие могут сравнить сами с данными HadCRUT[339], GISS[340] или Berkeley Earth[341]. Поскольку последние неплохо повторяют данные Центральной Англии и друг друга, сравнения с любой из четырёх баз при нашей точности данных вполне хватает.

№ файла	Керн	Датировка кровли	Разре-шение, лет	Разре-шение, лет/см	Корреляция с наблюдениями Центральной Англии
11	Озеро Муз, Канада	1970	50	34	Удовлетворительная
23	MD98-2181, KR02-06, KR02-06 боковой ствол A, морск. Япония	1991	60	22	Слабая
34	Озеро «850», Швеция	2000	80	70	Не коррелирует
35	Озеро Нуюула, Швеция	1998	190	29	Не коррелирует
43	Homestead Scarp, морск. Новая Зеландия	1995	70	24	Не коррелирует
44	Гора Honey (Медовая), Новая Зеландия	1995	110	21	Не коррелирует
58	Озеро Фларкен. Швеция	2000	100	42	Не коррелирует
59	Озеро Цуолбмаяври, Финляндия	1995	70	78	Не коррелирует
67	Agassiz и Renland, Побережье Гренландии	1960	20	Менее 0.1	Удовлетворительная

Если коротко, то на одном сантиметре керна умещается от 20 до 80 лет геологической истории (ледовые керны с разрешением 0.1 года/см – счастливое исключение). Данные палеотемператур при этом имеют погрешности до ±2°Ц: во-первых, объективная погрешность химического анализа, во-вторых, неопределённость пересчёта из химического состава в температуру, в-третьих,

338 1659-1973 MANLEY (Q.J.R.METEOROL.SOC.,1974), 1974 ON PARKER ET AL. (INT.J.CLIM., 1992), PARKER AND HORTON (INT.J.CLIM.,2005)
339 https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/
340 https://data.giss.nasa.gov/gistemp
341 http://berkeleyearth.org

неопределённости с источником осадков – откуда испарялась вода, превратившаяся потом в дождь или снег[342]. Программа **Chapter 17\Test_08_Vostok_EPICA_GISP2_LD_2K.py** рисует данные во временно́м масштабе последних двух тысячелетий.



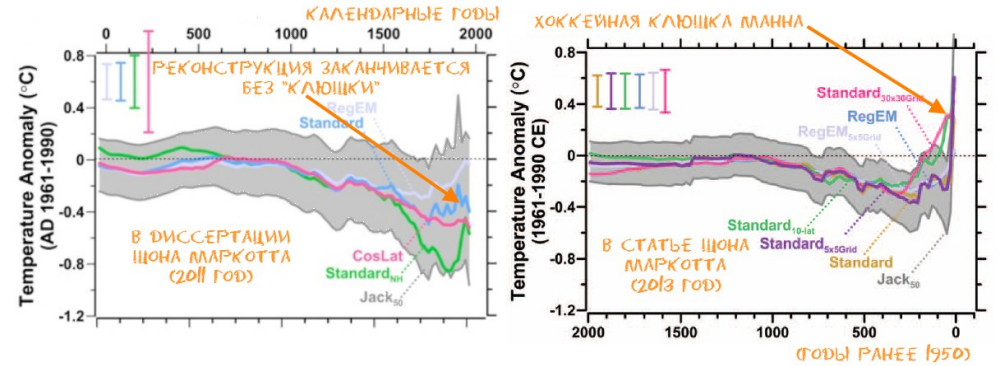
Озёра «точка 850» и Нуюула в Швеции расположены в 20 км друг от друга. Данные не коррелируют между собой и не коррелируют ни с одной из метеостанций в окру́ге. Если верить данным керна из Нуюула, климат Швеции *похолодал* с 1500 по 2000 годы на 1.3°, по данным «точки 850» – похолодание за тот же период на 0.5°. Озеро Муз и побережье Гренландии (синие кривые) кое-как коррелируют с Центральной Англией после 1659 года, но не коррелируют друг с другом до XVII века. Новозеландские скважины «*Homestead Scarp*» и «*Гора Медовая*» – 11 км друг от друга. Температуры до 500 года и после 1750 – одинаковые, а между этими датами – различаются на 0.5 градуса. Оба керна показывают *похолодание* в конце XX века. Различить столетние климатические аномалии в 1°, а то и в полградуса, на керновом материале просто невозможно. Мы знаем, однако, что во время Средневекового климатического оптимума (СКО, 950-1250 гг) викинги населяли Гренландию, а во время Малого ледникового периода (МЛП, 1300-

342 С циклом оледенений-межледниковий (например, по данным «*Восток*») проблем нет: там изменение климата Антарктики и Гренландии на 8-12°, *в пять раз больше* абсолютной погрешности.

1870 гг) судоходная в окрестностях Лондона река Темза замерзала 26 раз, и на льду устраивали ярмарки и народные гулянья – последний раз в 1814 году (гравюра в инициале этой главы). Пётр I вместе Великим посольством и аборигенами катался по голландским каналам на коньках[343]. Супротив писанной истории не попрёшь, разве что вслед за Фоменко и Носовским.

Обильно разбавив данные высокого разрешения информационным мусором, а потом всё усреднив методом Монте-Карло, смелым ~~британским~~ американским учёным удалось *заполировать* оптимум голоцена с +1.0-2.0 до +0.7° (от среднего 1950-90 гг). Полученную цифирь громко обозвали «базой данных» и выложили в виде… экселевского файла[344]. Никакого программного кода авторы журналу не представляли, а повторить численно их конкретную реализацию метода Монте-Карло невозможно: какая там была псевдослучайная последовательность, не знают вроде и сами авторы – «забыли записать».

Статья Маркотта и коллег – ярчайший пример научной апофении[345]. На графике выше *ни один* из 9 кернов с кровлей младше 1960 года не показывает повышения температур в конце XX века. Вроде бы, как ни усредняй данные, повышения температур после 1960 года и на среднем значении быть не должно. Добрые люди скачали защищённую в 2011 году кандидатскую диссертацию Шона Маркотта и сравнили график со статьёй 2013 года[346].



Когда уважаемый учёный писал свой диссер, его апофения только зарождалась: реконструкция честно заканчивается 1995 годом, понижение температур во время МЛП достигает -0.8°, потепление климата в конце XX века лежит в пределах серенькой неопределённости. Где-то между серединой 2011 и мартом 2013 года новоиспечённому PhD указали, что такую реконструкцию климата публиковать теперь не модно. Нет загиба климата

343 Каналы замерзали и в 2018 году: https://www.theguardian.com/world/2018/mar/03/ice-skaters-amsterdam-frozen-canals-europe-freeze-storm

344 https://science.sciencemag.org/content/suppl/2013/03/07/339.6124.1198.DC1 Я перевёл файл авторов в удобочитаемый программами вид и написал код для обработки. Желающие могут обратиться к Цифровому приложению книги.

345 Любимая психическая аберрация к.б.н. А.Панчина: в случайных данных человек находит то, что очень хочет найти. Ну или то, что ему *сильно порекомендовали* отыскать. Бесплатно: https://www.smashwords.com/books/view/461313

346 https://climateaudit.org/2013/03/14/no-uptick-in-marcott-thesis/

вверх на градус – нету ГАКИК, и индейский вигвам тебе, а не публикация! А нету публикации – не будет и грантов. Молодые авторы сдались – и отредактировали данные так, чтобы получился желаемый загиб[347]. Теперь на серенькой неопределённости -0.4° оказался уже Малый ледниковый период.

Статья Маркотта и его коллег писалась в спешке. Голову убитого КОГ намеревались повесить над камином в пятом отчёте IPCC. Ссылки на статью приводятся в отчёте 2013 года 4 раза, но апофенические графики благоразумно решили в документ не вставлять. Попробуй вставь: геологи с археологами и примкнувшими к ним историками тут же полезут на стену и разнесут вдребезги и уютный камин, и сам отчёт. Закончилось всё обнародованием на кривом графике температур из Википедии. К четвёртой панели графика (где данные «*EPICA*») – особых претензий нет, хотя стоило пририсовать к температурам неопределённости. Остальные четыре панели, как продемонстрировано выше, есть полное *фуфло*, несмотря на наукообразные ссылки[348] и прочую мишуру. График Маркотта – не первая «клюшка» в IPCC. Ниже приводятся графики из отчётов 2001 и 2013 годов.

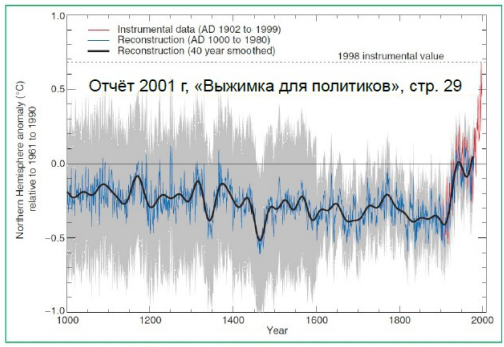
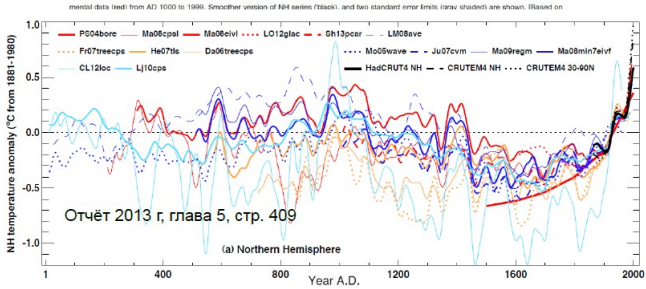


Figure 5: Millennial Northern Hemisphere (NH) temperature reconstruction (blue – tree rings, corals, ice cores, and historical records) and instrumental data (red) from AD 1000 to 1999. Smoother version of NH series (black), and two standard error limits (gray shaded) are shown. (Based on



Первую климатическую клюшку выпилил из канадской пихты в 1998 году[349] и протащил в отчёт 2001 года тогда ещё безвестный геофизик Майкл Манн (тот

347 Аргумент, что данные химанализа могли быть пересмотрены, не принимается. Авторы статьи сами никаких анализов не проводили и вообще не геохимики; они просто изменили (подделали, отредактировали – называйте как нравится) результаты процитированных в статье работ.

348 Ненаучны ссылки уже оттого, что допущены намеренные ошибки цитирования. *Verbum sapienti sat est*.

349 Mann,M.E., R.S. Bradley and M.K. Hughes, *Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries*. Nature, 1998, 392, стр. 779-787, а также Mann, M.E., R.S. Bradley, and M.K. Hughes, *Northern Hemisphere Temperatures During the Past Millennium: Inferences, Uncertainties, and Limitations*. Geophys. Res. Lett., 1999, 26, стр 759-762.

самый, что выпускает теперь книжки с карикатурами). Он изучал по годовым кольцам деревьев последние пару тысяч лет человеческой истории. Личными врагами Манна стали СКО и МЛП: он вознамерился доказать, что и то, и другое происходило только в Северной Европе. Возражений по собственно гипотезе Манна нет. В науке так принято: выдвигай свою гипотезу и превращай в теорию на здоровье. Только превращать надо без использования административного ресурса и заведомых искажений информации.

Политическому бомонду «хоккейная клюшка Манна» так понравилась, что в 2001 году её вставили в «*Выжимку для политиков*»: видите, высокопоставленные господа и дамы, климат Земли во время СКО (как бы рукоять «клюшки») был всего на 0.2-0.3° теплее, чем во времена МЛП, да и вообще МЛП – это, считайте, легенда. А что были недороды да эпидемии – это от темноты и скудоумия. В 1850 году в атмосферу пошёл проклятый углекислый газ, и климат потеплел на градус (это перо «клюшки»). Надо срочно с газом покончить и вернуться в 1600 год! Пускай и у нас наступят ~~темнота и скудоумие~~ добрые старые времена!

Нормальные учёные в хоккейную клюшку не поверили и принялись проверять, а Майкл Манн отказывался публиковать свои исходные данные и программный код. Википедия[350] утверждает, будто Манн *добровольно* передал в 2003 году данные и код канадским противникам ГАКИК: геологу Стивену Макинтайру и прикладному математику / экономисту Россу Маккитрику. Это очередная викилажа. В статье *2005* года[351] канадцы докладывают:

К сожалению, Манн и соавторы отказались предоставить исходный код своих программ за исключением малого (но важного) участка кода, использованного для вычисления собственных векторов палеотемператур по годовым кольцам деревьев. Манн и соавторы также отказались предоставить все вспомогательные расчёты для статьи MBH98, особенно касающиеся спорного алгоритма [там эйгенвектор взят по модулю с заменой похолодания на потепление – М.Я.] в 1400-1450 годах (так называемый «шаг AD1400»). Чтобы добиться публикации полного исходного кода и данных, мы обращались в журнал «Nature» и в финансировавший MBH98 Национальный научный фонд США, но безуспешно** [стр 70, перевод мой].

В ноябре 2009 года грянул «Климатгейт»: неизвестные (вроде бы российские) хакеры выложили в Интернет содержимое почтового сервера британского Центра климатических исследований при университете Восточной Англии[352]. Открылась неприглядная картина: не только заведомо неверное цитирование данных других исследований, но и попытки блокировать – в стиле народного академика Лысенко – публикации научных противников в реферируемых журналах[353]. По состоянию на 2018 год Манн заявляет, что выложил уже всё, «что не потерял и не удалил за ненадобностью»[354]. В это можно поверить, хотя… в 2017 году учёный, вероятно, лгал на телекамеру перед комиссией Конгресса США (не о климате, а о своём членстве в НГО)[355]. Что за ~~сраная~~

350 https://en.wikipedia.org/wiki/Hockey_stick_controversy

351 Stephen McIntyre and Ross McKitrick, *THE M&M CRITIQUE OF THE MBH98 NORTHERN HEMISPHERE CLIMATE INDEX: UPDATE AND IMPLICATIONS*, Energy & Environment, Vol. 16, No. 1, 2005, стр 69-100.

352 По альтернативной гипотезе почту слил уволенный из университета сисадмин.

353 *The Climategate Emails edited and annotated by John Costella*, The Lavoisier Group, March 2010, бесплатно: https://www.lavoisier.com.au/articles/greenhouse-science/climate-change/climategate-emails.pdf

354 http://www.meteo.psu.edu/holocene/public_html/Mann/tools/tools.php

355 https://www.nationalreview.com/2017/03/michael-mann-house-testimony-climate-change-embarrassing-rude/

странная наука, эта климатология! Говорим, вроде, о реконструкциях температур, а всё в политику засасывает.

При этом нельзя сказать, что человеческая цивилизация на климат вовсе не влияет. Локализованное – в пределах региона – влияние может быть очень быстрым (менее поколения) и очень интенсивным. Свели леса, распахали – снизилось альбедо, местный климат потеплел. Топим дома – летит сажа – снег сходит на две недели раньше срока. Построили дамбу – разлились водохранилище, повысилась влажность, как следствие – затяжная осень, ледяные дожди вместо снега. Закатали местность в асфальт – увеличилась эрозия оставшихся участков, появилась угроза катастрофических наводнений… Кстати, именно массовые вырубки лесов в Европе могли стать первопричиной выхода из Малого ледникового периода. Однако, человеческое вмешательство в климат может быть и благоприятным: восстановили лес на острове Св.Елены – получился курорт.

До примерно 1980 года должность «климатолог» была чем-то между государственным статистиком и архивариусом. Вы хотите строить мост через реку Большая Вонючка – идёте к районному климатологу. Какой у нас бывает подъём воды? Климатолог какое-то время копается в шкафу – архивы тогда были бумажные – и выдаёт: «В Большой Вонючке средний уровень воды – 11.2 фута, минимум был в июле 1933 года – 6.6 фута, максимум – в марте 1899 – 27.6 фута». Как ответственный инженер-проектировщик, вы строите мост в 30 футах над водой – чтобы при среднем уровне уверенно проходила баржа с буксиром, а при исключительном весеннем паводке мост не снесло, и машины колёс не замочили. Аналогично климатолог мог посоветовать вам, какие бывали в районе максимальные и минимальные температуры воздуха, а вы по этим данным проектировали градирни вашей будущей ТЭЦ.

С созданием IPCC всё переменилось. Теперь климатологи стали выдавать советы политикам и даже вычислять налоги. Оказалось, что ковыряться на берегу Большой Вонючки, а тем более запускать атмосферные зонды в окрестностях пустыни Сахара – над одной из стран из «списка Чуковского» – совсем не обязательно. Надо поглядеть на выработку электроэнергии на местной ТЭЦ, поделить на заявленный КПД, пересчитать топливо в тонны углекислого газа… готово! Энергетики платят «углеродный» налог и воленс-ноленс раскидывают затраты на потребителей, а у бюрократа есть бюджет.

Примерно с 2005 года возникла мода на «аттрибуцию» экстремальных климатических явлений. В телевизоре появляется говорящая голова «эксперта» и сообщает, что вчерашний ураган, наводнение или лесной пожар вызваны глобальным потеплением. Самое интересное, я ни разу не видел, чтобы голова высунулась и произнесла: «Британские учёные однозначно определили, что ураган Бубба никак не связан с антропогенным изменением климата! Научный консенсус установлен; конкретно в этом урагане человек совершенно не виноват!» Скоро на глобальное потепление начнут списывать

Запись заседания (2 часа 11 минут): https://www.youtube.com/watch?v=_3_sHu34imQ

не только гражданскую войну в Сирии, но и выборы неугодных Евросоюзу президентов. Историки пожимают плечами: ураганы, гражданские войны и выборы случались и в XV веке – задолго до глобального потепления. Те, кто внимательно читал отчёты IPCC, удивляются ещё больше. Уважаемая говорящая голова! В ваших любимых отчётах ясно сказано: «корреляции между потеплением и частотой / интенсивностью экстремальных погодных явлений (ураганов, циклонов, штормов и торнадо) – пока не наблюдается». Вы за «научный консенсус» или будете IPCC отрицать?

О «краткосрочном» (на 50-100 лет вперёд) моделировании климата речь пойдёт ниже, а пока – итоги главы:

- Никакого «научного консенсуса» по климату Земли не существует. Настоящая наука вообще понятием «консенсус» не оперирует, есть понятие «научная парадигма». Там, где кончается дискуссия и начинается «консенсус», – кончается наука.
- Текущая научная парадигма по климату: климат менялся всегда (в пределах всей обозримой геологической истории – миллиарды лет), климат меняется сейчас и всегда будет меняться. Наиболее сильные, несравнимые с наблюдениями XVII-XXI веков, изменения в климате приходятся на периоды, когда у вида *homo sapiens* не было не только технологической цивилизации, но и цивилизации как таковой. Призывы типа «назад в пещеры – спасай климат!» – просто дешёвая пропаганда.
- Причин изменения климата много, и углекислота в атмосфере вроде одна из этих причин, но не самая важная. Альбедо (то есть снег и облака), а также водяной пар в атмосфере куда важнее. Точной модели изменения климата Земли учёные пока построить не могут – сильно не хватает данных. Основной причиной нехватки данных как раз является «научный консенсус» ГАКИК, когда невероятно трудно публиковать противоречащие «консенсусу» результаты, а исследования, могущие (хотя бы в принципе) поколебать «консенсус» – плохо финансируются и оттого идут медленно.
- Современная цивилизация живёт в «относительно тёплое время очень холодного оледенения». Предыдущее оледенение на Земле (Кару) было около 360 млн лет назад и длилось около 100 млн лет. Текущее оледенение – Позднекайнозойское – началось около 34 млн лет назад. До оледенения небо было ярче, а трава – зеленее. В Сахаре шли проливные дожди, уровень океана был на 100 м выше теперешнего, полярные шапки существовали, но были вдвое меньше тех, которые у нас сейчас. Во время Позднекайнозойского оледенения выделяют «ледниковые» и «межледниковые» периоды; наш последний межледниковый называется голоценом, он начался около 12 тысяч лет назад, а относительно стабильная температура держится последние 11 тысяч лет. Предыдущие межледниковые периоды вполне могли быть существенно теплее нынешних, например, микулинский / эемский

оптимум (130-125 тыс лет назад).

- Уже в пределах последних 12 тыс лет выделяют климатический оптимум голоцена (9000 - 5000 до н.э.), когда среднегодовые температуры были выше на 1.5-2°Ц, но на экваторе скорее наблюдалось похолодание на полградуса. Сахара при этом цвела и зеленела, имея на 300 мм больше осадков, чем теперь. Больше осадков было по всему миру, за исключением Канады, где было на 50 мм меньше нынешнего. В писаной истории отмечаются и меньшие аномалии климата: Римский оптимум, Средневековый оптимум, Малый ледниковый период (МЛП, 1300-1850), климатический оптимум XXI века. **Никто не отрицает, что после МЛП климат Земли потеплел примерно на градус** (это не климатология, а история). Не исключено, что в текущем тысячелетии начнётся новый ледниковый цикл, но бояться его не сто́ит: геологические данные свидетельствуют, что похолодание будет относительно медленным: не быстрее 1-2° за 1000 лет.
- Если вам говорят, что «скорость изменения климата за последние 100 лет *беспрецендентна*», – бейте ~~не в бровь, а в глаз~~ вопросом: «а как же *дриас*?» Всего 12-14 тысяч лет назад климат менялся (в обе стороны) значительно быстрее, чем теперь, и человек явно не виноват. Вероятнее всего, ваш наивный оппонент даже слова «дриас» не знает, либо путает с «триасом». Даже если не вспоминать дриас, скорость похолодания в начале МЛП видимо сравнима со скоростью современного потепления. Ничего «беспрецендентного».
- В целом, глобальное потепление в пределах климатического оптимума XXI века будет скорее благоприятным для биосферы планеты: уже отмечается увеличение биомассы (планета «зеленеет»), увеличение количества осадков в пустынных районах, уменьшение количества лесных пожаров по сравнению с 1930-ми. Статистически значимых изменений в частоте торнадо, ураганов, наводнений, засух и прочих природных катастроф по состоянию на 2018 год не зарегистрировано. Попытки «связать ураганы с глобальным потеплением» – типичная псевдонаука (наподобие астрологии), всё легко опровергается прямыми наблюдениями и историческими записями, **а также противоречит официальным отчётам IPCC** [32].
- С точки зрения пределов роста глобальные изменения климата – эффект второго порядка малости. Разрушение локальных экосистем от деятельности человека: сведение лесов, распашка целины, строительство гигантских водохранилищ, свалок, парков солнечных панелей и т.п. – имеют куда большее влияние на климат, чем выбросы углекислого и других «парниковых» газов.



Глава 18.
Эффект Аррениуса.

Происхождение второй рукописи загадочно – столь же загадочно, как и её содержание. Георгий Анатольевич вручил мне её вскоре после того, как определилась тема моего отчёт-экзамена. Он сказал, что эта рукопись может оказаться полезной для моей работы, во всяком случае, она способна вывести меня из плоскости обыденных размышлений. Этих слов его я тогда не понял, не понимаю я их и сейчас. Видимо, не так-то просто вывести меня из плоскости обыденных размышлений.

А. и Б. Стругацкие «Отягощённые злом»

В предыдущей главе вы рассмотрели гипотезу антропогенного катастрофического изменения климата (ГАКИК), причём по оси времени откладывали периоды в тысячи и даже миллионы лет. С точки зрения «*Пределов роста*» – время громадное, а мы пытаемся, вслед за авторами бестселлеров 1972 и 2012 годов, выдать прогноз «всего лишь» до конца XXI века.

Даже о том, что происходило в науках о климате за последние 200 лет, сторонники ГАКИК честно писать уже разучились, приходится лезть в первоисточники.

Нам пишут, будто термин «парниковый эффект» был введён в оборот знаменитым физиком и инженером Жаном Батистом Жозефом Фурье (1768-1830) в статье 1827 года «*Заметки о температуре земного шара и межпланетного пространства*»[356]. Фурье цитирует там эксперимент геолога и альпиниста Ораса Бенедикта де Соссюра (1740-1799):

Эксперимент состоит в том, что сосуд, закрытый одним или несколькими листами высокопрозрачного стекла, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, около полудня выставляется под прямые лучи Солнца[...] Термометры, размещённые в сосуде и в пространствах между пластинами, регистрируют степень тепла, приобретённого в этих полостях. В ходе различных экспериментов наблюдалось, что термометр в сосуде поднимается до 70°, 80°, 100°, 110° по шкале Реомюра или даже выше. Термометры, помещённые в промежутки между листами стекла, показывают намного более низкую степень приобретённого тепла, постепенно уменьшаясь от основания коробки до верхнего среза.

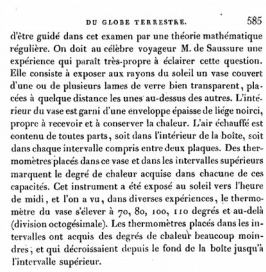
Фурье признаётся, что эксперимента сам не проводил. Температура в 110° Реомюра, то есть 137°Ц, представляется совершенно нереальной[357]; мои собственные замеры с использованием сделанной полукустарным способом духовки дают до 96°Ц градусов в безоблачный летний полдень при температуре воздуха (в тени) выше 25°. Подозреваю, что моя духовка не самая лучшая, оттого привожу данные с официального ресурса продвинутых энтузиастов[358]. Они получили на 7° больше.

---

356 Jean-Baptiste-Joseph Fourier, *Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires*, Memoires d l'Academie Royale des Sciences del'Institute de FranceVII570-604, 182

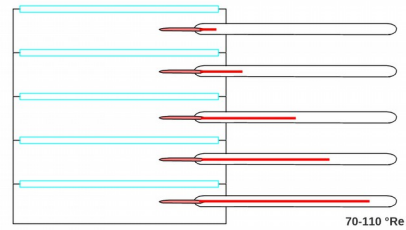
357 Переводчик R.T.Pierrehumbert пытается объяснить, что Фурье не разобрался и принял градусы Цельсия в письме де Соссюра за градусы Реомюра. Вполне возможно. Это только подтверждает, что Фурье эксперимент де Соссюра не проверял и сам никуда термометры не вонзал.

358 http://solarcooking.org/newsarchive.htm Добиться температур свыше 100° можно с применением зеркал

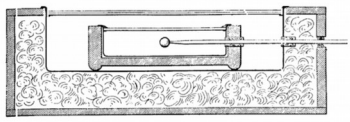


DU GLOBE TERRESTRE. 585

d'être guidé dans cet examen par une théorie mathématique régulière. On doit au célèbre voyageur M. de Saussure une expérience qui paraît très-propre à éclairer cette question. Elle consiste à exposer aux rayons du soleil un vase couvert d'une ou de plusieurs lames de verre bien transparent, placées à quelque distance les unes au-dessus des autres. L'intérieur du vase est garni d'une enveloppe épaisse de liége noirci, propre à recevoir et à conserver la chaleur. L'air échauffé est contenu de toutes parts, soit dans l'intérieur de la boîte, soit dans chaque intervalle compris entre deux plaques. Des thermomètres placés dans ce vase et dans les intervalles supérieurs marquent le degré de chaleur acquise dans chacune de ces capacités. Cet instrument a été exposé au soleil vers l'heure de midi, et l'on a vu, dans diverses expériences, le thermomètre du vase s'élever à 70, 80, 100, 110 degrés et au-delà (division octogésimale). Les thermomètres placés dans les intervalles ont acquis des degrés de chaleur beaucoup moindres, et qui décroissaient depuis le fond de la boîte jusqu'à l'intervalle supérieur.

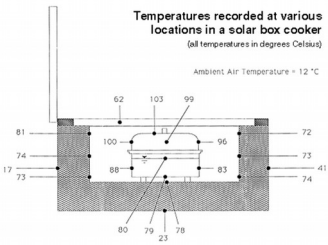


Как Фурье представлял эксперимент де Соссюра



Cross-section of Langley's hot box, which was similar to de Saussure's later models. A thermomether penetrating the walls at right was used to measure the air temperature inside the inner box.

Как делал эксперимент Орас де Соссюр



Современный эксперимент с солнечной духовкой

Главное, правда, не абсолютная температура, а то, что *между* стёклами никто температур не измерял. Если бы это было сделано, де Соссюр с удивлением увидел бы, что добавление стёкол, при достаточном времени наблюдений, температуру во внутреннем сосуде практически не меняет! Первым, кто за 120 лет эксперимент де Соссюра решил проверить, был знаменитый физик Роберт Уильям Вуд (1868-1955; этот парень вообще был неподражаемый спец в области «повтори и опровергни»). Всё опубликовано[359]. На ошибках великих мы учимся и *учим*! Эксперимент Вуда легко воспроизводится в рамках лабораторного практикума по физике в средней школе, но вместо каменной соли сейчас используют акриловый пластик. Да, Вуд прав, а де Соссюр и Фурье – ошибались. Повторяйте классические эксперименты почаще!

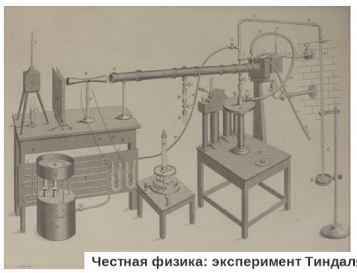
Притом, эксперименты надо *повторять*, а не *подделывать*. В школах часто демонстрируют «парниковый эффект», выставляя на солнце две склянки с термометрами, в одну налит уксус с содой для выделения углекислоты. Школьникам вещают при этом, будто «повторили знаменитый эксперимент Тиндаля»[360]. Нифига не повторили. У Тиндаля (в 1860 году!) были в эксперименте: инфракрасный (ИК) фильтр, очистка газов от паров воды, контроль температуры газа, «склянка» длиною в пару ~~метров~~ ярдов, термопара с уникальным для того времени сверхточным гальванометром… А всё, что физичка своими градусниками доказала: «водяной пар имеет бóльшую теплопроводность по сравнению с сухим воздухом», да и то не количественно.

(«концентраторов»), но у де Соссюра зеркал ведь не было. В моих экспериментах я направляю зеркало духовки в сторону.

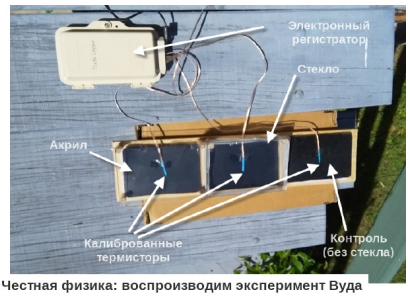
359 Professor R. W. Wood, *Note on the Theory of the Greenhouse* Philosophical Magazine in 1909 (Vol. 17, pp. 319-320)

360 В качестве альтернативного изобретателя термина «парниковый эффект» иногда называют популяризатора науки и блестящего экспериментатора Джона Тиндаля (Tyndall, 1820-1893), эксперимент которого приведён выше. Я не смог обнаружить у Тиндаля ни одной публикации с использованием терминов «greenhouse» либо «hot-house», более того, в 1896 году Аррениус пишет: «…Тиндаль полагает, что водяной пар имеет гораздо большее значение в излучении с поверхности Земли, в то время как Леклер и Пернтер считают, что углекислота важнее» (стр. 239).

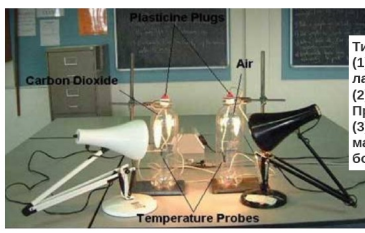
Эффект поглощения/переизлучения в линейных размерах двухлитровой банки (скажем, 15 см) простым школьным термометром вообще зарегистрирован быть не может – от углекислоты там примерно 0.03 градуса разницы, остальное приходится на другие эффекты, например нагрев *стенок* вашей посудины ИК-излучением на десятки градусов Цельсия.



Честная физика: эксперимент Тиндаля



Честная физика: воспроизводим эксперимент Вуда



Типичное враньё:
(1) Обратите внимание, как расположены лампы!
(2) А где у нас будет контрольный термометр? Правильно, Вовочка! В ж... Садись, пять!
(3) Кстати, те лампочки, что можно купить в магазине, имеют разброс светимости в 10% и более.

Во вранье замечены не только простые школьные физички, но и британские учёные. Доктор-профессор, сэр (то бишь рыцарь ордена Британской империи) Дэйвид Кинг вешал школьникам лапшу на уши с экрана «*BBC*»[361]. Американские сэры не отстают, хотя им слегка мешает отсутствие докторских степеней и британских орденов. С телеэкрана школьной учебной программы дуэтом лгали политик Ал Гор и «популяризатор науки» Билл Най.

Фурье никто критиковать не собирается – он отражал воззрения физики начала XIX века, например, совершенно пренебрегал конвекцией. Атмосферу Земли с парником учёный никогда не сравнивал, слóва «парниковый» (*de serre*) по отношению к атмосфере не употреблял, про углекислый газ и химический состав атмосферы не писал ровным счётом ничего.

Первая модель с зависимостью глобальных температур от углекислоты в атмосфере, насколько научному сообществу известно, была выполнена в 1896 году[362] химиком Сванте Августом Аррениусом (1859-1927, фото на заставке этой главы). К моменту, когда Аррениус писал свою статью, наука вперёд ушла, и статья Фурье уже представляла сугубо историческую ценность. Аррениус первый сравнил атмосферу с парником и приписал это сравнение Фурье: «Фурье считал, что атмосфера работает *подобно стеклу парника*, пропуская к земной поверхности видимые лучи Солнца и задерживая

361 https://wattsupwiththat.com/2009/12/24/bbc-botches-grade-school-co2-science-experiment-on-live-tv-with-indepedent-lab-results-to-prove-it/

362 Svante Arrhenius, *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground*, Philosophical Magazine and Journal of Science, Series 5, Volume 41, April 1896, стр. 237-276.

невидимые лучи, испускаемые этой поверхностью» (стр. 237). Но и сам Аррениус термин «парниковый эффект» (greenhouse effect) по отношению к атмосфере Земли тоже не использовал.

Фурье, Тиндаль и Аррениус были честными учёными XIX века и работали в рамках научной парадигмы своего столетия. Аппаратуры, способной удовлетворительно мерить поглощение в ИК-диапазоне, ещё не существовало. В докладе Тиндаля о поглощении в газах[363] 36 страниц, из них 5 посвящено собственноручной намотке катушек гальванометра и встреченным при этом проблемам. Тиндаль со своим аппаратом доказал, что разные газы: кислород, азот, углекислота, сероводород, и так далее – поглощают свет немного по-разному. Несмотря на все усилия, точных численных значений гениальный экспериментатор выдать не смог и оттого оценил качественно: «*В малых концентрациях [то есть при пониженном давлении] углекислый газ поглощает примерно в 150 сильнее, чем та же концентрация кислорода. При нормальном атмосферном давлении поглощение чистой углекислоты примерно в 100 выше, чем у чистого кислорода*» (стр. E2). Таково было состояние экспериментальной физики того времени: скорость света образца 1862 года в эксперименте Фуко-Уитстоуна – 298'000±500 км/с; значение из 2018 года: 299'792.4580±0.0005. Фуко даже погрешность своих измерений оценил слишком оптимистично: надо было писать «298'000±1% км/с». На аппарате Фуко точность лучше одного процента в принципе недостижима.

Аррениус использовал в своей работе значения светимости Луны, полученные в 1880-х астрофизиком Самюэлем Пирпонтом Ленгли (1834-1906). Чем выше Луна над горизонтом, тем меньшую толщу атмосферы приходится лунному свету пронзать – ну и далее математика.

TABLE VII.—*Variation of Temperature caused by a given Variation of Carbonic Acid.*

Latitude.	Carbonic Acid = 0·67.					Carbonic Acid = 1·5.					Carbonic Acid = 2·0.					Carbonic Acid = 2·5.					Carbonic Acid = 3·0.				
	Dec.–Feb.	March–May.	June–Aug.	Sept.–Nov.	Mean of the year.	Dec.–Feb.	March–May.	June–Aug.	Sept.–Nov.	Mean of the year.	Dec.–Feb.	March–May.	June–Aug.	Sept.–Nov.	Mean of the year.	Dec.–Feb.	March–May.	June–Aug.	Sept.–Nov.	Mean of the year.	Dec.–Feb.	March–May.	June–Aug.	Sept.–Nov.	Mean of the year.
70	−2·9	−3·0	−3·4	−3·1	−3·1	3·3	3·4	3·8	3·6	3·52	6·0	6·1	6·0	6·1	6·05	7·9	8·0	7·9	8·0	7·95	9·1	9·3	9·4	9·4	9·3
60	−3·0	−3·2	−3·4	−3·3	−3·22	3·4	3·7	3·6	3·8	3·62	6·1	6·1	5·8	6·1	6·02	8·0	8·0	7·6	7·9	7·87	9·3	9·5	8·9	9·5	9·3
50	−3·2	−3·3	−3·3	−3·4	−3·3	3·7	3·8	3·4	3·7	3·65	6·1	6·1	5·5	6·0	5·92	8·0	7·9	7·0	7·9	7·7	9·5	9·4	8·6	9·2	9·17
40	−3·4	−3·4	−3·2	−3·3	−3·32	3·7	3·6	3·3	3·5	3·52	6·0	5·8	5·4	5·6	5·7	7·9	7·6	6·9	7·3	7·42	9·3	9·0	8·2	8·8	8·82
30	−3·3	−3·2	−3·1	−3·1	−3·17	3·5	3·3	3·2	3·5	3·47	5·6	5·4	5·0	5·2	5·3	7·2	7·0	6·6	6·7	6·87	8·7	8·3	7·5	7·9	8·1
20	−3·1	−3·1	−3·0	−3·1	−3·07	3·5	3·2	3·1	3·2	3·25	5·2	5·0	4·9	5·0	5·02	6·7	6·6	6·3	6·6	6·52	7·9	7·5	7·2	7·5	7·52
10	−3·1	−3·0	−3·0	−3·0	−3·02	3·2	3·2	3·1	3·1	3·15	5·0	5·0	4·9	4·9	4·95	6·6	6·4	6·3	6·4	6·42	7·4	7·3	7·2	7·3	7·3
0	−3·0	−3·0	−3·1	−3·0	−3·02	3·1	3·1	3·2	3·2	3·15	4·9	4·9	5·0	5·0	4·95	6·4	6·4	6·6	6·6	6·5	7·3	7·3	7·4	7·4	7·35
−10	−3·1	−3·1	−3·2	−3·1	−3·12	3·2	3·2	3·2	3·2	3·2	5·0	5·0	5·2	5·1	5·07	6·6	6·6	6·7	6·7	6·65	7·4	7·5	8·0	7·6	7·62
−20	−3·1	−3·2	−3·3	−3·2	−3·2	3·2	3·2	3·4	3·3	3·27	5·2	5·3	5·5	5·4	5·35	6·7	6·8	7·0	7·0	6·87	7·9	8·1	8·6	8·3	8·22
−30	−3·3	−3·3	−3·4	−3·4	−3·35	3·4	3·5	3·7	3·5	3·52	5·5	5·6	5·8	5·6	5·62	7·0	7·2	7·7	7·4	7·32	8·6	8·7	9·1	8·8	8·8
−40	−3·4	−3·4	−3·3	−3·4	−3·37	3·6	3·7	3·8	3·7	3·7	5·8	6·0	6·0	6·0	5·95	7·7	7·9	7·9	7·9	7·85	9·1	9·2	9·4	9·3	9·25
−50	−3·2	−3·3	—	—	—	3·8	3·7	—	—	—	6·0	6·1	—	—	—	7·9	8·0	—	—	—	9·4	9·5	—	—	—
−60																									

363 John Tyndall, *The Bakerian Lecture: On the Absorption and Radiation of Heat by Gases and Vapours, and on the Physical Connexion of Radiation, Absorption, and Conduction*, Philosophical Transactions of the Royal Societ of London, Vol. 151 (1861), стр. 1-36.

Математики было много, вычисления заняли около года. В результате Аррениус получил, что при сокращении концентрации CO_2 в атмосфере на одну треть (от 290 ppm во времена Аррениуса до 190 ppm), температура планеты понизится в среднем на 3.2ºЦ. Аррениус проверить экспериментом свои вычисления не мог, но мы, по данным скважины «*Восток*» и другим ледовым кернам, проверить вполне способны. Двадцать тысяч лет назад концентрация углекислоты была как раз 190 ppmv, а температура в Антарктиде – ниже на 9-11ºЦ. Раз в Антарктиде на 10º холоднее, по планете в среднем вполне может быть на три градуса ниже. Зачёт! У Аррениуса приполярные температуры изменяются сильнее, чем тропические. Тоже зачёт.

Однако есть и проблема: у Аррениуса в модели летние и зимние температуры снижаются в унисон: по 3.2ºЦ, различие в две сотых несущественно. Современные данные говорят, что при наступлении ледникового периода зимние температуры в умеренных широтах должны снижаться существенно быстрее летних, из-за снежного и ледового альбедо. Вычисление показано в предыдущей главе, формула {17.5}.

Теперь проверим в другую сторону. При увеличении концентрации CO_2 на 50% Аррениус обещал потепление климата: в среднем по планете (исключая полярные широты) – на 3.4ºЦ, зимних температур – на 3.2, летних – на 3.4. Плюс пятьдесят процентов от уровня углекислоты времён Аррениуса – это 435 ppmv. По данным обсерватории Мауна Лоа (файл находится в Цифровом приложении), в 2018 году было 408.5 ppmv. Повышения глобальных температур на три градуса что-то не наблюдается. При удвоении концентрации углекислоты Аррениус насчитал в разных климатических зонах от 4.95 до 6.05ºЦ.

Если по чести, то термин «парниковый эффект» нужно заменить на «эффект атмосферного одеяла» («air blanket effect») или, ещё лучше, на «эффект Аррениуса» – по имени первого автора. Как доказал Вуд в 1909, и как сейчас может проверить каждый девятиклассник, физика разогрева поверхности Земли от поступления в атмосферу свободного углекислого газа к сельскохозяйственному строению класса «парник/теплица» (и к солнечным духовкам тоже) никакого отношения не имеет! Уравнения совсем другие; эффект *на два порядка* слабее.

О выбросах углекислого газа человеком Аррениус не упоминал, ограничившись геологией. Временной горизонт Аррениуса – тысячи или десятки тысяч лет. Критики отмечали, что попытка объяснить ледниковые периоды *исключительно* углекислотой неизбежно требует геологических катастроф. Например, извержение супервулкана вызывает огромный выброс углекислого газа, планета нагревается; затем растительность, кораллы и планктон за какое-то время потребляют углекислоту из атмосферы, и планета остывает, оставаясь в этом замороженном состоянии бесконечно, если только не случится новое извержение или столкновение с метановой кометой… Такая гипотеза имела право на существование в конце XIX века, пока не было

бурения в Антарктиде и Гренландии, и геологи не знали про цикличность ледниковых периодов в 80-120 тысяч лет. Теперь катастрофические гипотезы вступают в противоречие с массой накопленных геологических наблюдений и замеров. Как минимум, вы должны найти следы четырёх катаклизмов, происходивших примерно 330, 240, 140, и 16±2 тысяч лет назад – это «геологическое вчера», там следов не обнаружено, хотя их интенсивно искали.

После статьи Аррениуса в теоретической климатологии возникло сорокалетнее затишье. В начале 1930-х за дело принялся настоящий британский ~~учёный~~ инженер-теплотехник Гай Стюарт Каллендар (Callendar, 1898 – 1964)[364]. Каллендар первый указал на сжигание ископаемого топлива как источник «дополнительного» углекислого газа в атмосфере. Правда, по скорости накопления CO_2 инженер сильно ошибся: он полагал, что в 2000 году будет 335 ppmv, в 2100 – 396, в 2200 – 458. По факту 396 ppmv получилось в 2013 году, по состоянию на конец 2018 – уже 408, а 458 мы достигнем, согласно прикидкам из главы 9, где-то между 2040 и 2055 годами, опережая предсказание Каллендара на 150 лет. Винить инженера за ошибку нельзя: он не мог предсказать аппетиты цивилизации[365].

На основании доступных в ту пору данных по спектральному поглощению углекислоты и водяного пара[366] Каллендар рассчитал повышение средних температур от концентрации CO_2 в атмосфере. График, подсчитанный на логарифмической линейке и нарисованный Каллендаром от руки, приводится ниже (я выполнил оцифровку и расставил точки).

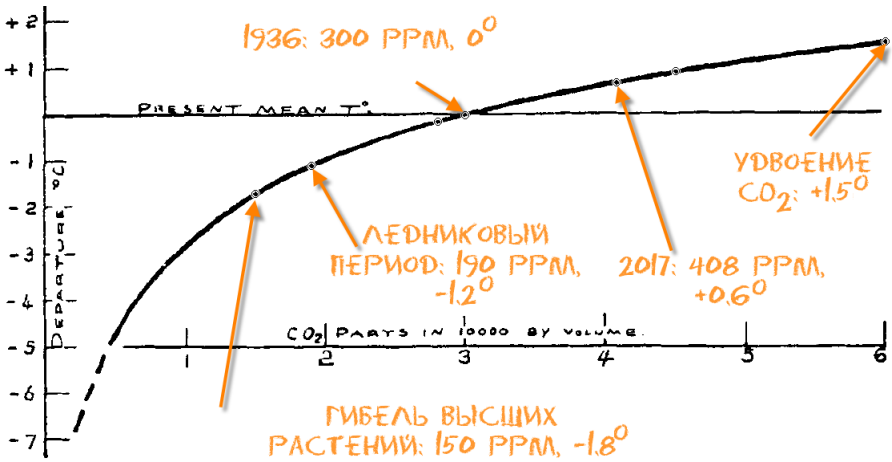


FIG. 2.—Change of surface temperature with atmospheric carbon dioxide (H_2O vapour pressure, 7·5 mm. Hg.)

Политический бомонд ГАКИК, превознося Каллендара за «открытие

364 Callendar, G. S., *The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature*, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1938, стр. 223-240.

365 Аналогично не верил в безразмерные человеческие аппетиты М.К.Хабберт в 1956 году. График по углю на странице 294, а по нефти – на стр. 321.

366 H. Rubens and E. Aschkinass, *Observations on the Absorption and Emission of Aqueous Vapor and Carbon Dioxide in the Infra-Red Spectrum*, Astrophysical Journal 8 (1898) стр. 176.

человеческого фактора» в области климата, как-то всё забывает сообщить читателям об абсолютной *величине* рассчитанного эффекта. Потепление у инженера, конечно, антропогенное, но вовсе не «катастрофическое». Снижение в ледниковых периодах – от 1.2 до 1.8°Ц в среднем по планете. Все значения – примерно в 3-4 раза *меньше*, чем оценка Аррениуса.

Вот, к примеру, обзорная статья «*Сравнение моделей Аррениуса и Каллендара с современными моделями климата*» за авторством известного сторонника ГАКИК Фила Джонса (кстати, одного из ведущих персонажей «Климатейта») с соратниками[367]. Формула Каллендара проста как грабли – во всех странах мира инженеров учат выражаться просто, но точно:

$$\Delta T = 1.5 \log_2 \frac{P_{CO_2}}{300}$$

Если вы увеличили концентрацию вдвое, до 600 ppmv, должно получиться изменение температуры ровно на 1.5 $\log_2 2 = 1.5$°Ц. Логарифм по основанию два от двойки можно взять в уме, не правда ли? Джонсу число «1.5» сильно не нравится, будто в известном мультике про прошлогодний снег: «маловато будет!» Начинаются камлания. Выдержки в таблице ниже – из статьи Джонса. Я преобразовал шаманские пляски с бубном к нормальному виду:

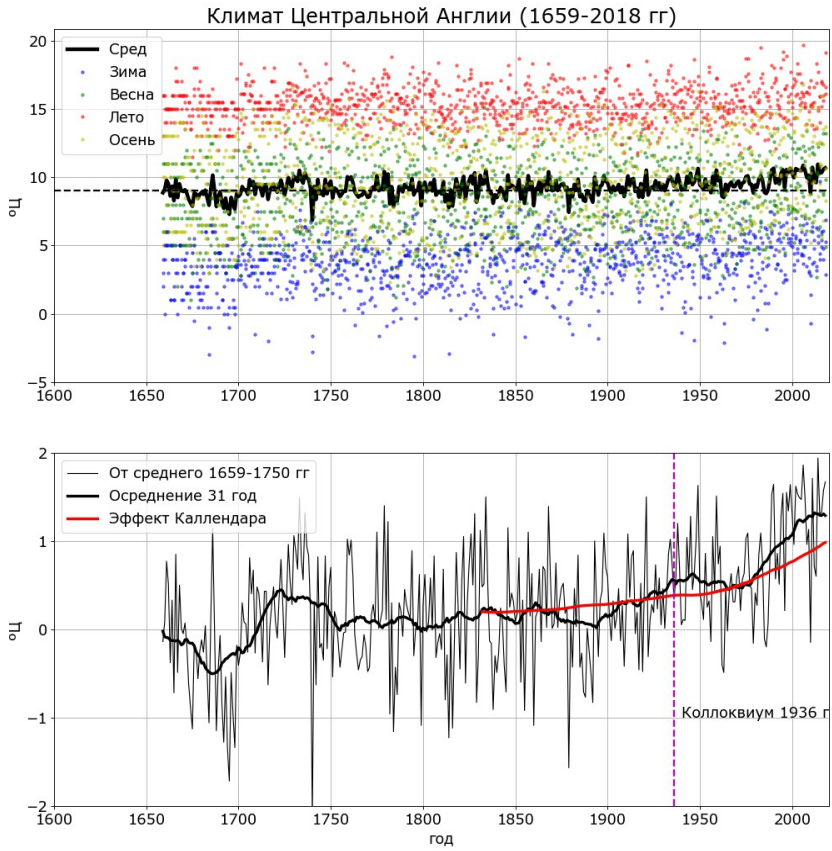
Подтасовка в статье Джонса (стр 182, внизу)	Преобразование формулы
twenty-first century (next section), we fitted a single exponential for the range $220 \le pCO_2 \le 600$ ppm (encompassing all pCO_2 greater than the preindustrial value of 280 ppm;[39] pCO_2 is the partial pressure of CO_2 in air): $\Delta T = 2.28\ln(pCO_2/100) - 2.50,$ (1) where ΔT is change in surface temperature of the Earth in °C and atmospheric pCO_2 is in parts per million (in Callendar's graph, as shown in Figure 5a, it is in parts per ten thousand). The equations indicate that, for today's pCO_2 levels in the atmosphere (just over 400 ppm), a doubling of CO_2 would lead to a temperature rise of roughly 1.6 °C (Eq. (1); $1.6 = 2.28\ln(2)$), not accounting for other feedbacks in the climate system.	$\Delta T = 2.28 \ln(\frac{P_{CO_2}}{100}) - 2.50$ $\Delta T = 2.28 \left[\ln(\frac{P_{CO_2}}{100}) - 1.096 \right]$ $\Delta T = 2.28 \left[\ln(\frac{P_{CO_2}}{100}) - \ln(3) \right]$ $\Delta T = 2.28 \ln(\frac{P_{CO_2}}{300})$ $\Delta T = 1.58 \log_2(\frac{P_{CO_2}}{300})$

Джонс не только совершает подлог, заменяя «1.5» на «1.58», но и маскирует число натуральным логарифмом, превращая коэффициент в «2.28». Джонсу требуется именно число в районе 2.5 – об этом чуть ниже. Следует откровенное забалтывание читателя (выделение моё): «уравнение показывает, что *при нынешней концентрации углекислоты в атмосфере (около 400 ppmv)*, удвоение концентрации приведёт к росту температуры на 1.6=2.281n(2)

367 Thomas R. Anderson, Ed Hawkins and Philip D. Jones, *CO2, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models*, Endeavour Vol. 40 No.3, 2016, стр. 178-187.

градуса». А не при «нынешней»? Вот если бы в атмосфере было не 400 ppmv, а всего 218? Удвоение, как ни странно, приведёт к тем же 1.58° (ну или 1.50°, как в оригинале). Логарифм он такой вот логарифм! Демагогия в статье имеет простейшую цель: убедить читателя, что оригинал Каллендара *читать не надо*, а тем более не надо ничего читать с калькулятором в руках.

По оценке Каллендара, с 1936 года по 2018 температура Земли должна была возрасти на 1.5 $\log_2(409/300)$ = ⅔°Ц. С начала «индустриального периода» – примерно с 1750 года по 2018 – 1.5 $\log_2(409/280)$ = ⅘°. Сравнение результата Каллендара с климатической базой Центральной Англии выполняется программой **Chapter 18\Test_01_CE_Temperature.py** В качестве реальной концентрации CO_2 в атмосфере используются замеры обсерватории «*Мауна Лоа*» и анализ ледового керна скважины «*Купол Ло*»[368].



В те достославные времена просто так в журналах не публиковали[369]. Это сейчас раздел «Обсуждение» пишут сами авторы, возражая заочным реальным

368 Полное описание в главе 9 на стр. 192. Данные в Цифровом приложении.

369 Традиция дожила до 1970-х: в главе 6 было, как на коллоквиуме раздолбали «открытия» доктора Дж. Кэлхуна. В 2001 – уже всё: там же в 6 главе описано, как украинские «специалисты» отказали Ж.Лагерреру в праве публично задать автору монографии о *неорганическом происхождении каменного угля* пару-тройку неудобных вопросов.

либо даже вообще виртуальным воображаемым оппонентам. В 1936 году состоялся коллоквиум – официальный и очень очный – с участием Каллендара и королевских метеорологов: сэра (рыцаря ордена Британской империи и кавалера ордена Бани) Джорджа Кларка Симпсона, докторов Уиппла и Брукса, доктора-профессора Д. Бранта, и ещё десятка сотрудников меньшего калибра из обсерватории Рэдклифф. Каллендара уважительно послушали, а затем сообщили ему:

***Сэр Джордж**: многие не-метеорологи, пытающиеся заниматься проблемами погоды и климата, плохо понимают, что подсчётом только излучения рассчитать распределение атмосферных температур невозможно. Во-первых, атмосфера почти никогда не находится в состоянии термического равновесия, во-вторых, распределение температур зависит главным образом не от излучения, а от циркуляции [...] Наконец, изменение за 50 лет [от эффекта Каллендара] не превышает тех изменений, что наблюдались ранее [когда углекислота не менялась]. Вероятно, мы имеем дело с естественной фазой изменчивости климата[...]*

***Профессор Брант:** [...] Изменение среднегодовых температур за последние 30 лет [то есть с 1906 по 1936 гг] – не больше, чем климатические изменения, проходившие во второй половине XVIII столетия, даже если принять во внимание недостаточную точность метеорологических инструментов того времени.*

В Англии среднемесячные температуры более или менее надёжно мерили с 1659 года. Посмотрите внимательно на график выше и попробуйте угадать, отчего IPCC обрывает все свои графики слева 1750 годом или даже более поздней датой. Вопрос риторический, конечно. Если нарисовать данные с примерно 1680 по 1730 годы, «беспрецедентный рост документированных температур» внезапно становится «прецендентным», хе-хе! Причём данные эти получены на штучках, для измерения температуры как раз и предназначенных, – термометрами[370], а не по годовым кольцам канадской пихты и не по компьютерным моделям.

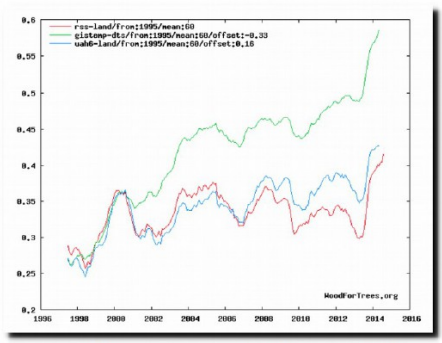
Про «подделку» данных наземных и морских метеостанций не пишет в Интернете только ленивый, и доля правды есть. Желающие могут обратиться к объективному разбору погрешностей базы данных HadCRUT в кандидатской диссертации Джона Мак-Лина из австралийского университета им. Джеймса Кука[371]. Среди прочего обнаружено фривольное использование британскими учёными (тем же доктором Филом Джонсом) градусов Фаренгейта вместо градусов Цельсия, когда, к примеру, в Румынии погоды стоят по +80° (а потом осредняем!) Мы не обвиняем Джонса в *намеренной* подтасовке, просто выдача политкорректных результатов для университета Восточной Англии важнее, чем аккуратная работа с данными. Только нарисовалась в программе «правильная» кривая – перепроверка исходников прекращается.

Административными мерами независимые измерения начали подгонять под дутый «консенсус». В мире существуют две конторы, вычисляющие глобальные температуры по спутниковым данным: «*Remote Sensing System*» (RSS) и Центр климатических исследований при университете Алабамы в

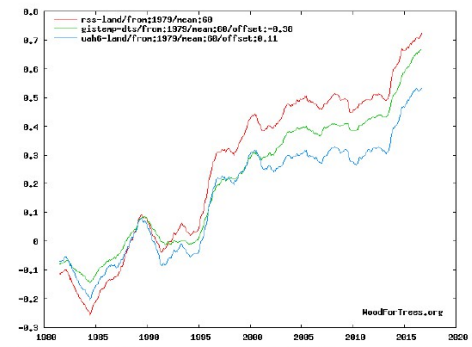
370 Заявляют, что термометры XVII века были несовершенны, а метеорологические будки системы Стивенсона (на Родине Слонов их зовут будками Селянинова) внедрили после 1864 года. Так и есть. Однако термометры XVII века всё одно точнее, чем годовые кольца деревьев, где замер идёт по бинарному принципу «тёплый год — холодный год».

371 McLean, John D, *An audit of uncertainties in the HadCRUT4 temperature anomaly dataset plus the investigation of three other contemporary climate issues*, PhD thesis, James Cook University.

Хантсвилле (UAH, это там работают Кристи и Спенсер, про которых рассказывалось в главе 17). При расчётах RSS и UAH используются одни и те же спутники: «TIROS-N» (трудился на орбите с конца 1978 по 81 гг), «NOAA» с номерами от 6 (запущен в 1979) до 20 (по состоянию на начало 2019 года функционируют 15-й, 19-й и 20-й), «Aqua» (запущен в 2002) и тройка «MetOp» (первый запущен в 2006, последний в 2018). До 2016 года алгоритмы RSS и UAH взаимно подтверждали друг друга и шли на 0.2°Ц ниже данных метеостанций в базе данных GISSTEMP. В новой версии[372] сотрудники RSS стали бóльшими католиками, чем сам Папа римский[373].



RSS версия 3.3 (красная линия), UAH версия 6.0 (синяя), HACA GISSTEMP (зелёная). Так данные выглядели в апреле 2017 г.



RSS версия 4.0 (красная линия), UAH версия 6.0 (синяя), HACA GISSTEMP (зелёная). Так данные выглядят с марта 2018 г.

Что по одним и тем же данным одних и тех же спутников получаются разные температуры, удивлять не должно. Обсуждение погрешностей метеонаблюдений крепко перемешано с политическим гуано, а подвижку аномалии обсуждать и смысла нет: систематическая ошибка просто от замены будки Стивенсона на новомодную автоматическую и очень компактную MMTS, любовно называемую у метеорологов «Mickey Mouse Temperature Station»[374] может превышать пару градусов, а если ещё эту станцию пришурупить к южной стене полицейского участка, над закатанной асфальтом парковкой, да прямо под выхлопом внешней коробки кондиционера, глобальное потепление вас впечатлит. На картинке ниже – две установки MMTS, которые NOAA считало «надёжными», пока их не сфотографировал Энтони Уоттс[375].

В университете Небраски на полигоне разместили – по стандарту – десяток метеостанций разной конструкции, но с одним и тем же электронным термометром HMP45C, – и сравнивали наблюдения. Получилась систематическая разница ±0.2°Ц[376]. В реальных метеостанциях используются

372 Carl A. Mears and Frank J. Wentz, *Sensitivity of Satellite-Derived Tropospheric Temperature Trends to the Diurnal Cycle Adjustment*, doi 10.1175/JCLI-D-15-0744.1

373 http://www.woodfortrees.org/plot/rss-land/from:1979/mean:60/plot/gistemp-dts/from:1979/mean:60/offset:-0.38/plot/uah6-land/from:1979/mean:60/offset:0.11

374 Ибо только гений миниатюризации Майкл Ф. Маус сумел разместить сенсор температуры воздуха в 3 см от радиатора микроконтроллера.

375 https://wattsupwiththat.com/2007/06/06/my-summer-project-a-national-weather-station-audit/

376 Frank, Patrick, *Uncertainty in the Global Average Surface Air Temperature Index: A Representative Lower*

не только HMP45C, но и масса прочих. В той же статье Патрик Франк подробно разбирает систематические погрешности морских буёв и других устройств, заключая, что вследствие непрерывного обновления, ремонта, модификации и замены оборудования мы не знаем – и не можем знать – аномалию глобальных температур между 1880 и 2000 гг с точностью лучшей, чем ±0.46° (одно стандартное отклонение)[377].



Эффект Аррениуса реализуется двумя путями: при удвоении концентрации CO_2 в атмосфере «почти мгновенно» (за пару десятилетий) температура поверхности подскакивает на величину **TCR** (transient climate response – быстрая реакция климата). Далее, по мере плавления льдов и прогрева океана, за несколько сотен лет, температура плавно растёт до величины **ECS** (equilibrium climate sensitivity, равновесная чувствительность климата). Каллендар полагал, что накопление антропогенного CO_2 в атмосфере произойдёт за 150-250 лет, а для такого предположения **TCR** не требуется.

Когда логарифмические линейки окончательно заменились электронными компьютерами, климатологи принялись интегрировать спектры поглощения, считать альбедо, конвекцию, испарение воды с поверхности и многие другие эффекты. Каждый делал прикидки на свой лад. Ситуацию 1975 года отлично обрисовал в своём мета-анализе американский метеоролог Стивен Шнайдер[378] (одна из его таблиц представлена ниже). Критически проанализировав массу работ, он выдал собственную оценку: при удвоении концентрации углекислоты

Limit. Energy & Environment, 2010.

377 Не следует путать **разрешение** отдельного термометра (у современных электронных термометров порядка ±0.01°Ц) и **точность** наблюдаемой аномалии. В качестве простейшего теоретического примера, пусть метеостанции «А» и «В» с 1900 по 1980 годы измеряли температуры вручную обычными стеклянными термометрами с разрешением ±0.5°Ц. В 1981 году метеостанция «В» закрылась, на станции «А» поставили автомат с электронным термометром и разрешением ±0.01°Ц, а где-то рядом поставили станцию «Х», тоже с электронным термометром. Неопределённость температурной аномалии станции «А» с 1900 по 2000 годы: ±0.5°Ц (грубые наблюдения до 1981 г). Неопределённость температурной аномалии станции «В» с 1900 по 2000 годы: **бесконечность** (данные за 1981-2000 годы отсутствуют). Неопределённость температурной аномалии станции «Х» с 1900 по 2000 годы: **бесконечность** (данные за 1900-1980 годы отсутствуют). Региональная неопределённость по трём станциям: ±0.5°Ц (по неопределённости станции «А» с непрерывными наблюдениями). Это совсем не значит, что оборудование не надо чинить или менять: в 2080 году, предполагая что станции «А» и «Х» продолжают работу, и оборудование поддерживается в приличном состоянии, мы будем знать региональную аномалию за 1981-2080 годы с точностью около ±0.01°Ц… Так бы оно и было, если бы полицейские не поставили в 2000 году возле метеостанции «А» газовый мангал!

378 Stephen H. Schneider, *On the Carbon Dioxide–Climate Confusion*, JAS, Vol 33, 1975, стр. 2060-2066

в атмосфере ожидаемое **ECS** от 1.5 до 3.0°К (или Ц), при средней оценке 1.7°.

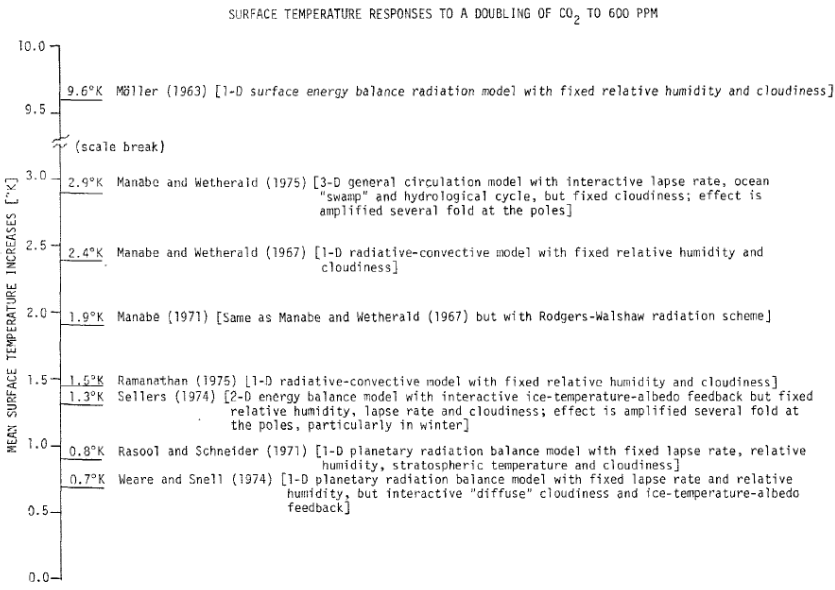


FIG. 1. Mean surface temperature sensitivity of various models to a doubling in the concentration of atmospheric carbon dioxide (γ_2). For the reasons discussed in the text a state-of-the-art order-of-magnitude estimate is suggested between 1.5 and 3 K, but that the combined effects of improperly modeled climatic feedback mechanisms could, roughly, enhance or reduce this estimate by as much as a factor of 4.

Это всего на 0.2° выше оценки Каллендара, и мало кого пугало, оттого IPCC в первом отчёте подняла планку: от 1.9 до 4.5° при среднем 2.5° (вот почему Джонсу очень нужен коэффициент больше двойки). Дальнейшая история «научного консенсуса» представлена в таблице.

Оценка	**Потепление (°Ц) при удвоении концентрации CO_2**	**Потепление (°Ц) от уровня 1750 года при концентрации CO_2 410 ppmv**
Каллендар, 1938	1.5	0.8
Шнайдер, 1975	1.5-3.0	0.8-1.7
Чарни, 1979[379]	1.5-4.5	0.8-2.5
IPCC, 1990	2.5 (5–95%: 1.9–5.2)	1.4 (5–95%: 1.1–2.9)
IPCC, 1995	2.5 (5–95%: 1.5–4.5)	1.4 (5–95%: 0.8–2.5)
IPCC, 2001	2.5 (5–95%: 1.5–4.5)	1.4 (5–95%: 0.8–2.5)
IPCC, 2007	Приводится обзор оценок в литературе: от 0.3 до 8.6 (!) При моделировании IPCC использован диапазон 2.1-4.4	При 0.3: 0.2 При 2.1: 1.2 При 4.4: 2.4 При 8.6: 4.7
IPCC, 2013	5–95%: 1.5–4.5 0.1–99.9%: 1.0–6.0	5–95%: 0.8–2.5 0.1–99.9%: 0.6–3.3
Льюис и Карри, 2018	**1.66 (5–95%: 1.15–2.7)**	**0.9 (5–95%: 0.6–1.5)**

379 Charney, J. G., *Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment. National Academies*, Science Press, Washington, DC, 1979

Какие дискуссии велись в кулуарах IPCC, мы вряд ли узнаем с документальной точностью (кулуары на то и кулуары, что протоколов не пишут). Можно высказать *гипотезу*, что в 2007 году учёные из рабочей группы № 1 уже стеснялись использовать среднее 2.5° и тем более не могли обосновать максимальную оценку 4.5°, однако политический бомонд резонно указывал, что ниже 4.5° верхняя оценка быть не может, а то IPCC придётся распустить за ненадобностью. Отчёт 2013 года пошёл по пути наименьшего сопротивления: в качестве оценки процитировали… собственный отчёт 2001 года и присовокупили предельные значения: «от менее 1 до более 6 градусов» – с вероятностью 0.1% («highly unlikely»).

Наиболее свежая – и вполне объективная – оценка сделана в статье Николаса Льюиса и Джудит Карри 2018 года[380]: **ECS**=1.66° (диапазон от 1.15 до 2.70), **TCR**=1.33° (диапазон от 1.00 до 1.90). Не обладая данными спутников, не имея под рукой ледовых кернов «*Восток*» и «*Купол Ло*», до метеорологических наблюдений в Антарктиде и до морских ныряющих буёв, на логарифмической линейке и арифмометре, просто инженерным чутьём – и с толикой инженерской удачи – Гай Каллендар угадал значение **ECS** с точностью около 10%.

Модель Аррениуса была «полуторамерной» (1.5D): в качестве первого измерения использовалась широта местности, а время – половинка второго измерения – оценивалось в пределах четырёх сезонов одного года. Теплоёмкость атмосферы, поверхности суши и воды в океанах, а также плавление/замерзание льда не учитывались совсем. Перемешиванием атмосферы и гидросферы вследствие ветров и океанических течений тоже пришлось пренебречь. Температуры за полярным кругом Аррениус в таблице не приводит, так как в январе на Северном полюсе (и в июле на Южном) по формулам Аррениуса выходит -270°Ц. Модель Каллендара – чисто одномерная (1D) – распределение поглощения в атмосфере от высоты над уровнем моря. Модели Будыко и Селларса – двумерные (2D): зависят от широты местности и геологического времени.

Современные климатические модели – четырёхмерные (4D): например, модель GISS[381] включает долготу, широту, высоту над уровнем моря (а также температуру нескольких слоёв воды в океане) и время. Чтобы что-то достойное посчитать за пару-тройку месяцев, вам потребуется кластер на Linux, 88 процессорных ядер и по 1 Гб памяти на каждое ядро. Модель НАСА 1980 года превратили в коммерческий продукт и продают за 200 баксов[382], но *без предоставления исходного кода*. Как конкретно простая модель считает, понять невозможно, а благодаря развитому графическому пользовательскому интерфейсу запустить неполиткорректный сценарий, например, с повышенной облачностью, – затруднительно. Упрощённая российско-немецкая модель[383]

380 Nicholas Lewis and Judith Curry, *The impact of recent forcing and ocean heat uptake data on estimates of climate sensitivity*, Journal of Climate, 2018, doi 10.1175/JCLI-D-17-0667.1.

381 https://www.giss.nasa.gov/tools/modelE/

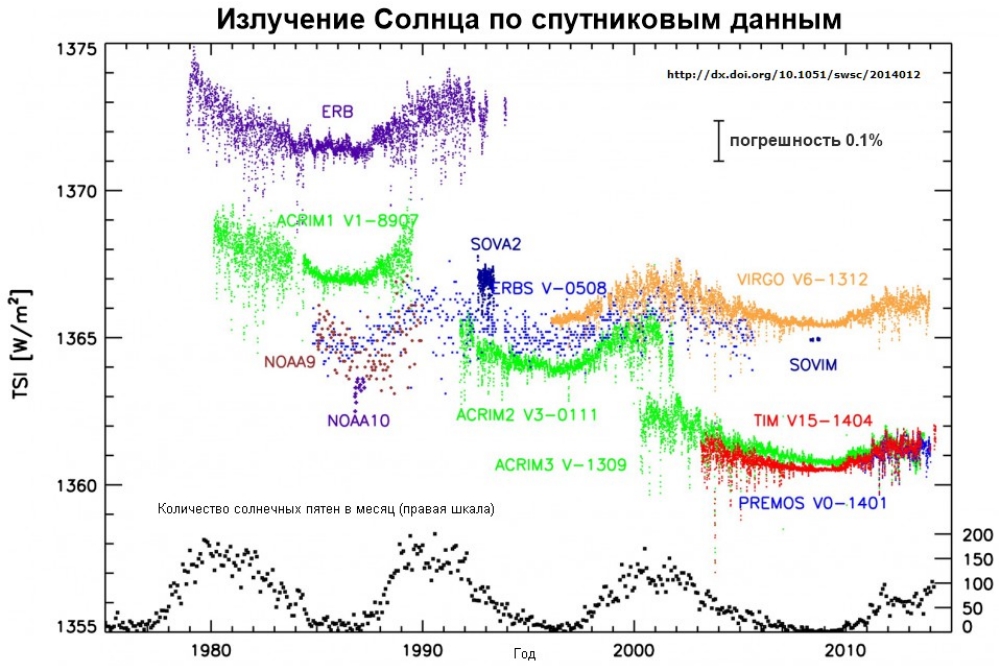
382 http://edgcm.columbia.edu/purchasing/

383 https://www.geosci-model-dev.net/11/665/2018/gmd-11-665-2018.pdf Sonja Totz, Alexey V. Eliseev, Stefan

пока находится в разработке. Есть надежда, что код получится прозрачным, и его опубликуют.

Большинство исходных параметров в 4D моделях исследователи выбирают произвольно. Честные пишут: «я так вижу» или «нам так нравится». Кое-кто пытается обосновать выбор упражнениями в аристотелевской философии – простой ссылкой на авторитет: «Профессор Z в статье от 1994 года показал, что…»

Например, «солнечную постоянную» w_s мы можем измерить при помощи спутников, но сами измерения имеют абсолютную погрешность более ±0.3%, притом всего два спутника (ERBS и VIRGO) отработали более одного солнечного цикла (11 лет), а два полных цикла не работал ни один.



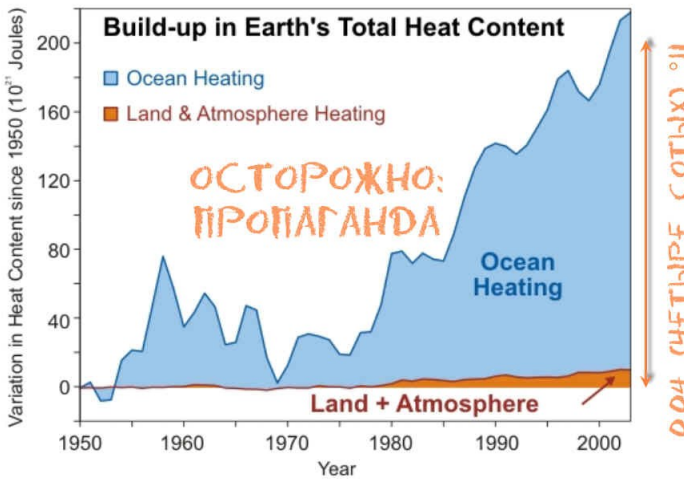
Количество солнечных пятен – мы их наблюдаем в телескопы, спутники не нужны, – снижается: на пике солнечного цикла 1979 года регистрировали до 250 пятен в месяц, в 1990 – 210, в 2001 – 170, в 2013 – около 110. Кто-то полагает, что ничего не будет, и вставляет в модель стабильное излучение Солнца 1361.5 Вт/м². Кто-то считает что в 2030 произойдёт нечто вроде минимума Дальтона (с 1790 по 1830 гг), когда на замёрзшей Темзе была ярмарка, а солдат Наполеона бил не только фельдмаршал Голенищев-Кутузов, но и генерал Мороз-Русский. Кто-то считает[384], что наступит аналог минимума

Petri, Michael Flechsig, Levke Caesar, Vladimir Petoukhov, and Dim Coumou, *The dynamical core of the Aeolus 1.0 statistical–dynamical atmosphere model: validation and parameter optimization*, Geosci. Model Dev., 11, стр. 665–679, 2018

384 Simon J. Shepherd, Sergei I. Zharkov, and Valentina V. Zharkova, *PREDICTION OF SOLAR ACTIVITY FROM SOLAR BACKGROUND MAGNETIC FIELD VARIATIONS IN CYCLES 21–23*, The Astrophysical Journal,

Маундера (с 1645 по 1715 гг) – и вообще снова Малый ледниковый период.

Накопление тепловой энергии в океанах и, соответственно, тепловое расширение воды – ещё одна проблема климатических моделей. Ниже представлена страшилка 2011 года от Джона «Консенсуса» Кука[385]:



Оказывается, с 1950 года уже $200 \cdot 10^{21}$ джоуля накопилось! Во скока! Жуть. И не жуть совсем. Масса мирового океана $1.4 \pm 0.1 \cdot 10^{21}$ кг. На каждый килограмм воды приходится, таким образом, по 140 джоулей, а теплоёмкость морской воды – 3'900 Дж/кг/°Ц. Вся шкала, снизу доверху – менее 0.04°Ц. Меня повышение глобальных температур на четыре сотые градуса – даже если бы у нас были инструменты, способные эти сотые доли замерить, – совершенно не пугает. Как вас?

Можно и иначе прикинуть. Пусть на 1°Ц прогревается лишь самый верхний слой океана. Нагрев на $200 \cdot 10^{21}$ Дж – это $5.1 \cdot 10^{16}$ тонн или $5.0 \cdot 10^{16}$ кубометров морской воды. Площадь мирового океана – $3.612 \cdot 10^{14}$ м², а толщина прогревшегося на один градус слоя – около 140 м. При этом график подразумевает, что мы знаем положение границы прогрева с точностью до пары метров по всей планете!

Прикинем, на сколько может подняться уровень мирового океана вследствие потепления климата. В ледовом щите Гренландии 2'850'000 км³ льда, или $2.6 \cdot 10^{15}$ тонн. Площадь океанов Земли: $3.61 \cdot 10^{14}$ м². Если весь лёд Гренландии расплавить, повышение уровня океана составит 7.2 м. Аналогично для Антарктики: 26'500'000 км³ льда, $24.3 \cdot 10^{15}$ т. От разморозки получим 67.5 м. Повышение уровня моря вследствие термического расширения $1.332 \cdot 10^{18}$ м³ морской воды при нагреве на 10 (целых десять) градусов Цельсия: $1{,}332 \cdot 10^{18} \cdot 207 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 2.8 \cdot 10^{15}$ м³; делим на площадь выше, получаем 7.6 метра. Из-за увеличения гидростатического давления будет чуть меньше. Всего получается примерно 7.2+67.2+7.6=82 метра.

795:46 (8pp), 2014

385 https://skepticalscience.com/The-Earth-continues-to-build-up-heat.html

При самом ужасном скоростном потеплении воздуха на 10 градусов, потепление океана и плавление полярных шапок займёт не менее 10'000 лет, то есть запредельная скорость повышения уровня моря 82/10'000=8.2 мм в год, или 82 см в столетие. Заметит это разве что Бангладеш. Выжав кнопку «Паника» до упора, IPCC насчитала от 26 до 98 см с 2000 по 2100 годы ([32], стр. 1140)[386]. К чести учёных IPCC, там написано: «уверенность низкая». Политикам про «низкую уверенность» доложить забыли, а сказали просто: «Ну, максимум, метр!» Ал Гор, точно по Фрейду, превратил метр в 12 метров и затопил Нью-Йорк вместе с Новым Орлеаном.

Геологи Гору на слово не верят. Полярная шапка Гренландии пережила не менее 10 млн лет, или 100 раз по периоду такому же либо теплее нынешнего (например, Микулинский был на несколько градусов теплее нашего с вами голоцена, а уровень моря на 5 м выше). Ледник Антарктики – 34 млн лет, то есть более 300 циклов потепления/похолодания. Раз Гренландия и Антарктика до сих пор с нами, за них можно не волноваться. Окончательное расплавление обеих – вследствие перемещения материковых плит – ожидается не ранее 35'000'000 года от Рождества Христова.

Аналогично никто не может предсказать поведение в будущем вулканов, облачности, аэрозолей в верхних слоях атмосферы. Но самое главное, даже накопление углекислоты в атмосфере можно предсказать лишь приблизительно.

Непрерывно циркулируют конспирологические теории о связи между «*Римским клубом*», «*Пределами роста*» и деятельностью IPCC. Вот, к примеру, доктор-профессор экономических наук В.Ю.Касатонов[387] пишет (выделение моё, орфография оригинала):

***Наиболее яркий пример – раздувание гипотезы о глобальном климатическом изменении** [sic!] (потеплении) в результате «парникового эффекта». А указанный эффект является следствием повышения концентрации углекислого газа в атмосфере планеты в результате выбросов этого газа промышленностью и транспортом. **Сейчас трудно сказать, кто первый запустил в оборот такую версию.** Но я прекрасно помню, что еще в начале 70-х годов эта версия имела статус «гипотезы» [...] Римский клуб **совместно** с ООН и такими специализированными его органами, как ЮНЕП, ВМО и др., к 80-м годам прошлого столетия **выработали** [sic!] следующий план борьбы с надвигающейся угрозой климатической катастрофы[...] Об этой климатической афере и противодействии ей со стороны международного научного сообщества можно прочитать в материале «Глобальное потепление и озоновые дыры – наукообразные мифы» (http://www.vestnik.com/issues/98/1013/win/moldav.htm). Это интервью, данное членом-корреспондентом РАН Андреем Капицей, **сыном того профессора Петра Капицы, который был членом Римского клуба**.*

Погрешности согласования единственного и множественного числа спишем на готовившего статью литнегра. Не знаю, насколько компетентен Касатонов в экономике. На кафедре международных финансов МГИМО, может, и принято

386 Далее на стр. 1147 IPCC приводит данные с 1700 по 2010 гг: повышение на 48 см за 310 лет, то есть 0.15 мм в год. Кроме повышения уровня океана, наступление моря на сушу может происходить из-за естественного снижения пористости горных пород или тектонических подвижек. Есть и обратные процессы. Например освобождённая от массивных ледников Скандинавия поднялась за последние 15 тысяч лет на полсотни метров, а мы получили великолепные фьорды.

387 Римский клуб: «Парниковая» афера, https://tsargrad.tv/articles/rimskij-klub-parnikovaja-afera_162916 (14 Октября 2018) скачано в ноябре 2018 г.

нести отсебятину, а естествознание любит точность. Кто конкретно и когда конкретно придумал эффект Аррениуса – угадайте с трёх раз. Членом «*Римского клуба*» академик, нобелевский лауреат по физике Пётр Леонидович Капица (1894-1984) никогда не был; в клубе состоял его сын, доктор физ-мат наук, профессор Сергей Петрович Капица (1928-2012) – это *старший брат* доктора географических наук, членкора РАН Андрея Капицы (1931-2011). Ну и остальная статья – это бред об отрицании дарвинизма и жидких масонах пополам с ~~рокфором~~ Рокафеллером.

Что «*Пределы роста*» 1972 и 2012 годов финансировались «*Римским клубом*» – не секрет: там на титульных страницах написано. А вот с публикациями IPCC «*Римский клуб*» практически не связан[388], и доказать несложно. В отчёте 1990 года IPCC использовала четыре сценария выбросов углекислого газа:

***В сценарии А** («если ничего не менять»), при незначительном повышении энергоэффективности хозяйства, энергетика остаётся в основном угольной. [Государственный и международный] контроль за содержанием двуокиси углерода недостаточен. Вырубка лесов продолжается до тех пор, пока не истощатся тропические леса; выбросы метана и оксидов азота в сельском хозяйстве ничем не ограничены. Отметим, что по выполненной Рабочей группой III сводке национальных прогнозов выбросы углекислого газа и метана к 2025 году получаются на 10-20% выше, чем в использованном нами модельном прогнозе.*

***В сценарии В** структура энергопотребления смещается в сторону топлива с пониженным содержанием углерода, в частности природного газа. Достигается значительное повышение энергоэффективности хозяйства. Приняты меры для строгого ограничения выбросов углекислого газа; сведение лесов прекращается. Монреальский протокол выполняется в полном объёме.*

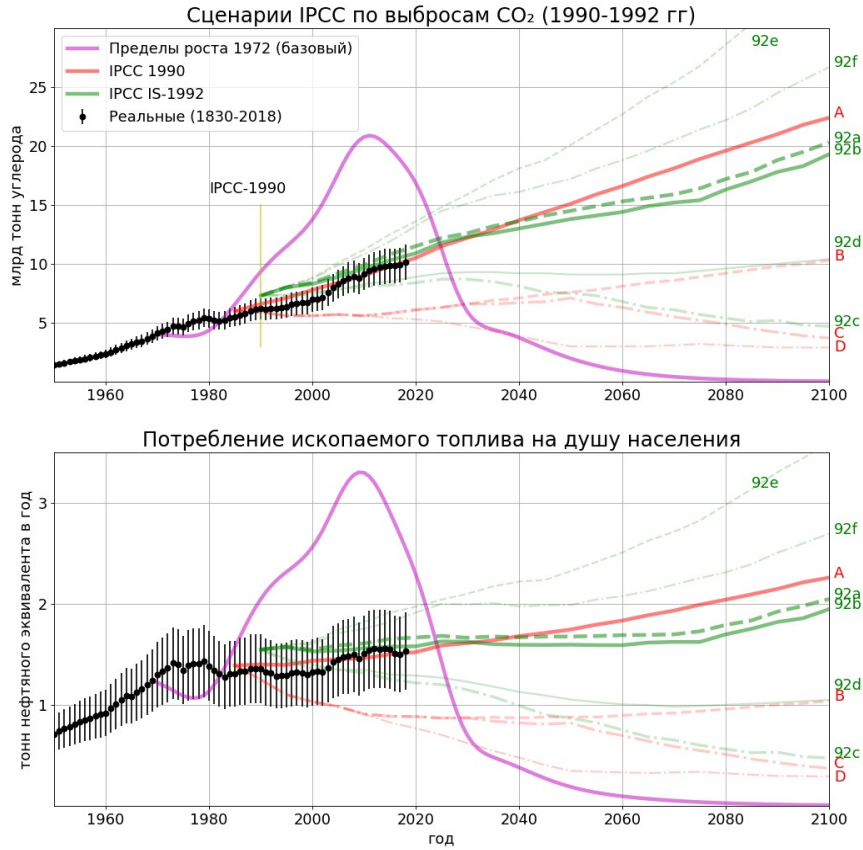
***Сценарий С** аналогичен сценарию В. Дополнительно, во второй половине XXI столетия происходит переход к ядерной энергии и возобновляемым источникам энергии. Применение фторорганических соединений (фреонов) постепенно прекращается, а сельскохозяйственные выбросы углекислоты ограничиваются.*

***Сценарий D** также аналогичен сценарию В, но предполагает ускоренный (уже в первой половине XXI столетия) переход к ВИЭ и ЯЭ, что значительно сокращает выбросы углекислого газа. Первоначально уменьшаются выбросы в промышленно-развитых странах. Строгое ограничение выбросов в промышленно-развитых странах в сочетании с умеренным ростом выбросов в развивающихся странах помогают стабилизировать концентрацию CO_2 в атмосфере. К середине XXI столетия [промышленные] выбросы углекислого газа уменьшаются до 50% от уровня 1985 года.*

В 1990 году IPCC полагала выбросы CO_2 от сжигания ископаемого топлива на уровне 5.7±0.5 Гт углерода в год, плюс 1.5±1.0 Гт углерода в год от сведения лесов. «*BP*» указывает для того же 1990 года (от сжигания ископаемого топлива) 5.9 Гт, а наш независимый расчёт из главы 9 (от сжигания ископаемого топлива и производства цемента) дал 6.3±0.6 Гт. Согласно отчёту IPCC, с 1750 по 1986 годы было выброшено 195±20 Гт углерода от сжигания ископаемого топлива и 117±35 Гт от сведения лесов. Наш независимый расчёт из главы 9 дал от за тот же период 209±20 Гт от ископаемого топлива и

388 Заявляют, будто в «*Римском клубе*» числились первый председатель IPCC Берт Болен (1925-2007), председатель Программы ООН по защите окружающей среды Морис Стронг (1929-2015), а также автор «*Пределов роста*» Деннис Медоуз. *Никаких* документальных подтверждений этому не найдено, а поиск в Интернете приводит на одни и те же конспирологические ресурсы, например: https://recyclewashington.wordpress.com/2010/04/29/unraveling-the-club-of-rome-part-1/. В «*Римском клубе*», есть члены политического бомонда ГАКИК (например Марк Дебрулле, Тапио Ойянен, и Анитра Торхауг), но в собственно работе IPCC они никак не участвуют. Сотрудников ВМО в «*Римском клубе*» нет. Автор «*Пределов роста*» профессор Йорген Рандерс – член клуба, но в бомонде ГАКИК и сотрудничестве с IPCC замечен не был. Полный список членов: https://www.clubofrome.org/membership/

цемента. Сценарии IPCC рисует программа **Chapter 18\Test_02_CO2_Emissions.py** . Тонна углерода (то есть 3.66 тонны CO_2) в атмосфере соответствует 1.13 тонны нефтяного эквивалента[389].



Уже в 1992 году экономистам в рабочей группе №3 стало ясно, что сценарий D не реализуются, так как к 2050 году группа №1 требовала снизить потребление ископаемого топлива до уровня 350 кг на душу в год. Достигнуть этого можно только двумя путями:

1. «Развивающиеся» страны перестают «развиваться» и за 20-30 лет скатываются к уровню жизни Чада и Сомали. «Развитые» страны уничтожают промышленность, проедают инфраструктуру и скатываются на тот же уровень жизни, но только помедленнее – лет за 60 или 70. Естественно, этот путь социально неприемлем.
2. Бешеное развитие ядерной энергетики и ВИЭ; промышленный термояд к началу XXI века. Этот путь хороший, годный, да только инженеры говорят, что такими темпами модифицировать энергетику немыслимо.

По результатам работы группы №3 IPCC приняла шесть сценариев выбросов углекислоты: 92a и 92b примерно соответствуют сценарию «A» 1990 года,

389 Подробный расчёт в главе 9, стр. 190.

сценарии 92c и 92d – близнецы-братья «C» и «B» соответственно, а чтобы напугать политиков неминуемой катастрофой, добавили сценарии разгульного потребления 92e и 92f. По состоянию на 2018 год неплохо реализуются сценарии A и 92b, а всё остальное уже можно списать на цифровую свалку.

Для сравнения малиновым цветом на графике показана оценка выбросов CO_2 из «*Пределов роста*». В 1972 году авторы исходили из ограниченных запасов ископаемого топлива и обещали пик добычи (по тройке «нефть-уголь-газ») примерно в конце первого или начале второго десятилетия XXI века. Программы Форрестера и Медоуза считались, и книга писалась ещё до нефтяных кризисов 1973 и 1979 годов, оттого к 2010 году абсолютные значения добычи из прогноза не совпали с реальными примерно вдвое. А вот *время наступления* пика ресурсов, вероятно, совпадает с предсказанием.

Почти поколение спустя, в 1995 году, учёные IPCC полагали запасы ископаемого топлива не бесконечными, но наверняка достаточными, чтобы наращивать добычу вплоть до конца XXI века. Никакого сокращения населения в моделях IPCC 1990-95 годов не было, а была полит-корректная демографическая модель ООН, с населением планеты между 13 и 17 миллиардами к 2100 году. Было бы странно, если бы климатологи IPCC – «климатического департамента ООН», если хотите, – вдруг вступили в спор с демографами из той же организации.

В динамической модели Медоуза 1972 года ограничение потребления ископаемого топлива наступает вследствие *объективных* причин – исчерпания экономических запасов. В моделях IPCC 1990 и 95 годов то же ограничение – чистый волюнтаризм: все лидеры мира захотели и *подписали международные соглашения* не повышать температуру планеты на сколько-то градусов.

«*Римский клуб*» в самом деле выступает за ограничение рождаемости и контроль численности населения Земли. Только не говорите, будто он делает это посредством IPCC. Использовать карьерных бюрократов ООН для ограничения рождаемости в развивающихся странах – как поставить стаю волков на охрану крольчатника. Чем больше голодных ртов на Гаити и в Сомали – тем больше у бюрократа бюджет. «*Римский клуб*» выступает за ограничение сверхпотребления (потребл…дства) – этот мотив звучит чуть ли не в каждой книге, на средства клуба выпущенной. Насчёт того, что «*Римский клуб*» будто бы желает ограничить потребление и строительство инфраструктуры развивающихся стран, – попробуйте доказать ссылкой хотя бы на одну публикацию. Конспирологи отвечают обычно, что «настоящие» публикации клуба секретны, печатаются тиражом три с половиной экземпляра. Перед прочтением – сжечь. Прочитавшего – отравить. И так далее.

Реальность проще. «*Римский клуб*» представляет из себя всего лишь разновидность масонской ложи, только без фартуков, шпаг и наугольников. Состоят там люди обеспеченные и влиятельные: Михаил Горбачёв есть, а Васю Пупкина с раёна почему-то не пригласили. Да, члены клуба могут где-то

перетереть с политиками, подкинуть идейку или наоборот – раскритиковать. Но на этом влияние клуба и кончается. У декабристов (тоже выходцев из масонских лож) были солдатики в подчинении, у Билла Гейтса – имеется ~~рота~~ сотня миллиардов долларов, а у «*Римского клуба*», кроме болтовни и трёх десятков неплохих книжек, средств давления нет. Оттого действующие политики на клуб обращают внимание только тогда, когда сильно захочется.

В 2000 году вышел специальный отчёт IPCC о сценариях выбросов углекислого и прочих «парниковых» газов[390]. Отличный пример, что будет, если бюрократов попросить высосать из пальца 600 страниц текста и дать под это «исследование» хороший бюджет.

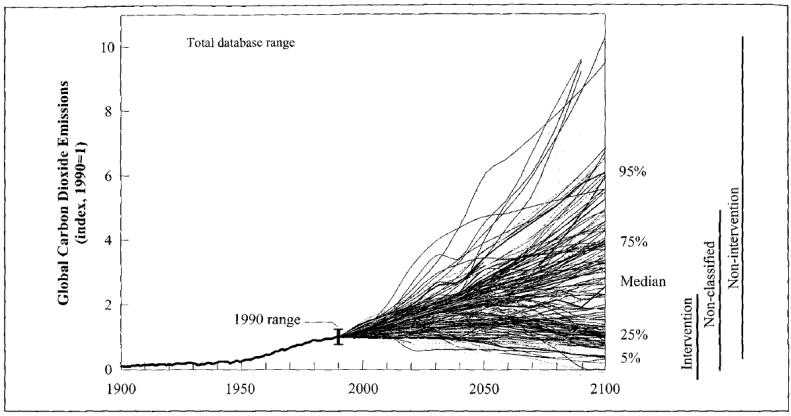


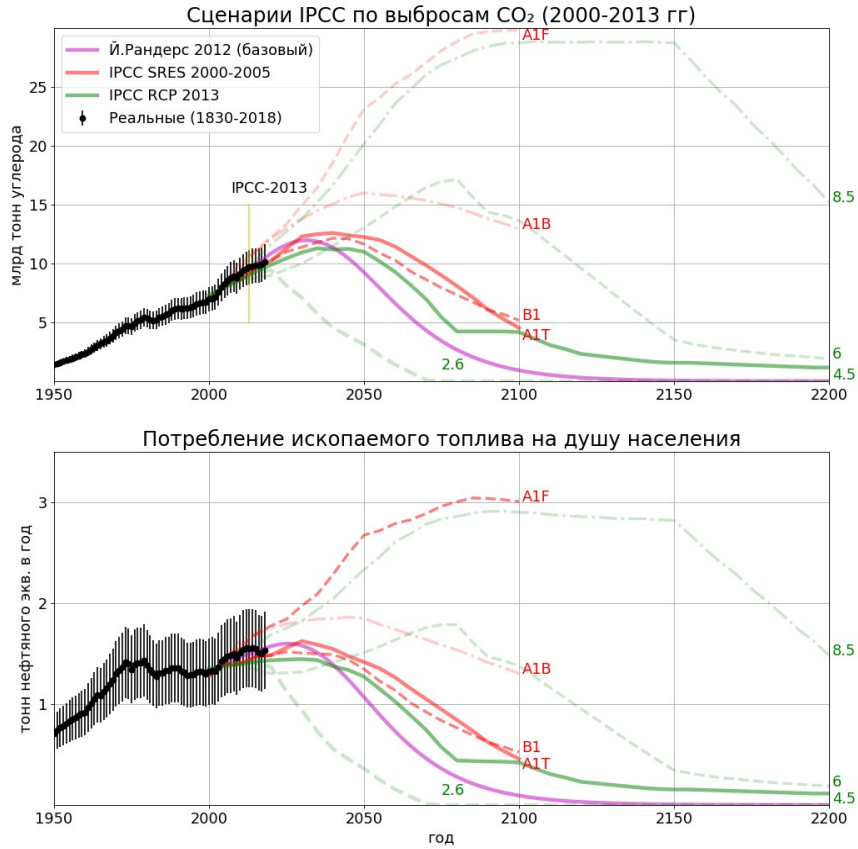
Figure TS-1: Global energy-related and industrial CO_2 emissions – historical development and future scenarios, shown as an index (1990 = 1). The median (50th), the 5th, and 95th percentiles of the frequency distribution are also shown. The statistics

Нафантазировали массу электронных таблиц. Выбросы 1990 года – 6.3 млрд тонн углерода – приняты за единицу. В 2100 году может быть как полный ноль, так и 65 млрд тонн. Если у климатологов из рабочей группы №1 попросить полное моделирование климата хотя бы для половины выдуманных экономистами сценариев, при современной мощности компьютеров на вычисления потребуется 30-40 лет – все коллеги обеспечены работой до конца научной карьеры. А главное, как бы ни пошли выбросы в реальном мире, всегда можно сказать: «Вот, зацените, в сценарии SRES-A1B4-v7.1bis мы именно это и предсказали!» Конечно, всю сотню сценариев климатологи подсчитать не успели. Обратимся к отчётам IPCC 2005 и 2013 годов, которые рисует программа **Chapter 18\Test_03_CO2_Emissions.py**. Малиновым показан базовый сценарий из книги Йоргена Рандерса 2012 года [18], подробно разобранный в главе 7.

В 2013 году IPCC заменила сценарии 2000 года на «*Представительные*

390 Nebojsa Nakicenovic, Joseph Alcamo, Gerald Davis, Bert de Vries, Joergen Fenhann, Stuart Gaffin, Kermeth Gregory, Amulf Griibler, Tae Yong Jung, Tom Kram, Emilio Lebre La Rovere, Laurie Michaelis, Shunsuke Mori, Tsuneyuki Morita, William Pepper, Hugh Pitcher, Lynn Price, Keywan Riahi, Alexander Roehrl, Hans-Holger Rogner, Alexei Sankovski, Michael Schlesinger, Priyadarshi Shukla, Steven Smith, Robert Swart, Sascha van Rooijen, Nadejda Victor, Zhou Dadi, *IPCC Special Report on Emissions Scenarios*, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2000, ISBN 0 521 80081 1 (жёсткая обложка), 0 521 80493 0 (мягкая обложка).

сценарии накопления углекислоты» (*Representative Concentration Pathways*, RCP). Число в имени сценария – это дополнительная мощность солнечного излучения, поступающая в атмосферу из-за эффекта Аррениуса: например, «RCP2.6» значит «2.6 Вт/м²». Прогноз был расширен до 2200 года. Заметим, что *все* сценарии RCP стали удовлетворять условию Хабберта {8.2} – бесконечного роста больше нет, а есть пик добычи с последующим снижением. Сценарий RCP8.5 – просто дань уважения сценарию A1F из 2000 года и затраченному на его моделирование бюджету. В 2013 году уже было понятно, что такие темпы увеличения добычи технически недостижимы.



Извлекаемые объёмы углеводородного топлива оценены в отчёте IPCC 2013 года[32] на странице 471. Числа получены из выполненной в 2006 году программы «*Глобальная оценка запасов*» (ГОЗ или GEA)[391]. В отчёте IPCC использованы непривычные единицы: петаграммы углерода (PgC). Нас подобное не испугает. Мы знаем, что 1 PgC – это 10^{15} г или попросту 1 млрд тонн. Вслед за «*BP*» можно пересчитать углерод в уголь, нефть и газ: это 0.92, 1.19 и 1.56 тонн нефтяного эквивалента соответственно.

Отчёт ГОЗ был, вероятно, политически нагружен, чтобы убедить инвесторов

391 GEA, 2006: *Global Energy Assessment—Toward a Sustainable Future*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA.

переключаться с каменного угля на «сланцевый» природный газ. Оценка 3P не включает уголь, который можно добыть вручную или методом ПГУ. Оценка по газу при этом увеличена за счёт теоретической прикидки ещё не разведанных запасов метан-гидратов. Заметим однако, что IPCC наконец-то осознала фундаментальное ограничение по ископаемому топливу.

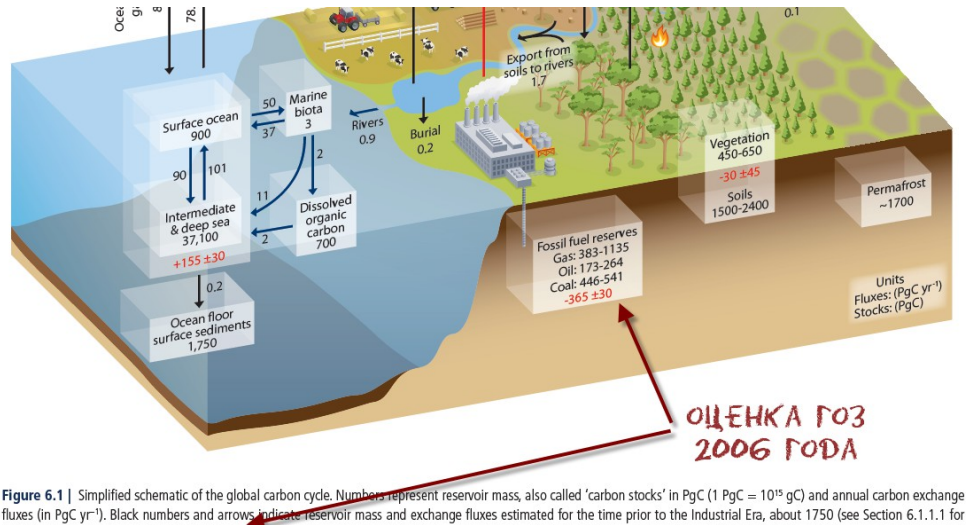


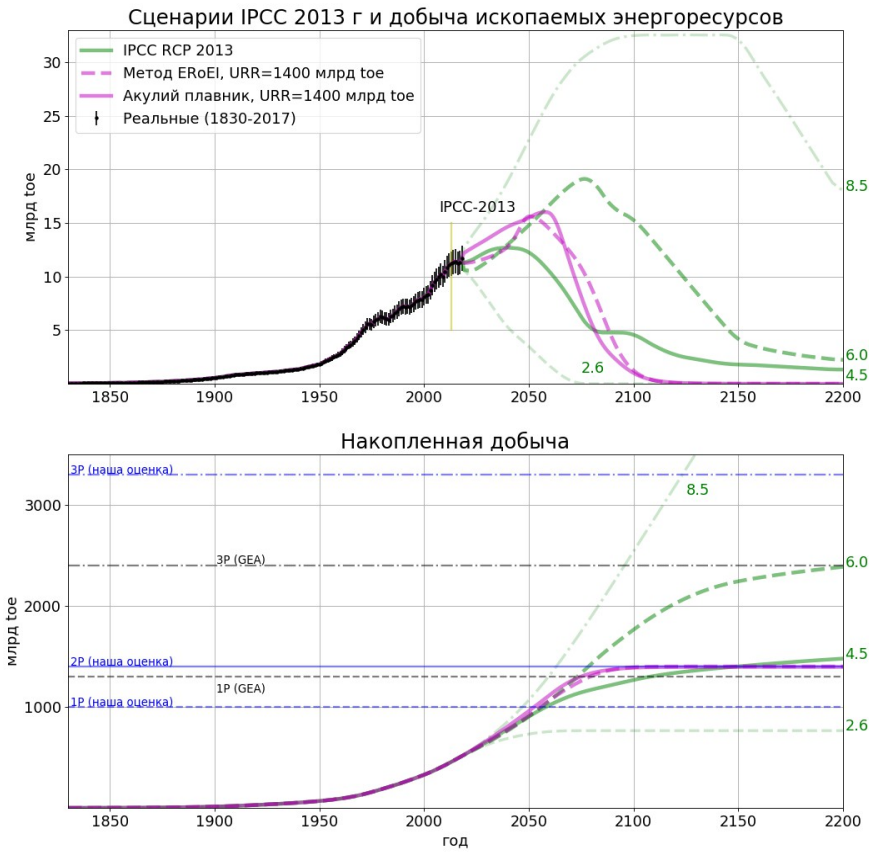
Figure 6.1 | Simplified schematic of the global carbon cycle. Numbers represent reservoir mass, also called 'carbon stocks' in PgC (1 PgC = 10^{15} gC) and annual carbon exchange fluxes (in PgC yr^{-1}). Black numbers and arrows indicate reservoir mass and exchange fluxes estimated for the time prior to the Industrial Era, about 1750 (see Section 6.1.1.1 for references). Fossil fuel reserves are from GEA (2006) and are consistent with numbers used by IPCC WGIII for future scenarios. The sediment storage is a sum of 150 PgC of the

Запасы (1P-3P)	В отчёте GEA 2006 г и расчётные значения		Оценки в главах 13 и 14 этой книги
	PgC	Млрд toe†	Млрд toe
Начальные каменного угля[a]	446-541	400-500	400-2'600
Начальные нефти[b]	173-264	200-320	280-400
Начальные природного газа[c]	383-1'135	600-1'770	230-460
Всего ископаемого топлива (URR)[d]		1'300-2'400	1'000-3'300 2P=1400
Добыто с 1750 по 2005 гг.	335-395	380-450	
Добыто с 1830 по 2017 гг.			450-550
Остаточные[e] на конец 2017 г		800-1'900 2P=1'000	500-2'800 2P=900

† Значения округлены до 10 млрд toe
[a] Оценка GEA включает только уголь высоких рангов, годный к механизированной добыче
[b] Оценка в этой книге включает в объём нефти газовый конденсат и LTO.
[c] Оценка GEA включает в запасы газа конденсат, LTO и метан-гидраты.
[d] Вероятностная оценка, полагая лог-нормальное распределение (по методу из главы 13)
[e] Включая потенциальные не открытые.

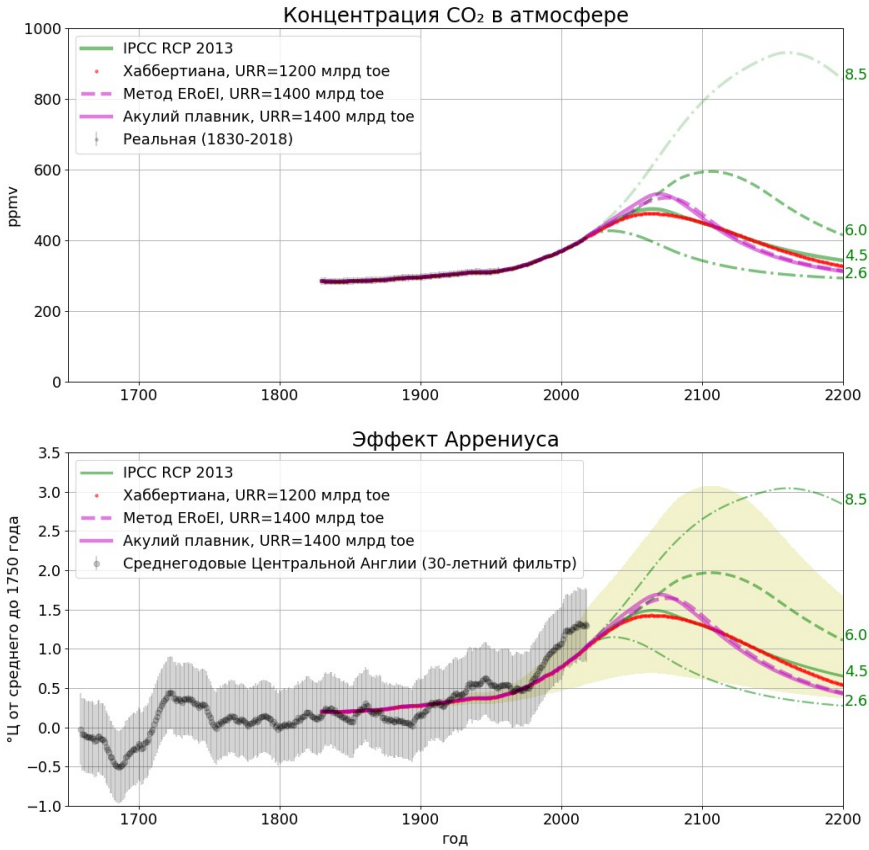
Смена парадигмы произошла не только в головах учёных, но и в головах политиков. В 18-19 мая 2012 года в Кэмп-Дэвиде состоялось 38-е совещание «*Большой восьмёрки*». В отличие от других лет, совещание проходило в узком кругу, а наблюдателей, кроме Евросоюза, не пригласили. Среди обсуждавшихся вопросов было два: (1) сокращение выбросов «парниковых» газов от авиации, (2) – внезапно – сброс на открытый рынок нефти из стратегических хранилищ с целью снизить цены, а «Брент» стоил тогда около $110 за баррель с отскоками до $130. Освещавшие саммит журналисты чесали в затылке: как можно за завтраком дополнительные налоги на авиабилеты обсуждать, а за обедом – снижение цен на нефть? Взаимоисключающие параграфы? Оказывается, обсуждать не можно, а нужно. Добровольно-принудительное снижение числа авиапассажиров и снижение нефтяного ценника – взаимосвязаны.

Программа **Chapter 18\Test_04_CO2_Emissions.py** сравнивает оценочные запасы IPCC/GEA с нашими оценками из глав 13 и 14:



Сценарий RCP8.5 исчерпает извлекаемые запасы по оценке GEA ещё до 2100 года. Малиновые кривые – сценарии ERoEI и «Акулий плавник», рассмотренные в главах 15 и 16 этой книги. Общие антропогенные выбросы углекислоты близки к сценарию RCP4.5. Уровни CO_2 в атмосфере и

глобальное повышение температур считает программа **Chapter 18\Test_05_CO2_Accumulation.py**



Максимальный «парниковый» эффект будет достигнут в 2070 году: от 1.0 до 2.7ºЦ выше значений «до индустриального периода» (с вероятностью 5-95%; наиболее вероятное значение +1.7º). К 2100 году повышение температур вследствие антропогенных выбросов углекислоты будет даже меньше: от 0.6º до 3.1º (вероятнее всего, 1.4º). К этому значению можно добавить не более 0.5º от выбросов других «парниковых» газов: метана и фреонов. Одновременно с повышением глобальных температур вследствие эффекта Аррениуса может произойти естественное изменение климата примерно на ±1º, как это уже происходило, например, с 1685 по 1725 гг. На фоне неопределённости оценки глобальных температур – не лучше ±0.5º – антропогенное влияние будет заметно, но мало значимо.

Можно высказать осторожную гипотезу, что «катастрофическое глобальное потепление» уже используется в современном обществе в качестве полит-корректного *эвфемизма* – заменителя понятия «исчерпание ресурсов». В XIX веке нельзя было сказать «господин X трахает госпожу Y». Говорили, что X и Y вместе «гуляют» или «читают романы». Примерно так же нельзя в XXI веке сказать: «нефть надо экономить, потому что надолго её не хватит». Следует

говорить: «надо меньше нефти жечь, чтобы глобального потепления не было». А истощение ресурсов – до сих пор социальное табу. В следующий раз, как будете болтать за жизнь в баре, попробуйте упомянуть Пик нефти. Сколько собеседников вежливо отойдёт в сторонку?

А пока итоги главы:

- Первая работа о влиянии концентрации углекислого газа на климат выполнена Сванте Аррениусом в 1896 году, далее моделированием эффекта занимались с середины 1930-х.

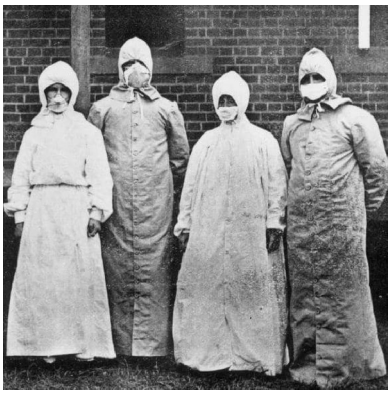
- Удовлетворительной модели климата пока нет. Причина в малой величине эффекта – порядка 0.01-0.02ºЦ в год – и недостаточной точности глобальных климатических наблюдений (не лучше ±0.46ºЦ). Кроме того, нет хороших данных и по многим другим входным параметрам компьютерных моделей: солнечной активности, распределению снежного покрова и облачности, концентрации аэрозолей от промышленности и вулканов в атмосфере, и т. п. Численные модели климата имеют огромные погрешности, а аналитического решения систем уравнений тепломассопереноса нет и не предвидится. Если найдёте, вам сразу выпишут миллион долларов. Кроме шуток[392].

- Даже самый главный параметр – концентрацию углекислого газа – IPCC достоверно предсказать не может, так как до 2013 года использовались модели экономистов – «корнукопианцев», в которых запасы ископаемого топлива полагались практически неограниченными, а уровень добычи определялся исключительно численностью населения и потребительским спросом. Модели IPCC 1990-2007 гг не имеют ничего общего с «*Пределами роста*» 1972 года.

- Где-то между 2007 и 2013 годами в IPCC, вероятно, произошёл сдвиг научной парадигмы: в отчёте 2013 года моделирование выбросов CO_2 основано на оценке извлекаемых запасов ископаемого топлива. Используются значения GEA: от 1'300 до 2'400 млрд toe начальных извлекаемых энергоресурсов (угля, нефти и газа). Одна из моделей IPCC – RCE4.5 – близка к модели Й.Рандерса 2012 года.

- Рассмотренная в главе 9 простейшая модель накопления углекислоты даёт повышение глобальных температур к 2100 году от 0.6 до 3.1ºЦ по сравнению с климатом «до индустриального периода» (наиболее вероятное значение 1.4º); существенного влияния на экономику такое повышение не окажет. ООН зря пугает нас миллионами «климатических беженцев». Десятки миллионов беженцев, похоже, произойдут, но не от климата, а от *исчерпания природных ресурсов*.

392 http://www.claymath.org/millennium-problems/navier%E2%80%93stokes-equation



Глава 19. Матрица перехода.

— Во-первых, недостаточно! — загремел Демиург. — Во-вторых, если вы даже сумеете организовать бойню, понимаете ли вы, чем она кончится? Послушайте, вас вообще-то учили, что через шесть месяцев погибнет от девяноста пяти до девяноста восьми процентов всего населения? Вы перед кем, собственно, намерены «гордо и богохульно» говорить на протяжении сорока двух месяцев... я уж не скажу — лет?

На физиономии Колпакова не осталось ни кровинки, однако он и не думал сдаваться.

— Прошу прощения, — произнес он с напором, — но ведь у меня и намерения такого не было — конкретизировать начало хаоса. Мне казалось всегда, что это как раз — на ваше усмотрение! И железная саранча Аваддона... и конные ангелы-умертвители... и звезда Полынь... Вообще весь комплекс дестабилизирующих мероприятий... Я как раз не беру на себя ответственность за оптимальный выбор...

– А. и Б. Стругацкие «Отягощённые злом, или сорок лет спустя»

В главе 4 упоминалось, что главным недостатком модели Мальтуса-Ферхюльста является *отсутствие задержки* между ростом рождаемости и ростом количества фертильных особей. Модель неплохо работает для бактерий, рыбок и северных оленей, но начинает буксовать, когда речь идёт о человеческой популяции.

Проблему численного моделирования решил в 1945 году Патрик Х. Лесли (1900-1974). Вместо скалярной переменной P предлагается использовать вектор (массив) $\{P_i\}$, где каждый элемент соответствует возрастной группе. Тогда:

$$\vec{P}(t+\Delta t)=[L]\cdot\vec{P}(t)$$

$$[L]=\begin{bmatrix} \chi b_0 & \chi b_1 & \cdots & \chi b_{n-1} & \chi b_n \\ 1-a_0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 1-a_1 & \cdots & 0 & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1-a_{n-1} & 0 \end{bmatrix}, \chi=\frac{TFR}{2\sum\limits_{i=0..n} b_i} \qquad \{19.1\}$$

[L] называется матрицей Лесли. Первая строка состоит из коэффициентов фертильности для отдельных возрастных групп. Например, если возрастные группы выбраны с шагом **Δt=1** год, у человеческой популяции коэффициенты **b_0… b_{12}** будут нулевые, а **b_{13}** – очень малым – до тринадцати лет рожают крайне редко[393]. Потом коэффициент нарастает, становясь к **b_{18}** единицей – нормальные физиологические роды. Коэффициент остаётся единицей до примерно **b_{35}**, а оттуда постепенно снижается в ноль, – и к 45 годам наступает менопауза. Значение **TFR** (total fertility rate) – количество живых родов в среднем на женщину в конкретной популяции. Например, при **TFR = 6**,

393 «Рождение живого ребёнка пятилетней женщиной» (sic!) описано в медицинской литературе, однако – невероятная редкость.

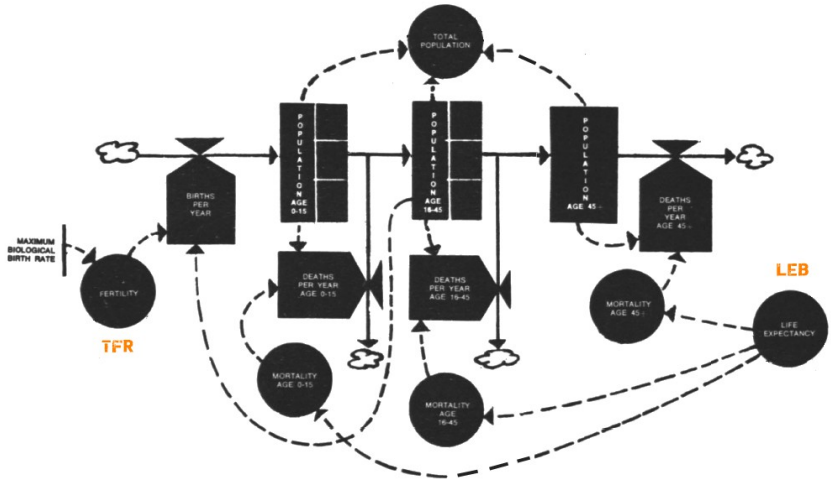
среднестатистическая женщина за время всей жизни физиологически могла бы родить $\sum \mathbf{b} = \mathbf{b_0}+\mathbf{b_1}+\ldots+\mathbf{b_n} \approx \mathbf{25}$ отпрысков, но реально рожает шестерых. Двойка в знаменателе учитывает, что мужчины рожать не могут, а в простейшей модели распределение полов полагается равным: 100/100[394]. И ещё для полноты решения нам понадобится коэффициент отношения младенцев мужского и женского пола: биологи заверяют, что на 100 рождённых девочек приходится 105 мальчиков.

Коэффициенты $\mathbf{a_i}$ – это смертность. Вероятность не дожить до первого дня рождения – $\mathbf{a_0}$, до второго (среди доживших до первого) – $\mathbf{a_1}$, и так далее. Из коэффициентов $\mathbf{a_i}$ можно рассчитать математическое ожидание продолжительности жизни на момент родов **LEB** (life expectancy at birth):

$$LEB = \sum_{i=1}^{n} \left[\prod_{j=0}^{i} (1 - a_j) \right] \qquad \{19.2\}$$

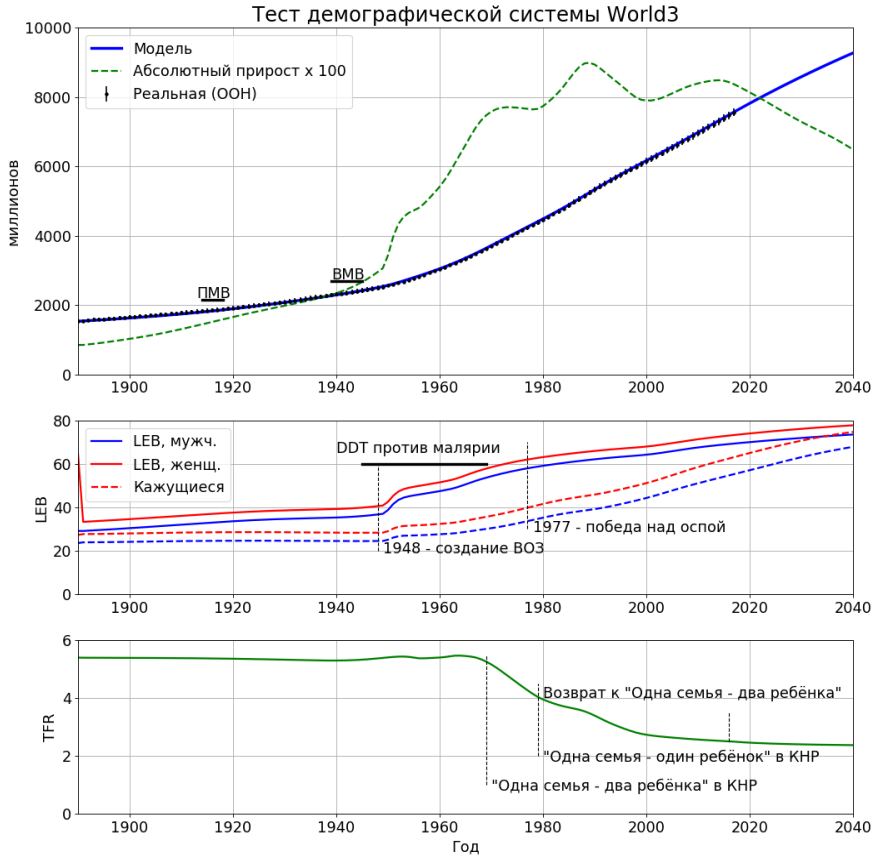
~~Русская~~ греческая $\mathbb{\Pi}$ тут означает произведение коэффициентов $(1-a_i)$ от рождения до i лет включительно. **LEB** не следует путать со средним возрастом в популяции. Например, если популяция стабильна (не увеличивается и не уменьшается), смертность первых пяти лет – по 20% в год, зато каждый, кто отметил пятый день рождения, доживает до 75 лет, средний возраст популяции будет 34.7, но ожидание продолжительности жизни **LEB** – всего 26.3 года.

В модели *World3* 1972 года матрица Лесли присутствовала в неявном виде. Популяцию разбили на три возрастные группы: «от 0 до 15 лет», «от 16 до 45 лет» и «46 лет и старше». Соответственно, введены три коэффициента смертности и один – фертильности; для простоты предполагали, что смертность мужчин и женщин одинакова. В модели *NewWorld* Й.Рандерса добавлена ещё одна возрастная группа: «66 лет и старше».



394 По данным ООН (https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/) соотношение мужчины: женщины в мире было в 1960 году 100:100, а в 2015 – 101.8:100.

Нас ограничения *DYNAMO* и *VENSIM* не волнуют, оттого выбрана дискретизация 1 год. Полный код класса **Population_World3** находится в файле **\Chapter 19\Population.py**, а его проверка выполняется программой **\Chapter 19\Test_01_Population_World3.py** Данные по **LEB** и **TFR** получены от демографов ООН посредством веб-ресурса «*Our World in Data*»[395].



Ни Первая, ни Вторая мировая войны на графике прироста населения практически не заметны. На графиках **LEB** – примечательный скачок ожидаемой продолжительности жизни после 1945 года: под руководством созданной в 1948 году Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) антибиотики, массовые прививки и уничтожение малярийных комаров неплохо помогли против младенческой смертности. Кроме графиков реальных **LEB** по формуле {9.2} приводятся «кажущиеся» $\mathbf{LEB_a}$ (их также называют «средней продолжительностью жизни»):

$$LEB_a = \frac{\sum s_i n_i}{\sum n_i} \qquad \{19.3\}$$

$\mathbf{n_i}$ – количество умерших за календарный год в возрасте $\mathbf{s_i}$ лет.

395 https://ourworldindata.org/life-expectancy

Специально для гипотетической иллюстрации возьмём небольшой американский городок позапрошлого века. Население 1'000 человек – это плохая статистика, зато чисел меньше, а считать проще. В 1856 году родился Ник Смит – здоровенький младенец массой 8¾ фунта. В том же году в городке умерло 12 человек: 5 стариков и старушек в возрасте несколько за 70, утонувший в реке мужчина 30 лет и 6 детей в возрасте до 5 лет. Кажущаяся продолжительность жизни в городке (5·70+1·30+6·2.5) / 12 = 33 года. Значит ли это, что Нику на роду написано умереть – в среднем – в 33?

Перенесёмся в 1863. Двумя годами ранее началась Война Севера и Юга. Взрослые мужчины ушли: кто-то добровольцем, а кого-то призвали. Ровно за четыре года война унесла жизни от 625 до 850 тысяч американцев (точнее никто не знает). Со стариками, женщинами и детьми джентльмены того времени старались особо не воевать, а авиации, чтобы проводить ковровые бомбардировки, ещё не придумали. Артиллерийские бомбардировки, к несчастью, уже были – и наделали порядочно. В группе населения «мужского пола, от 15 до 45 лет», – как писали тогдашние статистики, – погиб каждый восьмой. Каждый двадцать четвёртый взрослый мужчина – 4.2% в 1866 году – был инвалидом войны. Пиратская деревяшка вместо ноги считалась в порядке вещей! Тех, кто был просто «легко ранен», отделался болевшими к непогоде шрамами и помер на десяток лет раньше положенного биологией возраста, в XIX веке подсчитывать не затруднялись.



В нашем гипотетическом городке в 1863 насчитали 40 смертей: те же 5 стариков и старушек, которым за 70, 7 детей в возрасте до 5 лет и 28 мужиков призывного возраста, геройски погибших под Геттисбергом. Кажущаяся продолжительность жизни в городке (5·70+28·25+7·2.5) / 40 = 18 лет. Конкретному Нику Смиту в 1863 году исполнилось семь. Значит ли это, что по статистике ему осталось всего 11 лет жизни? Конечно, нет. Во-первых, мальчуган пережил критический возраст пять лет и не умер от детских болячек. Во-вторых, на *эту* войну его не возьмут даже барабанщиком – нос не

дорос. У Ника есть неплохие шансы дожить до преклонных годов.

Но вот война кончилась, а наш городок вернулся к мирной жизни. В 1901 году уважаемому пастору местной церкви Николасу Смиту стукнуло 45. В том же году отец Николас отпевал 9 человек: 5 стариков и старушек в возрасте за 70, попавшую под поезд восемнадцатилетнюю девушку и трёх детей в возрасте до 5 лет. Да, медицинский прогресс налицо: от коклюша и скарлатины умирают не так часто, как в XIX веке. Кажущаяся продолжительность жизни в городке (5·70+1·18+3·2.5) / 9 = 42 года, а преподобный Смит живёт уже дольше, чем статистическое среднее.

Чтобы точно подсчитать **LEB** по формуле {19.2} для детишек, родившихся, как Ник Смит, в 1856 году, надо долго отслеживать фактические данные о смерти. Первый статистически надёжный результат получится где-то в 1936 – через 80 лет, а лучше дождаться, когда последний родившийся в 1856 году умрёт, то есть лет сто с небольшим.

Формула {19.3} – тоже неточная, особенно если применяется без оглядки на миграцию. Например, в СССР ходила легенда, будто в «нефтяных» городах Крайнего Севера очень низкая средняя продолжительность жизни, особенно у мужчин. На самом деле – издержки паспортной системы. В этих городах и правда умирали молодыми: кто на буровой, кто на рыбалке, кто по пьяни, кто в ДТП (кто в ДТП по пьяни, отправившись с рыбалки на буровую). Подставив сорокалетних и тридцатилетних мужиков в формулу {19.3}, получали $\mathbf{LEB_a}$ в тридцать пять лет. Тех, кто в 50 пошёл на повышение в Тюмень или Москву, либо в 60 вышел на пенсию и уехал жить в Краснодар, благополучно считали уже другие паспортные столы и ЗАГС, и там средняя продолжительность жизни получалась даже слегка завышенной.

Ясно, что выдаваемые ООН данные по **LEB** – это *статистическая прикидка*. Чтобы узнать реальное значение **LEB** 2015 года, надо дожить по крайней мере до 2095.

Быстро разберём ещё один показатель, который к месту и не к месту всплывает в Интернете: *годовой относительный прирост населения* («коэффициент воспроизводства населения», он же «естественный прирост», он же «ежегодные темпы роста населения»). Эту величину любят выражать в годовом приросте на 100'000 человек либо в процентах. Русская Википедия[396], ссылаясь на «*2013 World Population Factsheet*» пишет:

Глобальный рост населения составляет около 75 миллионов, или 1.1% в год. Мировое население выросло с 1 миллиарда в 1800 году до 7 миллиардов в 2012. Ожидается, что население продолжит расти и достигнет 8.4 миллиарда к середине 2030-х, и 9.6 миллиарда к середине 2050-х. Многие страны с быстрым ростом населения имеют низкий уровень жизни, тогда как многие страны с низким ростом населения имеют высокий уровень жизни.

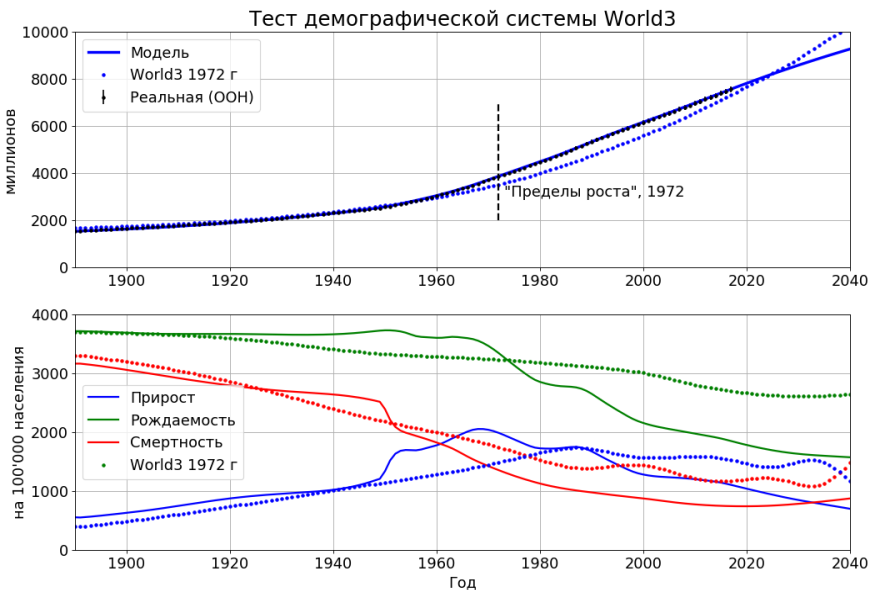
В тексте Википедии переврано почти всё. По услужливо предоставленной ссылке обнаруживаем презентацию «*Международного статистического*

396 https://ru.wikipedia.org/wiki/Рост_населения, скачано в марте 2019 г.

бюро»[397], а там написано, что не «около 75 миллионов в год», а 86.581 миллиона, то есть не «1.1%», а 1.20% прироста в год. По данным ООН, уже в октябре 2011 года людей на Земле было 7 миллиардов[398]. Та же ООН полагает, что в 2030 году нас будет вовсе не «8.4 миллиарда», а 8.55. Ну и ежели вы считаете, что 2046 (*сорок* шестой прописью) год – это «середина 2050-х», то таки да: 9.6 млрд.

Действительно, многие страны с быстрым ростом населения имеют низкий уровень жизни и наоборот, но это далеко не правило. Есть страны с высоким уровнем жизни, где население до сих пор растёт быстро, – та же Саудовская Аравия. Ещё контрпример: Судан в XX веке пару раз поражал голодомор, вызывая на несколько лет кряду отрицательное воспроизводство; это не значит, конечно, что страна в эти годы неожиданно богатела. Как это в Вики частенько бывает, из четырёх утверждений три – заведомое вранье и одно – натяжка совы на глобус.

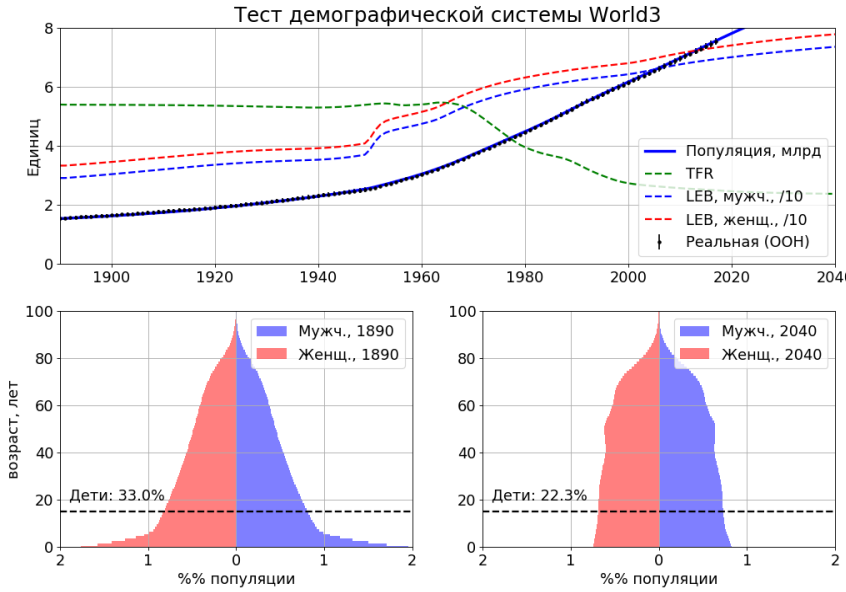
Ниже приводится расчёт прироста населения, рождаемости и смертности по алгоритму из *World3* 1972 года.



В 1972 году авторы «*Пределов роста*» не знали реальной популяции Китая и Индии, оттого ошиблись с общей численностью населения Земли на 300 млн человек. Численные результаты Первой (1953) и Второй (1964) переписей населения КНР не публиковались вплоть до Третьей переписи 1982 года. Перепись в Индии в 1971 году проходила на фоне войны за независимость и геноцида в Бангладеш, и результаты не публиковали в течение нескольких лет.

Проведём оценку распределения возраста в популяции с использованием кода *World3*, как показано программой **\Chapter 19\Test_03_Population_World3.py**

397 https://assets.prb.org/pdf14/2014-world-population-data-sheet_eng.pdf
398 См ссылку 21 в главе 3.



В 1890 году средняя женщина рожала 5.4 раза, притом из новорожденных более четырёх доживало до пяти лет – точно как в гипотетическом примере выше. Примерно ⅓ популяции Земли составляли дети и подростки младше 15 лет. К 2040 году, если существующие демографические тенденции сохранятся, детей и подростков будет менее ¼, а **TFR** составит около 2.35, при непрерывном увеличении **LEB** – до 78-80 лет.

В Википедии есть статьи, посвящённые демографическому переходу[399]. Приведём цитаты. Сначала пойдём по этапам демографического перехода из английской Вики:

The transition involves four stages, or possibly five.

- ***In stage one**, pre-industrial society, death rates and birth rates are high and roughly in balance. [...] Population growth is typically very slow in this stage, because the society is constrained by the available food supply; therefore, unless the society develops new technologies to increase food production [...], any fluctuations in birth rates are soon matched by death rates.*
- ***In stage two**, that of a developing country, the death rates drop quickly due to improvements in food supply and sanitation, which increase life expectancies and reduce disease,[...] numerous improvements in public health reduce mortality, especially childhood mortality. [...] One of the variables often cited is the increase in female literacy combined with public health education programs which emerged in the late 19th and early 20th centuries. [...] Without a corresponding fall in birth rates this produces an imbalance, and the countries in this stage experience a large increase in population.*
- ***In stage three**, birth rates fall due to various fertility factors such as access to contraception, increases in wages, urbanization, a reduction in subsistence agriculture, an increase in the status and education of women, a reduction in the value of children's work, an increase in parental investment in the education of children and other social changes. Population growth begins to level off. [...]*
- *During **stage four** there are both low birth rates and low death rates. Birth rates may drop to well*

399 По-русски: https://ru.wikipedia.org/wiki/Демографический_переход, английская версия слегка отличается: https://en.wikipedia.org/wiki/Demographic_transition. Скачано в мае 2019 г.

below replacement level as has happened in countries like Germany, Italy, and Japan, leading to a shrinking population [...]

- *Some scholars break out, from stage four, a "**stage five**" of below-replacement fertility levels. Others hypothesize a different "stage five" involving an increase in fertility.*

Нормальный литературный перевод английского текста звучит так:

Переход включает в себя четыре этапа или, возможно, пять.

- *На **первом этапе**, в доиндустриальном обществе, показатели смертности и рождаемости высоки и примерно одинаковы. [...] Рост населения на первом этапе обычно очень медленный, потому что общество ограничено доступными запасами продовольствия. Пока общество не придумает новые способы увеличения продуктивности сельскохозяйственного производства [...], любое увеличение рождаемости вскоре приводит [вследствие недостатка продовольствия] к повышению показателей смертности.*
- *На **втором этапе** – в «развивающейся» стране – смертность быстро падает из-за улучшения питания, санитарии и здравоохранения. Увеличивается продолжительность жизни и снижается заболеваемость, [...] снижается смертность, особенно детская. [...] Одним из часто упоминаемых факторов является рост грамотности среди женщин в сочетании с программами просвещения в области общественного здравоохранения, которые появились в конце XIX – начале XX века. [...] Без соответствующего снижения рождаемости снижение смертности приводит к дисбалансу, и в странах на данном этапе наблюдается значительный рост населения.*
- *На **третьем этапе** рождаемость падает из-за различных факторов, например: доступности противозачаточных средств, повышения заработной платы, урбанизации, сокращения натурального сельского хозяйства, повышения статуса и образовательного уровня женщин, снижения ценности детского труда, увеличения родительских инвестиций в образование детей и т.п. Рост населения постепенно замедляется. [...]*
- *На **четвёртом этапе** наблюдаются как низкий уровень рождаемости, так и низкий уровень смертности. Рождаемость даже может упасть намного ниже уровня воспроизводства, как это произошло, например, в Германии, Италии и Японии, где наблюдается сокращение популяции [...]*
- *Некоторые учёные полагают, что за четвёртым этапом последует «**пятый этап**», когда рождаемость [в большинстве стран] будет ниже уровня замещения. Другие специалисты выдвигают гипотезу что на «пятом этапе» начнётся новое увеличение рождаемости [и новый рост популяции].*

А вот что написано в статье русской Википедии (цитируется по оригиналу):

В концепции демографического перехода выделяются четыре последовательных этапа в демографической истории человечества. Обозначим коэффициент рождаемости через $R(x)$, коэффициент смертности через $S(x)$, тогда прирост коэффициента рождаемости будет $R'(x)$, а коэффициента смертности будет $S'(x)$.

- *На **первом этапе** обнаруживается меньшее снижение коэффициента рождаемости чем снижение коэффициента смертности ($R'(x)>S'(x)$), следовательно коэффициент естественного прироста максимален (прирост максимальный). К 1925 г. этап пройден промышленно развитыми странами.*
- *На **втором** коэффициент смертности снижается и достигает минимума ($S'(x)=0,(min)$), в то время как коэффициент рождаемости снижается быстрее коэффициента смертности ($R'(x)<S'(x)$), что приводит к замедлению прироста населения, а также к демографическому старению населения.*
- *На **третьем** коэффициент смертности увеличивается ($S(x)$ растёт) (вследствие демографического старения), а также замедляется снижение коэффициента рождаемости ($R'(x)$ падает). К концу третьего этапа коэффициент рождаемости примерно равен уровню простого воспроизводства, а коэффициент смертности ниже уровня простого воспроизводства. ($R(x) \approx 2{,}1$, $S(x) < 2{,}1$, где $2{,}1$ — это уровень простого воспроизводства).*
- *Наконец, на **четвёртом этапе** коэффициент смертности увеличивается ($S(x)$ растёт), и становится равным коэффициенту рождаемости. ($S(x)=R(x)$) Процесс демографической стабилизации заканчивается.*

Очевидно, что циферки в номерах этапов разные. Русское число «один» соответствует английскому «два», и так далее, а вот английский «первый этап» в русском тексте вообще отражения не нашёл. При этом английский текст хотя бы ссылается на учебник Университета Висконсина[400], а русский текст – вообще ни на что не ссылается. Если про**фф**ессоры не могут сами с собой согласиться, как нумеровать этапы, есть сильное подозрение, что «научной теорией» демографический переход не является.

У текста из русской Вики есть одна нерешаемая проблема: текст этот ровным счётом ничего не объясняет. Примерно так же можно описывать движение идеального маятника: «когда первая производная отклонения X' отрицательна (X'<0), маятник движется справа налево, а когда положительна (X'>0) – слева направо». Математически тут всё верно – не подкопаешься, но объяснения, отчего производная становится то внезапно положительной, то вдруг отрицательной – нет! «Верёвка суть вервие простое». Далее по тексту русская Википедия плавно переключается на обсуждение толерантных гей-парадов(!) и движения «*Чайлд-фри*».

В англоязычной Вики (и на сайте Университета Висконсина) состояние дел немного лучше. Если бы они объясняли маятник, звучало бы так: «В верхней правой точке на маятник действует сила тяжести, толкающая маятник к нижней точке. В нижней точке сила тяжести действовать перестаёт. Теперь маятник толкает сила инерции, приводящая его в левую верхнюю точку. В левой верхней точке сила инерции действовать перестаёт, но снова вступает в действие сила тяжести, толкающая маятник обратно в нижнюю точку, и так далее». С некоторой натяжкой принять можно, но каждый, кто не спал на уроках физики в средней школе, наверняка уже поморщился – объяснение-то паршивое. Сила тяжести не включается и не выключается качающимися маятниками, а то бы наши с вами предки после изобретения маятниковых часов в космос улетели. В объяснении отсутствуют главные силы: натяжение нити маятника и реакция точки подвеса, зато есть фиктивная сила инерции, которая (если мы наблюдаем маятник из инерциальной системы отсчёта) для понимания не требуется совершенно.

Тут самое время разобраться, кто вообще «теорию демографического перехода» придумал и запустил в массы. Между русской и англоязычной Вики в этом вопросе консенсус: типа, разработал в 1940-х[401] американский демограф Фрэнк Ноутштейн (1902-1983). Университет Висконсина – то есть основной цитируемый источник англоязычной Вики – с Википедией категорически не согласен: и не Ноутштейн вовсе, а Уоррен С. Томпсон (1887-1973), и не в 1945, а в 1929[402]. В одном Вики не ошиблась: Томпсон тоже был американским демографом, а не хухры-мухры. Имечко для «теории» в 1934 сделал «мемом» француз – политик с социалистическим уклоном, сенатор Адольф Ландри (1874-1956). Он, правда, называл этот процесс «демографической

400 http://pages.uwc.edu/keith.montgomery/Demotrans/demtran.htm
401 Frank Notestein, *Population: The long view*, в сборнике «*Food for the Worm*», Chicago, 1945, стр. 36-57.
402 W. S. Thompson, *Population*. American Journal of Sociology, 34, 1929, стр. 959-975.

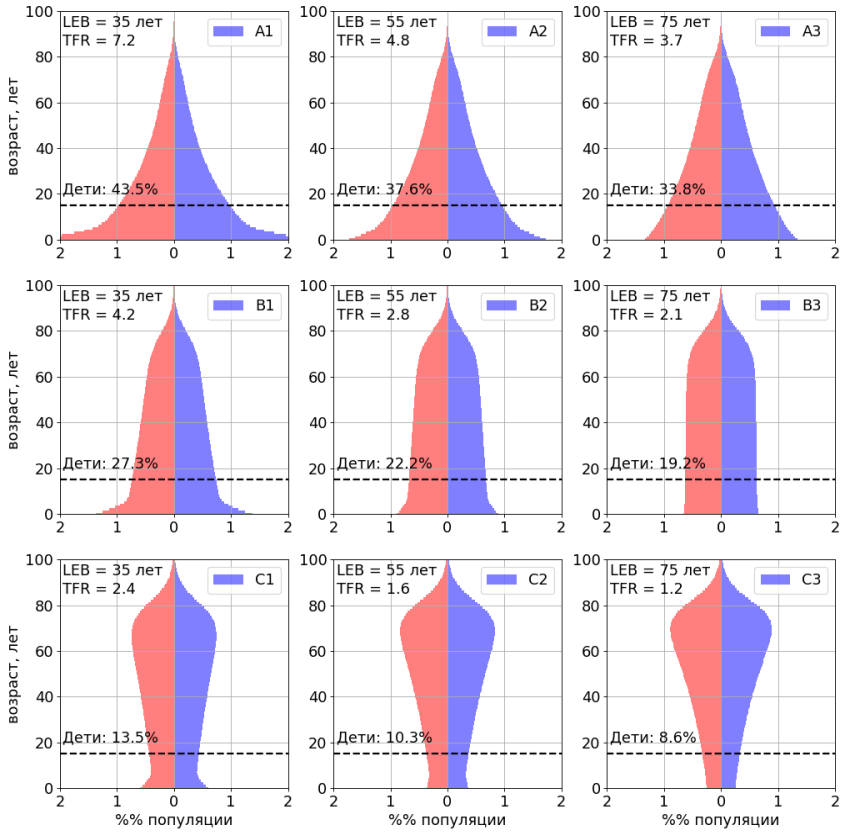
революцией»[403], но с социалистами в Америке времён Великой депрессии как-то не церемонились, потому «*la révolution*» на всякий случай перевели как «переход» (*transition*). Впрочем, автор термина – не Ландри. Он ссылается на публиковавшихся на французском выходцев из России: Александра Михайловича Кулишера (1890-1942) и Леона Радзиновича (первоначальная фамилия – Рабинович, 1906-1999). Возможно, повлияли и работы украинца – статистика Арсения Петровича Хоменки (1891-1939). Вас вряд ли удивит, что и Кулишер, и Радзинович, и Хоменко были немножко марксистами. Последний автор за уклон от всесильного-потому-что-верного, а также за перепись населения 1937 года, оказался в расстрельном подвале.

Так или иначе, англоязычная Вики цитирует этапы демографического перехода в точном соответствии со статьёй Ноутштейна 1945 года, а вот откуда свои этапы взяла Вики русская – поди догадайся. Поэтому русскую статью Википедии – вместе с её толерантностью – мы засунем куда всегда и далее будем обсуждать оригинал «теории» Рабиновича-Томпсона-Ноутштейна.

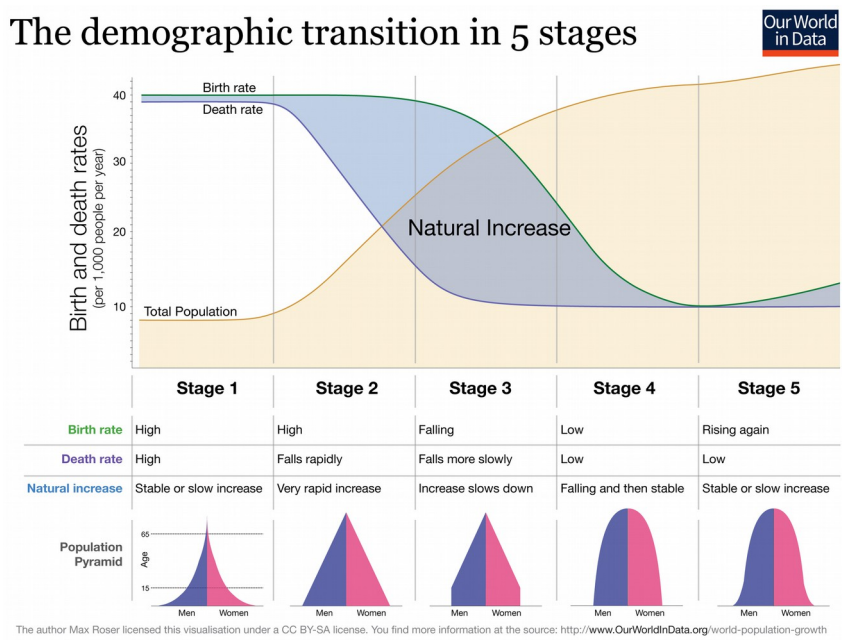
Перво-наперво, надо назвать «теорию демографического перехода» как положено: научной *гипотезой*, со всеми вытекающими. Чтобы гипотезу в теорию превратить, полемических статей мало, надо подвести хоть какой-то математический аппарат и проверить, соответствует ли гипотеза совокупности наблюдений, благо статистики рождаемости и смертности в мире собирается масса. Ноутштейна, а тем более Хоменко, мы не осуждаем. Просто у нас есть электронный компьютер, а в компьютере уже есть современная инкарнация *World3*. Создадим 9 условных стран с населением 100 млн в условном 1900 году. В странах A1, A2 и A3 население удваивается каждые 33.3 года – это на 10 лет медленнее, чем размножение белых колонистов и чёрных рабов в Америке XVIII века. В странах B1, B2 и B3 популяция стабильна, а в C1, C2 и C3 каждые 33.3 года происходит двукратное сокращение. Значения **LEB** и **TFR** приведены в таблице.

Страна	LEB	TFR	Население в 1900 г	Население в 2000 г
A1	35	7.2	100	800
A2	55	4.8	100	800
A3	75	3.7	100	800
B1	35	4.2	100	100
B2	55	2.8	100	100
B3	75	2.1	100	100
C1	35	2.4	100	12.5
C2	55	1.6	100	12.5
C3	75	1.2	100	12.5

403 A. Landry, *La Révolution Démographique*, Paris, 1934.



Сравните полученное с типичной картинкой из Вики (заметим, что это тоже продукт «*Нашей планеты в данных*»).



Показывая подобные картинки студентам, обычно рассказывают сказочку: «*В зататаринные времена, была ох какая высокая рождаемость, и офигеть высокая детская смертность, посему-поэтому распределение населения от возраста выглядело как резко суживающаяся кверху пирамидка (этап 1). Умненькие дяди и тёти доктора победили болезни и ввели всеобщий ручки-мой-перед-едой, отчего смертность сразу упала, пирамидка стала конусом (этап 2), а население стало весело расти. Мамаши поняли, что много спиногрызов не надо, и стали меньше рожать (этап 3). Под конец, уменьшение рождаемости соответствует уменьшившийся детской смертности. Пирамидка стала столбиком (этап 4). И стали они жить-поживать, да добра наживать*». Ну и в качестве версии, – в зависимости от вашего ~~маркеизма~~ пессимизма, – этап 5, когда «*стали жить-поживать, потихоньку вымирать*».

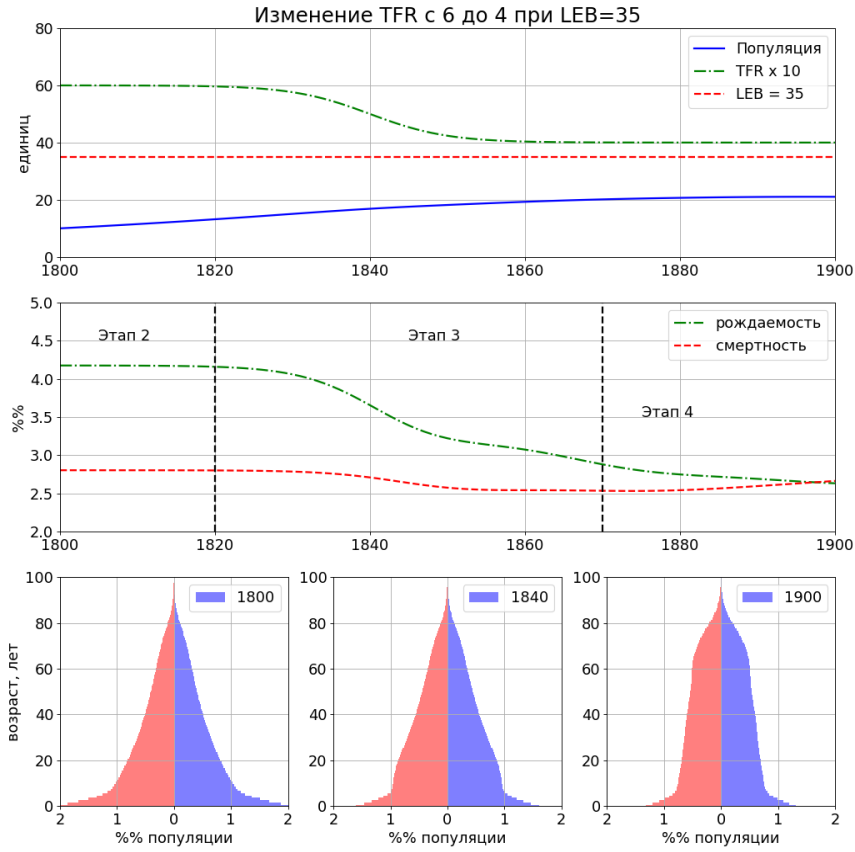
Но это в сказочках, а у нас перед глазами математическая модель. Оказывается, совершать демографические переходы и превращать пирамидки в столбики и обратно общество способно *при любом разумном уровне смертности*[404]. Картинки A1-C1 выше – продолжительность жизни **LEB=35** лет. Картинки A3-C3 – **LEB=75** лет. И в том, и в другом столбце есть как «пирамидка» этапа 2, так и «столбик» этапа 4, и даже «сосулька» гипотетического этапа 5. От детской смертности в частности и от уровня гигиены вообще возрастное распределение в популяции мало зависит. Медики сильно влияют на самый-самый низ «пирамидки» или «столбика» – так называемую перинатальную смертность – с двадцать второй недели беременности и до 7 дней от роду. Ну и ещё – спасают рожениц да какое-то количество младенцев между рождением и первым годом жизни. Сравните нижние части графиков C1, C2 и C3.

Подтверждения? США, Британия, страны Северной Европы благополучно выполнили свои «демографические переходы» в конце XVIII – середине XIX века, практически на одинаково *низкой* ожидаемой продолжительности жизни. Только с оспой боролись кое-как (прививка из болячки оспенного больного!), ещё свирепствовали туберкулёз, полиомиелит, сифилис, и даже от коклюша можно было заработать воспаление лёгких, а антибиотиков не было. А что доктора? Умчались, как Айболит, в Лимпопо – на орлах, лечить детишек? Вроде нет. В XVIII веке доктора рвали гнилые зубы, пускали кровь и рекомендовали давать детям пиво против холеры. Да и в XIX веке – так себе. Эскулапы в 1863 году по Африкам не летали, а пилили солдатикам руки-ноги в Геттисберге, за три дня увеличив количество американских инвалидов на 25 тысяч. Под алкогольным наркозом, пилкой, измазанной в крови двух десятков предыдущих страдальцев, вытирая пальцы о фартуки. Какая ещё санитария?

Попробуем выполнить моделирование пирамидок и столбиков за счёт изменения **TFR**. В программе **\Chapter 19\Test_05_TFR_Change.py**

404 «Любой разумный» подразумевает, что достаточное количество девочек доживает до репродуктивного возраста. Практически это означает детскую смертность не более 60-70%. Конечно, такие числа в XXI веке кажутся «безумными».

рассматривается гипотетическая страна с населением 10 млн, находящаяся в условном 1800 году на «этапе 2» и добирающаяся за 100 лет до «этапа 4». Ожидаемая продолжительность жизни в процессе остаётся постоянно низкой: **LEB = 35**.



Модель показывает все необходимые атрибуты «демографического перехода»: натурально, плавное снижение коэффициента рождаемости с 4.2 до 2.6%, изменение коэффициента смертности с 2.8 до 2.5% в условном 1870 и обратно до 2.7% в 1900, постепенное превращение демографической «пирамидки» в «столбик». Изменение коэффициента смертности при неизменной **LEB** не должно удивлять – коэффициент вычисляется как отношение общего числа умерших к общей численности популяции, а раз меньше рожают, то – при том же развитии медицины – и меньше умирает младенцев.

Возвращаясь к нашему примеру идеального маятника, мы отказались в объяснении от ненужной «силы инерции» и указали единственный параметр, контролирующий наблюдаемые показатели – реальную фертильность, то есть количество живых родов за время жизни в среднем у женщины, **TFR**. Сокращение количества детей в семье с 6.0 до 4.0 «цивилизует» нашу пирамидку и превращает её в «столбик» куда надёжней, чем самый добрый Айболит!

Первый этап демографического перехода Томпсон назвал «мальтузианским». Он писал, что на этом этапе общество не имеет существенного контроля ни над детской смертностью, ни над рождаемостью. Происходят колебания численности популяции, как мы подробно разбирали в главе 4: когда рождается слишком много «спиногрызов», наступает недоедание, затем голод и эпидемии, общество предаётся войне и прочим «порокам», оттого население сокращается, и всё начинается сначала. Таким образом, рассуждал Томпсон, популяция остаётся примерно там, где ей позволяет находиться текущая технология сельскохозяйственного производства. С этим описанием можно согласиться, но с одной существенной оговоркой. Текущая технология является ограничителем только там, где нет излишка сельхозугодий. Мы прекрасно знаем, что во времена Мальтуса ограничение по технологии действовало в Англии, но колонисты Северной Америки, с той же или даже более примитивной технологией землепользования, удваивали численность населения каждые 20-25 лет[405]. К 1930-м, излишков сельскохозяйственной земли уже не было нигде, кроме разве что Бразилии и Аргентины.

Согласно Ноутштейну, второй этап демографического перехода характеризуется постепенной победой над детской смертностью и увеличением продолжительности жизни, но контроль над рождаемостью в обществе пока отсутствует. На третьем этапе победившее детскую смертность общество постепенно обучается контролировать рождаемость. Смертность и рождаемость под полным контролем на четвёртом этапе перехода. Для существования гипотезы важна именно эта последовательность: сначала Айболиты, потом – презервативы, но ни в коем случае не наоборот!

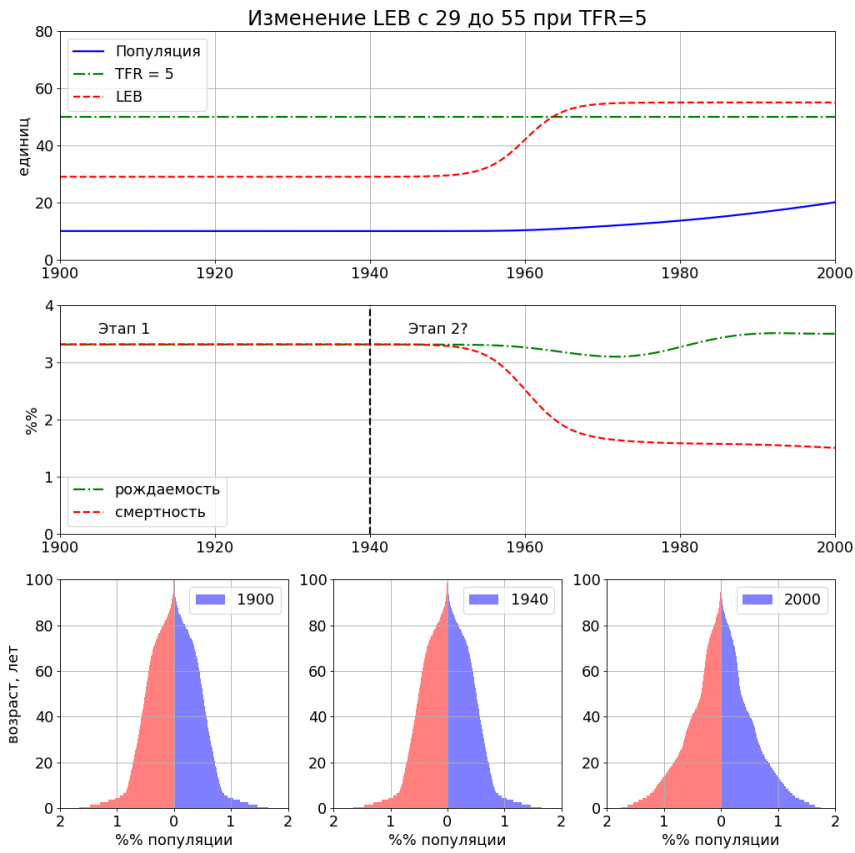
Придуманный Ноутштейном механизм этапа 2 вызывает сомнения. В качестве движущей силы перехода демограф указывал некую «модернизацию», не уточняя, что это такое. Словосочетание «модернизация общества» (*society modernization*) появляется во всех статьях по много раз. Лично мне модернизация Ноутштейна напомнила «торсионное поле» из творчества научных фриков: субстанция и болезни-то лечит, и экономить бензин-то помогает, и всхожесть семян-то повышает, и чуть не в космос-то летать вскорости позволит, а вот определению не поддаётся, хоть убей.

Задним числом можно придумать объяснение термина. **LEB** объективно увеличивается в связи с переходом от натурального к индустриальному (товарному) сельскому хозяйству, но только после соответствующего развития транспортной инфраструктуры. При натуральном хозяйстве неурожай на любой незначительной территории приводил там к голоду, со всеми последствиями. При наличии товарных излишков, но слабой логистике, недород будет опасен, если случится на достаточно большой площади, например в границах целой страны. Развитая международная торговля позволяет как-то решить вопрос. Параллельно с развитием товарного производства происходит развитие государственных институтов: армии, полиции, дипломатии, судебной системы и т. д. Согласитесь: если вас не

405 Подробно эти показатели разбирались в главе 3.

убивают разбойники с большой дороги, вашу деревню не поджигают злобные кочевники, а ваш урожай не отберёт сосед, просто оттого, что он сильнее, то вы проживёте несколько дольше. Римская империя, а до неё древние греки «модернизировались» именно так. Затем настали «тёмные века», и цикл повторился в современной истории Европы, начиная с XVII века. Закончилось уже после Мальтуса, когда благодаря изобретению паровозов, пароходов и холодильников появилась возможность доставки еды хоть с противоположной стороны земного шара – была бы политическая воля. Ну и доктора-медики имеют какое-то значение, но эти добрые дяди и тёти выходят на сцену уже под самый конец представления, когда в наличии и дороги, и торговля, и суды с полицией. Что будет, если эскулапы появятся раньше времени?

В программе **\Chapter 19\Test_05_LEB_Change.py** рассматривается гипотетическая страна Лимпопо с населением 10 млн, находящаяся в условном 1900 году на «этапе 1». В начале 1950-х туда примчался на орле доктор Айболит и за пару десятилетий увеличил продолжительность жизни с 29 лет до 55, например поставив детям ~~градусники~~ прививки и опрыскав болота ДДТ от малярийных комаров.



Ясно, что наш Айболит на орле, а не вырос в местной деревне. Находящаяся в мальтузианском «цикле нищеты» страна сама вырастить медицинские кадры



такого калибра не в состоянии – чтобы эффект был, на 10 миллионов народу не один Айболит же нужен, а минимум полтысячи. В лучшем случае местный конунг обеспечит прибывшим медикам без границ достойных кандидатов на должности медсестёр и санитаров (после производственной практики).

Запускаем модель. С 1960 по 2000 год население Лимпопо удваивается, и демографическая пирамидка становится только шире! Ровно четыре страницы назад сказочники заливали нам, будто широкая у основания пирамидка – это характерный признак этапа 1. Тогда, где у нас этап 1, и где – этап 2?

И главное: если до 1950 года численность населения в стране ограничивалась «по Мальтусу», то есть продовольствием на 10 млн человек, притом пустующих сельхозугодий уже не было, то чем кормить 20 миллионов в 2000 году? Конечно, немедленно после прилёта Айболита начинают приземляться другие орлы: кто с мешками гуманитарной помощи, кто с консультантами по сельскому хозяйству, удобрениям и ГМО (это новая технология землепользования!), кто с бронемашинами для местной полиции. Гуманитарную помощь и броневики аборигены принимают с благодарностью, консультантов тоже – за последних можно затребовать неплохой выкуп. А не заплатят – в котёл. Консультант – это не только ценная белая шкурка, но и 70, а то и 120 килограммов диетического мяса[406]…

Короче, без засылки огромного отряда «прогрессоров» во все органы управления маленькой, но гордой Лимпопо, перехода от этапа 1 к этапу 2 не происходит.

Менее интенсивное внешнее вмешательство (класса «Айболит-онли») может привести не к счастливому переходу, а к кровавой диктатуре, повальному бандитизму либо к гражданской войне – импортным полицейским броневиком так удобно давить детишек из соседнего враждебного племени. Кстати, если за Айболитом не последуют орлы с гуманитарной помощью, никакого увеличения **LEB** в Лимпопо и не выйдет. Вылеченных от скарлатины детишек – уже подавили. Сам героический доктор угодил в заложники и – пусть конец истории добрым будет, – просидев год в «тигровой яме», улетел домой с тяжёлой душевной травмой.

Логических цепочек, отчего уменьшение **TFR**, при прочих равных условиях, *может* привести к плавному увеличению продолжительности жизни **LEB**, можно придумать массу:

- Даже при современном развитии медицины рожать 10-12 раз в целом

406 Кроме шуток: https://lenta.ru/articles/2018/03/04/nyam_nyam/. Президент Бокаса был социалистом, лучшим другом ~~физкультурников~~ СССР, приезжал к пионерам в «*Артек*»…

опаснее, чем 2-4 раза, а при более примитивном родовспоможении 1950-х примерно каждые пятнадцатые роды заканчивались гибелью матери либо тяжкими последствиями для здоровья. Меньше родов в среднем у женщины – больше женщин доживает до старости.

- Меньшее количество детей в семье позволяет тратить больше средств на воспитание каждого отдельного ребёнка. Хорошо образованный отпрыск будет знаком с основами гигиены, санитарии и ЗОЖ и, вероятно, проживёт дольше. Также, меньшее количество детей позволяет дать хорошее образование не только мальчикам, но и девочкам. Образованные молодые женщины – это не только планирование семьи, но и более здоровое потомство.
- Компактные семьи позволяют эффективно контролировать инфекции (как «детские»: корь, скарлатина, так и «взрослые»: туберкулёз, сифилис, лепра и т.п.), снижая и общую, и в особенности детскую смертность. В случае «детской» инфекции лучший медицинский уход за заболевшими детьми уменьшает количество осложнений. Реже осложнения – дольше средняя продолжительность жизни.
- Так как молодёжи в целом меньше, ценность человеческой жизни, а значит и ценность труда – возрастают. Выше заработная плата – лучше питание, выше качество жизни. Выше ценность работника – безопаснее производство, меньше погибших, травмированных и инвалидов… Список можете продолжить.

А вот логических цепочек, отчего удлинение **LEB** *может* вызвать уменьшение **TFR**, всего две:

- Психологическая уверенность родителей в завтрашнем дне: дети не помрут внезапно от какой-нибудь эпидемии, есть кому обеспечивать старость. Собственно, это и есть посылка Томпсона в оригинале.
- Государство (король, генерал-губернатор, генсек, отец народов, ненужное зачеркнуть) решило, что рабочих рук и пушечного мяса в стране *уже с избытком*, всех не прокормить, и ввело программу типа «*Одна семья – один ребёнок*», как в КНР. Попробуйте, не притягивая за уши, придумать хотя бы ещё один механизм.

Любая научная гипотеза проверяется через эксперименты. Если прямой эксперимент невозможен, учёный высказывает предположение-предсказание типа «если моя гипотеза верна, то произойдёт Х». Будучи честным учёным, Томпсон высказал в 1929 году предположение, что «население России» – имелся в виду, конечно, весь тогдашний СССР – вырастет в относительных единицах *гораздо* больше, чем население Индостана (современные Индия, Пакистан, Бангладеш, Шри-Ланка, Мальдивы и Мьянма). По данным британской переписи 1931 года там было 352.84 млн[407], а население СССР по переписи 1926 года – 147.03 млн. Население стран бывшего Индостана в 2018

407 http://censusindia.gov.in/Census_And_You/old_report/census%20tables_1931_1.htm Соотношение мужчины/женщины, кстати, 106.3:100.

году – невероятные 1'796.6 млн, то есть более чем пятикратный рост (данные ООН). Если бы в СССР народ размножался, согласно гипотезе Томпсона, пусть не «гораздо быстрее», а хотя бы с той же скоростью, как в Индостане, сейчас в России и бывших союзных проживало бы не менее 740 млн человек.

Ноутштейн в 1944 году тоже выдал предсказание[408]. Точность до миллиона человек выглядит, из наших просвещённых дней, немного забавно:

Европа (исключая Советскую Россию), насчитывая 399 миллионов в 1940 году, в 1970 году будет насчитывать всего 417 миллионов. Население Северной и Центральной Европы сократится с 234 до 225 миллионов, а население Южной и Восточной Европы увеличится со 165 до 192 миллионов. Между тем, население СССР увеличится с 174 до 251 миллиона. Кроме того, в то время как население Советской России и стран Южной и Восточной Европы в большинстве случаев будет расти, численность населения стран Северо-Западной и Центральной Европы снизится ниже своих пиковых значений. Славянский элемент будет превосходить как латинские, так и тевтонские элементы.

В 1970 году население СССР было по факту 242.4 млн (в том числе в России 130.1, а в 14 республиках – 112.3 млн). Население Европы без Советского Союза – 460.7 млн. Ноутштейн «промахнулся» по Европе вниз, а по СССР – вверх. Конечно, в 1944 году, сидя в Швейцарии, автор знать послевоенное устройство Европы не мог. О принадлежности Прибалтики, Польши, Восточной Пруссии, Румынии, и так далее, можно было спорить. Не разделяя Европу и СССР, по предсказанию Ноутштейна во всех странах должны были в 1970 году проживать 417+251=668 млн; по факту вышло 242.4+460.7=703 млн, то есть ошибка гипотезы на полные 5% за одно поколение (30 лет). Хотя по сравнению с предсказанием Томпсона – неплохая точность, с дальнейшими пророчествами уважаемый демограф попал в просак.

В середине пятидесятых Ноутштейн выдал прогноз для всего земного шара: 3.3 млрд в 2000 году[409]. На изломе тысячелетия нас было 6.15 млрд, ошибочка вышла 85% за 47 лет. Тогда же был предсказан пик популяции Европы к 1970 году. По состоянию на 2018 год пик не пройден. ООН осторожно предсказывает возможный пик в 2020-24 годах: ошибка прогноза Ноутштейна – не менее 50 лет.

По США Ноутштейн и Томпсон выдавать предсказания систематически отказывались. Дело в том, что демографическая структура населения там известна с отменной точностью, и к 1950-м годам уже было вполне очевидно, что «демографический переход» из этапа 2 в этап 3 прошёл великолепно в 1880-х, но с переходом от третьего к четвёртому в стране самых равных возможностей сложилось как-то криво: фертильность то ползла, как положено, вниз, то внезапно карабкалась обратно вверх. Белые винили негров, негры – азиатов, все вместе – проклятую иммиграцию из Европы и Мексики.

ООН плотно занялась проблемой демографического перехода в начале 1960-х. Полная статистика ООН по всем странам мира начинается в 1950 году. По

408 F. W. Notestein et al., *The Future Population of Europe and the Soviet Union: Population Projections, 1940-1970*, Geneva, 1944.

409 F. W. Notestein, *Economic problems of population change*, Proceedings of the Eighth International Conference of Agricultural Economists, New York, 1953, стр. 13-31.

состоянию на 1950 год, на «мальтузианском» первом этапе демографического перехода *ни одной страны уже не было*. Были страны с высокой рождаемостью и высокой смертностью, но в них население уже стремительно росло, что соответствует *второму* этапу перехода.

Возникла идея подтвердить данные о первом этапе на основании европейской статистики XIX – первой половины XX века. В 1963 году Ансли Джонсон Коэл (A.J.Coale, 1917-2002) получил грант на исследования в 600 административных единицах Европы. Результаты публиковались постепенно, в течение 20 лет, и сейчас доступны в электронном виде[410]. Главное достижение проделанного труда (хотя сам Коэл пытался уболтать целевую аудиторию в обратном): очевидной корреляции между **TFR** и **LEB** не существует. В некоторых странах дело начиналось с повышения продолжительности жизни, в других – со снижения рождаемости, а где-то изменения происходили одновременно. Было замечено, что кое-где меры по планированию семьи документированы ещё в XVII веке, а высшие классы, видимо, практиковали контроль рождаемости даже ранее (ничего удивительного, реальные примеры ещё дедушка Мальтус в своей книжке [14] приводил!)

В середине 1970 стало ясно, что логика Ноутштейна: «сначала модернизация общества вызывает снижение смертности; затем снижение смертности *неизбежно* влечёт снижение рождаемости», – не работает совсем. Современные последователи гипотезы демографического перехода на причинно-следственную связь больше не напирают, а утверждают, что продвижение от этапа к этапу происходит независимо, вследствие разнородных причин, и в разных странах по-разному. Во всяком случае, переход от первого этапа демографического перехода ко второму прошёл во всех странах мира 100-200 лет назад и сейчас интересен лишь историкам.

В 1950-х ожидаемая продолжительность жизни превышала 70 лет всего в пяти странах мира: Дании, Швеции, Исландии, Нидерландах и Норвегии, притом на четвёртом этапе «демографического перехода» твёрдо находились лишь первые две. Всего на четвёртом этапе (низкая фертильность, высокая продолжительность жизни, малый рост населения) в 1950 году было 24 страны или территории[411] с общим населением 463 млн. За 65 лет население там увеличилось на 32%, а снижение численности по сравнению с 1950 годом наблюдается только в Болгарии (на 1%). В 2015 году в среднем на женщину приходились всего 1.6 живых родов, зато ожидаемая продолжительность жизни выросла с 63 до 78 лет. Из бывшего СССР в этой группе находятся 7 стран: Беларусь, Грузия, Россия, Украина и вся Прибалтика. Все остальные страны – это тоже Европа. Есть подозрение, что к гипотезе демографического перехода ни одна из 24 стран отношения не имеет: единственная видимая «модернизация» тут – это модернизация ВВС и артиллерии во Второй мировой, а магическая зависимость между продолжительностью жизни и

410 https://dss.princeton.edu/catalog/resource2088

411 Статистика по территориально-политическому делению 2015 года.

рождаемостью никак себя не проявляла. Дабы не загромождать главу, здесь и далее показаны только страны с населением свыше 50 млн; остальные представлены в таблицах Приложения XVII.

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Франция	41.9	64.5	2.8	2.0	66.1	82.4	1.54
Германия	70.0	81.7	2.1	1.5	66.9	80.8	1.17
Италия	46.6	59.5	2.5	1.5	65.6	82.8	1.28
Россия	102.8	143.9	2.8	1.7	55.2	70.9	1.40
Велико-британия	50.6	65.4	2.1	1.9	68.7	81.4	1.29
Группа:	**463.0**	**613.2**	**2.5**	**1.6**	**62.9**	**78.0**	**1.32**

Ещё 63 страны и территории пересекли границу 1950 года, будучи на этапе 3, но с 2000 года (или ранее) могут быть классифицированы как находящиеся полностью на этапе 4. В этих странах совместно показатель **TFR** уменьшился с 5.3 до 1.7 при одновременном увеличении продолжительности жизни **LEB** с 52 до 77 лет. По состоянию на 2015 год, ни одна страна из списка не снизила популяцию до уровня 1950 года, а в целом по группе население выросло с этого года по 2015 на 144% (то есть увеличилось почти в два с половиной раза). Сторонники гипотезы указывают, что здесь предположения Ноутштейна нашли полное подтверждение. Противники возражают на это, что во многих странах группы наблюдались независимые колебания как рождаемости, так и смертности, а также происходили локальные войны и прочие катаклизмы. Например, переход к жёсткой демографической политике в КНР напрямую связан с голодом 1959-61 годов, когда причины снижения как рождаемости, так и ожидаемой продолжительности жизни были чисто мальтузианскими. Идеолог политики «*Одна семья – один ребёнок*», доктор физ-мат наук, президент Академии Наук КНР и член ЦК КПК Сонг Циен (Song Jian[412], 宋健, род. 1931) с гордостью называл себя мальтузианцем, а к гипотезе демографического перехода относился скептически.

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Бразилия	54.0	206.0	6.1	1.7	50.1	75.3	3.82
КНР	554.4	1397.0	6.7	1.6	43.0	76.1	2.52
Япония	82.8	128.0	3.4	1.4	61.2	83.6	1.55
Юж.Корея	19.2	50.6	5.0	1.3	46.7	81.9	2.63
США	158.8	319.9	3.1	1.9	68.2	79.2	2.01
Вьетнам	24.8	93.6	5.0	2.0	51.8	76.1	3.77
Группа:	**1099.4**	**2684.8**	**5.3**	**1.7**	**51.6**	**77.1**	**2.44**

Сорок три страны вступили в 1950 на втором этапе «демографического

412 Сонг – фамилия, а не имя. Встречается также английское написание Sung Chien.

перехода», сейчас более или менее успешно следуют этапу 3 (при быстро снижающейся смертности потихоньку уменьшается рождаемость; население растёт). С 1950 по 2015 год численность населения в странах этой группы выросла на 270%, продолжительность жизни увеличилась с 39 до 70 лет, а показатель **TFR** снизился с 6.1 до 2.3. Демографы ООН полагают, что все страны этой группы достигнут «этапа 4» в пределах следующего поколения, стабилизируя численность населения приблизительно к 2060 году, когда население Индии достигнет 1.68±0.28 млрд человек.

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Индия	376.3	1309.1	5.9	2.4	35.4	68.3	3.48
Индонезия	69.5	258.2	5.3	2.4	42.0	69.0	3.71
Иран	17.1	79.4	6.9	1.7	39.4	75.7	4.64
Мексика	28.0	125.9	6.7	2.2	48.6	76.9	4.49
Мьянма	17.2	52.4	6.0	2.2	33.3	66.5	3.06
ЮАР	13.6	55.3	6.0	2.5	47.2	62.0	4.06
Таиланд	20.7	68.7	6.1	1.5	49.9	75.1	3.32
Турция	21.4	78.3	6.7	2.1	40.2	75.5	3.66
Группа:	**645.1**	**2383.9**	**6.1**	**2.3**	**38.6**	**70.2**	**3.70**

Далее рассмотрим территории, где гипотеза демографического перехода пока «светит вполнакала». Все 63 страны в 1950 были на «этапе 2», к 2000 году едва вошли в «этап 3» и – за исключением, вероятно, Бангладеш и Бутана – останутся на «этапе 3» до конца XXI века. Несмотря на увеличение продолжительности жизни с 37 до 65 лет, средний показатель TFR до сих пор выше 4.1, а общий прирост населения – по 2.6% за год.

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Бангладеш	37.9	161.2	6.2	2.1	39.1	72.2	4.25
Д.Р. Конго	12.2	76.2	6.0	6.2	38.3	59.2	6.25
Египет	20.7	93.8	6.7	3.3	38.5	71.3	4.53
Эфиопия	18.1	99.9	7.3	4.3	33.3	65.0	5.51
Пакистан	37.5	189.4	6.6	3.5	34.5	66.3	5.04
Филиппины	18.6	101.7	7.4	3.0	54.7	69.0	5.47
Танзания	7.6	53.9	6.7	5.1	40.4	64.9	7.04
Группа:	**270.6**	**1425.3**	**6.7**	**4.1**	**37.4**	**65.0**	**5.27**

Сторонники гипотезы заявляют, что демографический переход работает, надо просто выждать какое-то время. Оппоненты указывают на дюжину стран, где в начале XXI века «теория» не работает совсем или работает наперекосяк.

Заметим, что отмеченные крестиками примечания встречаются и в других таблицах Приложения VII. Так помечены страны, где наблюдалось вре́менное,

на 20-50 лет, повышение фертильности **TFR** до того, как этот показатель начинает устойчиво снижаться. Всего таких стран нашлось 66 из 118 рассмотренных, то есть более половины. Гипотеза демографического перехода подобное наблюдение никак не объясняет.

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Французск. Гвиана[a]	Менее 0.05	0.3	5.1	3.4	52.3	79.7	10.55
Израиль[a]	1.3	8.1	4.5	3.0	68.3	82.3	6.41
Казахстан[b]	6.7	17.7	4.3	2.7	54.2	69.7	2.65
Кыргызстан[b]	1.7	5.9	3.9	3.1	51.9	70.8	3.37
Монголия[†b]	0.8	3.0	5.5	2.8	42.5	69.1	3.82
Нигер[c]	2.6	19.9	7.3	7.3	34.4	59.7	7.77
Нигерия[c]	37.9	181.2	6.4	5.6	33.1	53.0	4.79
Сирия[†d]	3.4	18.7	7.2	3.0	46.4	69.9	5.49
Таджикистан[†a]	1.5	8.5	5.0	3.4	52.2	70.9	5.58
Восточный Тимор[c]	0.4	1.2	6.5	5.6	29.0	68.6	2.86
Туркменистан[†a]	1.2	5.6	4.9	2.9	50.4	67.7	4.60
Зимбабве[†a]	2.7	15.8	6.8	3.8	47.7	60.4	5.74
ВСЕГО:	**60.3**	**285.9**	**6.0**	**5.0**	**39.1**	**58.3**	**4.74**

[†] – наблюдалось вре́менное повышение TFR между 1950 и 2000 годами.
[a] – стабилизация TFR на высоком уровне при высокой LEB.
[b] – увеличение TFR при достижении высокой LEB.
[c] – нет значимой корреляции между TFR и LEB, TFR>5 при увеличении LEB свыше 50.
[d] – началось снижение LEB при относительно высокой фертильности TFR.

За десятилетие до академика Сонга, американский статистик и демограф Филип Моррис Хаузер (1909-94) так отозвался о гипотезе демографического перехода[413]:

Теория [демографического] перехода, возможно, описывает ситуацию в странах, находящихся на пороге модернизации. Заметим однако, основные постулаты этой теории выведены из исторических обобщений по странам Запада [Европы], и оттого вряд ли применимы – кроме самых общих умозаключений – для прямого предсказания демографической ситуации за пределами исторического периода [промышленной революции XVIII-XIX веков]. Остаются ли факторы теории в силе в современном мире, и могут ли прогнозы на будущее быть точными – большой вопрос.

На этом большом вопросе, итоги главы:

- Мы создали программный код на Python, в общих чертах соответствующий программам *Wolrd3* (1972) и *NewWorld* (2012) из «*Пределов роста*». Код проверен на нескольких числовых примерах.
- **Явление** «демографического перехода», то есть увеличение ожидаемой

413 P. M. Hauser and O. D. Duncan, *The Study of Population. An Inventory and Appraisal*, Chicago,1959, стр. 14. Цитируется по электронной книге: https://archive.org/stream/in.ernet.dli.2015.462876/2015.462876.An-Inventory_djvu.txt

продолжительности жизни при одновременном сокращении фертильности, объективно наблюдается, по состоянию на 2015 год, почти во всех странах мира. Страны с общим населением около 3.3 млрд уже близки к стабилизации численности; страны и территории с населением 2.4 млрд, вероятно, стабилизируются – при прочих неизменных условиях – до 2060 года. Относительно остальных 1.7 млрд населения Земли – уверенный прогноз невозможен.

- **Теории** «демографического перехода», то есть зависимости фертильности от увеличения ожидаемой продолжительности жизни, пока не существует. Есть неподтверждённая гипотеза, а современное состояние дел в демографии таково, что ожидаемую продолжительность жизни (**LEB**) и фертильность (**TFR**) лучше рассматривать как независимые друг от друга переменные, что и было сделано авторами «*Пределов роста*» в 1972 г.
- Хотя конкретные механизмы регулирования фертильности и управления воспроизводством населения в разных странах разные, несомненно, что решающее значение во всех случаях имеет государственный аппарат.
- На увеличение продолжительности жизни оказывает влияние как экономический уровень потребления, так и развитие государственных институтов.



Глава 20. Демографический переход: прямой или обратный?

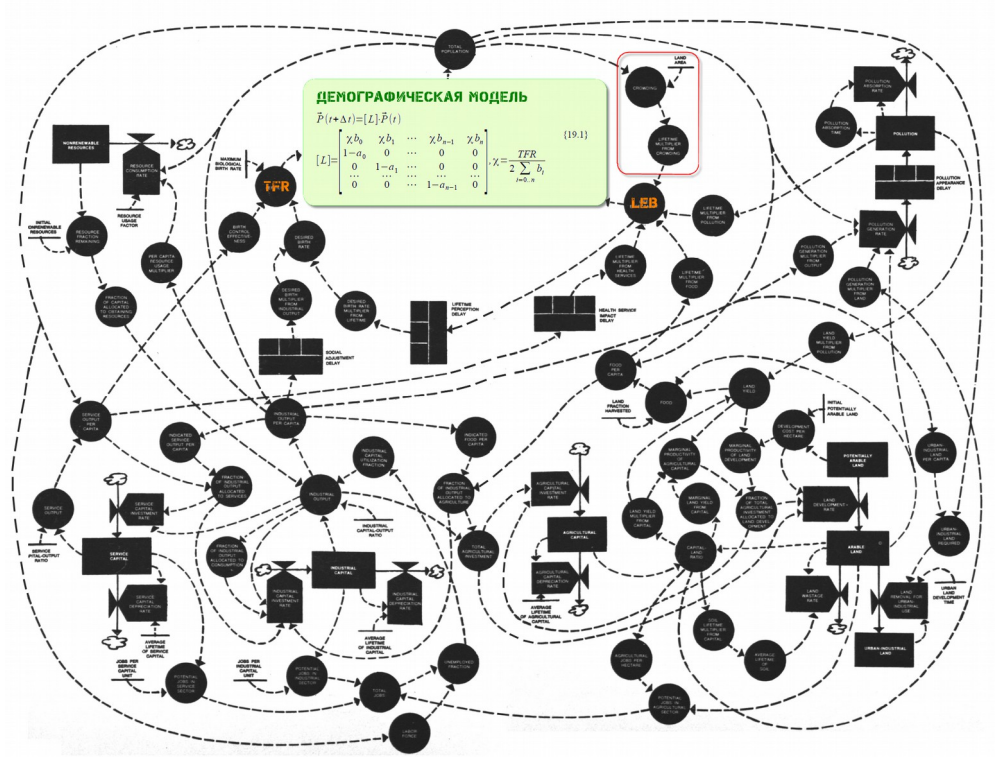
Так как наша модель представлена в форме математических уравнений, она имеет два важных преимущества по сравнению со словесными — философическими – моделями. Во-первых, каждое выдвинутое нами предположение записано в точном виде и, таким образом, открыто для сторонней проверки и критики. Во-вторых, если обсудив наши предположения и приняв их приблизительно верными, вы запускаете компьютер, последствия для мировой [экономической] системы рассчитываются автоматически и объективно – без вашего дополнительного влияния на результат[...] Притом, нет причин оставлять нашу модель в её нынешнем виде. Мы намерены изменять, расширять и улучшать её по мере накопления знаний и повышения качества информационной статистики.

– Д.Медоуз, из книги «Пределы роста» [1]

No tree grows to Heaven (Ни одно дерево не дорастает до неба).

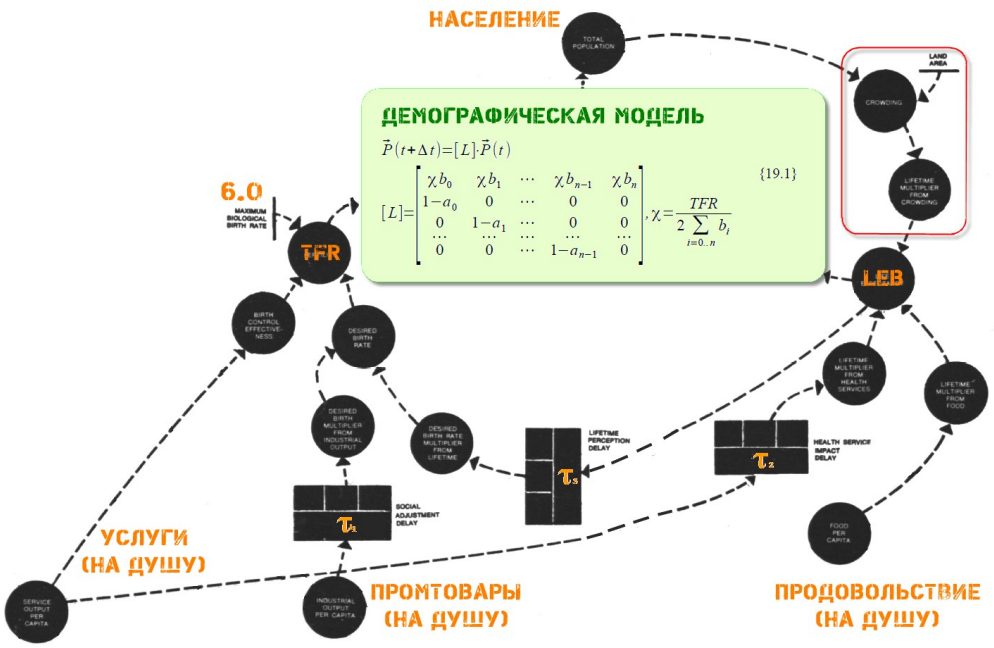
– Биржевая мудрость с Уолл-Стрит[414].

В прошлой главе мы заменяли написанный в системе *STELLA* код модели *World3*. Получилось примерно как ниже. Всё чёрно-белое на диаграмме – репродукция из «*Пределов роста*» 1972, а цветные модули – наш новый код.



414 Как вариант, «*Ни одно дерево не поднимет кроны в Рай, если только не прорастёт корнями в Ад*». Приписывается психиатру Карлу Юнгу (1875-1961).

Огромное количество стрелочек не должно пугать – в этой и последующей главах мы разобьём модель на удобопонятные блоки. Первый блок связан, ясное дело, с населением:



Дабы в дальнейшем избежать разночтений, определимся с терминологией (речь конкретно о нашей модели, а не о математике «вообще»):

- **Константами** назовём физические величины, определяемые с достаточной точностью за пределами модели. В 1 барреле нефти – ровно 0.159 м³, и от нашего произвола это определение не зависит.
- **Параметрами** будем называть неизменные – на протяжении модельного времени – величины, которые мы выбираем самостоятельно. Например, максимальное *среднее* (отдельные мамаши рожают куда больше!) количество детей у женщины $\mathbf{TFR_{max}}$ = 6.0 выбрано из общих соображений и подгонкой модели к реальным данным. О величине параметров можно спорить: что если женщина в среднем может родить не 6, а, скажем, 8 отпрысков? Однако и у параметров есть физические ограничения. Было бы странным принять $\mathbf{TFR_{max}}$ = 75, так как человек (будем надеяться) не принадлежит биологическому виду *sus scrofa domestica*, а женщина – соответственно не свиноматка. Кто-то может возразить, что в XXIII веке дети будут рождаться не от женщин, а «при помощи пара и электричества»™. На это есть контр-возражение, что мы не пытаемся моделировать XXIII век; если хотите, сделайте собственную модель – и пусть там $\mathbf{TFR_{max}}$ станет не параметром, а переменной.

- **Переменными** называются величины, изменяющиеся в пределах модельного времени. В нашей модели, **LEB**, **TFR**, народонаселение **P** – это переменные.
- **Параметризация** – это модельная функция, отражающая эмпирическую зависимость между переменными. Каждая параметризация зависит от какого-то числа параметров, а также может включать и константы.

«Теория» демографического перехода, разработанная Томпсоном и Ноутштейном в докомпьютерную эру, была в основном словесной и выражалась длинными академическими предложениями типа: «повышение продолжительности жизни вследствие снижения детской смертности приводит родителей к мысли, что обеспеченная старость может быть и при меньшем количестве детей в семье, что вызывает социальное давление для снижения рождаемости». При этом нигде не делалось заявлений, какое конкретно увеличение продолжительности жизни вызывает какое конкретно снижение **TFR** и за какое конкретно время. Авторы «*Пределов роста*» в 1970-х пошли дальше и ввели в модель численные зависимости, пусть грубые и упрощённые.

Начнём с ожидаемой продолжительности жизни **LEB**. Согласно модели *World3* образца 1972 года, на продолжительность жизни непосредственно влияют, в порядке убывания значимости:

1. **Доступность продовольствия**. Ясно, что без пищи человек жить не может, притом смерть от голода наступает крайне быстро – за период существенно менее года.
2. **Доступность услуг**. Под «сферой услуг» понимаются не только и не столько банки, парикмахерские и почта-телефон-телеграф, столько охрана правопорядка, медицинское обслуживание, система образования, транспортная система, система социальной защиты стариков или нетрудоспособных и т. п. В отличие от доступности продовольствия, доступность услуг действует не мгновенно, а с характерной задержкой $\boldsymbol{\tau_2 > 1}$ года. Например, если с 1945 года вы начали выделять МУР дополнительных Шараповых, чтобы «Вор должен сидеть в тюрьме»™, долгожданная «*Эра милосердия*» не наступит сразу в 1946, и людей не перестанут убивать (вспоминаем сто́рожа магазина и его смелого внука). На отлов и посадку бандитов уйдёт какое-то время; в процессе какое-то количество бандитов и сотрудников МУР погибнет – это сокращение ***LEB***.
3. **Загрязнение окружающей среды** (на упрощённой схеме не показано) может приводить к увеличению смертности. В этой вре́менной версии нашей модели учитывать загрязнение пока не будем.
4. **Доступность промышленных товаров** вроде бы увеличивает продолжительность жизни. Например, если в вашем доме не коптящая буржуйка, а центральное отопление и электрическая плита, у вас ниже

шансы заработать рак лёгких или туберкулёз. В модели 1972 года эта зависимость полагалась несущественной и в явном виде не вводилась. Мы тоже пока откажемся от моделирования.

5. Количество родов у женщины (**TFR**) может влиять на продолжительность жизни, особенно при низком качестве медицинских услуг: осложнения при родах никто не отменял. В явном виде, однако, зависимость в модели 1972 года отсутствует.
6. **Скученность** (на схеме в красной рамке) может приводить к эпидемиям и оттого – к снижению продолжительности жизни. В запусках модели 1972 года было показано, что эта переменная начинает влиять только при населении планеты свыше 20 млрд. В последующих моделях скученность не использовалась – в пределах XXI столетия такая популяция землян вряд ли достижима, – и мы скученность тоже воспроизводить не будем.

Итак, мы выделили 6 переменных в системе, которые непосредственно управляют **LEB**. Предлагаю читателям остановиться на пару минут и придумать что-то ещё. Из этих шести переменных пока будем моделировать первые две, три держим в памяти на будущее, про последнюю – забудем. В общем виде зависимость выражается формулой:

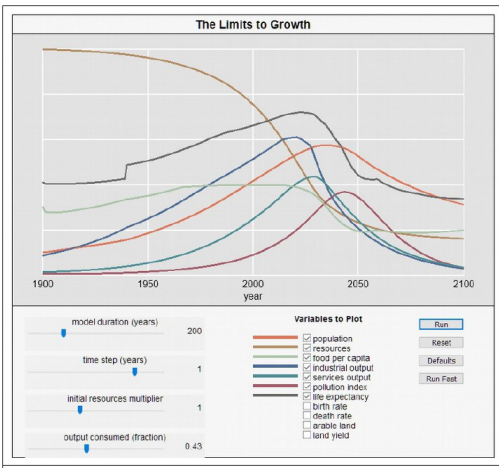
$$LEB(t) = F_1(q_{продовольствия}(t)) \times F_2(q_{услуг}(t-\tau_2)) \qquad \{20.1\}$$

Здесь:

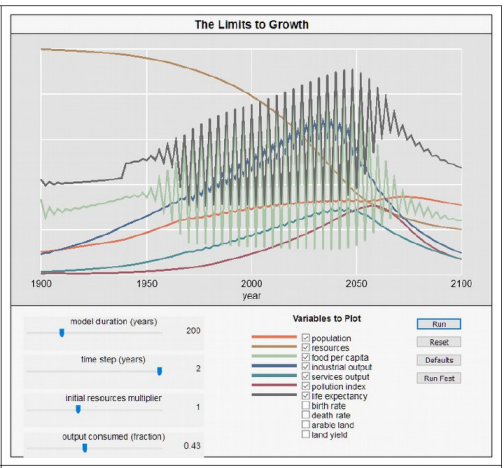
F – модельные функции (параметризации);
$\mathbf{q_{продовольствия}}$ – количество продовольствия на душу населения в килограммах зернового (рисового) эквивалента в год;
$\mathbf{q_{услуг}}$ – количество услуг на душу населения в условных долларах («УД») в год;
t – время в годах;
$\boldsymbol{\tau_2}$ – задержка в годах.

В варианте *STELLA / DYNAMO* 1972 года и далее на *Vensim*, задержка точно такая, как показано в формуле выше. Например, пусть $\boldsymbol{\tau_2}$ = 10 лет. Тогда от прихода новых Шараповых в МУР 1945 года криминогенная обстановка в Москве никак не меняется вплоть до 1955, а затем мгновенно, скачком, наступает улучшение. Аналогично, если всех Шараповых без замены уволить на пенсию в 1970 году, то до 1980 обстановка будет неизменно спокойной, а в 1981 – внезапно наступит разгул преступности и ад кромешный по всему городу. Ясно, что в реальной системе таких скачков быть не может, а изменения должны накапливаться постепенно. На проблему стабильности функций задержки *World3* неоднократно указывали критики. Ниже приведены расчёты по версии на *Vensim* образца 2003 года[415]. Вплоть до шага по времени 1 год система стабильна, а при шаге 2 года – срывается в автоколебания, причём сильнее всего «пляшет» как раз **LEB**.

415 Спасибо Брайану Хейзу: http://bit-player.org/extras/limits/



Шаг по времени 1 год.



Шаг по времени 2 года.

Вместо уравнения {20.1} в нашем коде будем употреблять среднее значение по всему периоду задержки:

$$LEB(t) = F_1\left(q_{продовольствия}(t)\right) \times F_2\left(\frac{1}{\tau_2}\int_{t-\tau_2}^{t} q_{услуг}(x)\,dx\right) \qquad \{20.2\}$$

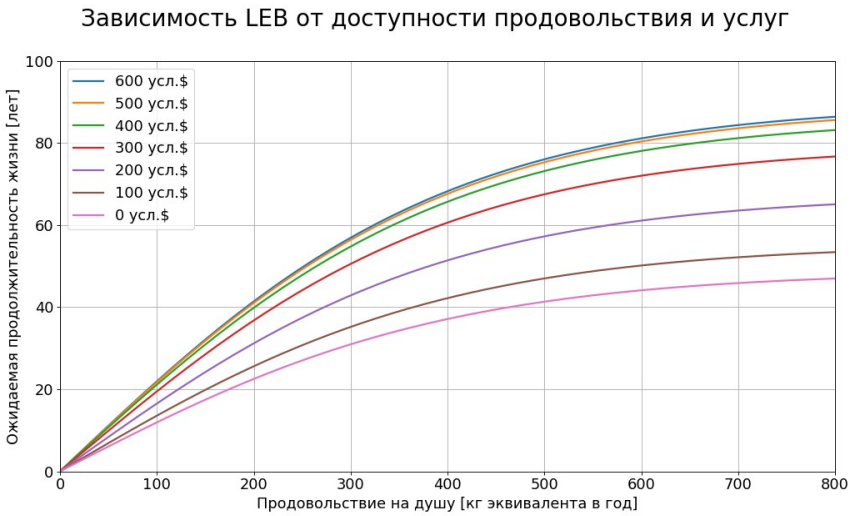
Для проверки нашей модели будем сравнивать с базовой моделью из «*Пределов роста*» 2003 года [3, стр. 168-169]. Автор не ставит себе задачу воспроизведения результатов «*Пределов роста*» с точностью до семи десятичных знаков, и уж тем более не намерен портировать *Vensim* на *Python* (последнее, вероятно, будет и нарушением авторских прав). Воспроизведение любых, не исключая и численных, экспериментов представляет ценность, если эффект наблюдается также и на установках или в программах, слегка отличающихся от тех, что использовали авторы проверяемой работы.

Первоначально определим {20.2} так:

$$F_1(x) = Sig\left(x, x_1 = 0, \sigma_1 = 0.005, -45, 45\right)$$
$$F_2(x) = Sig\left(x, x_2 = 200, \sigma_2 = 0.012, 1, 2\right) \qquad \tau_2 = 25 \qquad \{20.3\}$$

При натуральном хозяйстве и слабом государстве, в отсутствие крупной торговли и организованного транспорта, «услуги» равны нулю. Увеличение доступности продовольствия от нуля до 800 кг в год приводит к увеличению ожидаемой продолжительности жизни с нуля при до примерно 45. Далее неважно, сколько продовольствия приходится на душу – выше 45 лет не будет, если только не подключатся услуги. При увеличении услуг с 0 до 600 УД продолжительность жизни увеличивается с 45 до примерно 90 лет, а далее рост прекращается. В реальной экономике, естественно, доступность продовольствия и услуг меняется независимо, а продолжительность жизни

LEB может принимать любые значения между кривыми «0» и «600».



Далее рассмотрим, что влияет на желаемое количество детей в семье, **DFR** (desired fertility rate). Опять-таки в порядке убывания значимости:

1. Ожидаемая продолжительность жизни (**LEB**). Во-первых, вслед за Томпсоном полагаем, что при устойчивом снижении детской смертности родители понимают, что меньшее количество детей всё-таки позволит обеспечить собственную старость. Во-вторых, как обсуждалось в предыдущей главе, полагаем, что при повышении **LEB** наступает момент, когда правительство решает, что населения в стране уже достаточно для обороны и промышленности, а более не прокормить. Заметим, что **LEB** влияет не сразу, а с интегральной задержкой $\boldsymbol{\tau_3 > 1}$.
2. **Доступность промышленных товаров** – самый непонятный фактор. Можно возразить, что как раз наоборот: снижение рождаемости вызывает изобилие товаров. Для начала предположим, вслед за авторами «*Пределов роста*», что наличие товарной экономики предполагает уход от натурального хозяйства, урбанизацию и индустриализацию, а следовательно – увеличение затрат на каждого ребёнка. В этой зависимости тоже есть задержка с характерным периодом $\boldsymbol{\tau_4 > 1}$.
3. **Доступность продовольствия** может влиять на принятие решение о количестве детей в семье (то есть «много еды – рожаем»). В модели 1972 года, однако, эта зависимость не моделировалась.
4. **Загрязнение окружающей среды** (на схеме не показано), вероятно, может побудить женщин меньше рожать – по крайней мере, не рожать уродов. Эта зависимость тоже не моделировалась.
5. **Скученность**. По-видимому, влияния на **DFR** либо нет, либо оно минимально.

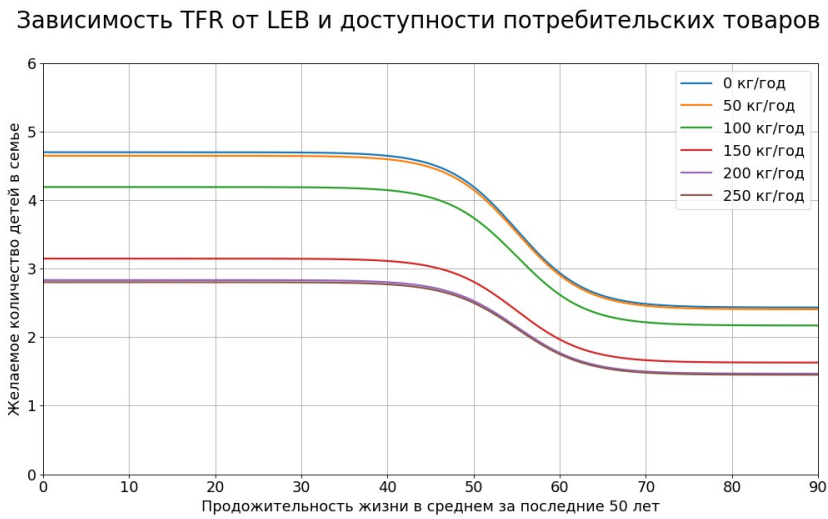
Отсюда:

$$DFR(t)=F_3\left(\frac{1}{\tau_3}\int_{t-\tau_2}^{t} LEB(x)\,dx\right)\times F_4\left(\frac{1}{\tau_4}\int_{t-\tau_3}^{t} q_{промтоваров}(x)\,dx\right) \quad \{20.4\}$$

В качестве начальной параметризации примем:

$$F_3(x)=Sig\left(x, x_3=55, \sigma_3=0.250, 2.8, 1.45\right) \qquad \tau_3=50$$

$$F_4(x)=Sig\left(x, x_4=120, \sigma_4=0.050, 1.68, 1\right) \qquad \tau_4=40 \qquad \{20.5\}$$



При натуральном хозяйстве (среднее потребление 0 кг условных промтоваров в год), повышение **LEB** с 30 до 70 лет приводит к снижению **DFR** с 4.7 до 2.45. Далее, по мере увеличения потребления промтоваров с 0 до 250 условных кг, желаемое количество детей в семье снижается с 2.45 до 1.45.

От желаемого **DFR** до действительного **TFR** осталось применить параметризацию: планирование семьи зависит от текущего состояния услуг. Если услуг нет совсем – ни образования, ни медицины – совершенно всё равно, сколько женщина хочет. Количество детей в семье будет определяться социально-биологическим максимумом $\mathbf{FR_{max}}$ – приблизительно 6 детей *в среднем* на женщину. Заметим, что при недостатке медицины у кого-то может быть и 20 отпрысков (семья композитора И.С.Баха тому примером), но для кого-то первые роды внезапно оказываются и последними, причём ребёнок тоже не выживает. В качестве функции примем для начала:

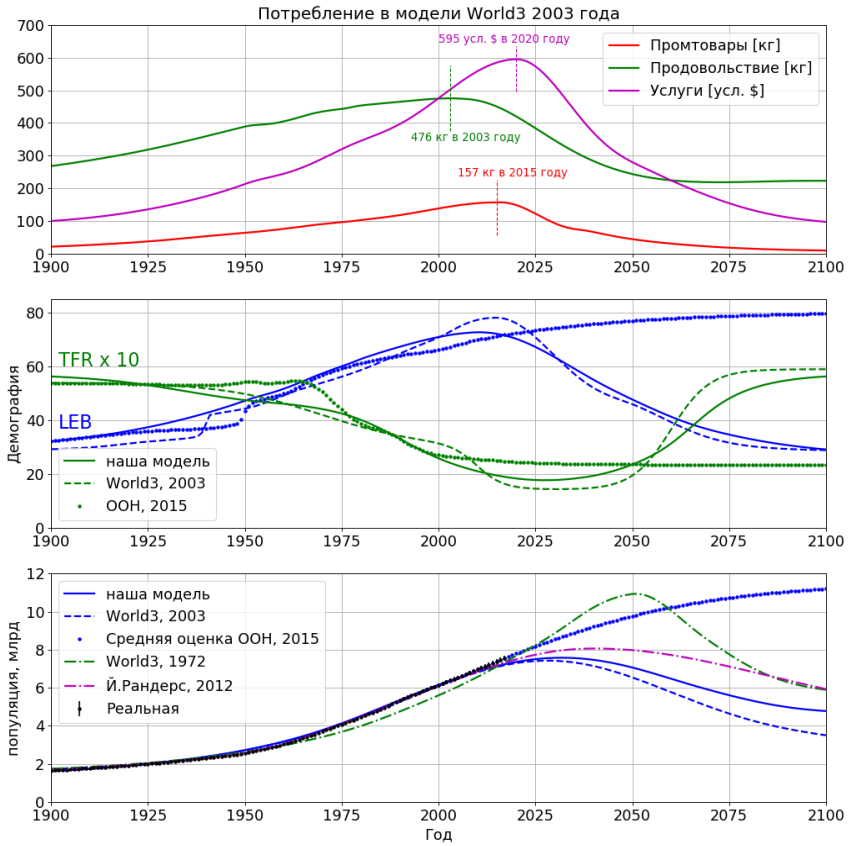
$$TFR(t)=F_5(t)=Sig\left(t, x_5=130, \sigma_5=0.030, FR_{max}=6, DFR(t)\right) \quad \{20.6\}$$

Модельные переменные подразделяются на **входные** и **выходные**. В нашей первой модели в качестве входных переменных выступают: (1) доступность

потребительских товаров, то есть количество потребляемых товаров на душу населения, (2) доступность продовольствия и (3) доступность «услуг».

Код модели, вместе со всеми тестами, находится в файле Цифрового приложения **\Chapter 20\01_World3_Model.py**, а наши результаты (непрерывные линии) сравниваются, во-первых, с моделью из «*Пределов роста*» 2003 года (пунктирные линии), во-вторых, с моделями 1972 и 2012 годов (штрих-пунктир) и в-третьих, с данными и прогнозом ООН 2015 года (точки).

Авторы «*Пределов роста*» заявляют в каждой книге, что их базовая модель является не предсказанием, а всего лишь одним из множества вариантов развития человечества. Мы знаем, однако, что наша цивилизация довольно уверенно движется по базовым кривым из модели 1972 года; во всяком случае, посчитанная на слабосильной «*IBM-7090*» базовая модель из далёких 1970-х оказалась в кризисном 2008 году куда ближе к реальности, чем выполненные на суперкомпьютерах оптимистические выкладки IEA из года 2000.



Наши входные переменные – это базовая модель «*Пределов роста*» 2003 года[416]. Заметим, что моделирование выполнялось примерно за 5 лет до

416 Чтобы не было разночтений, придётся повторить: эти модельные переменные рассчитаны на *Vensim* за

Глобального финансового кризиса (GFC) и за 10 лет до начала Великой рецессии (GR).

- Максимум продовольствия на душу населения – 480 кг рисового эквивалента в 2003 году. Модель «*Пределов роста*» из 1972 года (далее BAU72) предсказывала максимум в 2012.
- Максимум потребительских товаров на душу населения – 160 кг эквивалента в 2015 году. BAU72 давала этот пик на пятилетку раньше, в 2010. В главе 9 мы по независимым данным вычислили максимум производства низкоэнтропийной энергии из ископаемого, в том числе ядерного, топлива на душу населения: 2100±200 Вт мгновенной мощности, 2012 год.
- Максимум социальных «услуг» на душу населения – 600 УД в 2020 году. Это единственный пик, который вроде пока не наступил. BAU72 предсказывала его же в 2015. Впрочем, в области печатания фантиков трудно найти твёрдую калибровку, и этот пик мы сможем надёжно различить в статистике не ранее 2030 года. Если к тому времени таковую статистику ещё будут публиковать в открытом доступе.
- Индекс (интегральный показатель) гуманитарного развития HDI вышел на «полочку» в 2006 и с тех пор не растёт. Модель предсказывает, что в 2019 наметится снижение.
- «Новый, 1930 год», согласно модели, наступит: по продовольствию – в 2032, по потребительским товарам – в 2051, по услугам – в 2076, по индексу гуманитарного развития – в 2063. В главе 16, по независимой модели Халла и Клитгаарда, мы получили энергетическое потребление на уровне Великой депрессии в начале 2060-х годов (диапазон неопределённости по запасам ископаемого топлива – от 2036 до 2081 года).
- Если «Новый, 1930 год» ждать ещё довольно долго, то «Новый, 1960 год» совсем не за горами: по продовольствию – в 2022, по потребительским товарам – в 2034 (натурально, в пределах пары-тройки лет погрешности). У модели супругов Медоуз и Й.Рандерса, похоже, есть неплохой шанс сбыться.

Разница между статистическими данными ООН и моделями по переменным **LEB** и **TFR** нас не должна особенно волновать до тех пор, пока модель хорошо описывает кривую народонаселения. Дело в том, что население в подавляющем большинстве стран мира сейчас измеряется физически – путём переписей, с заполнением данных между годами переписей либо (в странах с развитой бюрократией) по регистрации смертей и рождений, либо интерполяцией [13].

Исторические данные по **TFR** и **LEB** до 1950 года – всего лишь грубая оценка по демографической модели; тогда эти данные напрямую регистрировали

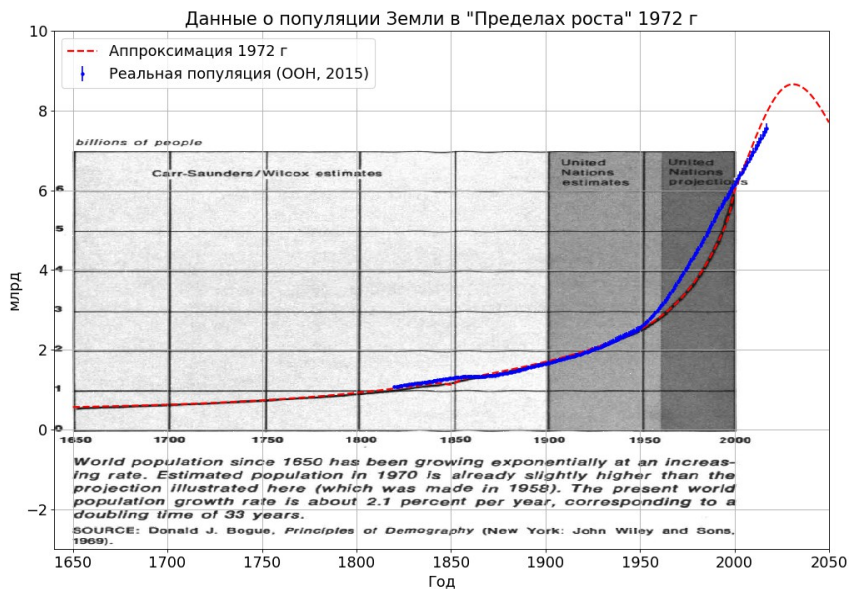
пределами нашей популяционной модели. Мы просто используем их для проверки.

лишь в США и некоторых странах Европы. Впрочем, в странах из «списка Чуковского» ничего такого не регистрируют и в компьютеризированном XXI веке.

DFR можно попытаться выяснить путём статистических опросов: «Какое количество детей в семье вы считаете оптимальным?» – либо изучением медицинских карточек в роддомах и абортариях. Такие данные не особо надёжны, а во втором случае ещё и представляют врачебную тайну. Ну и абортарии кое-где бывают нелегальными, в статистические органы отчего-то не докладывают.

По данным ООН 2015 года, «скачок» **LEB** наблюдался с конца 1940-х до середины 1950-х, и связан, как полагают, с массовой вакцинацией от детских инфекций в «развивавшихся» в ту пору странах. При разработке модели 2003 года авторы «*Пределов роста*» пользовались какой-то более ранней статистикой ООН, а там «скачок» происходил… в 1940 году. Вас удивляет, отчего родившиеся в самом начале Второй мировой детишки внезапно стали дольше жить? Большинство пользователей данных ООН это тоже удивляло, но в бюрократической системе все научились хорошо скрывать удивление.

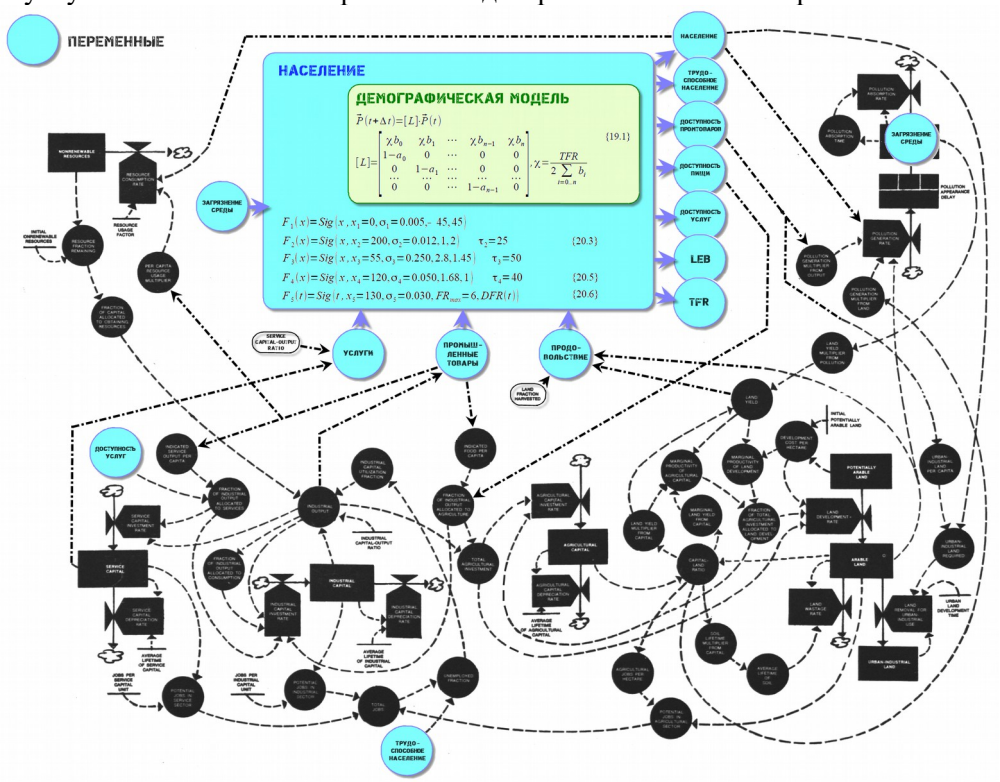
В данных ООН 1958 года никакого «скачка» не было, но там население планеты занижено примерно на 200-300 миллионов, так как по крайней мере Индия и КНР в то время демографические данные полагали государственной тайной – и не публиковали. На картинке ниже – оригинал графика по данным ООН из «*Пределов роста*» 1972 года с наложенными точками из последней, «самой наиболее правильной», статистики ООН из 2015.



Можно высказать гипотезу, что ООН собирает информацию по продолжительности жизни и фертильности от правительств конкретных стран.

Развитым странам нет большой нужды врать, но отдельные страны, в разряд «развитых» по разным причинам не попавшие, меняют демографические наблюдения как флюгер – в зависимости от направления политического ветра. Если ООН говорит, что будут помогать бороться с болезнями – рисуют увеличение продолжительности жизни при сокращении рождаемости, если обещают кормить голодных – повышение рождаемости при увеличении смертности, если голодных собираются кормить, но только при условии раздачи презервативов – рисуют желаемую картинку поголовного планирования семьи при снижении фертильности. И так далее.

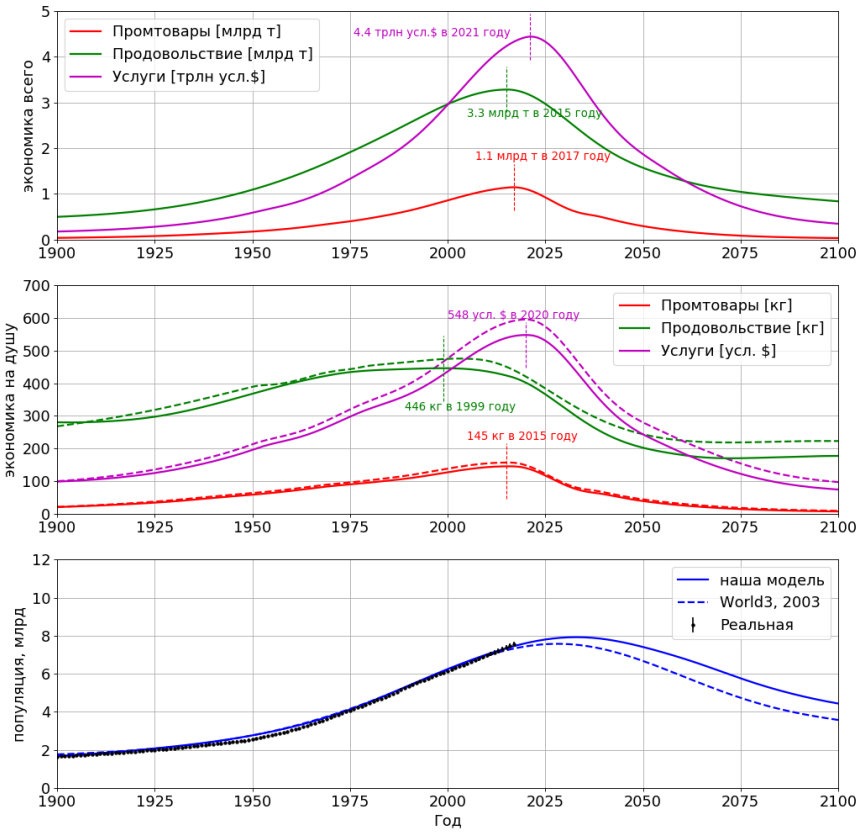
Теперь заменим в модели входные переменные. Вместо доступности потребительских товаров будем использовать просто общее производство потребительских товаров, а доступность рассчитаем сами, поделив общее производство на популяцию модели. Аналогично поступим с продовольствием и услугами. Количество стрелочек на диаграмме несколько сократилось:



Код модифицированной модели и его базовая проверка представлены в файле **\Chapter 20\World3_Model.py**.

По оценкам авторов «*Пределов роста*» 2003 года, общие показатели мировой экономики выглядят неутешительно: максимум продовольствия – 3.3 млрд тонн зернового эквивалента в 2015 году; максимум потребительских товаров – 1.1 млрд условных тонн в 2017 году; максимум социальных «услуг» – 4.4 триллиона УД в 2021 году. Спуск на уровень абсолютных показателей 1960

года по продовольствию и потребительским товарам произойдёт примерно к 2055 году, однако население Земли будет к тому времени не 3.0 миллиарда, как в 1960, а 6.4 млрд человек, то есть в среднем на каждого жителя Земли товаров, еды и услуг получится вдвое меньше.



Переменные в модифицированной модели выглядят так:

№	Переменная	Тип	Описание	Начальное значение
1	**Time**	Входная	Модельное время, лет	1890
2	**Goods**	Входная	Выработка потребительских товаров, млн тонн в год	38
3	**Food**	Входная	Выработка продовольствия, млн тонн в год	413
4	**Services**	Входная	Услуги, млрд УД в год	153
5	**Pollution**	Входная (пока не используется)	Загрязнение окружающей среды, условных единиц	0
6	**Population**	Выходная	Народонаселение всего, млн	1'531
7	**Labor**	Выходная	Трудоспособное население, млн	833
8	**GoodsPC**	Выходная	Доступность потребительских товаров, кг на душу в год	25
9	**FoodPC**	Выходная	Доступность продовольствия, кг на душу в год	270
10	**ServicesPC**	Выходная	Услуги, УД на душу в год	100
11	**LEB**	Индикативная	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	33

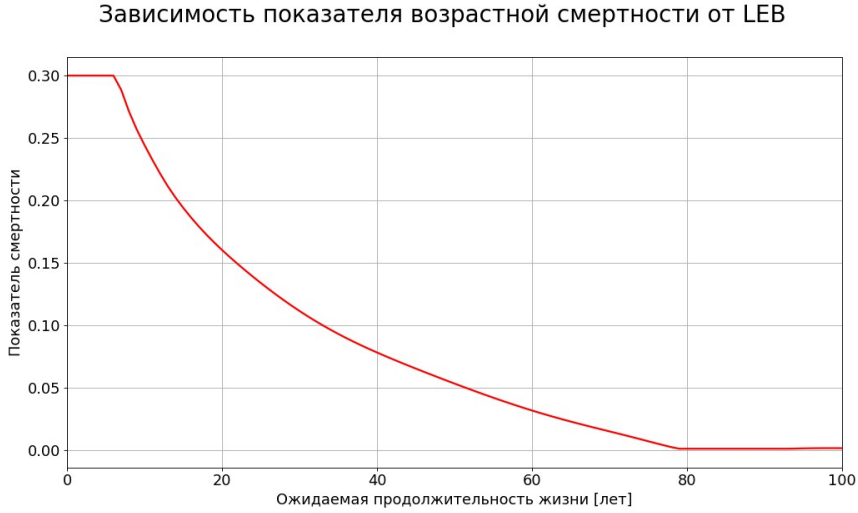
№	Переменная	Тип	Описание	Начальное значение
12	**TFR**	Индикативная	Количество детей в среднем у женщины за весь период жизни	5.6
13	**Total_Male**	Индикативная	Количество мужчин, млн	754
14	**Total_Female**	Индикативная	Количество женщин, млн	777

«Входные» переменные вычисляются за пределами нашей модели. Пока, просто для отладки, использованы значения базовой модели [3]. «Выходные» и «индикативные» переменные вычисляются нашим кодом. Индикативные переменные не используются нигде, кроме как в нашем модуле народонаселения; выходные переменные в дальнейшем будут использованы в других модулях разрабатываемой модели. Все параметры представлены в таблице:

№	Параметр	Описание	Диапазон значений	Принятое значение
1	**m2f**	Отношение мальчики:девочки при рождении	нет	1.05
2	**ΔLEB**	Разница в ожидаемой продолжительности жизни мужчины:женщины	нет	4 года
3	σ_1	Инкремент функции продолжительности жизни в доиндустриальном обществе	От 0.0045 до 0.0055	0.005 $кг^{-1}$
4	LEB_{max}	Максимум LEB	От 80 до 100	90 лет
5	σ_2	Инкремент функции LEB от доступности услуг	От 0.010 до 0.014	0.012 $УД^{-1}$
6	x_2	Центральная точка функции LEB от доступности услуг	От 180 до 220	200 УД
7	τ_2	Задержка функции LEB от доступности услуг	От 15 до 35	25 лет
8	σ_3	Декремент функции DFR от LEB	От 0.10 до 0.40	0.25 $год^{-1}$
9	x_3	Центральная точка функции DFR от LEB	От 45 до 65	55 лет
10	τ_3	Задержка функции DFR от LEB	От 25 до 75	50 лет
11	σ_4	Декремент функции DFR от доступности товаров потребления	От 0.030 до 0.070	0.050 $кг^{-1}$
12	x_4	Центральная точка функции DFR от LEB	От 100 до 140	120 кг
13	τ_4	Задержка функции DFR от LEB	От 20 до 60	40 лет
14	DFR_{min}	Минимальное желаемое количество детей у женщины	От 1.00 до 2.00	1.45
15	DFR_{max}	Максимальное желаемое количество детей у женщины	От 4.20 до 5.20	4.70
16	σ_5	Декремент функции TFR от доступности услуг	От 0.01 до 0.05	0.030 $УД^{-1}$
17	x_5	Центральная точка функции TFR от доступности услуг	От 100 до 160	130 УД
18	FR_{max}	Социально-биологический максимум TFR	От 5.0 до 8.0	6.00

В нашей модели кривая населения проходит несколько выше, чем в модели от авторов «*Пределов роста*». Это оттого, что мы пока не ввели зависимости продолжительности жизни от загрязнений окружающей среды. Соответственно, бóльшая популяция вызывает и несколько меньшее потребление на душу населения. Точная калибровка модели нас пока не заботит: точного соответствия данным статистики будем добиваться позже, когда будет построена окончательная модель, тем более что все «килограммы» и «доллары» у авторов «*Пределов роста*» всё равно условные.

Для полноты описания модели приведём демографические параметризации модели. Из переменной LEB вычисляется коэффициент возрастной смертности a_0 на первом году жизни. В первом приближении это гипербола, ограниченная сверху и снизу величинами 0.3 и 0.001 соответственно, то есть смертность младенцев от 300 до 1 на тысячу живых родов:



Далее из коэффициента a_0 вычисляются остальные возрастные коэффициенты смертности для матрицы Лесли {19.1}:

$$\vec{a} = Bath\left(\vec{t}\ , LEB_a = 5, \sigma_a = 1.0, LEB_b = 80, \sigma_b = 0.2, a_{0,}0.1\, a_{0,}0.20\right) \quad \{20.7\}$$

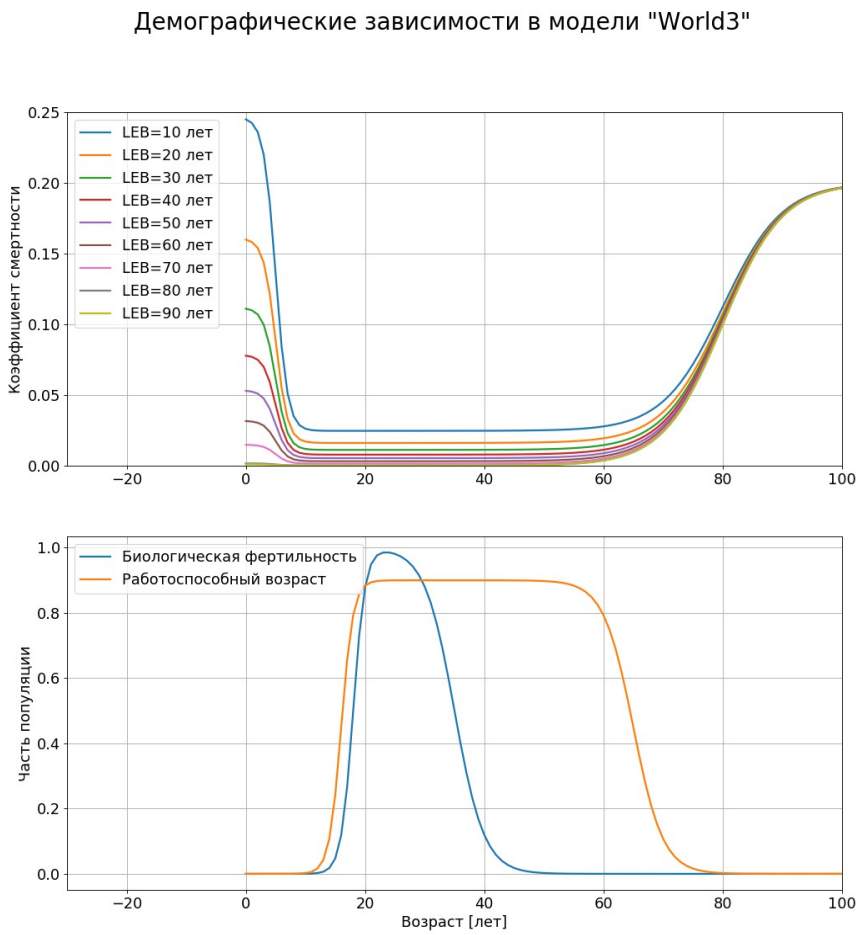
Одновременно вычисляется массив коэффициентов биологической фертильности b для той же матрицы, а также коэффициенты w для количества рабочей силы – последняя переменная понадобится нам в дальнейшем:

$$\vec{b} = Bath\left(\vec{t}\ , t_a = 18.0, \sigma_a = 1.0, t_b = 35, \sigma_b = 0.4, 0, 1, 0\right) \quad \{20.8\}$$

$$\vec{w} = Bath\left(\vec{t}\ , t_a = 16.0, \sigma_a = 1.0, t_b = 65, \sigma_b = 0.4, 0, 0.9, 0\right) \quad \{20.9\}$$

Вслед за авторами «*Пределов роста*» мы полагаем средний возраст первых родов 18 лет, а средний возраст вступления в трудовую жизнь – 16. Если быть

совсем точными, то это должны быть переменные величины – в более «цивилизованном» обществе и то, и другое наступает позже, чем в обществе «традиционном». Однако пока – вслед за авторами *World3* – оставим это параметрами, чтобы не усложнять модель.



Как подобает ~~извращённым математикам~~ честным инженерам, нам далее следует разобраться с двумя важными свойствами полученной математической модели: «чувствительностью к параметрам» и «стабильностью».

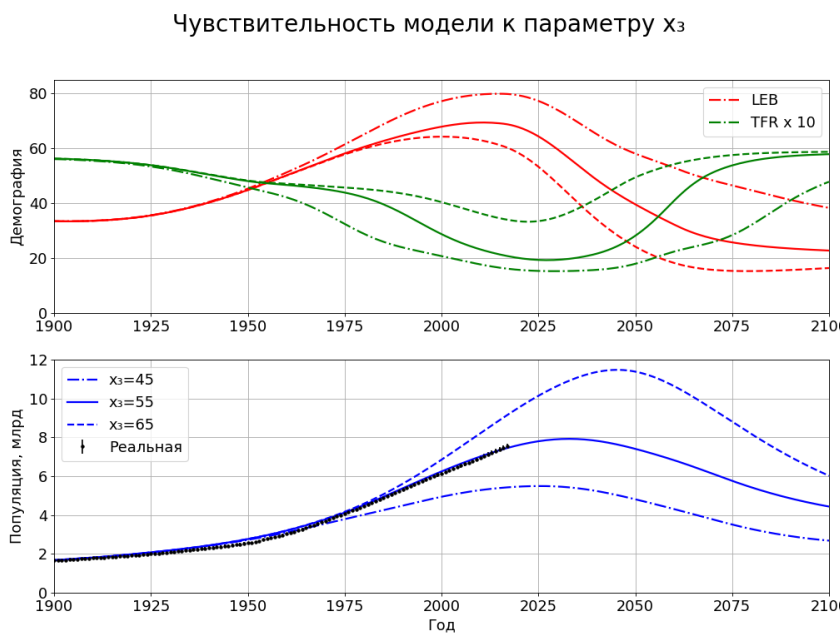
Если при незначительном изменении любого из параметров происходит резкое изменение поведения модели – то модель вряд ли адекватна. Скажем, при величине характерной задержки τ_2=25 лет модель показывает пик населения 8 млрд в 2030 году, а при τ_2=26 лет и прочих равных условиях – пик 50 млрд в 2031. Это то же самое, если самолётик взлетает на скорости 180 км/ч при оборотах двигателя 3'000, а при оборотах 3'150 – уже набирает первую космическую скорость и выходит на орбиту.

Надо отметить, что ни в одной из трёх книг из серии «*Пределы роста*» [1-3]

никакого исследования чувствительности к параметрам не упоминалось. Будучи специалистами в области моделирования и верными учениками Дж.Форрестера, авторы эту чувствительность наверняка проверяли, но документального подтверждения я найти не смог. В «*Динамике роста в ограниченном мире*» [7] и книге Й.Рандерса [18] вопросы чувствительности обсуждаются лишь в самых общих чертах. Можно высказать гипотезу, что авторы не захотели осложнять повествование лишней математикой либо просто считают *Vensim* непогрешимым.

В нашем коде проверяется чувствительность к 16 параметрам из 18; проверку биологического отношения мальчики:девочки при рождении **m2f** и разницу в продолжительности жизни между мужчинами и женщинами **ΔLEB** мы исследуем позже, когда будет полная модель.

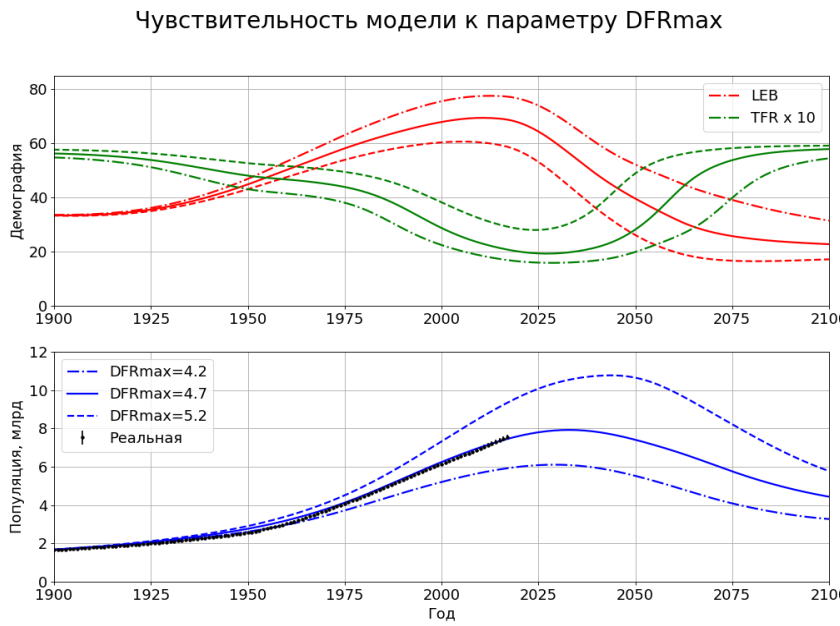
Чтобы не загромождать текст, ниже приводятся только численные эксперименты по самым чувствительным параметрам из шестнадцати: $\mathbf{x_3}$ – центральная точка зависимости между **DFR** от **LEB** и $\mathbf{DFR_{max}}$. Остальные графики доступны в Цифровом приложении. График ниже демонстрирует влияние параметра $\mathbf{x_3}$. Наилучшее совпадение достигается при ожидаемой продолжительности жизни в 55 лет. Подвижка возраста на 10 лет в каждую сторону соответственно уменьшает или увеличивает рост населения в модели.



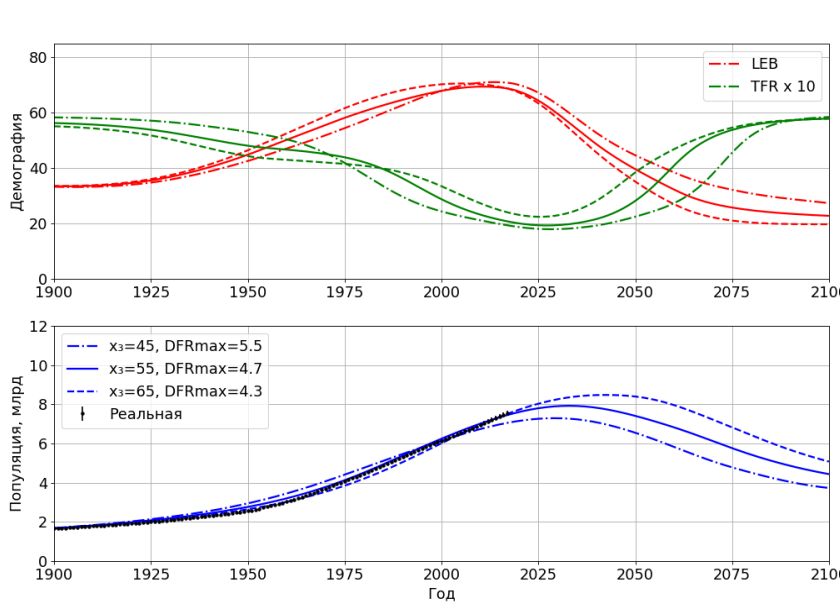
Изменение максимального желаемого количества детей в семье влияет аналогично: изменение со значения наилучшей подгонки 4.7 на 10% в каждую сторону сдвигает график населения вниз или вверх.

Возникает законный вопрос: может ли одновременное изменение *двух*

параметров – первого вниз, второго вверх и наоборот – вернуть график к «базовой» модели?



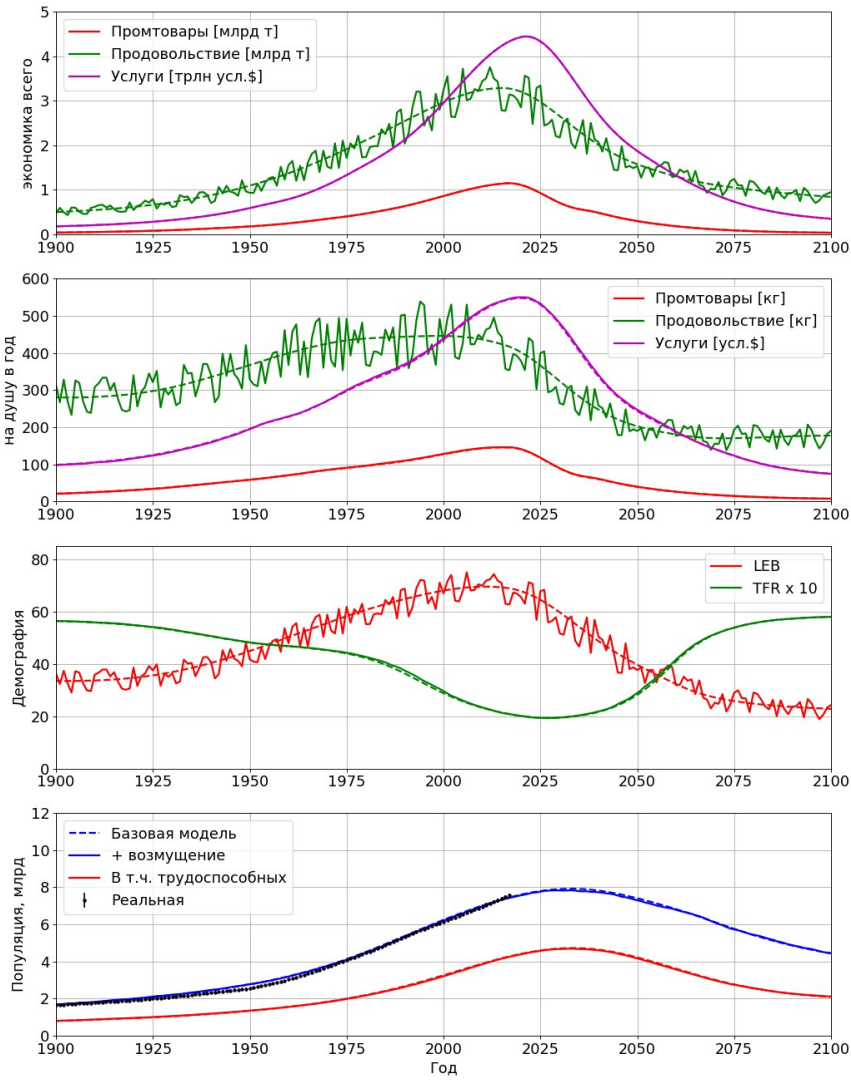
В качестве эксперимента попробуем подобрать наилучшие значения $\mathbf{DFR_{max}}$ для $\mathbf{x_3}$ = 45, 55 и 65 лет. Наилучшее попадание на исторические значения статистики ООН 2015 года достигается при $\mathbf{DFR_{max}}$ = 5.5, 4.7 и 4.3.



Заметим однако, что «альтернативные» параметризации несколько хуже описывают известные исторические значения народонаселения Земли.

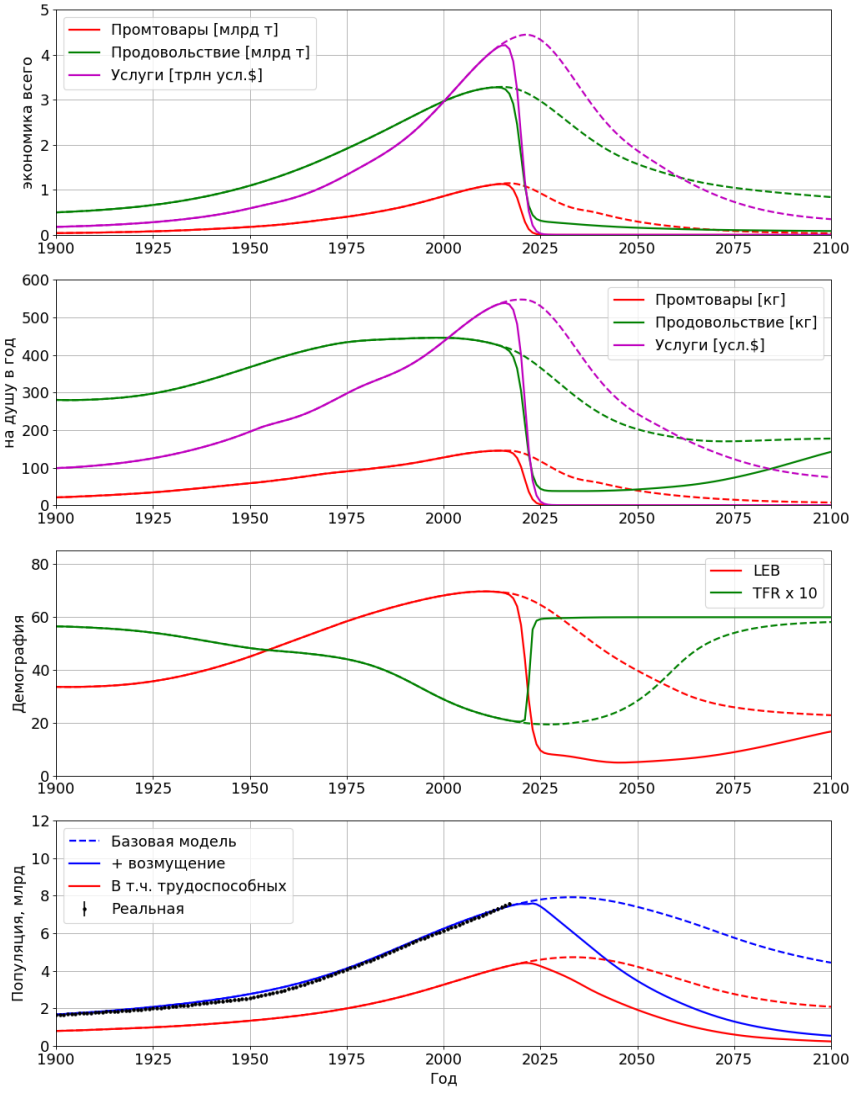
Критики «*Пределов роста*» зачастую указывают, что «уравнениями Медоуза можно нарисовать что угодно». Нарисовать-то можно, но нарисованное не будет соответствовать реальным данным статистики! Если же рисовать в соответствии с известными историческими значениями, какими бы они ни оказались в текущей версии демографической статистики ООН, – диапазон изменения параметров достаточно узок.

Устойчивость модели проверяется добавлением случайного сигнала к любой из входных переменных. Были опробованы все переменные по очереди, а также все вместе. Численный эксперимент показывает, что модель устойчива при случайных возмущениях более 20% от величины переменной. Ниже приводится эксперимент по переменной с наибольшим влиянием – выработка продовольствия, остальные графики – в Цифровом приложении; желающие могут сгрузить код и поэкспериментировать, в том числе, и с устойчивостью.



Исследование устойчивости путём добавления к переменным «катастрофического сигнала» оставлена на сладкое. Приятно жахнуть по модели каким-нибудь выдуманным катаклизмом и поглядеть, что получится. Единственный и притом очевидный способ выморить население – вывести производство продовольствия в ноль. Такой эксперимент тоже проводился и показал, что население в модели сокращается до нуля примерно за 2 года – тривиальный результат приводить здесь не будем.

Поместим условный катаклизм в 2020 год. Там одновременно произойдёт снижение производства продовольствия на 90%, полное уничтожение «услуг» (в том числе государственной власти) и промышленного производства. Любители научной фантастики могут обсудить причины: извержение супервулкана, удар суперметеорита, глобальная ядерная война и т.п.



Даже при таком невероятном сценарии, срыва в нашей демографической модели не происходит, а население плавно снижается. Полученные нами модельные значения: **LEB<**10 лет, **TFR**=6, естественная убыль населения 5.5% в год.

Конечно, вероятность подобной катастрофы в пределах всей планеты довольно мала – что совершенно не мешает хардкорным выживальщикам копать схроны, закупать топоры, стволы и тушняк и каждый выходной отрабатывать эвакуацию своей тушки подальше от города в девственную природу.

У выживальщиков есть достойное оправдание: если не в масштабе планеты, то в масштабах отдельных стран подобные социальные эксперименты ставились неоднократно. Пожалуй, наиболее «чистым» – если такое слово вообще уместно – был «эксперимент» в многострадальной Камбодже времён Пол Пота (настоящее имя пламенного революционера – Салот Са-ар, 1925-1998). Под такой эксперимент угодить – и врагу не пожелаешь.

Шестнадцатого апреля 1975 года народно-освободительная армия Красных кхмеров вошла в Пномпень. Примерно за две недели все горожане воленс-ноленс стали выживальщиками и эвакуировались в ~~девственные~~ деревенские коммуны. Показанные Голливудом окружённые автоматчиками бесконечные пешие колонны не соответствуют воспоминаниям очевидцев – первую неделю беженцы отбывали добровольно и большинство на транспорте: от джипов[417] и автобусов до велосипедов. Колонны были в последние дни – когда «Комитет» проводил окончательную зачистку тех, кто уезжать добровольно не захотел. Впрочем, Красные кхмеры почти полностью выселяли все захваченные города ещё в конце 1960-х, задолго до своей полной победы.

Говорят, будто деньги и торговлю ликвидировали по приказу Пол Пота за один день. Это тоже не совсем верно. Выжившие вспоминают, что риель находился в ограниченном обращении примерно до конца 1975 года, но купить что-либо было затруднительно. Далее выпускник Сорбонны с верными товарищами принялся за транспорт и промышленность. В нищей аграрной стране эти отрасли и так не были особо развиты, но Пол Пот вероятно ставил задачу именно полного уничтожения товарного производства и перехода к натуральному хозяйству. Английская Википедия[418], ссылаясь на журналиста Филипа Шорта[419], пишет, будто

Пол Пот ставил для Кампучии на следующие 5-10 лет задачу механизации сельскохозяйственного производства на 70–80%, с последующим созданием в течение 15–20 лет современной индустриальной базы и превращением страны в самодостаточное государство[...] Чтобы избежать иностранного господства в промышленности, Пол Пот отказался закупать товары из других стран.

Не исключаю, что журналист честен, а нечто подобное Пол Пот вещал иностранным корреспондентам, приезжая на побывку в Пекин, – Шорт именно

417 Sovannora Ieng, Surviving Year Zero: *My four years under the Khmer Rouge*, the Five Mile Press, 2014, ISBN 9781760063641.

418 https://en.wikipedia.org/wiki/Pol_Pot, ссылка на книгу Ф.Шорта в версии 2005 г.

419 Используется другое издание: Short, Philip, *Pol Pot: Anatomy of a Nightmare*, 2006, ISBN 0805080066

там Пол Пота и встретил. Реальность страны была другой. Польский военный журналист Веслав Гурницкий[420], попавший в Демократическую Кампучию вместе с тыловыми частями Народно-Освободительной армии СРВ в январе 1979, описывает так:

Вскоре выяснилось, что путешествовать по Кампучии армейским вездеходом — настоящая пытка. Полпотовские саперы вывели из строя практически все дороги с твердым покрытием, не только постоянным, но и временным. Каждые семьдесят или сто метров проезжую часть пересекает узкая канава глубиной в двадцать сантиметров. Пробитая киркой до самой нижней глиняной подушки, канава напоминает рубленую рану после удара топором.

Уничтожение дорог только отчасти можно мотивировать военными соображениями. В основе же лежали, как нам было объяснено, главным образом идеологические постулаты, доктрина повсеместной прикрепленности населения, ненависть ко всем механическим средствам передвижения, ставшая уже философией. Народ, как твердили полпотовские идеологи, получает в коммунах все необходимое для жизни и, следовательно, не имеет никаких поводов передвигаться по стране[...] самовольный уход из коммуны карался чаще всего смертью, как дезертирство с трудового фронта, а разрешения принципиально не выдавались, так как не было такой необходимости. Почта перестала существовать. Медицинское обслуживание было ликвидировано. Товарообмен прекратился[...]

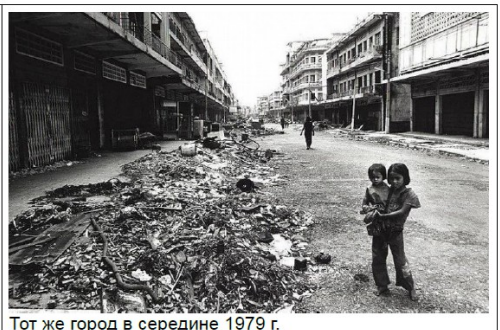
Разрушение дорог началось во второй половине 1975 года [то есть сразу после окончательного выселения городов – М.Я.] Оно продолжалось до последних месяцев 1978 года [то есть до самой интервенции НОА в декабре], в заключительной фазе уничтожению подлежали мосты и насыпи. Трех лет более чем достаточно для страны со столь редкой сетью дорог.

Никакой механизации сельского хозяйства за три с половиной года «глубоких социальных преобразований» не наблюдалось, а вследствие недостатка мотыг и лопат для возделывания земли использовали что под руку попадёт: от расплющенных сковородок до осколков американских авиабомб.

Кое-где пишут, будто в коммунах всем поголовно выдали «чёрные пижамы» – партизанскую униформу вьетнамского пошива – по одному комплекту на год. Это тоже в среднем воспоминаниям очевидцев[421] не соответствует. Униформу выдавали проверенным кадрам Красных кхмеров, а снабжение остальных элементарными потребительскими товарами проводилось за счёт старых запасов. Полоса мусора на фото справа – следы уничтожения мебели. В Пномпене работали бригады подростков, в задачу которых входил сбор одежды и посуды – для последующей отправки в деревни. Всё, что не подходило под эти две категории, выбрасывали из окон и сжигали.



Эвакуация Пномпеня, апрель 1975. Автомобили есть, а автоматчиков не видно.



Тот же город в середине 1979 г.

420 Цитируется по сокращённому переводу Б.Ф.Стахеева: Гурницкий Веслав, «*Песочные часы*», Радуга, Москва, 1983.

421 Sovannora Ieng, см. ссылку 417.

Знали ли о реальном положении дел в высшем руководстве Коммунистической партии Китая? Точного исторического ответа нет и вряд ли он будет. Равновероятны две гипотезы: (1) в ЦК КПК подозревали, что всё идёт не совсем так, как докладывает товарищ Пол Пот, но предпочитали молчать в тряпочку, и (2) эксперимент ставился сознательно, а Камбоджа, с её прогрессивным принцем Сианук, американскими бомбардировками «Тропы Хошимина» и Красными кхмерами в джунглях, просто оказалась как нельзя кстати – проводить опыты такой магнитуды над собственным народом китайские коммунисты посчитали неуместным. Так или иначе, именно в 1979 году ЦК КПК закончил экспериментировать с плакатами и брошюрами относительно мягкой политикой «одна семья – два ребёнка» и перешёл к драконовским мерам чисто-экономической политики «одна семья – один ребёнок». Просто совпадение по времени? Я так не думаю!

О Кампучийском социальном эксперименте можно писать долго, но нас он интересует не просто так, а для калибровки нашей модели к экстремальным обстоятельствам. Население Камбоджи сократилось с примерно 7.9 млн жителей по состоянию на начало 1975 года до 6.7 млн в начале 1979, то есть за полные четыре года – относительное сокращение по 6.0% в год[422]. Дополнительная смертность сверх естественной за 4 года – около 2'120 тыс человек. Дабы не вызывать политический срач, укажем, что большинство умерших не являются *прямыми* жертвами репрессий. Сюда также входит от 170 до 330 тыс Красных кхмеров, погибших на боевом посту либо впавших в мелкобуржуазный уклонизм и подвергнутых крепкой товарищеской критике. Документированные массовые казни (удобренные трупами горожан поля и тому подобные ужасы) составляли лишь 8% от числа погибших, остальная смертность – просто от голода и болезней. Младенцев точно никто не казнил – умирали сами. Про ограничение рождаемости Красными кхмерами данные противоречивы. Гурницкий сообщает на основании интервью с выжившими, что городским эвакуантам – это «граждане третьей категории» – не разрешалось иметь детей. С другой стороны, сохранились свидетельства о «коммунистических линейках», когда деревенских женщин оплодотворяли чуть не насильно.

Полученные нами модельные значения (**LEB**=10 лет, **TFR**=6, естественная убыль населения 5.5% в год) хорошо соответствуют статистике Камбоджи – к счастью, «натурный эксперимент» там продлился всего четыре года. Похоже, наша модель неплохо работает даже в самых экстремальных предположениях – вряд ли где-то ситуация будет хуже. К сожалению, многие страны от социальной катастрофы ничем не застрахованы. Вот что написал нам из

422 Bruce Sharp, *Counting Hell*, http://www.mekong.net/cambodia/deaths.htm приводит обзор оценок: отчёт ЦРУ (1979 год) – 900 тыс дополнительной смертности за 4 года; опрос Б.Киернана (1981-82) – от 1.19 до 1.89 млн; статистическая оценка М.Викери (1984) – 740 тыс; оценка К.Этчинсона на основании раскопок массовых захоронений (1994) – от 2.0 до 2.5 млн (наиболее вероятное значение 2.2 млн); оценка Патрика Хеувелина (1999) – от 1.17 до 3.42 млн (наиболее вероятное значение 2.52 млн). По состоянию на 2016 год объективно установлены массовые захоронения 1'386'734 человек – их в Камбодже считают с точностью до единицы по черепам! Сам Шарп оценил дополнительную смертность числом между 1'747 и 2'495 тыс (наиболее вероятное значение 2'120 тыс).

холодного лета 2052 года профессор экологии Матис Вакернагель[423]:

6-3: Гонка, чтобы проиграть последним

Не так давно, на официальном приёме, я спросил у одного из высокопоставленных дипломатов, какой из всех возможных сценариев для Пакистана выглядит самым позитивным. Сидящие за столом нервно рассмеялись.

Ответ дипломата оказался на удивление честным. Она признала, что у неё вообще нет позитивного видения для Пакистана! Дипломат выразила мнение из тех, что лидеры многих стран придерживаются в тайне, но редко признают публично: человечество находится на опасном пути истощения природных ресурсов. Притом маловероятно, что лидеры могут что-то с этим поделать. Сейчас их работа заключается в том, чтобы их народы не потеряли последнее. На практике это означает, что для своего народа каждый хочет вырвать достаточное количество ресурсов из непрерывно сокращающегося ресурсного пирога планеты. «Моему народу хватит, и плевать на всех прочих!»

В первую очередь, в «ресурсной гонке 2052 года» население защищает сильная финансовая система. Оттого руководители ставят своей основной целью опережающий рост ВВП.

С точки зрения ресурсов прогноз для Пакистана не выглядит радужным. Биоёмкость страны крошечная, менее 0,6 гектара общей территории на душу населения [М.Я.: сравним с Великобританией, где всего 0,44 га], то есть около одной трети среднемирового показателя, а запросы населения растут. Потребности Пакистана уже на 80% превышают биопотенциал страны. Не нужно быть математическим гением, чтобы сделать вывод: при нынешних тенденциях роста населения и материальных ожиданий, – принимая во внимание ограниченную биоёмкости и увеличение издержек на добычу ископаемого топлива – у Пакистана просто не хватит ресурсов до 2052 года. Скорее всего, отсутствие дополнительной биоёмкости проявится в форме усиления социальных конфликтов. Цена конфликтов высока – значительное сокращение средней продолжительности жизни населения. Разумеется, такой распад может иметь катастрофические последствия и для всей планеты, не в последнюю очередь из-за пакистанского ядерного арсенала. К 2052 году Пакистан вполне может стать децентрализованным государственным образованием, с сотнями раздробленных феодальных владений, средневековыми уровнями детской смертности и очень низкой грамотностью.

Конечно, Пакистан попытается импортировать необходимое. Но в мире глобального голода, в условиях, когда население планеты далеко перевалило предел возможностей планеты, представляется маловероятным, что финансово слабый Пакистан сможет успешно бороться с более развитыми странами за остатки ресурсов.

Пакистан может пойти другим путём. Заявить населению, что дефицит ресурсов – явление отныне постоянное, значит, следует обуздать потребности, чтобы сохранить планету для будущих поколений. Достигнуть общественный консенсус среди пакистанцев будет непросто. Потребуется совершенно новое видение развития, включая центральную роль для женщин. Однако, если удастся справиться с социальными последствиями ужесточения экологических и физических ограничений, для пакистанцев будут обеспечены гораздо более благоприятные условия жизни.

К сожалению, Пакистан, как и большинство стран мира, вряд ли будет действовать подобным образом. Политики ослеплены двумя неправильными представлениями: во-первых, что нечего противопоставить относительно медленной, но неуклонной деградации окружающей среды, ни с точки зрения сокращения спроса, ни со стороны новых технологий; во-вторых, если и можно что-то сделать, то решение будет слишком тяжёлым и достижимым лишь на основе глобального консенсуса. Оба заблуждения ведут к параличу политической воли и дезинформируют население. Да, тенденции потребления ресурсов имеют огромную инерцию, они построены на прошлом и настоящем социальном выборе. Потребление ресурсов в значительной степени обусловлено численностью населения и уже существующей инфраструктурой: городами, электростанциями, дорогами и аэропортами. Изменяя тенденции в области народонаселения и перестраивая инфраструктуру, можно уменьшить зависимость от импорта. Но как? Пакистан, как любая страна, должен начать управлять своими экологическими активами так, как управляют хорошей семейной фермой.

Хорошая семейная ферма производит больше, в чистом выражении, чем потребляет фермерская семья. Хороший фермер имеет достаточно земли для выращивания сельскохозяйственных культур и откорма скота. Только излишки производства, превышающие собственное потребление, могут быть проданы в обмен на другие товары и услуги: телевизоры, одежду, книги... Сейчас некоторые страны похожи на хорошие семейные фермы, с бóльшей биоёмкостью, чем необходимо для обеспечения их населения продовольствием.

423 http://www.2052.info/glimpse6-3/

Сравните это с хобби-фермой (дачей), где хозяин разводит цветы или кроликов, а большинство еды покупает в магазине. В настоящее время 80% мирового населения проживает в странах, подобных таким «дачам». В чистом выражении они потребляют больше, чем позволяет экосистема страны. Остальное импортируется или получается из разрушительного сверх-интенсивного природопользования.

Фактически весь мир стал «дачей», используя в 1,4 раза больше, чем биосфера может произвести. Разница между тем, что обеспечивает природа и тем, что забирает человечество, приводит к амортизации «природного капитала». Под вроде бы небольшие проценты мы берём взаймы у будущих поколений.

Если бы мы смотрели на мир как добрые хозяева, мы бы признали, что в наших интересах заботиться о нашей ферме. Мы увидели бы опасность превращения всей планеты в «дачи», где всё меньше места, чтобы выращивать нужное. Страны знали бы, что нужно заботиться о собственных ресурсах и сдерживать их потребление, чтобы быть сильными и независимыми. В качестве бонуса, подобный подход стабилизирует и глобальную ситуацию. Следует максимизировать не пропускную способность (то есть ВВП), а природный капитал на душу населения, используя устойчивую отдачу от этого капитала для поддержания благополучия в будущем.

Возможно, мудрость придет, когда цены на ресурсы начнут расти быстрее, чем расширяется экономика. Когда такой момент настанет, «рост» экономики станет как бег вверх по едущему вниз эскалатору. Но подвигнет ли понимание принимающих решения лиц на быстрые и решительные действия? Боюсь, что нет. По мере уменьшения налоговых поступлений правительства прекратят инвестировать, даже в области образования и инфраструктуры. Населению прикажут спасаться индивидуально, один-на-один против всё более высокой стоимости продовольствия и энергии. Национальные банкротства станут частым явлением.

Другими словами, ограничения ресурсной базы приведут к социальным расстройствам задолго до того, как начнется экологический коллапс: мы увидим в меню и деградацию покупательной способности, и невозвратные кредиты, и банкротства, и гражданское неповиновение, и локальные войны.

Мы станем наблюдать за ходом этих событий и оттого не заметим глубинные причины: истощение ресурсной базы. Так произошло, например, во время «арабской весны» 2011 года. Восстание против репрессивных лидеров рассматривалось большинством как позитивное развитие демократии, но в реальности социальное разложение было вызвано не стремлением к свободе, а почти исключительно быстрым ростом населения в регионе и, как прямое следствие, – ростом цен на продовольствие и энергию. Даже самые циничные диктаторы не смогли удержать от бунта голодные массы[...]

Подведём итоги главы:

- Нами воспроизведён модуль народонаселения из модели *World3*. Математика слегка усовершенствована по сравнению с версией на *DYNAMO* или *Vensim* – у нас мужчины и женщины считаются отдельно, а моделирование популяция выполняется не четырьмя задержками *Vensim*, а непрерывной матрицей Лесли, как описано в главе 19. Воспроизводится расчёт 5 основных и 4 индикативных переменных модели *World3*.

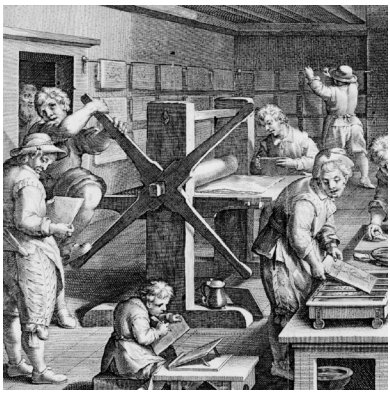
- Полученная модель проверена на чувствительность к 16 параметрам и на устойчивость по всем 3 входным переменным.

- В отличие от идеалистической «теории» демографического перехода Томпсона и Ноутштейна, популяционная модель *World3* – вполне материалистическая.

- При снижении *доступности* потребительских товаров, продовольствия и «услуг» (то, что Ноутштейн в совокупности, вероятно, называл

«модернизацией») в модели наблюдается «обратный демографический переход» – сокращение ожидаемой продолжительности жизни **LEB** при одновременном повышении рождаемости **TFR**. Оба процесса могут идти независимо, так как управляются экономическими (материальными) факторами.

- Возможна ли скоростная глобальная катастрофа – «обрыв Сенеки» как называет его Уго Барди [15] – вопрос открытый. Процесс, вероятно, будет проходить разновременно и с разной скоростью в разных странах мира. Модель *World3* показывает, однако, что даже при плавном снижении производства товаров, продовольствия и услуг обратный демографическому переход, к сожалению, неизбежен.



I. Список литературы

[1] Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jørgen Randers, William W. Behrens III, et al, **The Limits to Growth**, a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind, the Universe Books, New York, NY ISBN 0-87663-165-0. Второе издание: ISBN 0-87663-222-3 (матерчатая обложка), ISBN 0-87663-918-X (бумажная обложка). Официальная, бесплатная, электронная копия: http://collections.dartmouth.edu/teitexts/meadows/diplomatic/meadows_ltg-diplomatic.html

[2] Donella H. Meadows, Jørgen Randers, Dennis L. Meadows, et al, **Beyond the Limits**, Chelsea Green Publishing, ISBN 0-9300031-62-8.

[3] Donella H. Meadows, Jørgen Randers, Dennis L. Meadows, et al, **Limits to Growth: The 30-Year Update**, Chelsea Green Publishing, ISBN 978-1931498586.

[4] Heinberg, Richard. **Peak Everything: Waking Up to the Century of Declines he End of Cheap Oil**. New Society Publishers, ISBN 978-0-86571-598-1.

[5] Campbell, Colin. **The End of Cheap Oil**. Scientific American, 3-1998.

[6] Lomborg, Bjørn. **The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World**. Cambridge, UK: Cambridge University Press. ISBN 0-521-01068-3.

[7] Meadows, Dennis L. **Dynamics of Growth in a Finite World**. Productivity Press, ISBN 978-0262131421.

[8] Turner, Graham. **A Comparison of The Limits to Growth with Thirty Years of Reality**. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO).

[9] Perez, Richard & Marc. **A Fundamental Look at Energy Reserves for the Planet**. IEA/SHC Solar Update, 1/27/2009.

[10] British Petroleum. **World Energy Report, 2018**. Также использованы

отчёты с 2007 по 2017 годы.

[11] Dye, S. T. (2012). **Geoneutrinos and the radioactive power of the Earth**. Reviews of Geophysics, 50(3).

[12] International Energy Agency, **World Energy Outlook 2000.** IEA (2001).

[13] Nico Keilman, **How Accurate Are the United Nations World Population Projections?** JSTOR Population Council (1998).

[14] Malthus, T.R., **An Essay on the Principle of Population. As It Affects the Future Improvement of Society, with Remarks on the Speculations of Mr. Godwin, M. Condorcet, and Other Writers**, London, 1798.

[15] Bardi, Ugo, **The Limits to Growth Revisited (SpringerBriefs in Energy)**, Springer (2011), ISBN 978-1441994158.

[16] Marx, Carl, **Capital a Critique of Political Economy**, Progress Publishers, Moscow, USSR, by the original English edition of 1887.

[17] Darwin Charles, **On the Origin of Species by Means of Natural Selection**, 6th Edition, 1872. Бесплатно в Интернет: http://ecologia.ib.usp.br/ffa/arquivos/abril/darwin.pdf

[18] Randers, J, **2052: A Global Forecast for the next 40 years**, Chelsea Green Publishing Vermont USA (2012), ISBN 978-1603584210.

[19] Hubbert, M.K., **Nuclear Energy and the Fossil Fuels**, American Petroleum Institute, 1956. Бесплатно: http://www.hubbertpeak.com/hubbert/1956/1956.pdf

[20] Hull, Edward, **The Coal-Fields of Great Britain, Their History, Structure, and Resources, with Notices of the Coal-Fields of Other Parts of the World**, Second Edition, London E.Stanford, 1861. По состоянию на 2018, платно: https://ia802703.us.archive.org/24/items/coalfieldsgreat00goog/coalfieldsgreat00goog.pdf

[21] DOE/EIA-0383(2016) **Annual Energy Outlook 2016 with projections to 2040**, 2016: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2016).pdf

[22] Hughes, David J. **2016 Shale Gas Reality Check: Revisiting the U.S. Department of Energy Play-by-play Forecasts through 2040 from annual energy outlook 2016**, the Post Carbon Institute, 2016.

[23] Hughes, David J. **2016 Tight Oil Reality Check: Revisiting the U.S. Department of Energy Play-by-play Forecasts through 2040 from annual energy outlook 2016**, the Post Carbon Institute, 2016.

[24] DOE/EIA **Annual Energy Outlook 2017 with projections to 2050**

(AEO2017) Jan 2017. http://www.eia.gov/aeo

[25] MacKay, David JC, **Sustainable Energy — Without the Hot Air**, UIT Cambridge Ltd, 2009, ISBN 978-0-9544529-3-3 (мягкая обложка) 978-1-906860-01-1 (твёрдая обложка). Электронная версия бесплатно: https://www.withouthotair.com/

[26] Colin J. Campbell and Jean H. Laherrère, **The End of Cheap Oil: Global production of conventional oil will begin to decline sooner than most people think, probably within 10 years**, Scientific American, 3-1998, стр. 78-83.

[27] Jian-Liang Wang, Jiang-Xuan Feng, Yongmei Bentley, Lian-Yong Feng, Hui Qu, **A review of physical supply and EROI of fossil fuels in China**, Pet. Sci. (2017) 14:806–821.

[28] Simmons, Matthew R, **Twilight in the Desert: The Coming Saudi Oil Shock and the World Economy**, John Wiley & Sons, 2005, ISBN 978-0471738763. Русский перевод: Симмонс, Мэтью Р, **Закат арабской нефти. Будущее мировой экономики**, Поколение, 2007, ISBN 978-5-9763-0045-3.

[29] Hall, C., Klitgaard, K., **Energy and the Wealth of Nations: Understanding the Biophysical Economy**, Springer Publishing Company, 2012, New York, USA, ISBN 978-1441993977.

[30] Lambert, J.G., Hall, C.A.S., Balogh, S, et al, **EROI of Global Energy Resources: Status, Trends and Social Implications**, SUNY – ESF / NGEI, USA. Электронная версия бесплатно: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08a0340f0b652dd000508/60999-EROI_of_Global_Energy_Resources.pdf

[31] Pukite, Paul, **The oil conundrum**, ISBN 1-56849-587-0. Бесплатно: http://TheOilConundrum.com

[32] Intergovernmental Panel on Climate Change, **CLIMATE CHANGE 2013 The Physical Science Basis**, ISBN 978-1-107-05799-1. Бесплатно: https://archive.ipcc.ch/report/ar5/wg1

[82] Laframboise, Donna, **The Delinquent Teenager Who Was Mistaken for the World's Top Climate Expert**, Createspace, USA, 2011, ISBN 9781466453487.

[83] Paul R. Ehrlich, **The Population Bomb**, Sierra Club / Ballantine Books, ISBN 1-56849-587-0.

[84] Simon, Julian, **The Ultimate Resource**, Princeton University Press (1981, 1996), ISBN 0-691-00381-5.

[85] **97% CONSENSUS? NO! GLOBAL WARMING MATH MYTHS & SOCIAL PROOFS**, Friends of Science Society, Calgary, 2014.

[86] Spencer, Roy W., **The Great Global Warming Blunder: How Mother Nature Fooled the World's Top Climate Scientists**, Encounter Books, USA, 2010, ISBN 9781594033735.

II. Другие использованные источники

Специально для перцев поясняю: автор не считает Интернет и другие нереферируемые источники заведомо истинными. Но, во-первых, речь в книге идёт не только о науке, но и о бизнесе, а отчёты нефтекомпаний и интервью руководителей отчего-то не подают на независимую экспертизу и в рецензируемых журналах не публикуют. Во-вторых, данная книга является не научным, а научно-популярным текстом.

Ссылки ниже приводятся для удобства читателей. Автор не несёт никакой ответственности за мнения, высказанные в перечисленных ниже источниках, а также не гарантирует их достоверность, как и то, что в будущем конкретные ссылки будут доступны в Интернет. Более того, некоторые источники ниже по мнению автора являются частично устаревшими либо неверными, о чём есть указание в тексте книги. Используйте на свой страх и риск.

Надстрочный номер соответствует ссылке в тексте.

[9] Скачано 27 июня 2016 с http://www.kongord.ru/Index/Articles/40yearslie.html

[12] http://thirstyinsuburbia.com/2009/12/best-of-2009-clean-renewable-rubber-ducky-power/

[22] https://ru.wikipedia.org/wiki/Мальтузианская_ловушка

[23] http://www.johnjeavons.info/index.html

[34] См перепечатку: http://cassandralegacy.blogspot.com.au/2011/08/seneca-effect-origins-of-collapse.html

[35] Скачано с http://www.medical-enc.ru/m/12/maltuzianstvo.shtml

[38] von Foerster, Mora, and Amiot, «**Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026**», Science, 132 #3436 стр. 1291-1295, 1960 г. См. также: Sebastien von Hoerner «**Population Explosion and Interstellar Expansion**» Journal of the British Interplanetary Society (28): 691–712.

[40] См. http://pikabu.ru/story/sergey_kapitsa_istoriya_desyati_milliardov_3995327

[41] «**Успехи физических наук**» 139(1) 57-71, РАН, 1996

[42] Полное описание: Adams D, THGTTG, Phases 1 & 2, BBC, MCMLXXVIII-XXX. Каюсь, пошутил – тому способствовал номер ссылки. Имеется в виду радиопостановка «*BBC*» по книге Дугласа Адамса «**Автостопом по галактике**». Рекомендую.

[44] James A Brandler and M. Scott Taylor, **The Simple Economics of Easter Island: A Ricardo-Malthus Model of Renewable Resource Use**, The American Economic Review, vol 88 issue 1, Mar 1998, 119-138.

[45] А.Чаянов, **Путешествие моего брата Алексея в страну крестьянской утопии**
https://royallib.com/book/chayanov_aleksandr/puteshestvie_moego_brata_alekseya_v_stranu_krestyanskoy_utopii.html

[47] Hubert C Kennedy, **Karl Marx and the foundations of differential calculus**
http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0315086077900581

[49] См. Nguyen Du Hung and Hung Van Le, **Petroleum Geology of Cuu Long Basin - Offshore Vietnam** http://www.searchanddiscovery.com/documents/2004/hung/index.htm

[52] См. https://www.ogj.com/articles/print/volume-89/issue-2/in-this-issue/exploration/sweden39s-siljan-ring-well-evaluated.html

[54] Скачать (3-4 части вроде плохой RAR): http://www.deepoil.ru/index.php/bazaznaniy/item/123-%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%8E%D1%88%D0%BA%D0%B8%D0%BD-%D0%B2%D0%B0

[55] Лагеррер Жан, «**Бесплатный сыр бывает только в мышеловке**», The Wilderness Publications, 2004. Бесплатно: http://www.copvcia.com/free/ww3/102104_no_free_pt1.html

[57] Скачано 28 сентября 2016 г, по состоянию на декабрь 2018 уже нет. http://igs-nas.org.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=9&lang=ru

[58] РИА Новости Украина: http://rian.com.ua/economy/20090209/78099573.html

[59] Скачано 28 сентября 2016: http://mignews.com.ua/regiony/lugansk/1263878.html

[60] http://www.unian.net/society/817908-v-luganskoy-oblasti-nashli-neft.html

[61] http://economics.lb.ua/business/2014/02/14/255432_ukrgazdobicha_otkrila_neftyanoe.html

[62] Заявление для инвесторов: http://www.serinusenergy.com/

[65] Копия статьи на http://physicsoflife.pl/dict/pic/calhoun/calhoun's-experiment.pdf

[67] http://www.fao.org/faostat/en/#home Последние данные по состоянию на декабрь 2018 года – за 2016 год, причём абсолютных значений (в тоннах) не приводится, а даются индексы производства (2005 год = 100).

[68] В реальном времени: https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/

[69] Веб-страница автора (на английском): http://www.2052.info/download/

[72] В 2015 и 2016 – отчёты VN GSO (Государственного Статистического Комитета Вьетнама).

[73] Данные World Bank: https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD , данные по покупательной способности доллара – https://www.usinflationcalculator.com/inflation/consumer-price-index-and-annual-percent-changes-from-1913-to-2008/

[77] Скачано 20 декабря 2016 с блога: https://ourfiniteworld.com/2013/09/25/why-i-dont-believe-randers-limits-to-growth-forecast-to-2052/

[79] Скачано в марте 2018 г: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QI

[80] **We won't be nine billion**: Jørgen Randers at TEDxMaastricht https://www.youtube.com/watch?v=73X8R9NrX3w

[94] Гутман И.С. «**Методы подсчета запасов нефти и газа**», М.: Недра, 1985.

[98] Пресс-конференция главного экономиста «*BP*» Спенсера Дэйла 13 июля 2017 г.

[102] Methodology for calculating CO_2 emissions from energy use.
https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-carbon-emissions-methodology.pdf

[103] https://www.skepticalscience.com/volcanoes-and-global-warming.htm

[105] Обсерватория Мауна Лоа в реальном времени: http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/

[106] Kramer, Andrew E. «**Mapmakers and Mythmakers: Russian Disinformation Practices Obscure Even Today's OilFields, New York Times**», (1 December 2005).

[108] Интервью гендиректора «*Самотлорнефтегаз*» Валентина Мамаева агентству «*Рейтер*». Скачано 21 июля 2017 с https://ru.investing.com/news/

[112] См., например: «**Большая энциклопедия нефти и газа**» http://www.ngpedia.ru/pg0135qxA8t6D4Z193i3N60044083401/

[115] **Hydraulic fracturing to increase well productivity, 1949** См. https://www.google.com/patents/US2664954

[116] См. http://www.stanolind.com/

[118] http://www-udc.ig.utexas.edu/geofluids/graphics/news/LowPermWS_Polito.pdf

[120] John Browning, Scott W. Tinker, Svetlana Ikonnikova, Gurcan Gulen, Eric Potter, Qilong Fu, Susan Horvath, Tad Patzek, Frank Male, William Fisher, Forrest Roberts (University of Texas, Austin); Ken Medlock III (Rice University, Houston) «**BARNETT SHALE MODEL-2: Barnett study determines full-field reserves, production forecast**», Oil & Gas Journal, 02/09/2013

[127] Скачано в ноябре 2017 http://www.rigzone.com/news/oil_gas/a/139667/study_utica_shale_larger_than_previous_estimates/ См. также http://slideplayer.com/slide/8415347/

[128] Скачано 6 ноября 2017 года с https://www.eia.gov/naturalgas/weekly/

[131] Как скачивать отчёты EIA: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/info_nems_archive.php

[132] Добыча сырой нефти и лицензионного газового конденсата в США: https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_crd_api_adc_mbblpd_m.htm

[133] Месячная продуктивность скважин в Северной Дакоте: https://www.dmr.nd.gov/oilgas/mprindex.asp

[134] Stephanie B. Gaswirth and Kristen R. Marra, **U.S. Geological Survey 2013 assessment of undiscovered resources in the Bakken and Three Forks Formations of the U.S. Williston Basin Province**, AAPG Bulletin, 2015

[136] Отчёт USGS: https://pubs.usgs.gov/of/2017/1013/ofr20171013.pdf

[137] Отчёт USGS https://pubs.usgs.gov/fs/2017/3029/fs2017173029%20.pdf

[138] Отчёт USGS https://pubs.usgs.gov/fs/2012/3051/fs2012-3051.pdf

[140] Скачано в ноябре 2017: http://money.cnn.com/2016/03/24/investing/fracking-shale-oil-boom/index.html

[141] https://www.oilandgas360.com/current-duc-inventory-will-require-20-8-billion-complete-enercom/

[142] https://seekingalpha.com/article/4127133-permian-duc-wells-surge-massive-implications-wti-oil-prices-inventories-permian-oil-producers

[143] http://marcellusdrilling.com/2017/07/oil-gas-ducs-now-flying-in-different-directions/

[144] Некролог Д.Мак-Кея: https://www.theguardian.com/environment/2016/apr/18/sir-david-mackay-obituary

[149] Происшествие с Джудит Надал: http://www.standard.co.uk/news/i-think-ive-made-a-mistake-last-words-of-scientist-on-phone-before-g-wiz-crash-6438558.html Надо признать, Надал была сама виновата в происшествии – разговаривала по мобильнику за рулём и въехала на перекрёсток под красный сигнал.

[150] Спецификации производителя для батарей в автомобилях «*Тесла*»: https://industrial.panasonic.com/cdbs/www-data/pdf2/ACI4000/ACI4000C12.pdf

[156] Paul Warde, **Energy Consumption in England & Wales 1560-2000**, Istituto di Studi sulle Società del Mediterraneo, 2007, ISBN 978-88-8080-082-8, бесплатная официальная копия: https://www.fas.harvard.edu/~histecon/energyhistory/data/Warde_Energy%20Consumption%20England.pdf

[158] Ассоциация производителей ядерного топлива: http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx

[161] IAEA, **Manual of acid in situ leach uranium mining technology**, IAEA-TECDOC 1239, 2001

[164] База данных IAEA: https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx

[176] Anthony N. Stranges, **Germany's Synthetic Fuel Industry** 1927-1945, Energia, Vol 12, No 5, 2001.

[177] Кое Хипинг, Ли Хонг и Ву Ганг. Скачано с http://cornerstonemag.net/chinas-coal-industry-must-follow-the-path-of-sustainable-production-capacity/ 4 сентября 2017 г.

[183] «**О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2014 г.**» Государственный доклад / гл. ред. Е. А. Киселёв ; Минприроды России. — М. : Минерал-Инфо, 2015. В свободном доступе нет, цитируется по источнику: «**Добыча и обогащение угля**», Москва, Бюро НДТ, ИТС 37-2017.

[184] Скачано с https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=coal_reserves в июне 2018 г.

[185] Скачано с https://pronedra.ru/coal/2017/03/15/krupneyshie-ugolnye-mestorozhdeniya-mira/ в июне 2018 г.

[187] «Добыча и обогащение угля», Москва, Бюро НДТ, ИТС 37-2017

[190] Tadeusz W.Patzek, Gregory D.Croft, **A global coal production forecast with multi-Hubbert cycle analysis**, Energy, vol 35, issue 8, pp 3109-3122.

[191] David Rutledge, **Estimating long-term world coal production with logit and probit transforms**, International Journal of Coal Geology 85 (2011) 23–33

[192] **Specialized Coal Mine May Be 'Economic Shot In Arm' For Small-Town Somerset Co.** by Andy Sheehan http://pittsburgh.cbslocal.com/2017/06/01/somerset-county-acosta-coal-mine/

[193] **Statement by President Trump on the Paris Climate Accord** https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/statement-president-trump-paris-climate-accord/

[194] «Советская Сибирь», №136(5300), 1937 год.

[195] **3,6 млрд. долларов выделил Китай для реализации в Украине проекта по замещению газа углём:** http://sdtec.lg.ua/?p=2599

[196] **Газ из угля: пророчество Ленина и энергетическая независимость Украины** https://republic.ru/world/gaz_iz_uglya_prorochestvo_lenina_i_vysokie_tekhnologii-1021528.xhtml

[197] Х.П.Хурсанов, С.И. Якубов, Б.Р.Раимжанов, «**Состояние и перспективы подземной газификации угля в Узбекистане**», «Горная книга»,УДК 622.74:622.33, 2012 г, сс 173-176.

[199] По состоянию на декабрь 2018 года статья платная: https://www.theaustralian.com.au/life/weekend-australian-magazine/linc-energys-ucg-plant-at-chinchilla-a-smart-state-disaster/news-story/89096454ced60874c5d8e2e967fb9c1c

[200] Jian-Yang Yuan, **Subcool, Fluid Productivity, and Liquid Level Above a SAGD Producer**, Journal of Canadian Petroleum Technology, Sep 2013

[201] В 1996 году «*Petroconsultants*» была приобретена «*IHS*» – компанией в области финансовых рисков, а та в 2016 слилась с компанией «*Markit*». Насколько известно автору, базы данных теперь лишь для внутреннего

использования. За большие деньги можете заказать себе отчёт по конкретному бассейну, где будет много умных слов и ноль данных: https://www.ihs.com/products/upstream-oil-gas.html

[202] Jean Laherrere, **The end of the peak oil myth**, ASPO France, 2014 http://aspofrance.viabloga.com/files/JL_MITParis2014long.pdf

[203] **BSP finds oil in Lumut,** Скачано 27 июля 2017 г: https://borneobulletin.com.bn/bsp-finds-oil-lumut/

[208] «**СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ до 2030 года**», Москва, 2016, стр. 8.

[209] Rauli Partanen, Harri Paloheimo, and Heikki Waris, **The World After Cheap Oil**, Routledge, 2014, ISBN 1138806374

[211] **Pre-feasibility Study for Coal Mine Methane Drainage and Utilization at the KWK"Pniówek" Coal Mine**, Poland, The U.S. Environmental Protection Agency, September 2015: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/polandprefeasibility.pdf

[212] Скачано в июле 2018: http://www.nytimes.com/2013/03/13/business/global/japan-says-it-is-first-to-tap-methane-hydrate-deposit.html?_r=0

[213] Guntis M. **Seeking flammable ice**, Oil and Gas J., 2003, 101/21, стр 15.

[214] H.Takahashi, E.Fercho, and S.R.Dallmore, **Drilling and operations of the Mallik 2002 Production Research Well Program**, Geological Survey of Canada, Bulletin 585, 2005.

[215] Ai Oyama and Stephen M. Masutani, **A review of the Methane Hydrate Program in Japan**, Energies, 2017.

[216] Yamamoto, K., **Overview and introduction: Pressure core-sampling and analyses in the 2012–2013 MH 21 offshore test of gas production from methane hydrates in the eastern Nankai trough**. Marine Petroleum Geology. 2015.02.024

[217] **The Cabinet Approved the Bill for the Act for Partial Revision of the Act on the Japan Oil, Gas and Metals National Corporation, Independent Administrative Agency**: http://www.meti.go.jp/english/press/2016/1007_02.html

[218] **Japan Flares Gas in 2nd Hydrate Test**: https://www.naturalgasworld.com/japan-flares-gas-during-2nd-hydrate-test-37416

[219] Даровских С.В., Крохалев И.В., Филатов Н.В., Мулявин С.Ф., Плетнева А.Д., Промзелева Н.А., **Промыслово-геологические особенности Мессояхского газогидратного месторождения**, Вестник Нефропользователя ХМАО: http://www.oilnews.ru/18-18/promyslovo-geologicheskie-osobennosti-messoyaxskogo-gazogidratnogo-mestorozhdeniya/

[221] The US Department of Energy, **Methane Hydrate Primer**, 2011, https://www.netl.doe.gov/File%20Library/Research/Oil-Gas/methane%20hydrates/MH-Primer2011.pdf

[223] World Bank: https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS

[224] График ERoEI адаптирован с ресурса: http://thenextturn.com/eroei-energy-cliff/

[234] Jessica G. Lambert, Charles A.S. Hall, Stephen Balogh, Ajay Gupta, Michelle Arnold, Energy, **EROI and quality of life**, Energy Policy, 64(2014)153–167

[235] World Bank: https://data.worldbank.org/indicator/ny.gdp.mktp.cd

[240] **Global Human Development Indicators**: http://hdr.undp.org/en/countries

[241] Пирамида Маслоу для ERoEI адаптирована с ресурса: http://thenextturn.com/eroei-energy-cliff/

[244] Блог Гайл Тверберг: https://ourfiniteworld.com/author/gailtheactuary/

[248] Hugo Foster et al, **NIGERIA: ESCALATION OF BOKO HARAM THREAT**, 2014. Скачано с https://cdn.ihs.com/www/pdf/IHS-Nigeria-Boko-Haram-Threat.pdf

[249] World Bank: https://data.worldbank.org/indicator/SP.DYN.TFRT.IN

[250] Cecilia Chen, **Rebellion against the polio vaccine in Nigeria: implications for humanitarian policy**, African Health Sciences. 2004 Dec; 4(3): 205–207.

[251] The US Department of Labor: https://www.dol.gov/agencies/ilab/resources/reports/child-labor/benin

[255] Isaaks, E.H., Srivastava, R.M., **An Introduction to Applied Geostatistics**, Oxford University Press; 1 edition (January 11, 1990), ISBN 978-0195050134.

[258] Jean Laherrere, **The end of the peak oil myth**, ASPO France, 2014 http://aspofrance.viabloga.com/files/JL_MITParis2014long.pdf

[260] Талеб Н., «**Чёрный лебедь. Под знаком непредсказуемости**», «КоЛибри», 2016, ISBN 9785389098947.

[262] https://peakoil.com/production/michael-lynch-what-ever-happened-to-peak-oil

[264] Charles A. S. Hall, Kent Klitgaard, **Peak Oil, EROI, Investments, and Our Financial Future**, Energy and the Wealth of Nations, SringerLink, 03 March 2018.

[266] https://www.wells.edu/faculty-staff/kent-klitgaard

[271] Richard C. Duncan, **World Energy Production, Population Growth, And the Road to the Olduvai Gorge**, Population and Environment, May-June 2001, v. 22, № 5 стр. 503-522

[273] «Экологически-чистый» хлебушек стоил в конце 2018 года по 1'650 рублей буханка. Ко вкусу хлеба претензий нет. https://www.metronews.ru/novosti/peterbourg/reviews/german-sterligov-otkryl-magazin-v-peterburge-hleb-stoit-1650-sol-1500-rubley-1242701/

[274] График изготовлен Рембрантом Копелааром по данным Ваклава Смила и «*BP*» http://euanmearns.com/fossil-fuels-and-mankind/ Погрешность в оценке потребления биотоплива ±25%.

[280] McBay, Aric, **Peak Oil Survival: Preparation for Life After Gridcrash**, ISBN: 9781592281275, 2006

[281] https://www.siemenpuu.org/en/event/promoting-solar-energy-and-solar-innovations-rural-areas

[282] Данные WNA по вводу ядерных энергоблоков: http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/plans-for-new-reactors-worldwide.aspx

[283] Полный текст: http://www.2052.info/glimpse-64/

[286] Действующие лица на картинке позаимствованы из видеоролика профессора MIT Ричарда Линзена https://www.youtube.com/watch?v=OwqIy8Ikv-c&t=220s

[288] Сатирический филк на климатолога МайклаМанна: https://www.youtube.com/watch?v=WMqc7PCJ-nc

[289] О назначении Кельвина Дрёгмейера советником Президента США по науке: https://www.scientificamerican.com/article/trump-taps-meteorologist-as-white-house-science-advisor/

[290] John Cook, Dana Nuccitelli, Sarah A Green, Mark Richardson, Barbel Winkler, Rob Painting, Robert Way, Peter Jacobs, and Andrew Skuce, **Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature**, Environ. Res. Lett. 8 024024

[292] Craig D. Idso, Robert M. Carter, S. Fred Singer, **Why Scientists Disagree About Global Warming**, NIPCC, 2016, ISBN-13 978-1-934791-59-2

[294] Поначалу Дж. Кук отказывался выдать названия использованных статей, однако редакторы журнала проявили настойчивость: http://www.joseduarte.com/blog/the-art-of-evasion Из Кука данные вытрясли и опубликовали: http://iopscience.iop.org/1748-9326/8/2/024024/media/erl460291datafile.txt

[295] Ahdoot S, Pacheco SE, **Global Climate Change and Children's Health**; COUNCIL ON ENVIRONMENTAL HEALTH. Pediatrics. 2015 Nov;136(5):e1468-84. doi: 10.1542/peds.2015-3233. Epub 2015 Oct 26.

[296] L. F. Khilyuk, G. V. Chilingar, **Global Warming: Are We Confusing Cause and Effect?** Energy Sources, 25:357–370, 2003

[297] L. F. Khilyuk, G. V. Chilingar, **On global forces of nature driving the Earth's climate. Are humans involved?** Environmental Geology, August 2006, Volume 50, Issue 6, стр. 899–910

[298] G. V. Chilingar, O. G. Sorokhtin, L. Khilyuk, M. V. Gorfunke, **Greenhouse gases and greenhouse effect**, Environmental Geology, October 2008

[299] Robert H. Essenhigh, **Potential Dependence of Global Warming on the Residence Time (RT) in the Atmosphere of Anthropogenically Sourced Carbon Dioxide**, Energy & Fuels 23(5), May 2009

[300] Roy W. Spencer and William D. Braswell, **How Dry is the Tropical FreeTroposphere? Implications for Global Warming Theory**, BAMS, Vol. 78, No. 6, 1997, стр. 1097-1106

[301] Roy W. Spencer, William D. Braswell, John R. Christy, and Justin Hnilo, **Cloud and radiation budget changes associated with tropical intraseasonal oscillations**, Geophysical Research Letters, vol. 34, 2007

[302] О нападении на офис Дж Кристи. Климатолог – опасная профессия: https://www.al.com/news/huntsville/index.ssf/2017/04/shots_fired_at_office_building.html

[303] http://www.drroyspencer.com/latest-global-temperatures/

[304] [retracted!] Stephan Lewandowsky, John Cook, Klaus Oberauer, and Michael Marriott, **Recursive Fury: Conspiracist Ideation in the Blogosphere in Response to Research on Conspiracist Ideation**, Front Psychol. 2013; 4: 73.

[305] http://www.realclimate.org/ и https://www.skepticalscience.com/

[306] Dana L. Royer, **CO_2-forced climate thresholds during the Phanerozoic**, Geochimica et Cosmochimica Acta 70 (2006) 5665–5675.

[307] Robert A. Berner and Zavareth Kothavala, **GEOCARB III: A REVISED MODEL OF ATMOSPHERIC CO2 OVER PHANEROZOIC TIME**, American Journal of Science, Vol. 301, February, 2001, P. 182–204, Тест: http://climatemodels.uchicago.edu/geocarb/ Текст: http://climatemodels.uchicago.edu/geocarb/geocarb.F

[308] https://github.com/gilligan-ees-3310-2018/new_geocarb/blob/master/geocarb_varco2.py

[309] Dana L. Royer, Robert A. Berner, Isabel P. Montañez, Neil J. Tabor, David J. Beerling, **CO_2 as a primary driver of Phanerozoic climate**, GSA Today 14(3):3-7 March 2004

[310] Jan Veizer, Davin Ala, Karem Azmy, Peter Bruckschen, Dieter Buhl, Frank Bruhn, Giles A.F. Carden, Andreas Diener, Stefan Ebneth, Yves Godderis, Torsten Jasper, Christoph Korte, Frank Pawellek, Olaf G. Podlaha, Harald Strauss, **^{87}Sr, ^{86}Sr, $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ evolution of Phanerozoic seawater**, Chemical Geology, 161 #1999. стр. 59–88.

[311] Jan Veizer, Yves Godderis, & Louis M. Francois, **Evidence for decoupling of atmospheric CO_2 and global climate during the Phanerozoic eon**, Nature, January 2001, v 408, стр. 698-701.

[313] Jansen, E., J. Overpeck, K.R. Briffa, J.-C. Duplessy, F. Joos, V. Masson-Delmotte, D. Olago, B. Otto-Bliesner, W.R. Peltier, S. Rahmstorf, R. Ramesh, D. Raynaud, D. Rind, O. Solomina, R. Villalba and D. Zhang, 2007: Palaeoclimate. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Рис 6.1 на стр. 441, вверху.

[314] Излучение Солнца меняется в пределах 11-летнего цикла: от примерно 1'360 до 1'363 Вт/м². См. https://spot.colorado.edu/~koppg/TSI/

[315] Полный код: https://github.com/pingswept/pysolar , описание: http://docs.pysolar.org/en/latest/

[316] I. Reda and A. Andreas, **Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications**, National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-560-34302, revised November 2005.

[317] J. K. B. Bishop, W. B. Rossow, and E. G. Dutton, **Surface solar irradiance from the International Satellite Cloud Climatology Project 1983-1991**, Journal of Geophysical Research, vol. 102, no. D6, March 27, 1997.

[318] Будыко М.И., Ронов А.Б., Яншин А.Л., «**История атмосферы**», М., Гидрометеоиздат, 1985.

[319] William D. Sellers, **A Global Climatic Model Based on the Energy Balance of the Earth-Atmosphere System**, Journal of Applied Meteorology, v 8, June 1969, стр. 392-400

[320] A. Faegre, **An Intransitive Model of the Earth-Atmosphere-Ocean System**. Journal of Applied Meteorology, v 11 (1) February 1972: стр. 4–6.

[321] James Hansen, Makiko Sato, Gary Russell and Pushker Kharecha, **Climate sensitivity, sea level and atmospheric carbon dioxide**, PTRA, October 2013.

[322] James C. Zachos, Gerald R. Dickens & Richard E. Zeebe, **An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics**, NATURE, Vol 451,17 January 2008, стр. 279-283.

[324] Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E. & Billups, K., **Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present**. Science 292, стр. 686–693 (2001).

[325] Zachos, J.C., K. C. Lohmann, J. C. G. Walker, and S. W. Wise, Abrupt Climate Change and Transient Climates in the Paleogene: A Marine Perspective, Journal of Geology, 1993, v.100, стр. 191-213.

[326] Jay P. Muza, Douglas F. Williams, Sherwood W. Wise, Jr., **PALEOGENE OXYGEN ISOTOPE RECORD FOR DEEP SEA DRILLING SITES 511 AND 512, SUBANTARCTIC SOUTH ATLANTIC OCEAN: PALEOTEMPERATURES, PALEOCEANOGRAPHIC CHANGES, AND THE EOCENE/OLIGOCENE BOUNDARY EVENT1**. Proceedings of the Deep Sea Drilling Program.

[327] N.J. Shackleton, M.A. Hall, and D. Pate, **PLIOCENE STABLE ISOTOPE STRATIGRAPHY OF SITE 8461**, Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol. 138.

[328] Timothy J. Bralower, Isabella Premoli Silva, and Mitchell J. Malone, **New evidence for abrupt climate change in the Cretaceous and Paleogene: An Ocean Drilling Program expedition to Shatsky Rise, northwest Pacific**, GSA TODAY, NOVEMBER 2002, стр. 4-10.

[330] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4-wg1-errata.pdf

[331] Masson-Delmotte, V., M. Schulz, A. Abe-Ouchi, J. Beer, A. Ganopolski, J.F. González Rouco, E. Jansen, K. Lambeck, J. Luterbacher, T. Naish, T. Osborn, B. Otto-Bliesner, T. Quinn, R. Ramesh, M. Rojas, X. Shao and A. Timmermann, 2013: Information from Paleoclimate Archives. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

[332] Lorraine E. Lisiecki, Maureen E. Raymo, **A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records**, PALEOCEANOGRAPHY, VOL. 20, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071, 2005

[333] http://lorraine-lisiecki.com/stack.html , но представлены не все 57 скважин, а всего 51.

[334] Maslov, L. A. (2014), **Self-organization of the Earth's climate system versus Milankovitch-Berger astronomical cycles**, J. Adv. Model. Earth Syst., 6, стр. 650–657.

[335] Berger A., **Insolation signatures of Quaternary climatic changes**, Il Nuovo Climinto 20(1), 1979, стр. 63-87

[337] Shaun A. Marcott, Jeremy D. Shakun, Peter U. Clark, Alan C. Mix, **A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years**, SCIENCE, VOL 339, 8 марта 2013, стр. 1198-1201

[338] Данные за 1659-1973 гг: MANLEY (Q.J.R.METEOROL.SOC.,1974), 1974-современные: PARKER ET AL. (INT.J.CLIM., 1992), PARKER AND HORTON (INT.J.CLIM.,2005)

[339] https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/

[340] https://data.giss.nasa.gov/gistemp

[341] http://berkeleyearth.org

[343] Каналы Амстердама замерзали в 2018 году: https://www.theguardian.com/world/2018/mar/03/ice-skaters-amsterdam-frozen-canals-europe-freeze-storm

[344] https://science.sciencemag.org/content/suppl/2013/03/07/339.6124.1198.DC1 Удобочитаемая копия данных в цифровом приложении книги: https://github.com/myak555/LIMITS_TO_LIMITS/tree/master/Chapter%2017/Climate_Proxy .

[345] А.Панчин, «**Апофения**». Бесплатно: https://www.smashwords.com/books/view/461313

[346] https://climateaudit.org/2013/03/14/no-uptick-in-marcott-thesis/

[349] Mann,M.E., R.S. Bradley and M.K. Hughes, **Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries**. Nature, 1998, 392, стр. 779-787, а также Mann, M.E., R.S. Bradley, and M.K. Hughes, **Northern Hemisphere Temperatures During the Past Millennium: Inferences, Uncertainties, and Limitations**. Geophys. Res. Lett., 1999, 26, стр 759-762.

[350] https://en.wikipedia.org/wiki/Hockey_stick_controversy

[351] Stephen McIntyre and Ross McKitrick, **THE M&M CRITIQUE OF THE MBH98 NORTHERN HEMISPHERE CLIMATE INDEX: UPDATE AND IMPLICATIONS**, Energy & Environment, Vol. 16, No. 1, 2005, стр. 69-100.

[353] **The Climategate Emails edited and annotated by John Costella, The Lavoisier Group**, March 2010, бесплатно: https://www.lavoisier.com.au/articles/greenhouse-science/climate-change/climategate-emails.pdf

[354] http://www.meteo.psu.edu/holocene/public_html/Mann/tools/tools.php

[355] https://www.nationalreview.com/2017/03/michael-mann-house-testimony-climate-change-embarrassing-rude/ Полная запись заседания (2 часа 11 минут): https://www.youtube.com/watch?v=_3_sHu34imQ

[356] Jean-Baptiste-Joseph Fourier, **Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires**, Memoires d l'Academie Royale des Sciences del'Institute de FranceVII570-604, стр. 182

[358] http://solarcooking.org/newsarchive.htm

[359] Professor R. W. Wood, **Note on the Theory of the Greenhouse**, Philosophical Magazine in 1909 (Vol. 17, стр. 319-320)

[361] https://wattsupwiththat.com/2009/12/24/bbc-botches-grade-school-co2-science-experiment-on-live-tv-with-indepedent-lab-results-to-prove-it/

[362] Svante Arrhenius, **On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground**, Philosophical Magazine and Journal of Science, Series 5, Volume 41, April 1896, стр. 237-276.

[363] John Tyndall, The Bakerian Lecture: **On the Absorption and Radiation of Heat by Gases and Vapours, and on the Physical Connexion of Radiation, Absorption, and Conduction**, Philosophical Transactions of the Royal

Societ of London, Vol. 151 (1861), стр. 1-36.

[364] Callendar, G. S., **The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature**, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1938, стр. 223-240.

[366] H. Rubens and E. Aschkinass, **Observations on the Absorption and Emission of Aqueous Vapor and Carbon Dioxide in the Infra-Red Spectrum**, Astrophysical Journal 8 (1898) стр. 176.

[367] Thomas R. Anderson, Ed Hawkins and Philip D. Jones, **CO_2, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models**, Endeavour Vol. 40 No.3, 2016, стр. 178-187.

[371] McLean, John D, **An audit of uncertainties in the HadCRUT4 temperature anomaly dataset plus the investigation of three other contemporary climate issues**, PhD thesis, James Cook University.

[372] Carl A. Mears and Frank J. Wentz, **Sensitivity of Satellite-Derived Tropospheric Temperature Trends to the Diurnal Cycle Adjustment**, doi 10.1175/JCLI-D-15-0744.1

[373] http://www.woodfortrees.org/plot/rss-land/from:1979/mean:60/plot/gistemp-dts/from:1979/mean:60/offset:-0.38/plot/uah6-land/from:1979/mean:60/offset:0.11

[375] https://wattsupwiththat.com/2007/06/06/my-summer-project-a-national-weather-station-audit/

[376] Frank, Patrick, **Uncertainty in the Global Average Surface Air Temperature Index: A Representative Lower Limit**. Energy & Environment, 2010.

[378] Stephen H. Schneider, **On the Carbon Dioxide–Climate Confusion**, JAS, Vol 33, 1975, стр. 2060-2066

[379] Charney, J. G., **Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment**. National Academies, Science Press, Washington, DC, 1979

[380] Nicholas Lewis and Judith Curry, **The impact of recent forcing and ocean heat uptake data on estimates of climate sensitivity**, Journal of Climate, 2018, doi 10.1175/JCLI-D-17-0667.1.

[381] https://www.giss.nasa.gov/tools/modelE/

[382] http://edgcm.columbia.edu/purchasing/

[383] https://www.geosci-model-dev.net/11/665/2018/gmd-11-665-2018.pdf Sonja Totz, Alexey V. Eliseev, Stefan Petri, Michael Flechsig, Levke Caesar, Vladimir Petoukhov, and Dim Coumou, **The dynamical core of the Aeolus 1.0 statistical–dynamical atmosphere model: validation and parameter optimization**, Geosci. Model Dev., 11, стр. 665–679, 2018

[384] Simon J. Shepherd, Sergei I. Zharkov, and Valentina V. Zharkova, **PREDICTION OF SOLAR ACTIVITY FROM SOLAR BACKGROUND MAGNETIC FIELD VARIATIONS IN CYCLES 21–23**, The Astrophysical Journal, 795:46 (8pp), 2014

[385] https://skepticalscience.com/The-Earth-continues-to-build-up-heat.html

[387] **«Римский клуб: «Парниковая» афера»**, https://tsargrad.tv/articles/rimskij-klub-parnikovaja-afera_162916 (14 Октября 2018); скачано в ноябре 2018 г.

[388] Полный список членов Римского клуба: https://www.clubofrome.org/membership/

[390] Nebojsa Nakicenovic, Joseph Alcamo, Gerald Davis, Bert de Vries, Joergen Fenhann, Stuart Gaffin, Kermeth Gregory, Amulf Griibler, Tae Yong Jung, Tom Kram, Emilio Lebre La Rovere, Laurie Michaelis, Shunsuke Mori, Tsuneyuki Morita, William Pepper, Hugh Pitcher, Lynn Price, Keywan Riahi, Alexander Roehrl, Hans-Holger Rogner, Alexei Sankovski, Michael Schlesinger, Priyadarshi Shukla, Steven Smith, Robert Swart, Sascha van Rooijen, Nadejda Victor, Zhou Dadi, **IPCC Special Report on Emissions Scenarios**, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2000, ISBN 0 521 80081 1 (жёсткая обложка), 0 521 80493 0 (мягкая обложка).

[391] **GEA, 2006: Global Energy Assessment—Toward a Sustainable Future**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA.

[392] «**Математические проблемы тысячелетия**»: http://www.claymath.org/millennium-problems/navier%E2%80%93stokes-equation

[394] По данным ООН (https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/) соотношение мужчины: женщины в мире было в 1960 году 100:100, а в 2015 – 101.8:100.

[395] https://ourworldindata.org/life-expectancy , скачано в июле 2019.

[396] https://ru.wikipedia.org/wiki/Рост_населения , скачано в марте 2019 г.

[397] https://assets.prb.org/pdf14/2014-world-population-data-sheet_eng.pdf

[399] По-русски: https://ru.wikipedia.org/wiki/Демографический_переход, английская версия слегка отличается: https://en.wikipedia.org/wiki/Demographic_transition. Скачано в мае 2019 г.

[400] http://pages.uwc.edu/keith.montgomery/Demotrans/demtran.htm

[401] Frank Notestein, **Population: The long view**, в сборнике «*Food for the Worm*», Chicago, 1945, стр. 36-57.

[402] W. S. Thompson, **Population**. American Journal of Sociology, 34, 1929, стр. 959-975.

[403] A. Landry, **La Révolution Démographique**, Paris, 1934.

[406] Подробно о президенте Бокасе: https://lenta.ru/articles/2018/03/04/nyam_nyam/.

[407] Бюро переписей Индии: http://censusindia.gov.in/Census_And_You/old_report/census%20tables_1931_1.htm

[408] F. W. Notestein et al., **The Future Population of Europe and the Soviet Union: Population Projections, 1940-1970**, Geneva, 1944.

[409] F. W. Notestein, **Economic problems of population change**, Proceedings of the Eighth International Conference of Agricultural Economists, New York, 1953, стр. 13-31.

[410] Проект Коэла: https://dss.princeton.edu/catalog/resource2088

[413] P. M. Hauser and O. D. Duncan, **The Study of Population. An Inventory and Appraisal**, Chicago,1959, стр. 14. Цитируется по электронной книге: https://archive.org/stream/in.ernet.dli.2015.462876/2015.462876.An-Inventory_djvu.txt

[415] Интерфейс к модели *World3* на ресурсе http://bit-player.org/extras/limits/ .

[417] Sovannora Ieng, **Surviving Year Zero: My four years under the Khmer Rouge**, the Five Mile Press, 2014, ISBN 9781760063641.

[418] https://en.wikipedia.org/wiki/Pol_Pot, ссылка на книгу Ф.Шорта в версии 2005 г.

[419] Издание, которое использовали авторы Википедии, найти не удалось. Цитируется по другому изданию: Short, Philip, **Pol Pot: Anatomy of a Nightmare**, 2006, ISBN 0805080066

[420] Цитируется по сокращённому переводу Б.Ф.Стахеева: Гурницкий Веслав, «**Песочные часы**», Радуга, Москва, 1983.

[421] Sovannora Ieng, см. ссылку 417.

[422] Bruce Sharp, **Counting Hell**, http://www.mekong.net/cambodia/deaths.htm приводит обзор оценок: отчёт ЦРУ (1979 год) – 900 тыс дополнительной смертности за 4 года; опрос Б.Киернана (1981-82) – от 1.19 до 1.89 млн; статистическая оценка М.Викери (1984) – 740 тыс; оценка К.Этчинсона на основании раскопок массовых

захоронений (1994) – от 2.0 до 2.5 млн (наиболее вероятное значение 2.2 млн); оценка Патрика Хеувелина (1999) – от 1.17 до 3.42 млн (наиболее вероятное значение 2.52 млн). По состоянию на 2016 год объективно установлены массовые захоронения 1'386'734 человек – их в Камбодже считают с точностью до единицы по черепам! Сам Шарп оценил дополнительную смертность числом между 1'747 и 2'495 тыс (наиболее вероятное значение 2'120 тыс).

[423] На веб-ресурсе книги [18]: http://www.2052.info/glimpse6-3/

III. Обозначения

Для удобства пользования формулами, буквенные обозначения сохраняются по всем главам. Ниже приведён полный список, с описанием и принятой размерностью. По умолчанию, прописная буква означает функцию от времени, а строчная – константу.

A – коэффициент смертности [безразмерный]

B – коэффициент рождаемости [безразмерный]

C – капитал [условные миллионы тонн]

D – коэффициент естественной убыли или износа [безразмерный]

E – энергия [гигаджоули]

F – территория или площадь [млн км^2]

G – коэффициент затратности [тонн/единицу]

H – производство продовольствия [условные миллионы тонн]

I – коэффициент инвестиций (или восстановления) [безразмерный]

J – коэффициент продуктивности [тонн / единицу]

L – трудоспособное население [млн человек]

M – промышленное производство [условные миллионы тонн]

O – оптимум популяции [млн человек]

P – население [млн человек]

Q – природные ресурсы [условные млн тонн]

S – производство услуг [млрд условных долларов]

T – модельное время [годы]

IV. Физические величины, использованные в книге

Масса Земли	$5.972 \cdot 10^{24}$ кг
Масса атмосферы Земли	$5.148 \cdot 10^{18}$ кг
Средний радиус Земли	$6.371 \cdot 10^{6}$ м
Площадь Земли (включая океаны)	$5.101 \cdot 10^{8}$ км²
Площадь суши Земли	$1.489 \cdot 10^{8}$ км²
Площадь континентального шельфа	$0.325 \cdot 10^{8}$ км²
Площадь потенциальных сельхозугодий	$4.884 \cdot 10^{7}$ км²
Площадь сельхозугодий под пашней в 2014 году	$1.396 \cdot 10^{7}$ км²
Масса океанов Земли	$1.35 \cdot 10^{21}$ кг
Масса атмосферы Земли	$5.148 \cdot 10^{15}$ кг
Суммарный сток континентов	$4.00 \cdot 10^{16}$ кг/год
Суммарный водоотбор на нужды человека (не учитывая естественные осадки)	$4.25\ 10^{15}$ кг/год
Общий поток солнечной радиации	173'000 ТВт
Геотермальный тепловой поток	47±2 ТВт
Плотность энергии радиации Солнца на орбите Земли	1'361.5 МВт/км²
Плотность энергии солнечной радиации	340.4 МВт/км²
Эквивалент зерновых на производство 1 кг протеинов	6 кг/кг
Концентрация CO_2 в атмосфере Земли до 1800 года (в расчётах принято значение 284 ppm)	285±15 ppm

V. Физические величины, оценка которых приводится в книге

Энергия стока с континентов	10.4±2 ТВт
Плотность энергии солнечной радиации после отражения атмосферой	163.2 МВт/км²
Плотность захвата солнечной радиации биосферой	0.600 МВт/км²
Плотность тепловой энергии океанов	0.168 МВт/км²
Плотность энергии геотермального теплового потока	0.092 МВт/км²
Общий поток энергии, доступный человеку без разрушения биосферы	2'250±450 ТВт
Общий поток энергии, потребляемый человеком в 2015 году, не менее	400 ТВт
Максимальный теоретический поток энергии «высокой плотности» из возобновляемых источников	47±5 ТВт
Технически-реализуемый поток энергии «высокой плотности» из возобновляемых источников, исключая биомассу	4.6±0.5 ТВт
Используется энергии «высокой плотности» в 2014 году, не менее	18.5 ТВт
Используется энергии «высокой плотности» в 2014 году из ископаемого углеродного топлива, не менее	14.6 ТВт
Используется энергии «высокой плотности» из возобновляемых источников (исключая биомассу) в 2014 году, не более	0.6 ТВт
Максимальная популяция человечества из расчёта по возобновляемым источникам энергии	19±2 млрд
Максимальная популяция человечества из расчёта по возобновляемым источникам энергии с использованием реальных технологий 2018 года	1.9±0.2 млрд
Масса антропогенных выбросов CO_2 в 2016 г	$33\text{-}49 \cdot 10^9$ т

Масса годовых антропогенных выбросов CO_2 к общей массе CO_2 в атмосфере Земли (2016 год)	1.1±0.2%
Характерное время секвестрации CO_2 в атмосфере Земли (наиболее вероятное 37 лет)	28-55 лет
Накопленная добыча каменного угля, включая бурый уголь и торф, с 1830 по 2017 гг	203±20·10⁹ toe
Накопленная добыча нефти и лицензионного газового конденсата, с 1860 по 2017 гг	184±9·10⁹ т
Накопленная добыча нефти, включая конденсат, битум и широкие фракции природного газа, по 2017 г	193±10·10⁹ т
Накопленная добыча природного газа, с 1830 по 2017 гг	105±8·10⁹ toe
Накопленная добыча энергетического сырья «уголь+нефть+газ» с 1830 по 2017 гг	501±50·10⁹ toe
Оценка общих технически извлекаемых запасов энергетического сырья «уголь+нефть+газ», включая «нетрадиционные углеводороды»:	
1P (P-90)	1'000·10⁹ toe
2P (P-50)	1'400·10⁹ toe
3P (P-10)	3'300·10⁹ toe
Мировой пик добычи энергетического сырья «уголь+нефть+газ», не позднее	2040 года
Вероятный мировой пик добычи «классической» чёрной нефти	2005 год
Максимум добычи «классической» чёрной нефти на пике	3'240±100 млн т
Вероятный мировой пик добычи каменного угля	2014 год
Максимум добычи каменного угля на пике	3'990±200 млн toe
Вероятный мировой пик добычи энергетического сырья «уголь+нефть+газ» на душу населения	2012 год
Максимум душевого потребления энергии из угля, нефти и газа на пике	2'000±200 Вт
Вероятный мировой пик добычи энергетического сырья	

«уголь+нефть+газ+уран» на душу населения	2012 год
Максимум душевого потребления энергии из угля, нефти, газа и урана на пике	2'100±200 Вт
Вероятный мировой пик низкоэнтропийной энергии (включая все возобновляемые) на душу населения	2015 год
Максимум душевого потребления энергии на пике	2'300±200 Вт
Выработка электроэнергии в 2017 году, эквивалент мгновенной мощности (включая все возобновляемые)	2.92 ТВт
Выработка электроэнергии в 2017 году, эквивалент мгновенной мощности (все возобновляемые)	0.66 ТВт
Выработка электроэнергии в 2017 году, эквивалент мгновенной мощности (все возобновляемые, кроме гидро)	0.19 ТВт
Выработка электроэнергии в 2017 году (включая все возобновляемые) на душу населения	390±20 Вт
то же в тепловом эквиваленте при КПД = 38%	1000±50 Вт
Утилизация заявленных установленных мощностей 2017 году:	
солнечных батарей	13%
ветровых электростанций	25%

VI. Пик нефти по странам мира

Для совместимости с историческими данными по добыче, учитывается только добыча **сырой нефти и лицензионного газового конденсата**. Включается также LTO, она же «трудноизвлекаемые запасы нефти», она же «сланцевая нефть». Не учитываются:

- природный битум, например, из Канады
- пентан и другие «широкие фракции природного газа» (NGPL – Natural Gas Plant Liquids)
- продукты пиролиза природного керогена
- жидкие продукты подземной газификации угля
- продукты по технологиям «газ-в-жидкость», «каменный уголь-в-жидкость»
- жидкости из возобновляемых источников (биотопливо), в том числе метанол, этанол и биодизель
- расширение и усадка при переработке

Основные данные получены с веб-ресурса EIA:
https://www.eia.gov/beta/international/data/browser/

В качестве вспомогательных данных использованы отчёт «*Бритиш Петролеум*» [10] и отчет DOE/EIA [20]. Площади стран и территорий – по «*CIA World Factbook – 2014*».

По добыче в бывших союзных республиках Советского Союза официальных источников нет. Информацию можно почерпнуть из старых университетских курсов по геологии СССР, но как правило без академических ссылок. По Азербайджану, Казахстану, Узбекистану пик наступил позже 1980 г, оттого есть точные данные. По Таджикистану, Туркменистану и РФ данные противоречивы. Вообще, если дело касается индивидуальной добычи по республикам СССР, о точных числах до примерно 1985 года можно забыть. Госкомстат тогда официально выдавал лишь общую добычу по стране, а объёмы по регионам считались государственной тайной. Впрочем, все данные наверняка есть в архивах, рано или поздно кто-то рассекретит.

Государство	Источник	Пик добычи нефти и конденсата, млн т	Добыча в 2016 году, млн т
Азербайджан	«Азнефть» «BP»	50.8 в 2010 52.2 в 2010	41.0 (нк) 42.2 (всего)
Кыргызстан	http://www.vb.kg/doc/188032_pervyy_barrel_nefti_dobyt_v_kyrgyzstane_inostrannoy_kompaniey.html	0.490 (всего) в 1958	Около 0.05
Украина	http://forum-ukraina.net/threads/dobycha-nefti-v-ukraine.17267/	14.5 (всего) в 1972	1.6

Государство	Источник	Пик добычи нефти и конденсата, млн т	Добыча в 2016 году, млн т
Туркменистан	http://cabar.asia/ru/sabar-asia-energoresursnyj-sektor-turkmenistana-ozhidaniya-i-perspektivy/	«начало добычи 1876 г, пик в 1975 г на уровне 15.5 млн т»	11.7
Белоруссия	https://www.kp.by/daily/26672.4/3694966/	«около 8 млн в 1975»	1.3
Грузия	http://ru.reuters.com/article/businessNews/idRUKAL83275720080228	«более 3 млн в 1980»	Около 0.02
Таджикистан	https://cyberleninka.ru/article/n/energetika-i-problemy-ustoychivogo-razvitiya-tadzhikistana	0.418 (всего) в 1979	Около 0.01
Российская Федерация	EIA http://burneft.ru/archive/issues/2011-04/1 «BP»	545 (нк) в 1988 547 (всего) в 1980	534.2 (нк) 547.5 (всего) 554.3 (всего)
Казахстан	«BP»	82.3 (всего) в 2013	79.3 (всего)
Узбекистан	EIA	5.9 (нк) в 1998 8.0 (всего) в 1996	2.7

Точность абсолютных значений добычи – не хуже ±3%, однако не все государства показывают в статистике ШФЛУ отдельной позицией.

Группа 1 включает страны и территории, где коммерческих запасов нефти не обнаружено, либо добыча невозможна технически, либо добыча прекращена по состоянию на начало 2018 года.

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2018 года	Добыча 2018 года к пику	Территория (с терр. водами)	К сумме территорий
			Млн т	Млн т	%%	км²	%%
ATA	Антарктида					14000000	9.31%
ARM	Армения					29743	0.02%
AFG	Афганистан					652864	0.43%
BHS	Багамы					13943	0.01%
BEL	Бельгия					30528	0.02%
BIH	Босния и Герцеговина					51209	0.03%
BWA	Ботсвана					581730	0.39%
BFA	Буркина-Фасо					274222	0.18%
BDI	Бурунди					27834	0.02%
BTN	Бутан					38394	0.03%
VUT	Вануату					12189	0.01%
HTI	Гаити					27750	0.02%
GUY	Гайана					214969	0.14%
GMB	Гамбия					11295	0.01%
GIN	Гвинея					245857	0.16%

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2018 года	Добыча 2018 года к пику	Территория (с терр. водами)	К сумме территорий
			Млн т	Млн т	%%	км²	%%
GNB	Гвинея-Бисау					36125	0.02%
HND	Гондурас					112492	0.07%
GRL	Гренландия					2166086	1.44%
DJI	Джибути					23200	0.02%
DOM	Доминиканская Республика					48671	0.03%
ZMB	Замбия					752612	0.50%
SAH	Западная Сахара					266000	0.18%
ZWE	Зимбабве					390757	0.26%
IRL	Ирландия					70273	0.05%
ISL	Исландия					103000	0.07%
KHM	Камбоджа					181035	0.12%
KEN	Кения					580367	0.39%
CYP	Кипр					9251	0.01%
CYN	Кипр (Северный)					3355	0.00%
KOS	Косово					10887	0.01%
CRI	Коста-Рика					51100	0.03%
LAO	Лаос					236800	0.16%
LVA	Латвия					64559	0.04%
LSO	Лесото					30355	0.02%
LBR	Либерия					111369	0.07%
LBN	Ливан					10452	0.01%
LUX	Люксембург					2586	0.00%
MDG	Мадагаскар					587041	0.39%
MKD	Македония					25713	0.02%
MWI	Малави					118484	0.08%
MLI	Мали					1240192	0.82%
MOZ	Мозамбик					801590	0.53%
MDA	Молдова					33846	0.02%
MNE	Черногория					13812	0.01%
NAM	Намибия					825615	0.55%
NPL	Непал					147181	0.10%
NIC	Никарагуа					130373	0.09%
NCL	Новая Каледония					18575	0.01%
PSX	Палестинские территории					6020	0.00%
PAN	Панама					75417	0.05%
PRY	Парагвай					406752	0.27%
PRT	Португалия					92090	0.06%
PRI	Пуэрто-Рико					9104	0.01%
RWA	Руанда					26338	0.02%

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2018 года	Добыча 2018 года к пику	Территория (с терр. водами)	К сумме территорий
			Млн т	Млн т	%%	км²	%%
SLV	Сальвадор					21041	0.01%
SWZ	Свазиленд					17364	0.01%
PRK	Северная Корея					120540	0.08%
SEN	Сенегал					196722	0.13%
SOL	Сомалиленд					176120	0.12%
SOM	Сомали					637657	0.42%
SLE	Сьерра-Леоне					71740	0.05%
TZA	Танзания					945087	0.63%
TGO	Того					56785	0.04%
UGA	Уганда					241550	0.16%
URY	Уругвай					176215	0.12%
FJI	Фиджи					18274	0.01%
FIN	Финляндия					338424	0.23%
FLK	Фолклендские о-ва					12173	0.01%
FGU	Французская Гвиана					83534	0.06%
ATF	Французские океанические владения					7747	0.01%
CAF	Центрально-Африканская Республика					622984	0.41%
CHE	Швейцария					41284	0.03%
LKA	Шри-Ланка					65610	0.04%
ERI	Эритрея					117600	0.08%
EST	Эстония					45227	0.03%
ETH	Эфиопия					1104300	0.73%
KOR	Южная Корея					100210	0.07%
JAM	Ямайка					10991	0.01%
SWE	Швеция	1976	0.03			450295	0.30%
BEN	Бенин	1985	0.39			114763	0.08%
JOR	Иордания	1986	0.05			89342	0.06%
SVN	Словения	1993	Менее 0.01			20273	0.01%
	Всего группа 1	1986	0.44			31935854	21.24%

В XXI веке добыча нефти начата в 5 странах:

2003 Чад (пик добычи в 2005, группа 2 ниже)

2005 Тимор-Лесте (пик добычи в 2006, группа 2 ниже)

2006 Белиз (пик добычи в 2010, группа 3 ниже)

2006 Мавритания (пик добычи в 2006, группа 2 ниже)

2011 Нигер (пик добычи в 2012, группа 3 ниже)

Группа 2 включает страны и территории, где пик добычи прошёл до 2009 года. (Заметим, что в самом 2009 пик не прошла ни одна страна). Закраской выделены члены Организации стран – экспортёров нефти (ОПЕК): Алжир, Ангола, Венесуэла, Ливия, Кувейт, Иран, Габон, Экваториальная Гвинея и Нигерия. Индонезия, где внутреннее потребление давно превышает добычу, то покидает ОПЕК, то входит снова (по состоянию на 2019 год – в очередной раз покинула).

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2018 года	Добыча 2018 года к пику	Территория (с терр. водами)	К сумме террито-рий
			Млн т	Млн т	%%	км²	%%
KGZ	Кыргызстан	1958	0.5	Менее 0.1	10%	199951	0.13%
AUT	Австрия	1965	1.4	0.6	45%	83871	0.06%
VEN	Венесуэла	1970	197.2	77.4	39%	916445	0.61%
LBY	Ливия	1970	159.5	50.5	31%	1759540	1.17%
KWT	Кувейт	1972	167.3	135.7	81%	17818	0.01%
UKR	Украина	1972	14.5	1.6	11%	603500	0.40%
CAN	Канада	1973	100.3	58.5	58%	9984670	6.64%
IRN	Иран	1974	303.2	205.6	68%	1648195	1.10%
BLR	Беларусь	1975	8.0	1.5	19%	207600	0.14%
DEU	Германия	1975	4.7	2.0	41%	357114	0.24%
PER	Перу	1975	10.1	2.5	25%	1285216	0.85%
TKM	Туркменистан	1975	15.5	12.0	78%	488100	0.32%
ROU	Румыния	1977	15.1	3.3	22%	238397	0.16%
IDN	Индонезия	1978	84.9	37.3	44%	1910931	1.27%
TJK	Таджикистан	1979	0.4	Менее 0.1	2%	143100	0.10%
BRN	Бруней-Даруссалам	1980	11.7	4.8	41%	5765	0.00%
GEO	Грузия	1980	3.0	Менее 0.1	1%	69700	0.05%
MAR	Марокко	1980	Менее 0.1	Менее 0.1	15%	446550	0.30%
TWN	Тайвань	1980	0.3	Менее 0.1	4%	36193	0.02%
ISR	Израиль	1981	1.8	Менее 0.1	1%	28292	0.02%
TTO	Тринидад и Тобаго	1981	12.7	3.3	26%	5130	0.00%
HUN	Венгрия	1982	2.0	0.7	37%	93028	0.06%
SRB	Сербия	1982	1.9	0.8	43%	88361	0.06%
HRV	Хорватия	1982	2.5	0.66	27%	56594	0.04%
CHL	Чили	1982	2.3	0.2	7%	756102	0.50%
ALB	Албания	1983	3.7	0.7	19%	28748	0.02%
ESP	Испания	1983	2.8	Менее 0.1	3%	505992	0.34%
GRC	Греция	1984	1.3	0.2	15%	131990	0.09%

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2018 года	Добыча 2018 года к пику	Территория (с терр. водами)	К сумме террито-рий
			Млн т	Млн т	%%	км²	%%
MINI	Малые острова и территории*	1984	0.1	Менее 0.1	50%	39570.7	0.03%
MMR	Мьянма (Бирма)	1984	1.6	0.5	34%	676578	0.45%
TUN	Тунис	1984	5.9	1.9	32%	163610	0.11%
BGR	Болгария	1985	0.3	Менее 0.1	16%	110879	0.07%
CMR	Камерун	1985	9.0	3.3	37%	475442	0.32%
COD	Конго (Киншаса)	1985	1.6	0.8	51%	2344858	1.56%
NLD	Нидерланды	1986	4.5	0.8	19%	41850	0.03%
FRA	Франция	1988	3.3	0.7	23%	640679	0.43%
TUR	Турция	1991	4.3	2.6	61%	783562	0.52%
JPN	Япония	1992	0.8	0.2	19%	377930	0.25%
PNG	Папуа-Новая Гвинея	1993	6.2	2.2	35%	462840	0.31%
EGY	Египет	1996	44.8	30.8	69%	1002450	0.67%
SYR	Сирия	1996	28.9	1.2	4%	185180	0.12%
SVK	Словакия	1996	Менее 0.1	Менее 0.1	12%	49037	0.03%
GAB	Габон	1997	17.9	9.4	53%	267668	0.18%
ARG	Аргентина	1998	44.3	25.5	58%	2780400	1.85%
GTM	Гватемала	1998	1.2	0.5	40%	108889	0.07%
UZB	Узбекистан	1998	5.7	2.0	35%	447400	0.30%
GBR	Великобритания	1999	129.8	47.6	37%	242495	0.16%
AUS	Австралия	2000	35.3	13.7	39%	7692024	5.12%
YEM	Йемен	2001	21.7	0.8	4%	527968	0.35%
LTU	Литва	2001	0.5	0.1	21%	65300	0.04%
NOR	Норвегия	2001	155.7	72.3	46%	323802	0.22%
CZE	Чехия	2003	0.3	0.1	31%	78865	0.05%
BGD	Бангладеш	2004	0.3	0.2	50%	147570	0.10%
VNM	Вьетнам	2004	19.7	11.7	59%	331212	0.22%
DNK	Дания	2004	18.7	5.5	29%	43094	0.03%
CUB	Куба	2004	3.0	2.6	86%	109884	0.07%
MYS	Малайзия	2004	37.3	31.3	84%	330803	0.22%
MEX	Мексика	2004	171.3	89.6	52%	1964375	1.31%
GNQ	Экваториальная Гвинея	2004	17.7	8.3	47%	28051	0.02%
ZAF	ЮАР	2004	2.7	0.1	3%	1221037	0.81%
ITA	Италия	2005	5.5	4.3	78%	301336	0.20%
NGA	Нигерия	2005	126.7	95.9	76%	923768	0.61%
TCD	Чад	2005	8.5	6.4	75%	1284000	0.85%
CIV	Берег Слоновой Кости	2006	3.0	2.5	84%	322463	0.21%
TLS	Тимор-Лесте	2006	4.9	1.6	32%	14874	0.01%
MRT	Мавритания	2006	1.5	0.2	13%	1030700	0.69%

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2018 года	Добыча 2018 года к пику	Территория (с терр. водами)	К сумме террито-рий
			Млн т	Млн т	%%	км²	%%
DZA	Алжир	2008	82.3	60.6	74%	2381741	1.58%
AGO	Ангола	2008	94.1	76.7	82%	1246700	0.83%
NZL	Новая Зеландия	2008	2.9	1.2	41%	270467	0.18%
	Всего группа 2	2005	1630.2	1215.6	75%	53938245	35.88%

* Включает страны и территории: Американские Самоа, Антиква и Барбуды, Аруба, Барбадос, Бермуды, Капе-Верде, Каймановы о-ва, Коморос, о-ва Кука, Доминика, о-ва Фаро, Французская Полинезия, Гибралтар, Гренада, Гваделупе, Гуам, Гонконг, Кирибати, Макао, Мальдивы, Мальта, Мартиника, Маврикий, Микронезия, Монсеррат, Науру, Нидерландские Атиллы, Ниуи, Реюньон, о-в Св.Елены, о-ва Св.Киттса и Невиса, о-в Св.Лючии, о-ва Св.Пьерра, Гренадинские о-ва, Самоа, Сао-Томе и Принципе, Сейшельские о-ва, Сингапур, Тонга, Кокосовые о-ва, Тувалу, Тихоокеанские малые о-ва (США), Виргинские о-ва (США), Британские Виргинские о-ва, о-в Уэйк.

Группа 3 включает страны, где пик добычи либо пройден после 2009 года, либо ещё не пройден. Закраской выделены члены ОПЕК: Катар, Эквадор, Ирак, ОАЭ и Саудовская Аравия (Катар покинул ОПЕК в 2019 году).

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2018 года	Добыча 2018 года к пику	Территория (с терр. водами)	К сумме террито-рий
			Млн т	Млн т	%%	км²	%%
AZE	Азербайджан	2010	51.1	39.3	77%	86600	0.06%
BLZ	Белиз	2010	0.2	0.1	47%	22966	0.02%
SDN	Судан и Южный Судан	2010	23.8	4.6	19%	2510000	1.67%
IND	Индия	2011	37.9	34.3	90%	3287263	2.19%
QAT	Катар	2011	75.2	70.8	94%	11586	0.01%
NER	Нигер	2012	1.0	0.4	45%	1267000	0.84%
COL	Колумбия	2013	52.3	45.0	76%	1141748	0.76%
PAK	Пакистан	2014	4.6	4.3	95%	881912	0.59%
PHL	Филиппины	2014	1.8	0.6	35%	300000	0.20%
ECU	Эквадор	2014	29.0	26.0	93%	276841	0.18%
CHN	КНР	2015	207.5	182.4	88%	9596961	6.38%
BAHR	Бахрейн	2016	2.5	1.9	78%	765	0.00%
MNG	Монголия	2016	1.1	1.0	85%	1564110	1.04%
OMN	Оман	2016	48.9	47.3	97%	309500	0.21%
SAU	Саудовская Аравия	2016	507.7	504.0	99%	2149690	1.43%
SUR	Суринам	2016	0.9	0.9	100%	163820	0.11%
THA	Таиланд	2016	12.5	11.0	88%	513120	0.34%
ARE	ОАЭ	2016	157.4	155.5	99%	83600	0.06%
BRA	Бразилия	2017	136.8	135.0	99%	8515767	5.66%
BOL	Боливия	2018		3.1		1098581	0.73%
COG	Конго (Браззавиль)	2018		16.4		342000	0.23%

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2018 года	Добыча 2018 года к пику	Территория (с терр. водами)	К сумме террито-рий
			Млн т	Млн т	%%	км²	%%
GHA	Гана	2018		8.7		238533	0.16%
IRQ	Ирак	2018		223.0		438317	0.29%
KAZ	Казахстан	2018		91.4		2724900	1.81%
POL	Польша	2017		1.0		312679	0.21%
RUS	Россия [a]	2018		541.3		17098246	11.37%
USA	США [b]	2018		511.7		9525067	6.34%
	Всего группа 3	2018		2661.6		64457385	42.88%
	Всего в мире	2018		3877.2		150331484	100.00%
	По данным «*BP*» 2019 г*	2018		3873.6			

[a] По данным ЦДУ ТЭК: http://www.cdu.ru/tek_russia/articles/1/471/ (март 2018 года) и https://www.interfax.ru/business/644895 (январь 2019 года) добыча 2018 года составила 555.84 млн тонн, однако ЦДУ ТЭК включает в категорию «конденсат» не менее 10 млн тонн ШФЛУ. Реальная добыча нефти и конденсата без ШФЛУ: по данным EIA – 541.3 млн тонн, по данным «*BP*» – 546.0 млн тонн.

[b] Данные EIA и «*BP*» совпадают: 4349 тыс баррелей в сутки NGPL (тут не считается) и 10962 тыс баррелей в сутки сырой нефти и лицензионного конденсата, то есть 252 и 636 млн м³ в год соответственно. «*BP*» приводит также общую массу «жидкостей»: 669.4 млн тонн. Следовательно, добыто около 157.7 млн тонн NGPL и 511.7 млн тонн нефти и конденсата. Средняя плотность составляет 511.7/636=0.805 тонн/ м³. Для сравнения: плотность нефти марки «Средняя Западно-Техасская» (WTI) – 0.827, плотность стандартного конденсата API – 0.780. Объём конденсата (и «сланцевой нефти» LTO) в добыче США – от 45 до 49%.

* Данные «*BP*» включают все «жидкости», кроме биотоплива и жидкостей по технологиям «газ-в-жидкость» и «каменный уголь в жидкость». Всего добыто в 2018 году 4474.3 млн тонн, из них не менее 180.8 млн тонн битума в Канаде, а ШФЛУ/NGPL – 670.7 млн м³ по всему миру, то есть не менее 419.9 млн тонн. Итого 4474.3-180.8-419.9=3873.6 млн тонн. Наше значение получено по данным EIA – на 3.6 млн тонн больше.

Таблица ниже описывает страны с «существенной» добычей, то есть более 30 млн тонн нефти и газового конденсата в 2018 году (30 млн тонн – это примерно 0.8% от общемировой добычи).

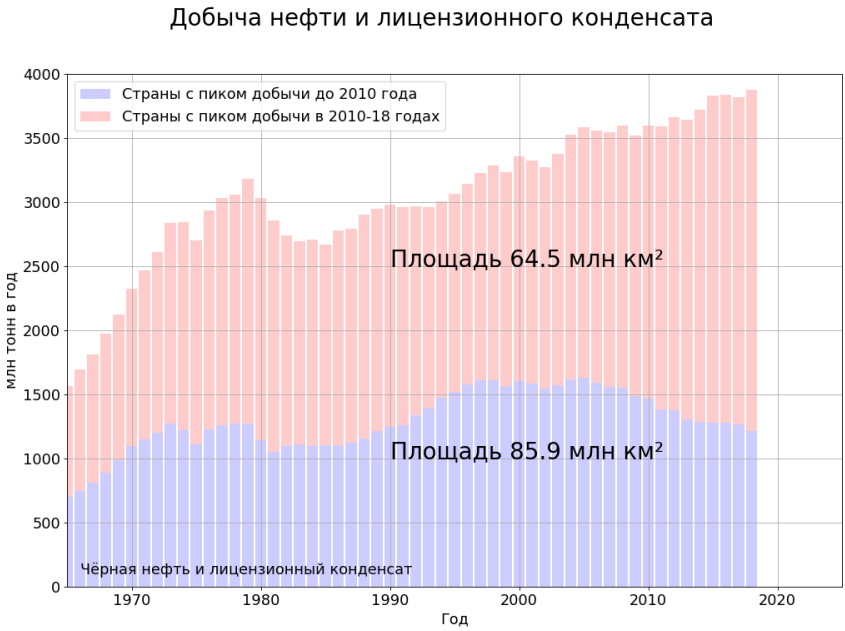
Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2018 года	Добыча 2018 года к пику	Территория (с терр. водами)	К сумме террито-рий
			Млн т	Млн т	%%	км²	%%
VEN	Венесуэла	1970	197.2	77.4	39%	916445	0.61%
LBY	Ливия	1970	159.5	50.5	31%	1759540	1.17%
KWT	Кувейт	1972	167.3	135.7	81%	17818	0.01%
CAN	Канада	1973	100.3	58.5	58%	9984670	6.64%
IRN	Иран	1974	303.2	205.6	68%	1648195	1.10%
IDN	Индонезия	1978	84.9	37.3	44%	1910931	1.27%
EGY	Египет	1996	44.8	30.8	69%	1002450	0.67%
GBR	Великобритания	1999	129.8	47.6	37%	242495	0.16%
NOR	Норвегия	2001	155.7	72.3	46%	323802	0.22%
MYS	Малайзия	2004	37.3	31.3	84%	330803	0.22%
MEX	Мексика	2004	171.3	89.6	52%	1964375	1.31%
NGA	Нигерия	2005	126.7	95.9	76%	923768	0.61%

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2018 года	Добыча 2018 года к пику	Территория (с терр. водами)	К сумме террито-рий
			Млн т	Млн т	%%	км²	%%
DZA	Алжир	2008	82.3	60.6	74%	2381741	1.58%
AGO	Ангола	2008	94.1	76.7	82%	1246700	0.83%
AZE	Азербайджан	2010	51.1	39.3	77%	86600	0.06%
IND	Индия	2011	37.9	34.3	90%	3287263	2.19%
QAT	Катар	2011	75.2	70.8	94%	11586	0.01%
COL	Колумбия	2013	52.3	45.0	76%	1141748	0.76%
CHN	КНР	2015	207.5	182.4	88%	9596961	6.38%
OMN	Оман	2016	48.9	47.3	97%	309500	0.21%
SAU	Саудовская Аравия	2016	507.7	504.0	99%	2149690	1.43%
ARE	ОАЭ	2016	157.4	155.5	99%	83600	0.06%
BRA	Бразилия	2017	136.8	135.0	99%	8515767	5.66%
IRQ	Ирак	2018		223.0		438317	0.29%
KAZ	Казахстан	2018		91.4		2724900	1.81%
RUS	Россия [a]	2018		541.3		17098246	11.37%
USA	США [b]	2018		511.7		9525067	6.34%
	Всего страны с существенной добычей	2018		3650.8		79622978	52.96%
	% к мировой добыче			94%			

Пик нефти и конденсата по состоянию на конец 2018 года:

- 21.2% стран и территорий (по площади) – нефтедобычи в коммерческих количествах нет.
- 35.9% территорий– пик пройден 10 лет назад и более, снижение добычи по 2.2% в год в среднем.
- Доказанная начальная плотность извлекаемых запасов нефти и конденсата на квадратный километр территории в группах 1 и 2, исключая Антарктиду и Гренландию: 63'100±6'000 / 65.8 = 960±100 toe/км².
- Доказанная начальная плотность извлекаемых запасов нефти и конденсата на квадратный километр территории в трёх группах, исключая Антарктиду и Гренландию: 184'000±18'000 / 134.2 = 1370±140 toe/км².
- В 8 странах с территорией 31.8 млн км² (21.1% суши и территориальных вод планеты) и населением 612.7 млн человек (8.0% населения Земли) пик пока не прошёл. Эти 8 стран, в том числе 1 страна ОПЕК (Ирак), обеспечивали в 2018 году 36.0% мировой добычи нефти и конденсата.
- Четыре члена ОПЕК из группы 3: Эквадор, ОАЭ, Саудовская Аравия и Ирак, имеют территорию 2.9 млн км² (2.0% суши и территориальных

вод), население 99.3 млн (1.3% населения Земли). Они добыли в 2018 году 910 млн тонн нефти и конденсата.



VII. Демографический переход по странам мира

В 1950-х ожидаемая продолжительность жизни превышала 70 лет всего в пяти странах мира: Дании, Швеции, Исландии, Нидерландах и Норвегии, притом на четвёртом этапе «демографического перехода» (низкая фертильность, высокая продолжительность жизни, малый рост населения) твёрдо находились лишь первые две. Всего на четвёртом этапе в 1950 году было 24 страны или территории с общим населением 463 млн. За 65 лет население группы увеличилось на 32%.

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Австрия	6.9	8.7	1.9	1.5	66.0	81.4	1.25
Беларусь	7.7	9.5	2.5	1.7	57.7	72.7	1.22
Бельгия	8.6	11.3	2.3	1.8	67.0	81.0	1.31
Болгария	7.3	7.2	2.7	1.5	60.4	74.6	0.99
Норманд-ские о-ва	0.1	0.2	2.1	1.5	68.5	81.0	1.60
Хорватия	3.9	4.2	2.9	1.5	60.3	77.5	1.10
Чехия	8.9	10.6	2.9	1.5	65.3	78.6	1.19
Дания	4.3	5.7	2.6	1.7	70.5	80.6	1.33
Эстония	1.1	1.3	2.1	1.6	59.1	77.4	1.19
Франция	41.9	64.5	2.8	2.0	66.1	82.4	1.54
Грузия	3.5	4.0	2.7	2.0	59.8	73.1	1.12
Германия	70.0	81.7	2.1	1.5	66.9	80.8	1.17
Греция	7.7	11.2	2.5	1.3	65.4	81.0	1.46
Венгрия	9.3	9.8	2.8	1.4	62.6	75.8	1.05
Италия	46.6	59.5	2.5	1.5	65.6	82.8	1.28
Латвия	1.9	2.0	2.0	1.5	59.7	74.4	1.03
Литва	2.6	2.9	2.9	1.6	57.6	74.5	1.14
Люксембург	0.3	0.6	1.9	1.6	65.4	81.6	1.91
Россия	102.8	143.9	2.8	1.7	55.2	70.9	1.40
Испания	28.1	46.4	2.4	1.4	63.1	83.0	1.65
Швеция	7.0	9.8	2.3	1.9	71.3	82.3	1.39
Швейцария	4.7	8.3	2.3	1.5	68.7	83.1	1.78
Украина	37.3	44.7	2.7	1.5	59.1	71.8	1.20
Велико-британия	50.6	65.4	2.1	1.9	68.7	81.4	1.29
ВСЕГО:	**463.0**	**613.2**	**2.5**	**1.6**	**62.9**	**78.0**	**1.32**

Ещё 63 страны и территории пересекли границу 1950 года, будучи на этапе 3, но с 2000 года (или ранее) могут быть классифицированы как находящиеся

полностью на этапе 4. В этих странах совместно показатель **TFR** уменьшился с 5.3 до 1.7 при одновременном увеличении продолжительности жизни **LEB** с 52 до 77 лет.

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Албания	1.3	2.9	6.0	1.7	54.2	78.2	2.31
Антигуа и Барбуды	Менее 0.05	0.1	4.4	2.1	57.5	76.2	2.16
Аргентина	17.2	43.4	3.2	2.3	61.4	76.4	2.53
Армения	1.4	2.9	4.1	1.6	62.0	74.4	2.16
Аруба	Менее 0.05	0.1	5.8	1.8	58.4	75.7	2.74
Австралия	8.2	23.8	3.0	1.9	68.8	82.7	2.91
Азербайджан	2.9	9.6	5.1	2.1	57.4	71.9	3.28
Багамы	0.1	0.4	4.0	1.8	59.2	75.5	4.89
Барбадос	0.2	0.3	4.5	1.8	56.1	75.8	1.35
Босния и Герцеговина	2.7	3.5	5.3	1.3	51.4	76.7	1.33
Бразилия	54.0	206.0	6.1	1.7	50.1	75.3	3.82
Бруней	Менее 0.05	0.4	6.9	1.9	57.2	77.0	8.70
Канада	13.7	35.9	3.5	1.6	68.5	82.2	2.62
Чили	6.2	17.8	5.1	1.8	54.0	79.3	2.87
Гонконг	2.0	7.2	4.4	1.3	62.1	83.8	3.67
Макао	0.2	0.6	4.1	1.3	59.9	83.7	3.06
КНР	554.4	1397.0	6.7	1.6	43.0	76.1	2.52
Коста-Рика	1.0	4.8	5.7	1.8	55.1	79.6	5.01
Куба	5.9	11.5	4.8	1.7	58.2	79.6	1.94
Кюрасао	0.1	0.2	4.9	2.1	58.8	78.3	1.58
Кипр	0.5	1.2	3.9	1.4	65.8	80.3	2.35
КНДР	10.5	25.2	1.9	1.9	29.7	71.5	2.39
Финляндия	4.0	5.5	3.1	1.8	65.5	81.1	1.37
Гренада	0.1	0.1	5.2	2.1	55.2	73.5	1.39
Гваделупе	0.2	0.5	5.6	2.0	51.7	81.1	2.14
Гуам	0.1	0.2	5.4	2.4	56.1	79.4	2.71
Гайана	0.4	0.8	5.7	2.5	58.4	66.5	1.89
Исландия	0.1	0.3	3.6	1.9	71.7	82.6	2.31
Ирландия	2.9	4.7	3.5	2.0	65.6	81.3	1.61
Ямайка	1.4	2.9	3.8	2.0	56.7	75.8	2.05
Япония	82.8	128.0	3.4	1.4	61.2	83.6	1.55
Кувейт	0.2	3.9	7.2	2.0	51.4	74.6	25.71
Ливан	1.3	5.9	5.8	1.7	59.6	79.4	4.38
Македония	1.3	2.1	5.5	1.5	53.0	75.5	1.66
Малайзия	6.1	30.7	6.4	2.1	53.5	75.1	5.03
Мальта	0.3	0.4	4.2	1.4	65.4	80.7	1.37

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Мартиника	0.2	0.4	5.6	1.9	54.2	81.8	1.74
Молдова	2.3	4.1	3.5	1.2	58.1	71.5	1.74
Черногория	0.4	0.6	4.6	1.7	59.2	76.9	1.59
Нидерланды	10.0	16.9	3.1	1.7	71.4	81.7	1.69
Новая Зеландия	1.9	4.6	3.4	2.0	69.3	81.7	2.42
Норвегия	3.3	5.2	2.5	1.8	72.3	82.0	1.59
Польша	24.8	38.3	3.5	1.3	59.1	77.4	1.54
Португалия	8.4	10.4	3.1	1.3	59.5	81.0	1.24
Пуэрто-Рико	2.2	3.7	5.0	1.5	60.9	79.8	1.66
Катар	Менее 0.05	2.5	7.0	1.9	53.6	78.0	99.25
Юж.Корея	19.2	50.6	5.0	1.3	46.7	81.9	2.63
Румыния	16.2	19.9	3.0	1.5	61.1	75.3	1.22
Ст.-Лючия	0.1	0.2	5.3	1.5	52.0	75.3	2.14
Сербия	6.7	8.9	3.6	1.6	58.2	75.1	1.31
Сейшелы	Менее 0.05	0.1	5.2	2.3	58.0	73.3	2.58
Сингапур	1.0	5.5	6.5	1.2	58.4	82.8	5.42
Словакия	3.4	5.4	3.6	1.4	62.2	76.7	1.58
Словения	1.5	2.1	2.9	1.6	64.5	80.8	1.41
Шри-Ланка	8.0	20.7	5.6	2.1	52.5	75.1	2.60
Тайвань	7.6	23.5	6.9	1.2	55.6	79.7	3.08
Тринидад и Тобаго	0.6	1.4	5.3	1.8	56.9	70.6	2.11
США	158.8	319.9	3.1	1.9	68.2	79.2	2.01
Виргинские о-ва (США)	Менее 0.05	0.1	5.1	2.2	61.5	79.6	3.92
Уругвай	2.2	3.4	2.7	2.0	65.8	77.3	1.53
Узбекистан	6.3	31.0	5.1	2.3	55.3	71.2	4.95
Венесуэла	5.5	31.2	6.5	2.3	53.7	74.4	5.68
Вьетнам	24.8	93.6	5.0	2.0	51.8	76.1	3.77
ВСЕГО:	**1099.4**	**2684.8**	**5.3**	**1.7**	**51.6**	**77.1**	**2.44**

Сорок три страны вступили в 1950 на втором этапе «демографического перехода», сейчас следуют этапу 3 (при быстро снижающейся смертности уменьшается рождаемость; население растёт). С 1950 по 2015 год численность населения в странах этой группы выросла на 270%, продолжительность жизни увеличилась с 39 до 70 лет, а показатель **TFR** снизился с 6.1 до 2.3.

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Алжир†	8.9	39.9	7.3	2.8	42.1	75.9	4.49
Бахрейн†	0.1	1.4	7.0	2.1	41.2	76.8	11.87

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Белиз†	0.1	0.4	6.7	2.5	54.8	70.2	5.21
Боливия	3.1	10.7	6.9	2.9	39.5	68.8	3.47
Ботсвана†	0.4	2.2	6.5	2.8	46.8	65.8	5.36
Кабо Верде†	0.2	0.5	6.5	2.4	47.7	72.6	2.99
Камбоджа	4.4	15.5	7.0	2.6	39.9	68.6	3.50
Колумбия	12.3	48.2	6.8	1.9	48.4	74.2	3.91
Доминикан-ская респ.†	2.4	10.5	7.5	2.5	44.3	73.7	4.45
Эквадор	3.5	16.1	6.7	2.5	47.6	76.1	4.65
Сальвадор†	2.2	6.3	6.2	2.1	42.6	73.3	2.87
Фиджи†	0.3	0.9	6.3	2.5	51.1	70.1	3.09
Французск. Полинезия	0.1	0.3	6.0	2.0	45.6	76.6	4.61
Гватемала	3.1	16.3	7.1	3.0	41.9	73.2	5.22
Гондурас	1.5	9.0	7.5	2.5	40.8	73.4	5.79
Индия	376.3	1309.1	5.9	2.4	35.4	68.3	3.48
Индонезия†	69.5	258.2	5.3	2.4	42.0	69.0	3.71
Иран	17.1	79.4	6.9	1.7	39.4	75.7	4.64
Ливия†	1.1	6.2	7.1	2.3	37.3	71.8	5.54
Мальдивы†	0.1	0.4	5.6	2.1	34.2	77.0	5.68
Маврикий†	0.5	1.3	6.0	1.4	48.1	74.6	2.55
Мексика	28.0	125.9	6.7	2.2	48.6	76.9	4.49
Марокко†	9.0	34.8	6.5	2.5	45.0	75.6	3.87
Мьянма	17.2	52.4	6.0	2.2	33.3	66.5	3.06
Непал	8.5	28.7	6.0	2.2	34.0	69.9	3.38
Новая Каледония	0.1	0.3	5.2	2.2	49.1	76.8	4.15
Никарагуа†	1.3	6.1	6.9	2.2	41.0	75.1	4.70
Оман†	0.5	4.2	7.2	2.7	34.2	76.8	9.20
Панама†	0.9	4.0	5.7	2.5	55.7	77.8	4.62
Парагвай	1.5	6.6	6.5	2.5	62.7	73.0	4.51
Перу	7.7	31.4	7.0	2.4	43.1	74.7	4.06
Полинезия	0.2	0.7	6.7	2.9	48.6	75.1	2.80
Реюнион	0.2	0.9	7.2	2.3	45.3	80.1	3.48
Ст.Винцент / Гренадины†	0.1	0.1	7.3	2.0	50.0	73.1	1.63
Саудовская Аравия	3.1	31.6	7.2	2.6	41.0	74.4	10.11
ЮАР	13.6	55.3	6.0	2.5	47.2	62.0	4.06
Суринам	0.2	0.6	6.6	2.4	54.7	71.3	2.57
Таиланд	20.7	68.7	6.1	1.5	49.9	75.1	3.32
Тунис†	3.6	11.3	6.6	2.2	38.3	75.5	3.13

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Турция	21.4	78.3	6.7	2.1	40.2	75.5	3.66
ОАЭ	0.1	9.2	6.9	1.8	41.4	77.1	131.55
Западная Сахара†	Менее 0.05	0.5	6.3	2.5	34.8	69.2	38.23
ВСЕГО:	**645.1**	**2383.9**	**6.1**	**2.3**	**38.6**	**70.2**	**3.70**
† – наблюдалось вре́менное повышение TFR между 1950 и 2000 годами							

В следующей группе 63 страны в 1950 были на «этапе 2», к 2000 году вошли в «этап 3» и – за исключением, вероятно, Бангладеш и Бутана – останутся на «этапе 3» до конца XXI века. Несмотря на увеличение продолжительности жизни с 37 до 65 лет, средний показатель TFR до сих пор выше 4.1, а общий прирост населения – по 2.6% за год.

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Афганистан	7.8	33.7	7.5	4.8	27.5	63.3	4.35
Ангола†	4.5	27.9	7.3	5.8	31.0	61.2	6.13
Бангладеш†	37.9	161.2	6.2	2.1	39.1	72.2	4.25
Бенин†	2.3	10.6	5.8	5.0	32.7	60.6	4.69
Бутан	0.2	0.8	6.7	2.1	31.7	69.8	4.45
Буркина Фасо†	4.3	18.1	6.0	5.4	30.0	59.9	4.23
Бурунди†	2.3	10.2	6.8	5.8	38.4	57.1	4.42
Камерун†	4.3	22.8	5.5	4.8	37.9	57.6	5.30
ЦАР†	1.3	4.5	5.4	4.9	32.6	51.4	3.43
Чад†	2.5	14.0	6.1	6.0	35.5	52.6	5.60
Коморские о-ва†	0.2	0.8	5.7	4.4	38.1	63.5	4.88
Конго†	0.8	5.0	5.7	4.7	41.6	64.1	6.04
Берег Слоновой Кости†	2.6	23.1	7.4	5.0	31.2	53.1	8.79
Д.Р. Конго†	12.2	76.2	6.0	6.2	38.3	59.2	6.25
Джибути†	0.1	0.9	6.3	2.9	40.4	62.3	14.96
Египет	20.7	93.8	6.7	3.3	38.5	71.3	4.53
Экв. Гвинея†	0.2	1.2	5.7	4.8	33.9	57.4	5.21
Эритрея	1.1	4.8	6.9	4.2	33.3	64.6	4.24
Эфиопия†	18.1	99.9	7.3	4.3	33.3	65.0	5.51
Габон†	0.5	1.9	3.9	3.9	36.0	65.7	4.08
Гамбия†	0.3	2.0	5.2	5.5	29.7	61.0	7.29
Гана†	5.0	27.6	6.4	4.0	41.1	62.4	5.54
Гвинея-Биссау†	0.5	1.8	5.9	4.7	35.4	57.0	3.31

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Гвинея†	3.1	12.1	6.0	4.9	32.5	59.4	3.91
Гаити	3.2	10.7	6.3	3.0	36.2	63.1	3.33
Ирак†	5.7	36.1	8.1	4.4	34.9	69.7	6.31
Иордания†	0.5	9.2	7.6	3.4	44.8	74.2	19.03
Кения†	6.1	47.2	7.4	3.9	41.6	66.7	7.77
Кирибати†	Менее 0.05	0.1	5.8	3.7	46.0	66.1	3.40
Лаос†	1.7	6.7	5.9	2.8	40.3	66.3	3.96
Лесото	0.7	2.2	5.8	3.1	41.0	53.7	2.96
Либерия†	0.9	4.5	6.3	4.7	32.7	62.0	4.84
Мадагаскар	4.1	24.2	7.3	4.2	35.3	65.5	5.93
Малави†	3.0	17.6	6.8	4.6	36.0	62.7	5.95
Мали	4.7	17.5	7.0	6.1	26.4	57.5	3.71
Мавритания †	0.7	4.2	6.1	4.7	37.4	63.1	6.33
Майотта	0.0	0.2	7.9	3.9	44.7	79.9	15.85
Меланезия	2.2	9.9	6.3	3.6	39.2	66.5	4.59
Федерация Микронезии †	Менее 0.05	0.1	6.2	2.9	52.8	73.3	3.26
Микронезия	0.2	0.5	7.3	3.2	53.8	69.1	3.35
Мозамбик	6.2	28.0	7.0	5.3	30.3	57.7	4.55
Намибия†	0.5	2.4	6.0	3.5	40.2	63.8	5.00
Пакистан	37.5	189.4	6.6	3.5	34.5	66.3	5.04
Палестина†	0.9	4.7	7.6	4.1	46.2	73.3	5.00
Папуа-Новая Гвинея	1.7	7.9	6.2	3.7	37.1	65.4	4.73
Филиппины	18.6	101.7	7.4	3.0	54.7	69.0	5.47
Руанда†	2.2	11.6	7.9	4.0	39.4	66.7	5.32
Самоа	0.1	0.2	7.6	4.0	44.9	74.8	2.36
Сао Томе и Принсипи†	0.1	0.2	6.2	4.5	45.5	66.5	3.26
Сенегал†	2.5	15.0	6.8	4.8	34.5	66.8	6.02
Сьерра-Леоне†	2.0	7.2	6.1	4.6	28.4	51.4	3.55
Соломоновы о-ва†	0.1	0.6	6.4	3.9	44.4	70.4	6.54
Сомали†	2.3	13.9	7.2	6.4	33.2	55.9	6.14
Юж.Судан†	2.6	11.9	6.6	4.9	26.7	56.3	4.60
Судан†	5.7	38.6	6.7	4.6	43.4	64.3	6.74
Свазиленд	0.3	1.3	6.7	3.1	40.5	57.1	4.83
Танзания	7.6	53.9	6.7	5.1	40.4	64.9	7.04
Того†	1.4	7.4	6.3	4.5	33.9	59.9	5.31
Тонга	Менее 0.05	0.1	7.3	3.7	57.9	72.9	2.25

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Уганда†	5.2	40.1	6.9	5.7	39.0	59.6	7.78
Вануату	Менее 0.05	0.3	7.7	3.3	40.7	71.9	5.55
Йемен†	4.4	26.9	7.4	4.1	34.5	64.7	6.11
Замбия†	2.3	16.1	6.6	5.0	41.2	61.4	6.97
ВСЕГО:	**270.6**	**1425.3**	**6.7**	**4.1**	**37.4**	**65.0**	**5.27**

† – наблюдалось вре́менное повышение TFR между 1950 и 2000 годами

В последней группе стран демографический переход «не состоялся» или не следует общепринятой теории:

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Французск. Гвиана[a]	Менее 0.05	0.3	5.1	3.4	52.3	79.7	10.55
Израиль[a]	1.3	8.1	4.5	3.0	68.3	82.3	6.41
Казахстан[b]	6.7	17.7	4.3	2.7	54.2	69.7	2.65
Кыргызстан[b]	1.7	5.9	3.9	3.1	51.9	70.8	3.37
Монголия†[b]	0.8	3.0	5.5	2.8	42.5	69.1	3.82
Нигер[c]	2.6	19.9	7.3	7.3	34.4	59.7	7.77
Нигерия[c]	37.9	181.2	6.4	5.6	33.1	53.0	4.79
Сирия†[d]	3.4	18.7	7.2	3.0	46.4	69.9	5.49
Таджикистан†[a]	1.5	8.5	5.0	3.4	52.2	70.9	5.58
Восточный Тимор[c]	0.4	1.2	6.5	5.6	29.0	68.6	2.86
Туркменистан†[a]	1.2	5.6	4.9	2.9	50.4	67.7	4.60
Зимбабве†[a]	2.7	15.8	6.8	3.8	47.7	60.4	5.74
ВСЕГО:	**60.3**	**285.9**	**6.0**	**5.0**	**39.1**	**58.3**	**4.74**

† – наблюдалось вре́менное повышение TFR между 1950 и 2000 годами.
[a] – стабилизация TFR на высоком уровне при высокой LEB.
[b] – увеличение TFR при достижении высокой LEB.
[c] – нет значимой корреляции между TFR и LEB, TFR>5 при увеличении LEB свыше 50.
[d] – началось снижение LEB при относительно высокой фертильности TFR.

По регионам мира, распределение как показано ниже (деление на «богатые» и «бедные», а также на «развитые» и «развивающиеся» страны согласно статистике ООН):

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Азия†	1404.1	4419.9	6.0	2.2	41.2	72.4	3.15
Африка†	228.7	1194.4	6.6	4.6	36.4	61.5	5.22
Европа	549.4	740.8	2.6	1.6	62.0	77.7	1.35
Латинская Америка	168.9	632.4	5.9	2.1	50.0	75.2	3.74

Страна / территория	Население, млн		TFR		LEB, лет		Популяция 2015 к 1950
	1950	2015	1950	2015	1950	2015	
Северная Америка†	172.6	356.0	3.1	1.8	68.2	79.5	2.06
Океания†	12.6	39.5	3.7	2.4	60.7	78.4	3.13
Страны с высокими доходами	672.9	1180.1	2.9	1.7	64.3	80.8	1.75
Страны со средними доходами†	1734.5	5558.3	5.8	2.4	42.2	70.6	3.20
Страны с низкими доходами†	128.1	641.9	6.3	4.8	33.5	61.8	5.01
«Развитые» страны	814.9	1253.2	2.8	1.7	63.4	78.9	1.54
«Развива-ющиеся» страны†	1721.4	6129.8	6.2	2.6	40.5	69.8	3.56
Мир в целом†	**2536.3**	**7383.0**	**5.0**	**2.5**	**45.8**	**71.4**	**2.91**
† – наблюдалось вре́менное повышение TFR между 1950 и 2000 годами							

