



# 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.



# 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».....	100
7. Нематериальные материалисты.....	118
8. Заколдованный пик.....	138
9. Прогнозы и пиво.....	165
10. Сказки для взрослых.....	191
11. Двести лет сланцевых.....	209
12. История вероятности.....	239
13. Сто процентов возобновляемых.....	
14. Дерьмографический переход.....	
15.....	
16.....	
17.....	
Список литературы.....	239
Другие использованные источники.....	242
Обозначения.....	245
Физические величины, использованные в книге.....	246
Физические величины, оценка которых приводится в книге.....	247
Пик нефти по странам мира	249





# 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*»<sup>[1]</sup> наделала в 1972 году порядочно шума.

Началось всё достаточно мирно. В 1968 году группа бизнесменов, учёных и политиков, собравшихся 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<sup>1</sup> 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<sup>2</sup>. Отчёт по проекту, позже ставший

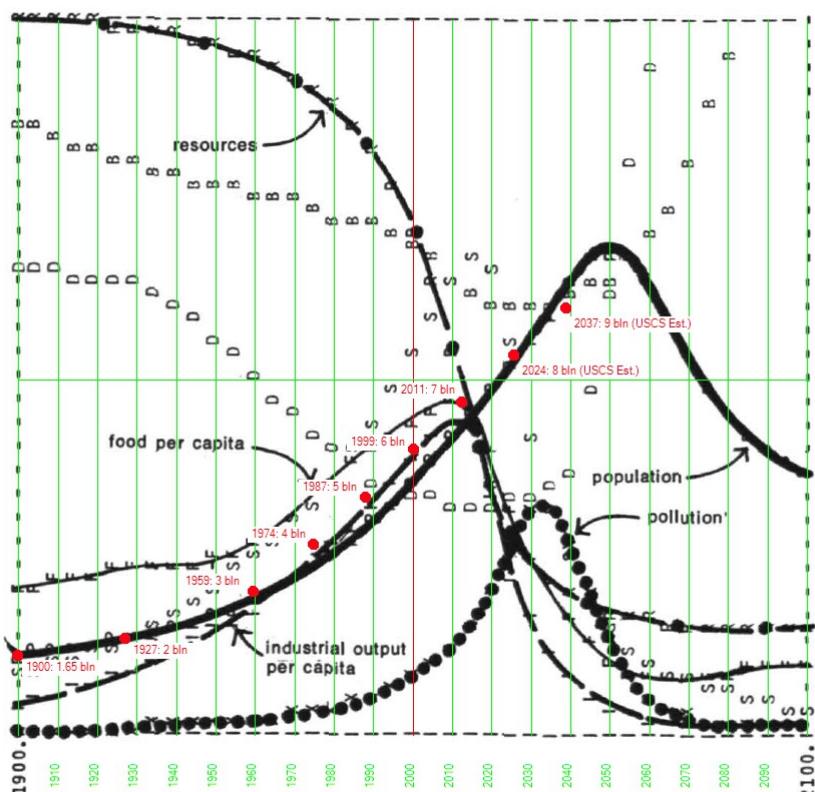
<sup>1</sup> Здесь и далее по тексту, в числовых обозначениях принятая нотация с отделением тысяч – апострофами, а десятичной части – точкой. Это необходимо, чтобы не вызывать путаницы с кодом на Python.

<sup>2</sup> Анатолий Вассерман непрерывно называет Д. Л. Медоуза то «Дереком», то «Дарреллом». Натурально, книгу Вассерман 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 Джая 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.Медоуз 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, малтузианцы 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 уже обгоняем 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 1979 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<sup>3</sup>.

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. Кембелл [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 обычновенные политические партии и голосуют в коалициях с традиционными политиками, смотрим ниже. Сумевшие остаться хоть в чём-то экологами, считают, ограничение по ресурсам –

---

<sup>3</sup> 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.

несущественно, 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 фишki, а с другой стороны – больше рабочих рук, чтобы фишками Землю долбить. Ну и больше ртов, чтобы потреблять надолблённое. Это не значит, «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. То есть, 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, политика – искусство разруливать локальные кризисы, не задумываясь на два поколения вперёд. Идею бесконечного роста и бесконечного улучшения – легко толкать с трибуны или телекрана. 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 7 миллиардов народа, четыре элементарно не умеют читать и считать на уровне, достаточном

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

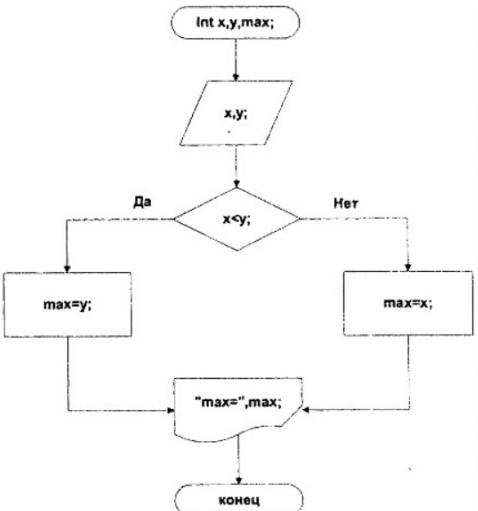
Самое интересное, все четыре группы «*Пределы роста*» наверняка читать принимались, но не осилили или прочитали по диагонали и поняли превратно. Не будем пересказывать и «урежем» цитатой. Выделение моё.

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

	<pre># # Вернёт максимум двух чисел # def Maximum( x, y):     if x&gt;y: return x     return y</pre>
Рисовали 7 минут; кода ещё нет.	Пишем 42 секунды, работает сразу.

**Во-первых**, в шестидесятые годы, на волне бешеного развития компьютеров, молодёжь полагала, классическая нотация дифференциальных уравнений, как

её придумали Ньютона и Лейбница, – отжила своё. Уравнениям в книгах – делать нечего! Вспомните, как продвигались в массы программистские блок-схемы, а чуть позже – бесполезные на практике графические схемы UML.

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

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

Запись справа и запись слева – говорят читателю одно и то же. Если бы в семидесятые кто-то озабочился 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 в конец запутав «гуманитариев». «Инженеры» с нетерпением ждали выхода в свет 600-страничной «*Динамики роста в конечном мире*»[5]. Уж там-то будут формулы! Формулы-то были, но картинок с коробочками всё равно намного больше. Отлевались.

**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.

<sup>a</sup> SOURCE: US Bureau of Mines, *Mineral Facts and Problems, 1970* (Washington, DC: Government Printing Office, 1970).

<sup>b</sup> 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*).

<sup>c</sup>\* SOURCE: US Bureau of Mines, *Mineral Facts and Problems, 1970*.

<sup>d</sup> 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.

<sup>e</sup> 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.

<sup>f</sup> 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 разведенных 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 %. Можно ли винить

нашего механика, что выдал **верную** оценку, но дело не пошло по наихудшему сценарию?

Откроем английскую «Википедию»<sup>4</sup>. 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<sup>5</sup> 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 викиложцы выдирают цитаты – будет ниже.

<sup>4</sup> Скачано 24 июня 2016 г. Автор прилагает усилия, чтобы отредактировать этот нонсенс.

<sup>5</sup> Не поймите неверно. Я с уважением отношусь к «Википедии» и её основателям Джимми Уэльсу и Ларри Сангера. 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**, и к обвалу ведёт далеко не каждый. Чтобы не было разнотений, 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

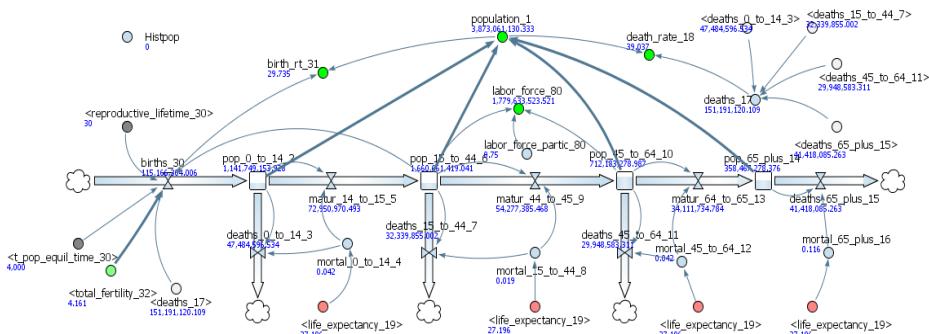
В 1972 году все двенадцать сценариев были вполне реализуемы, причём всего пять приводили к пику населения на уровне 10-12 млрд человек с последующим неконтролируемым обвалом до 1-3 млрд и снижением уровня жизни. В одном сценарии (номер 10) даже достигалась стабильность при высоком уровне потребления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

Виноваты ли авторы, что сидящие у телевизора 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 озабочились 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 расплзлась 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, 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-неокейнессианец Роберт Солоу, вполне уважаемый профессор из МИТ, 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.

«Ньюсик», 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 – типичен. В 1960-х Экономический факультет МИТ вообще состоял сплошь и рядом из сторонников бесконечного роста. Тут пришёл инженер – и всё опошили.

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 МИТ 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, профессор Форрестер так его кинул! В 1979 МИТ дал Солоу почётную отставку – в стандартном возрасте 55 лет. А Джей Форрестер продолжил трудиться в МИТ вплоть до 1986 года, покинув кафедру в возрасте 68. «Псевдо-нобеля» за доказывание недоказуемых экономических теорий не получил, но кафедра в МИТ почему-то названа именем Форрестера, а не Солоу<sup>6</sup>.

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 скучавил. «*Пределы роста*» он наверняка прочёл, и прекрасно разобрался: в *World3* нет

6 В 2017 году Роберту Солоу 92 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»* отдали 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<sup>7</sup>. И спасибо китайцам за это, а то бы в 2015 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 абORTA<sup>8</sup>.
- 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):

<sup>7</sup> Ещё Сингапур, но он-то особой роли не играет.

<sup>8</sup> Так! Легально (за деньги) можно прервать беременность, если угроза жизни матери или плод явно аномальный, то есть ожидается ребёнок-инвалид. Здоровая беременность после изнасилования не предполагает возможности легального абORTA. 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 неомальтизанско 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 действовать 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. Meadows, 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.»<sup>9</sup>

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 псевдоцитату «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 Мосъка 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<sup>10</sup>), 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/40yearsli.htm>

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?

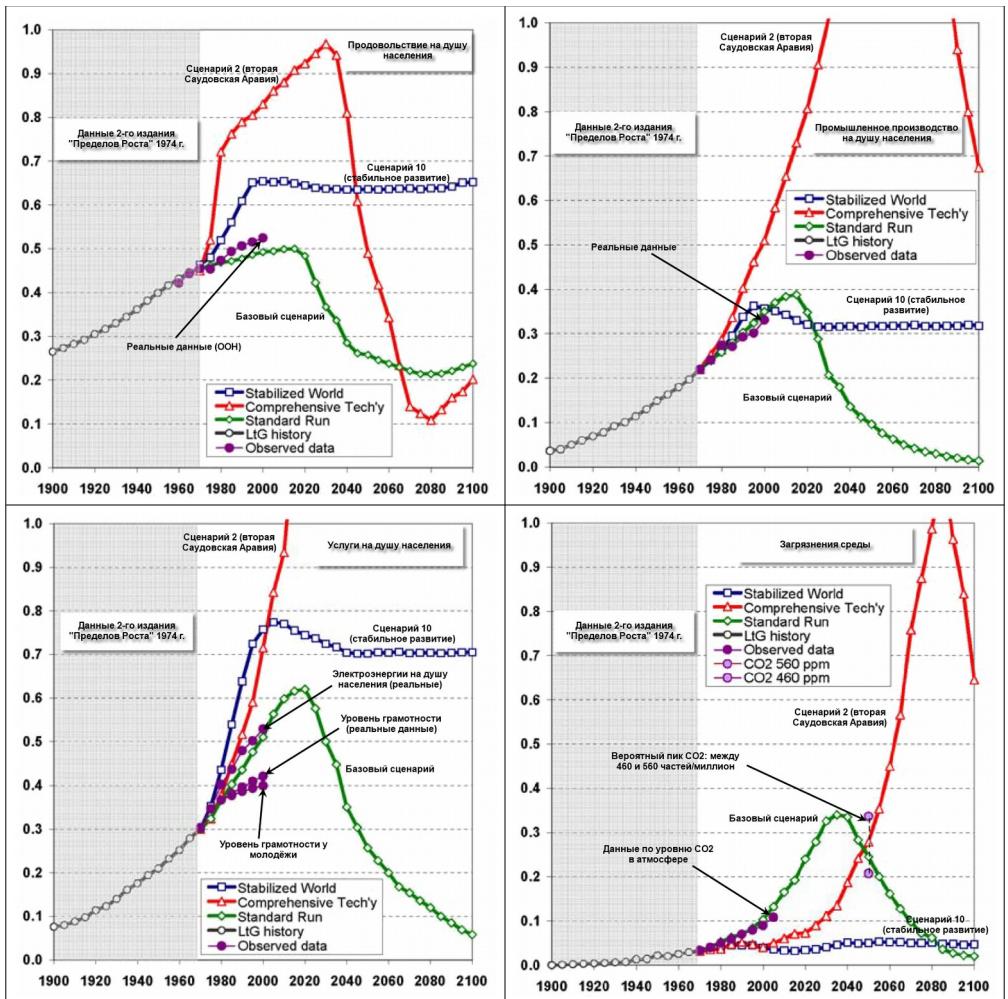
Итак, авторов не послушались, и к 1992 году от 12 вполне достойных сценариев осталось... три: первый, второй и двенадцатый. Говорили же: если ничего не делать, так и будет. **Ничего не делали, так и вышло.**

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 высокий уровень потребления, как в Европе образца 1975 года, – уже не выйдет. Но остался же ещё сценарий номер 12 – то есть меры из сценария номер 10, отложенные до 2000 года. Это когда всему населению планеты можно обеспечить средневысокий уровень, что-то навроде 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<sub>2</sub> 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.

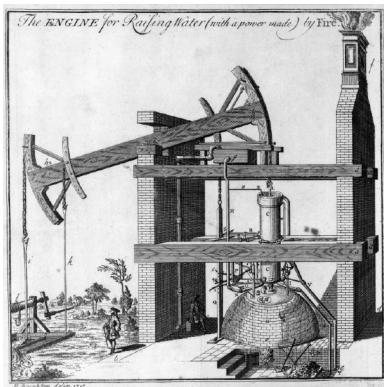


Новости плохие: второй Саудовской Аравии к 2016 не нашли, в 2000 году за дело не взялись. Базовый сценарий нам только и остался.

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.

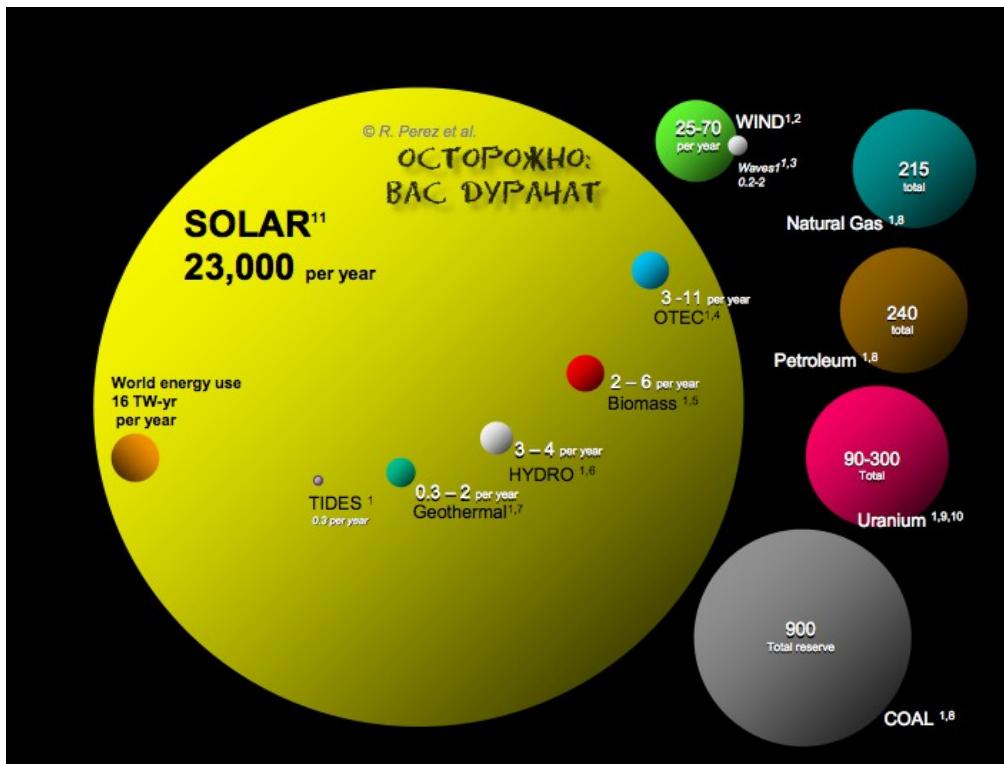


## Глава 2. Земля как термодинамическая машина.

– 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 энергетические 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<sup>11</sup> 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 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] – 1445 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:

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

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:

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

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  $2.7 \pm 0.1$  ТВт. Площадь планеты  $5.1 \cdot 10^8$  км<sup>2</sup>, 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%.

---

<sup>11</sup> 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:

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

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/с<sup>2</sup> или  $3.5 \cdot 10^{-5}$  от земного ускорения свободного падения  $g$ . Если опустить Ваш килограмм на один метр, он совершил работу – выделит энергию. Причём, 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:

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

Оказывается, просто подвесив груз, от приливных сил можно получить впечатляющий КПД: 0.007%. Это, прямо скажем, немногого. Но именно поэтому Земля замедляется на 1.8 мс в столетие, а не на секунду в год.



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 утёна запустили в

2009 году. Безумству «зелёных» нет предела.<sup>12</sup>

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 – 1100 ГВт·ч/год, что соответствует средней мощности  $1.25 \cdot 10^4$  ТВт. В Южной Корее строят огромную приливную станцию в районе аэропорта Инчон. Вроде бы ввод в строй намечается в 2017 году, и тогда мировое производство приливной электроэнергии сразу утроится. Ещё строит Великобритания в заливе Сванси Бэй – примерно размером с Ранце или Сихва. Пока построено менее 10% огромной плотины, когда введут в строй – неизвестно. Все остальные крупные проекты – фантазии художников.



Однако, 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, остальные, вроде радия, являются короткоживущими продуктами распада

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

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:

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

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
$^{238}\text{U}$	$8 \cdot 10^{16}$	$1.1 \cdot 10^7$	$2.1 \cdot 10^{13}$	$2.5 \cdot 10^{20}$	7.8
$^{235}\text{U}$	$5 \cdot 10^{14}$	$5.4 \cdot 10^5$	$2.0 \cdot 10^{13}$	$0.1 \cdot 10^{20}$	0.3
$^{232}\text{Th}$	$3 \cdot 10^{17}$	$1.6 \cdot 10^7$	$1.8 \cdot 10^{13}$	$2.9 \cdot 10^{20}$	9.1
$^{40}\text{K}$	$8 \cdot 10^{16}$	$4.4 \cdot 10^7$	$3.2 \cdot 10^{12}$	$1.4 \cdot 10^{20}$	4.5
<b>Всего:</b>				$6.9 \cdot 10^{20}$	$22 \pm 5$

Последний миллиард лет Земля потихоньку отдаёт через поверхность приблизительно  $47 \pm 2$  ТВт [11]. Таков внутренний баланс энергии: от радиоактивного распада и приливных сил<sup>13</sup> получаем  $24 \pm 6$ , а отдаём  $47 \pm 2$ . 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  $5.1 \cdot 10^8$  км<sup>2</sup>, 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<sup>14</sup> мощности на душу населения – потребление мобильного телефона. В абсолютных величинах по установленной мощности лидирует не Исландия, а США (3596 МВт) и вулканические Филиппины (1929 МВт) с Индонезией (1590 МВт). Если пересчитать на душу населения, получится 11.1, 18.9 и 6.2 Вт соответственно. 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, сколько тепла можно получить? Посчитаем КПД системы при использовании

<sup>13</sup> Выше обсуждалось что около 90% энергии от приливных возмущений – рассеивается в мантии.

<sup>14</sup> Помимо электричества, геотермальная энергия используется для обогрева.

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 поверхности Земли 14°Ц или 287°К. Жить как на Венере (средняя по больнице 460°Ц) или как на Марсе (-40°Ц) – нам почему-то не хочется, значит, менять не будем. Вода кипит при 100°Ц, но можно увеличить, подняв давление. Итого, максимальный тепловой КПД:

$$КПД = \frac{T_{high} - T_{low}}{T_{high}} = \frac{100}{287 + 100} = 26\% \quad \{2.1\}$$

Больше 12 ТВт мощности из геотермальной энергии никак не выжать<sup>15</sup>, 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 3.6 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 Перецов: 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:  **$w_s = 1.3615 \text{ кВт на квадратный метр}$** . Именно столько даёт нам в виде излучения Солнце на радиусе земной орбиты. По формуле:

$$W_{Солнца} = w_s \pi R_{Земли}^2$$

Считая радиус планеты 6371 км, на всю Землю приходится 173'000 ТВт, а на квадратный километр поверхности – в среднем  $\frac{1}{4} w_s$ , или 340.4 МВт энергии<sup>16</sup>. 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}:

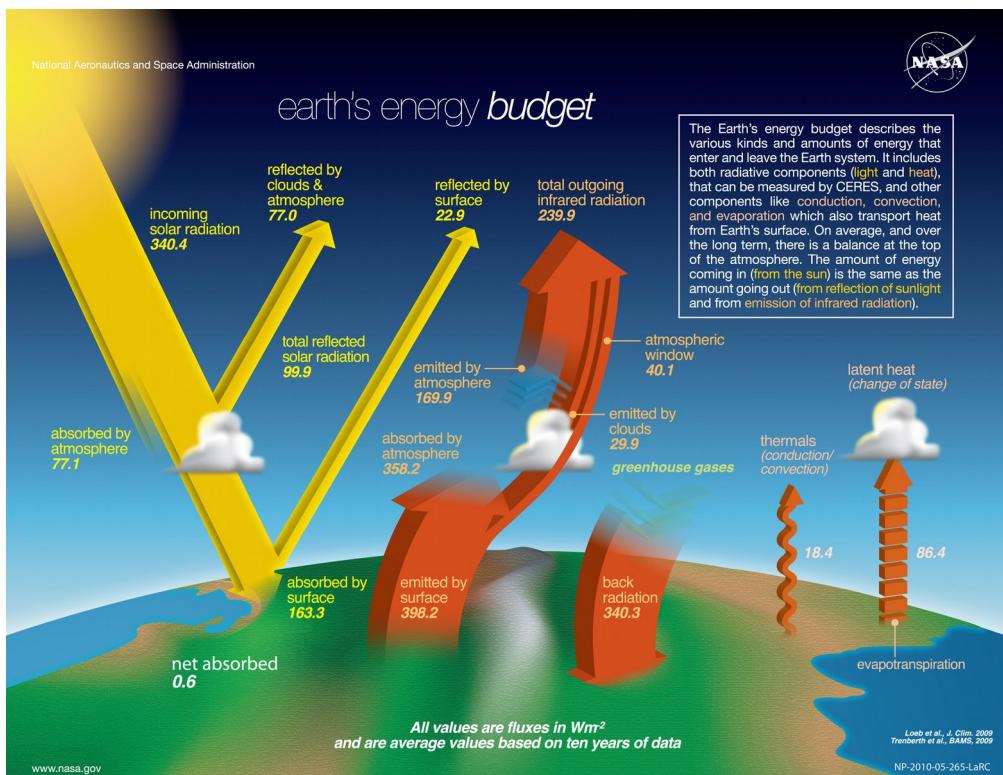
<sup>15</sup> В комментариях встретилось, что можно якобы повысить КПД системы сверх максимального, используя фреон или подобные легкокипящие жидкости. Камарад недопонимает. Учите термодинамику!

<sup>16</sup> Не забываем, что 1.3615 кВт/м<sup>2</sup> – по нормали к солнечным лучам, а Земля – шар, да ещё и крутится.

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

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 и 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, а предельный КПД увеличится до 55%. В Антарктиде зимой – слегка потеплеет: -60°C. 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, 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, 0.6 МВт/км<sup>2</sup> – оседают в виде глюкозы, крахмала, белков, костной ткани, коралловых рифов, и так далее. Эти мегаватты могут использоваться позже: иногда на полгода (мышка в норке хрюпает собранный летом урожай), иногда – на сотни миллионов лет (шахтёр в забое рубит уголь). 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:  $23'000 \text{ ТВт} = 23 \cdot 10^{15} \text{ Вт}$ . 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  $23 \cdot 10^9 / 190 / 0.3 = 4 \cdot 10^8 \text{ км}^2$  солнечных панелей. Вся площадь планеты Земля (с океанами) –  $5.1 \cdot 10^8 \text{ км}^2$ . 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 3500 ТВт·ч в год, то есть мощность 0.40 ТВт. Про снег, короткие полярные ночи 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 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 9'400 ТВт. 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 км<sup>2</sup>) – 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 сущей планете, 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 м<sup>2</sup>. 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 – 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, большая часть осадков падает обратно, откуда испарились. 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.

Перецы нарисовали нам 3-4 ТВт, то есть суммарный КПД гидростанций – 30-40%. Реально – плотина на каждой луже. В реальном мире в 2016 выработано, по данным «ВР» 4022.9 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 – ОТЕС. Масса океанов –  $1.35 \cdot 10^{21}$  кг, а для нагрева килограмма воды на один градус Цельсия требуется 4120 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  $1.35 \cdot 10^{21} \cdot 4120 / 100 / 365 / 24 / 3600 = 1760$  ТДж, то есть мощность 1760 ТВт. А КПД? Средняя температура по больнице, как указывалось выше,  $287^{\circ}\text{K}$ , а максимальный перепад температур – около 10 градусов.

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

Больше 60 ТВт никак не выжать. И для этого потребуется совсем немного теплоносителя. Удельная теплота парообразования аммиака – 1370 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 не сильно отличается от геотермальной: там  $0.092 \text{ МВт}/\text{км}^2$  всей планеты, а у ОТЕС –  $0.168 \text{ МВт}/\text{км}^2$ , 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. Население, 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 – первцы 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 <sup>17</sup>	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
<b>ИТОГО «технологической энергии»:</b>		Около 18.0 ТВт
Пресная вода <sup>18</sup>	4'250 млрд м <sup>3</sup>	375 ТВт

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

Продукция сельского хозяйства и рыболовства	Не менее 13.96 млн км <sup>2</sup> обрабатываемых сельхозугодий	Более 8.50 ТВт, вероятно до 35 ТВт
<b>ИТОГО в виде пресной воды и продовольствия:</b>		Более 382 ТВт
<b>ВСЕГО:</b>		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 2700 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 м<sup>2</sup> пахотной земли? Когда в Советском Союзе давали по шесть дачных соток на семью – наверное, были слишком 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) – 220 м<sup>2</sup>. 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 пряником 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 1600 м<sup>2</sup> сельхозугодий<sup>19</sup>.

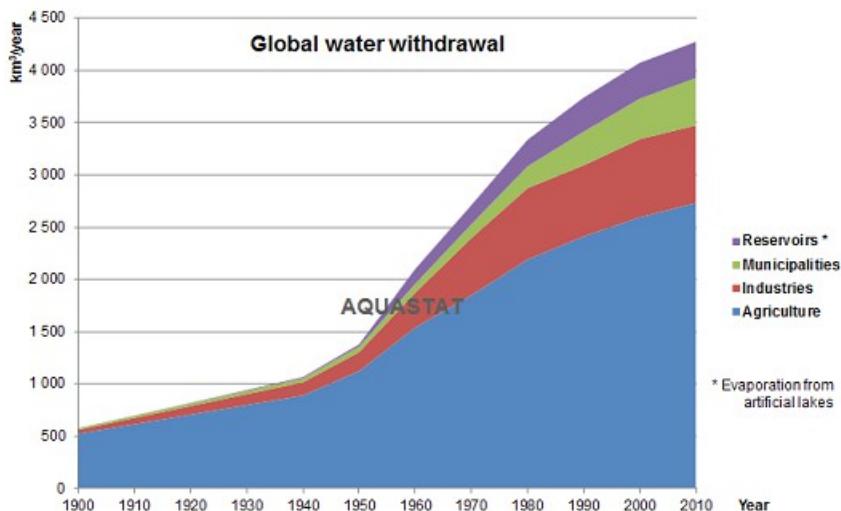
Реально, на 2013 год на Земле под пастью задействовано не менее 13.96 млн км<sup>2</sup>, то есть по 1940 квадратных метров (20 соток) на каждого жителя планеты. Оценка в 8.5 ТВт – минимальная, так как 0.6 МВт/км<sup>2</sup> – это в среднем по планете, а в Антарктиде почему-то не пашут. Пастбища не считаем. Ну и морепродукты мы не учитываем, хотя они – важнейший источник белков для двух миллиардов человек. Можно посчитать и по-другому. Исходя из 2000 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.

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

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

Но есть другая статья расходов, которая на порядок перекрывает всё остальное. 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, не упоминать пресную воду нельзя, а то придётся отправить 7.5 млрд людышек... Ага.

Отбор воды населением планетки выглядит так:



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 отдают они с единицы площади – меньше. 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.

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

Самым рачительным образом используя все до единого возобновляемые источники энергии, можно получить полезной  $163.4 \cdot 10^6 \cdot 0.027 \cdot 5.1 \cdot 10^8 = 2250$  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. Первый график:



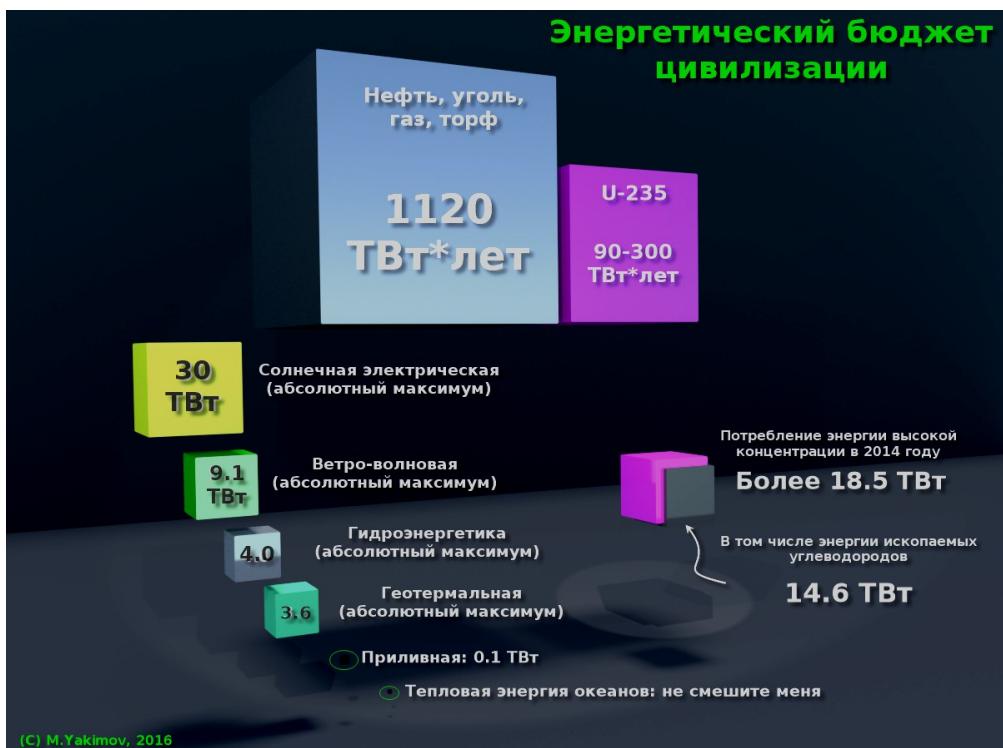
Хотя на Землю от Солнца прилетает 173'000 ТВт энергии, за пару миллисекунд остаётся всего 83'100. Кто сказал: «Откачать атмосферу?»

Из 83'100 человеку, как части биосфера доступно всего 2250 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 перепад температур день-ночь на уровне 8 градусов, а не 250 с хвостиком, как на Луне.

Из 2250 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  $\frac{1}{6}$  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 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 бабки на строительстве убыточных ветряков и солнечных батарей, вот уважаемое агентство и подсуетилось.

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

Вид энергии	В статье у Перецев	Теоретическая максимальная	Практически осуществимая	Реальная, 2014 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	$1.26 \cdot 10^{-2}$ ТВт
ОТЕС	3-4 ТВт	0.1 ТВт	$1.00 \cdot 10^{-6}$ ТВт	Нет
Гидроэнергия	3-11 ТВт	4.0 ТВт	1.50 ТВт	$4.40 \cdot 10^{-1}$ ТВт
Ветро-волновая	25.2-72 ТВт	9.1 ТВт	2.60 ТВт	$8.00 \cdot 10^{-2}$ ТВт
Солнечная (электро)	23'000 ТВт	30 ТВт	$3.40 \cdot 10^{-1}$ ТВт	$2.10 \cdot 10^{-2}$ ТВт
ИТОГО	23'090 ТВт	46.9 ТВт	4.6 ТВт	0.6 ТВт
ИТОГО, %	49230%	100%	10%	1.20%

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 4900 млн тонн нефти в год, а стоить нефть будет никак не более \$18 за баррель. Оставим в стороне цены – про реальную инфляцию можно спорить. Но вот с добычей... По данным того же IEA, в 2014 человечество добыло 4230 млн тонн. До предсказания не дотянули всего 670 млн тонн в год, или более  $\frac{1}{6}$  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 3933.5 млн тонн нефтяного эквивалента (или 8165 млн тонн реальных) против прогноза IEA 3000 млн условного топлива, то есть ошибочка вышла 25%. Чтобы не быть голословным, ниже картинка из доклада, который эти падлы продавали в 2000 году за €3000. Сейчас уже есть бесплатно.

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.

Однако, и 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 1120 ТВт·лет энергии<sup>20</sup>. Оценки  $^{235}\text{U}$  – разнятся от 90 до 300 ТВт·лет. Это энергия, которую мы уже знаем, как извлечь.

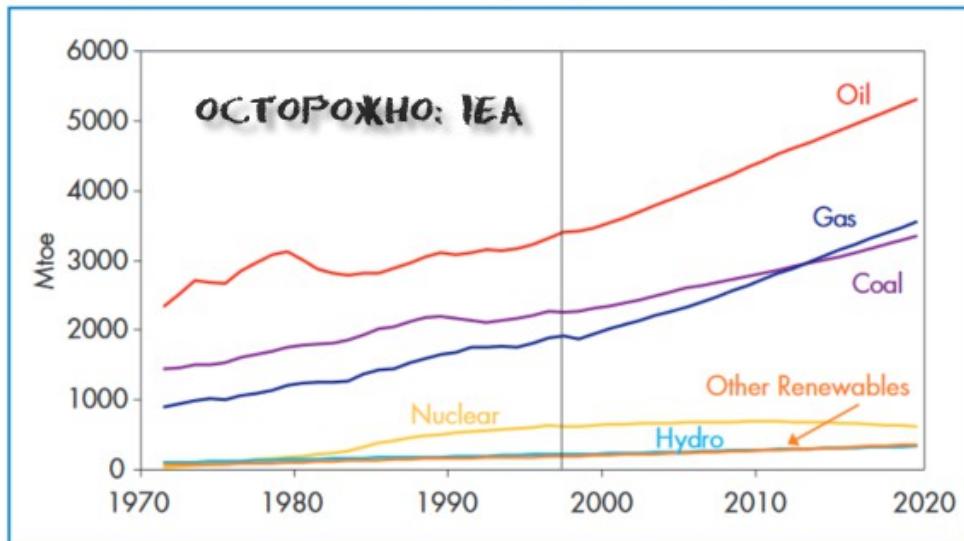
Кроме того, есть на Земле геологические запасы  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ . Геологическая

---

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

неопределённость, правда, – около  $\pm 60\%$ , но то, что  $^{238}\text{U}$  в земной коре в 138 раз больше, чем  $^{235}\text{U}$ , – мы знаем совершенно точно. Есть ещё и дейтерий с тритием, но энергетическая эффективность недоделанного термоядерного синтеза пока непонятна.

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



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 что 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, – 2250 ТВт. Точность оценки  $\pm 20\%$ . Полученное значение на порядок ниже чисел, представленных Международным Энергетическим Агентством. Куда засовывать их вранье «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 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»). Дальнейший рост населения планеты – абсолютно неприемлем.
- 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 берет 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 экспремент, не экспонент, не перманент, а именно Эксперимент?..

А. и Б. Стругацкие «Град обреченный»

Для разминки решим простейшее дифференциальное уравнение:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = [b - a] P(t) \quad (3.1)$$
$$P(0) = P_0$$

Здесь:

**P(t)** – численность популяции от времени, млн человек

**a** – постоянная смертности (attrition)

**b** – постоянная воспроизводства (birth)

Здесь и далее, мы будем пользоваться одинаковыми буквами. 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 [в конце книги](#).

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:

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

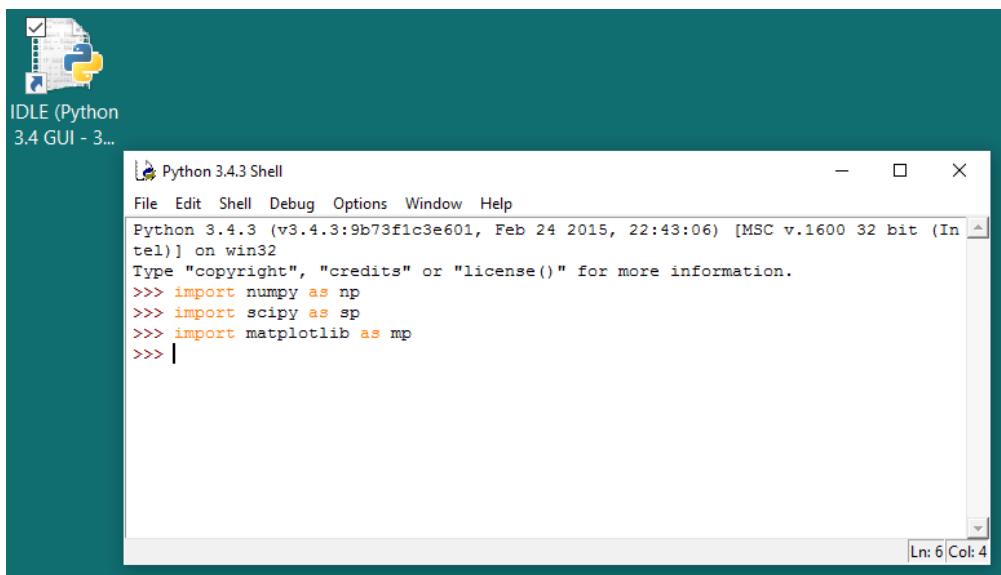
Если **b>a** – население неудержимо растёт, если **b<a** – так же неудержимо падает. Отрисуем график полученной функции. Кто сказал: «Excel»? Нет,

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 Кристофером 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:

The screenshot shows the Python 3.4.3 Shell window at the top with a command-line interface. Below it is the IDLE (Python 3.4 GUI) window containing a Python script named **Test\_Exponent\_1.py**. The script imports the **Utilities** module, loads calibration data from a CSV file, and calculates population values for each year from 1890 to 2200 using an exponential model. It also prepares a plot showing the calculated population versus time. The bottom status bar indicates the current line (Ln: 11) and column (Col: 0) of the code editor.

```
from Utilities import *
Ta,Pa = Load_Calibration( "Population_calibration.csv", "Year", "Population")
T = np.linspace(1890, 2200, 311)
P = []
P0 = 1530.88
b = 22/1000
a = 9.5/1000
for t in T:
    p = P0 * np.exp( (b-a)*(t-1890))
    P += [p]
    print( "{0:0.4f} {1:7.1f}".format( t, p))
Prepare_Russian_Font()
fig = plt.figure( figsize=(15,10))
plt.plot( T, P, "-.", lw=1, label="Население (экспонента)")
plt.errorbar( Ta, Pa, yerr=Pa*0.03, fmt='o', label="Население (реальное)")
plt.xlabel("Годы")
plt.xlim( 1900, 2100)
plt.ylabel("миллионов человек")
plt.ylim( 0, 25000)
plt.title( "Население Земли (аналитическое решение)")
plt.grid(True)
plt.legend(loc=0)
plt.savefig( ".\\Graphs\\figure_03_01.png")
fig.show()
```

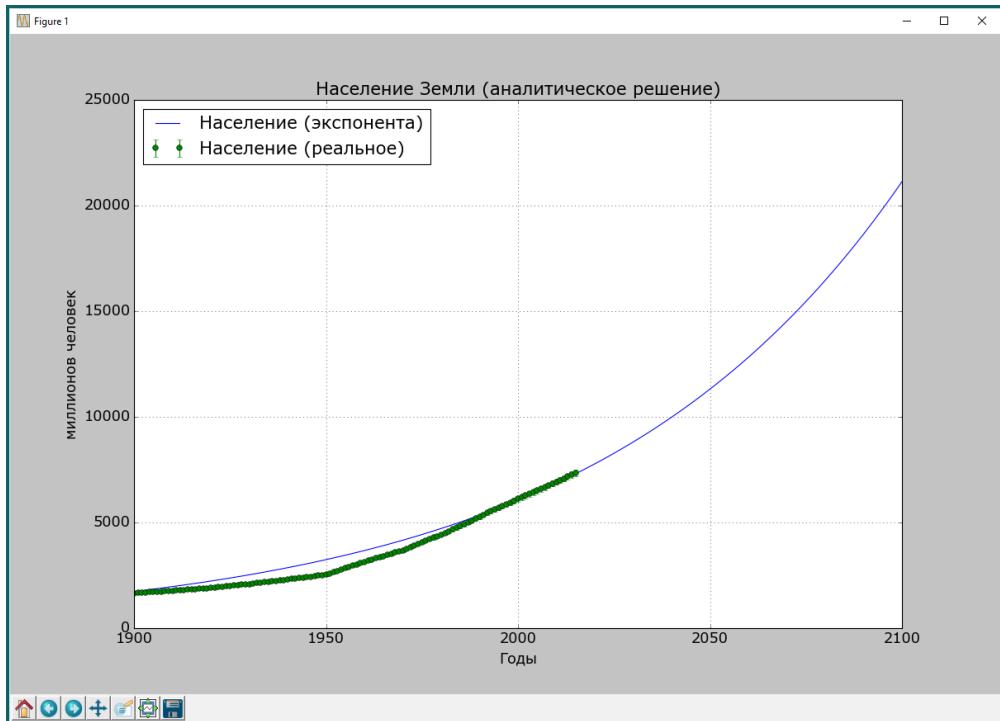
Это первая и последняя фотография полного листинга программы в этой книге. Далее программирование будем объяснять по ходу дела, но читать код всё одно удобнее в редакторе **IDLE**, а не на книжной странице.

Наши параметры? Население Земли в 1890 году по данным UNESCO 1'531 млн человек. Средняя рождаемость в XX веке – 22 ребёнка на 1'000 населения, средняя смертность – 9.5.

Что программа делает? Сначала, загружаются данные UNESCO о населении Земли из файла **Population\_calibration.csv**. Далее, создаём себе вектор

значений  $T$  с циферками от 1890 по 2200 включительно, всего 311 чисел. 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 нижней левой части окошка. Они позволяют рассматривать всё в деталях и сохранять увиденное.

У данных UNESCO о численности населения имеется погрешность: примерно один-два процента, или  $\pm 100$  млн человек<sup>21</sup>. 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, добавив решение численное. Интегрирование станем выполнять методом Рунге-Кутты, используя библиотеку **Scipy**. В Цифровом Приложении имеется

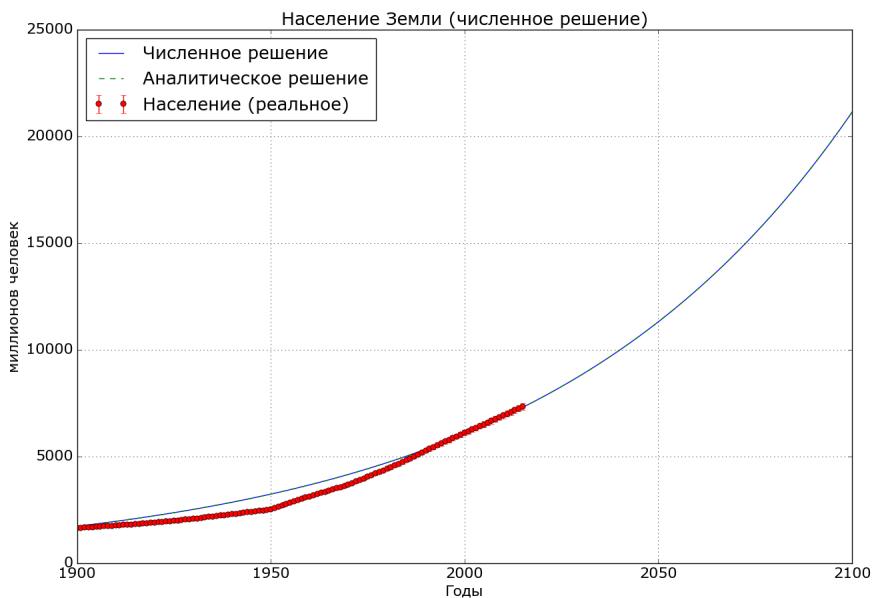
<sup>21</sup> В 01:55 по Гринвичу, 31 октября 2011 года ООН торжественно объявила индийскую девочку Наргиз из деревни Мали в штате Уттар-Прадеш 7'000'000'000 жителем планеты Земля. Ничего кроме светлого PR за этим не стоит. С тем же успехом на место семи-миллиардного жителя Земли может претендовать около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

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 1531 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 миллионы 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 «karlImagnus» 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 пятидесятиго по семьдесят первый – много воды утекло, например, кое-кто успешно слетал на Луну. Ладно, в Луну можно не верить, а 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 «karlImagnus» пишет свои блоги на арифмометре.

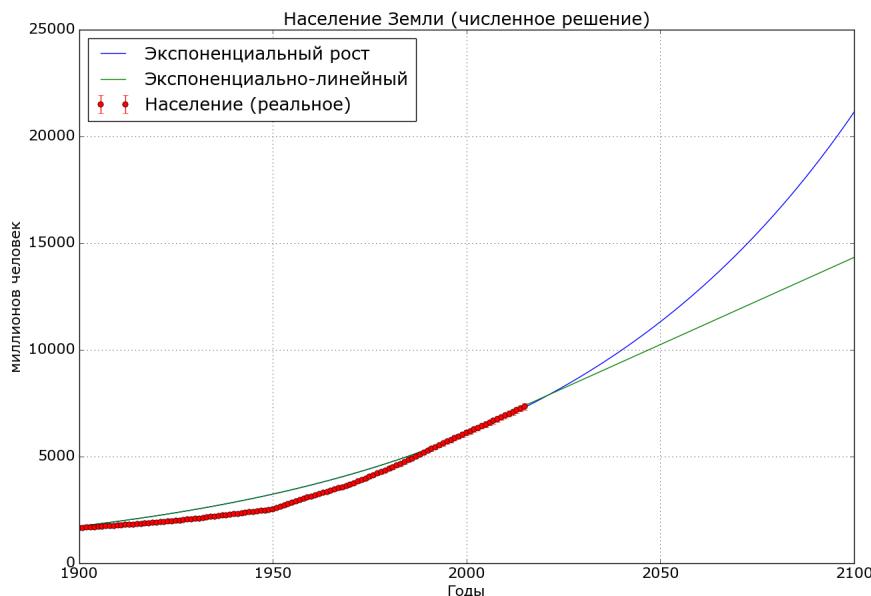
Короче, если Ваш оппонент критикует современные методы решения дифференциальных уравнений, но не может указать конкретную ошибку в уравнениях или в коде – перед Вами типичный перец.

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 81.7
    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 – 21.1 и 14.3 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. Чтобы избегнуть разнотений, здесь и далее будем принципиально цитировать первую книгу, 1798 г. Викиложцы и прочие первцы 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<sup>22</sup>.

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

«I think I may fairly make **two postulata**.

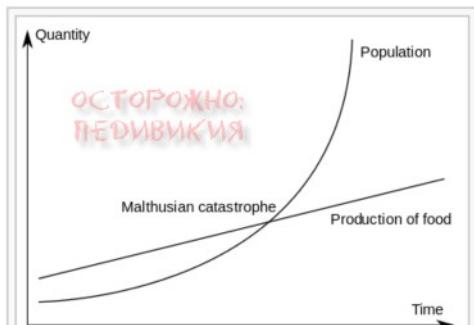
First, That food is necessary to the existence of man.

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.»



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

Это — постулаты Мальтуса, и ему они действительно очевидны. Как вам? Когда Мальтус защищал свой докторат по 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](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:

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

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

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 А и В

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 А и В – уравнение мы уже решили. Экспонента – вообще интересная функция. Снизу она ограничена нулём. То есть, при отрицательном коэффициенте воспроизведения ( $b-a$ ), 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 зачесется 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:

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

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

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 гнивают. А если корма недостаточно – умирают и гнивают «лишние» карпы, кому не досталось еды. Какова будет популяция в вашем пруду от времени?

Система {3.4.} решается аналитически:

$$\begin{aligned}\frac{O}{P(O-P)} dP &= \left[ \frac{1}{P} + \frac{1}{O-P} \right] dP = b dt \\ \int \left[ \frac{1}{P} + \frac{1}{O-P} \right] dP &= b t + Const \\ \ln \left[ \frac{P}{O-P} \right] &= b t + Const \quad \frac{P}{O-P} = k e^{bt}\end{aligned}$$

При  $t=0$ ,  $P=P_0$ , легко находится константа  $k$ :

$$\begin{aligned}\frac{P}{O-P} &= \frac{P_0}{O-P_0} e^{bt} \quad POe^{-bt} - PP_0 e^{-bt} + PP_0 = P_0 O \\ P(t) &= \frac{P_0 O}{(O-P_0)e^{-bt} + P_0} = \frac{O}{1 + O\alpha e^{-bt}} \quad \alpha = \frac{1}{P_0} - \frac{1}{O}\end{aligned}\quad \{3.5\}$$

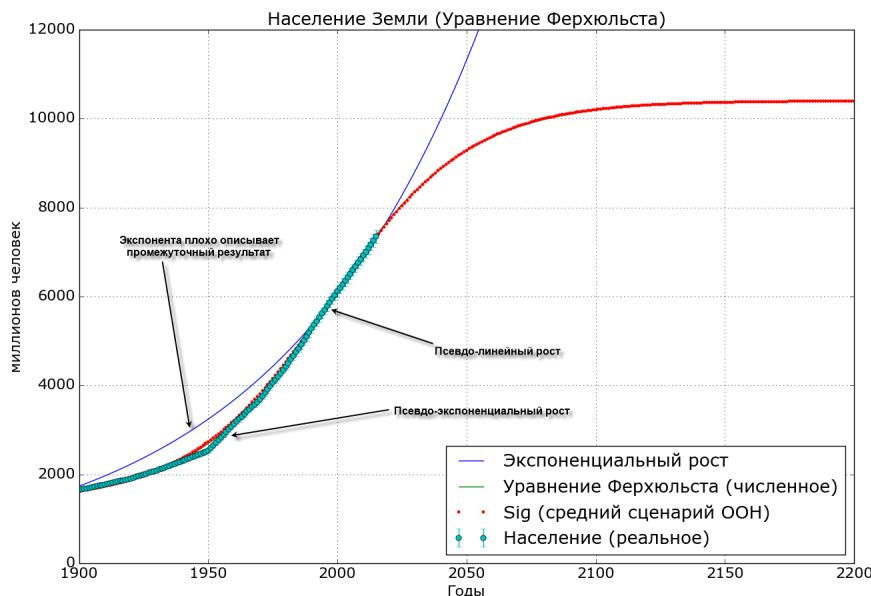
В общем виде, решение Ферхюльста называется **сигмоидой** или логистической функцией и записывается так:

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

Здесь:

Left – значение при  $x = -\infty$  (минус бесконечности),  
 Right – значение при  $x = +\infty$  (плюс бесконечности),  
 $\sigma$  – показатель наклона функции в точке перегиба,  
 $t_0$  – точка перегиба.

Проведём численное решение используя программу: **\Chapter 03\Test\_Velhurst\_4.py**.



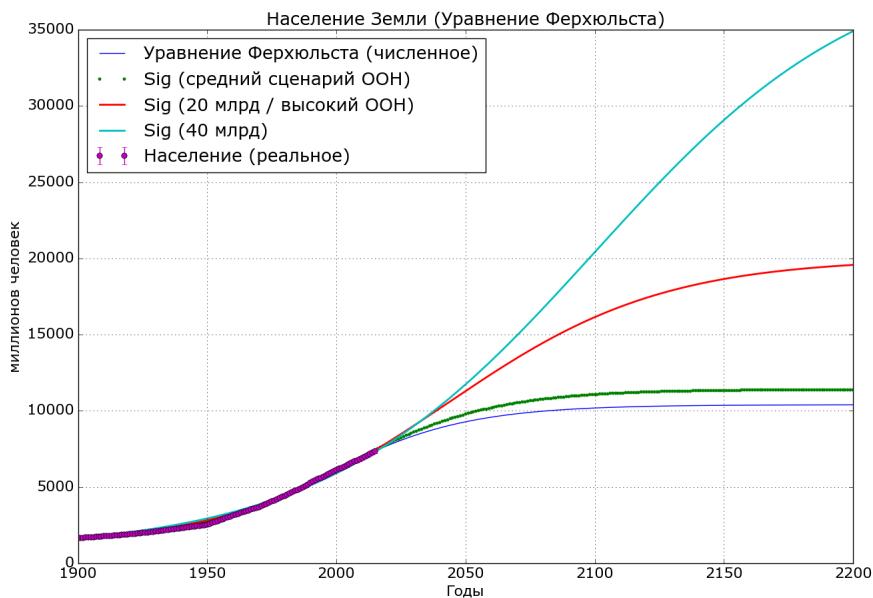
Отметим важное отличие логистической кривой от экспоненты. Бесконечного роста у функции Ферхюльста нет, а есть плавный выход на «полочку». Начиная с популяции 1530 млн человек в 1890 году, к 2200 году набирается 10.4 млрд, – и население стабилизируется.

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 народа между 1910 и 1970 годами, либо популяция «выстреливает» после 1980.

У сигмоиды есть и проблема. Поскольку посередине участок линейный,

предсказать, как поведёт себя кривая справа – невозможно. 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 рас прощаемся с функцией экспоненты в чистом виде. Как и в программе *World3*, никакие входные данные или зависимости по экспоненте рasti 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 (зелёные точки) – 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 (зеленовато-синяя линия) – уходит на асимптоту 40 млрд человек, но уже много после 2200 года.

Откуда у меня 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  $7.5 \cdot 2250 / 400 = 42$  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<sup>2</sup>. Распределив триллион человек, получим плотность населения  $2'000$  человек на км<sup>2</sup>. 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<sup>2</sup>. Приходится говорить о плотности населения  $6'700$  человек на км<sup>2</sup>. Примерно как в современных мегаполисах, вроде Токио.

Заметим однако, 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 экстрем, 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<sup>2</sup>. На каждого из триллиона — по  $49$  м<sup>2</sup>, или пятаков земли размером  $7 \cdot 7$  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  $40 \cdot 10^9 \cdot 480 / 4.884 \cdot 10^7 = 400 \cdot 10^3$  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»<sup>23</sup> и пытался доказать, что

---

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

человека можно кормить с 2.6 соток<sup>24</sup>. «Оценка Джевонса» была последовательно повышена до 4 соток, затем – до десяти. Сам Джевонс, 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.



© A Note From Abroad 2016

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 –  $47 \pm 5$  ТВт. Отсюда, максимальное население планеты:  $47 * 7.5 / 18.5 = 19 \pm 2$  миллиарда.

Я не знаю, как считает ООН, но моё, рассчитанное по энергетике, попадание

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

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 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 4900 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 – второе 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 (виши, 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 красавицу 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 дождёtesь. 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 Ферхольста надо решать дважды: сначала для восходящей ветки, а затем – для нисходящей. Полученная функция называется весело: «функция Ванны»:

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

Здесь:

Left – значение при  $x = -\infty$  (минус бесконечности),

Middle – значение между  $x_0$  и  $x_1$  (может не достигаться),

Right – значение при  $x = +\infty$  (плюс бесконечности),

$t_0$  – левая точка перегиба,

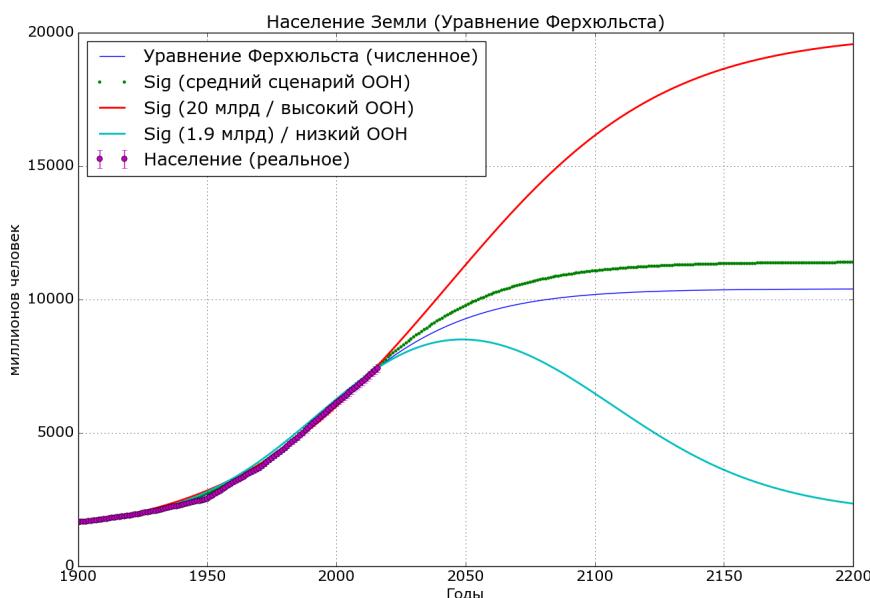
$\sigma_0$  – показатель наклона функции в левой точке перегиба,

$t_1$  – правая точка перегиба,

$\sigma_1$  – 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  $\sigma_1$  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  $\sigma_1$ . В «минимальной оценке» ООН пик населения наступает в 2050 году, на уровне 8.8 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 удобренения 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<sup>2</sup>. 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» – 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.

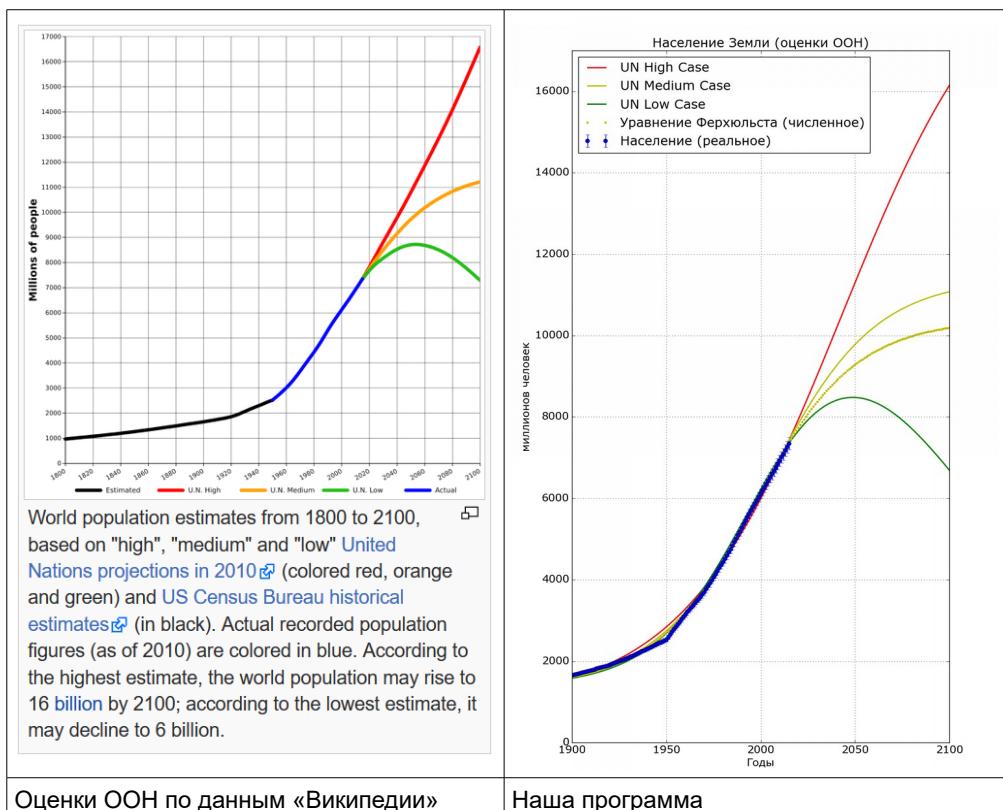
Есть и хорошие новости. Кроме человека, на планете останутся и почти все современные биологические виды, в том числе гужевые домашние животные (привет Амишам). Так что 3 га всё-таки будут пахать лошадки, а не людишки с мотыгами.

Состояние дел с образованием, медициной, культурой? Не сильно отличается от сценария 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 прошёём две сигмоиды и одну «ванну» оценок ООН – они нам понадобятся в последующих главах.<sup>25</sup> Результат представлен в программке **\Chapter 03\Test\_Population\_7.py**



<sup>25</sup> В комментариях к блогу проключило, 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** большую часть естественных видов, а человеческое существование сведётся к 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 биосфера 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 2017 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 уровня 2017 года. 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 полукулченкой, кружочками...

A. и B. 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, 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:

$$\begin{aligned}\frac{\partial Q}{\partial t} &= O - P(t) - dQ(t) & Q(0) &= Q_0 \\ \frac{\partial P}{\partial t} &= b \left[ 1 - \frac{P(t)}{O} \right] P(t) & P(0) &= P_0\end{aligned}\quad \{4.1\}$$

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<sup>26</sup>. 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 Q
#
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):
        # половина 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)):
```

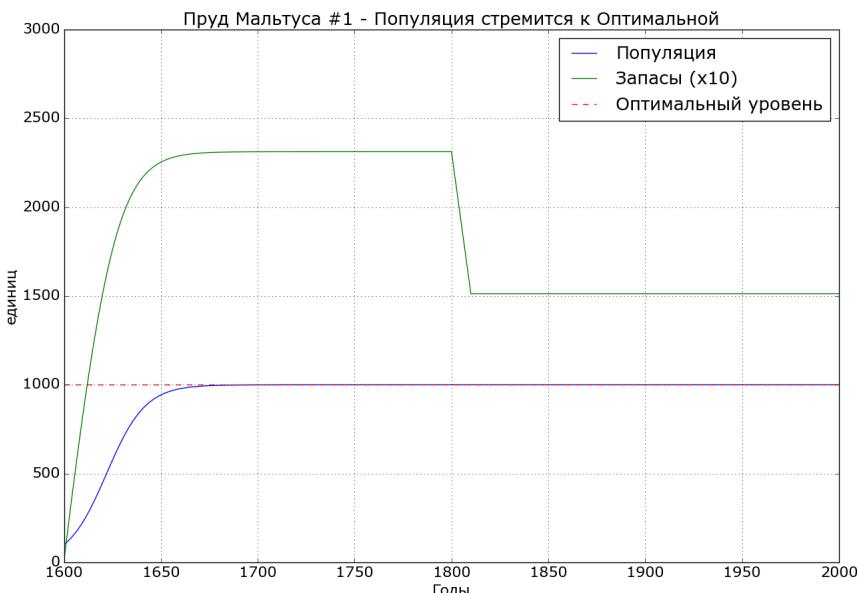
26 Для любителей потолковать все о квантовой механике. У меня в программе – карпы «не целые». Приближение {4.1} работает, естественно, лишь для **статистически-значимых** популяций. Примерно так же работает в инжениринге уравнение Больцмана. Чтобы рассчитать паровоз или трубопровод, поведение каждой 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]))
```

```

Prepare_Russian_Font()
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.

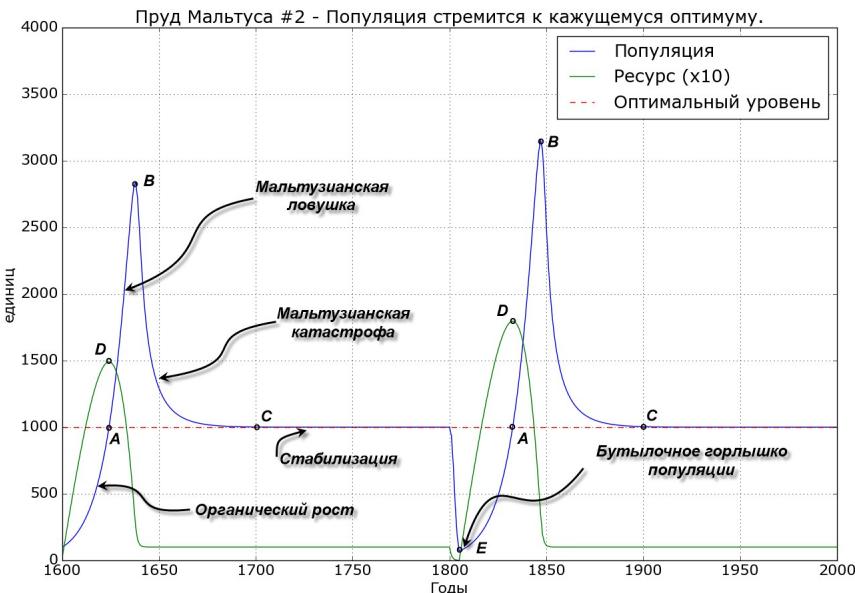
Конечно, карпы глупые, оттого никто из них уровень О не вычисляет. Рыбы поступают проще: когда еда и изобилии, все едят от пуз. Когда еды маловато – начинают драться, отталкивая друг-друга от кормушки. Сильные и здоровые в среднем выживают. Слабые, старые или больные – в среднем дохнут. Но могут и сильного 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.

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

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

Проверяем программкой \Chapter 04\Test\_Malthus\_2.py

```
def dQ_dt(self, t):
    tmp = self.Q
    # 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**. Мальтуз сказал бы: Провидением.

Однако, две мальтузианские катастрофы на графике присутствуют. Опишем отрезки:

- Левее точки А, «**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 в Японии<sup>27</sup>.
- В точке А популяция проскаивает равновесное состояние и входит в отрезок АВ – «**мальтузианскую ловушку**». Теперь популяция обречена, и чем выше взлёт, тем резче и безудержней будет падение.
- В точке В наступает «**мальтузианская катастрофа**». Опять-таки не точка, а отрезок: ВС. Еды на всех не хватает, и популяция обваливается.
- Правее точки С – наступает стабилизация.
- Точку Е 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-неверить тут нечему, это подтверждённая научная теория) – посоветуем взять из кормушки банан<sup>28</sup> – 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 А, попадание в ловушку АВ, катастрофа ВС – и стабилизация.

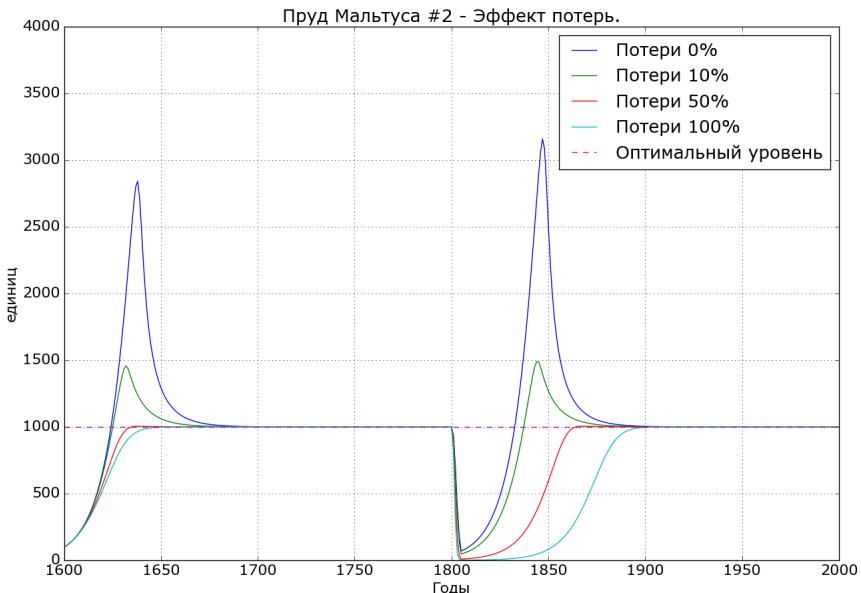
Сам Мальтус терминами «ловушка» и «катастрофа» не оперировал, их ввели в оборот биологи в начале XX века. И уж тем более не сам назвал эти отрезки «мальтузианскими». Есть смертный грех: Vanagloria. В нём священник Мальтус замечен точно не был.

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.

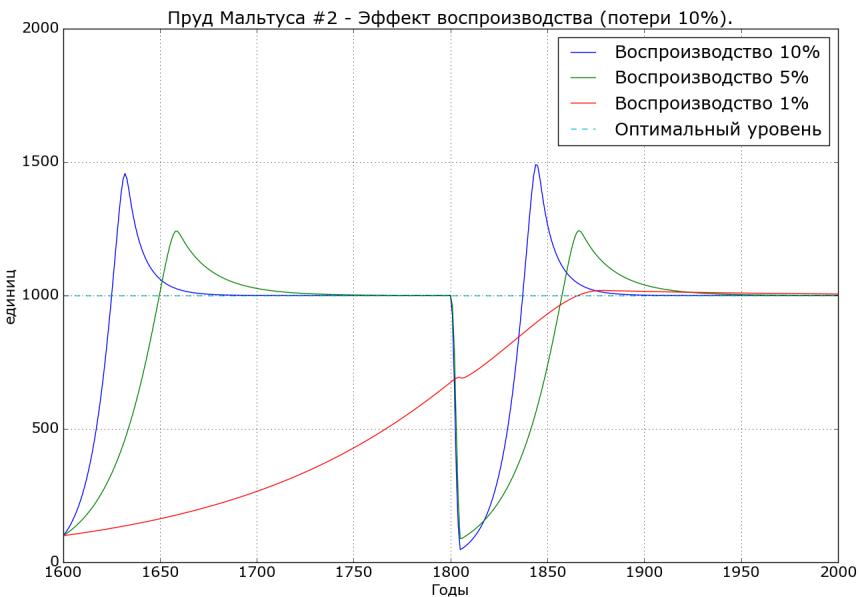


Как видим, при стопроцентных потерях популяция выходит на аналитическое решение Ферхюльста – сигмоиду, что мы разбирали в главе 3. В «плавном» решении Ферхюльста никакой малтузианской катастрофы нет. Чем меньше потери, чем ярче проявляется эффект выхода за пределы. Например, при 10% потерь популяция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

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 сурвый 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 малтузианская 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 точку равновесия снизу-вверх, почему бы во время голода и смуты не проскочить и сверху-вниз?

Система уравнений выглядит так:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial t} &= O(t) - P(t) - dQ(t) & Q(0) &= Q_0 \\ \frac{\partial P}{\partial t} &= b \left[ 1 - \frac{P(t)}{Q(t)} \right] P(t) & P(0) &= P_0 \end{aligned} \quad \{4.3\}$$

Мальтус был, по-видимому, первый экономист<sup>29</sup>, 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 пятнадцатилетним возрастом с промежутком 1 год), а все люди умирают 100 лет от роду. Это в наше компьютерное время просто: загнал матрицу Лесли<sup>30</sup> в калькулятор «Шарп», прокрутил раз двадцать – сошлось, готово. А

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

<sup>30</sup> К матрице Лесли ещё вернёмся, пока верните на слово.

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

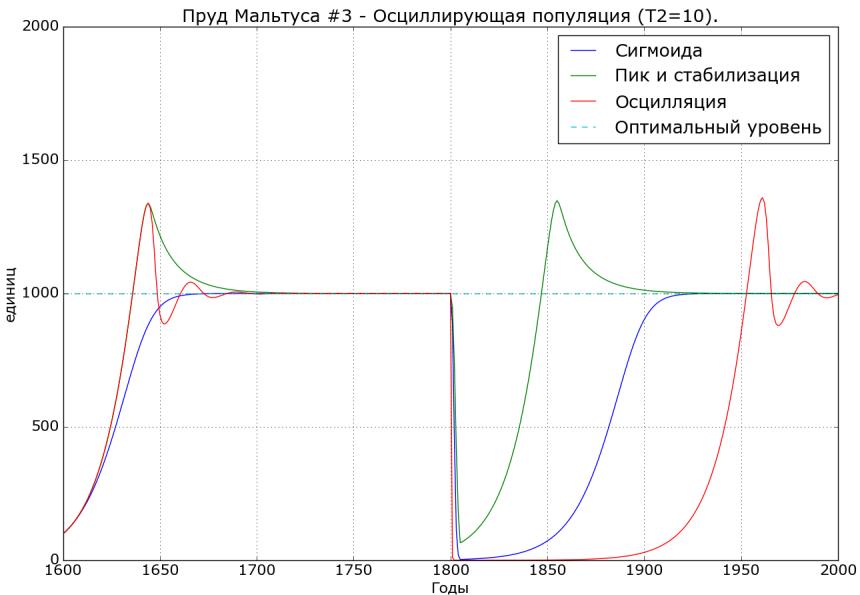
    def dO_dt(self, t):
        tmp = 0
        return tmp

    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 – плавное решение – сигмоида. 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 принял оценивать реальную максимальную скорость – на основании статистических данных. В 1700 году, большой кусок Северной Америки – 13 штатов – был колонией Англии. Почему нам так интересны США? Потому, что в отличие от колоний Испании в Латинской Америке, британские колонии относительно хорошо управлялись, и в Англию регулярно доставлялась 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<sup>31</sup> 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:

<sup>31</sup> Население индейцев сокращалось, но статистики 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.

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

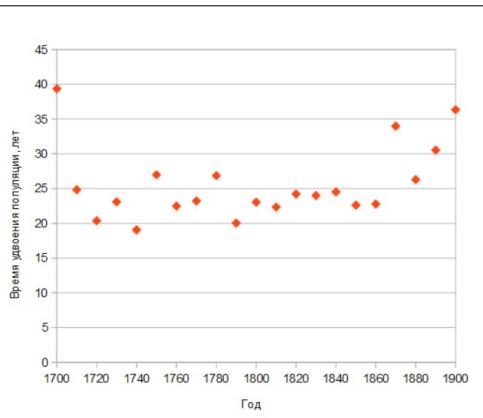
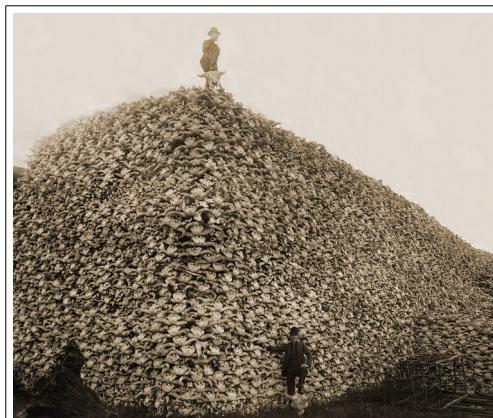
Здесь:

$T_2$  – 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. Хотя, 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

странницах. 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.<sup>32</sup>

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

Неужто Мальтус, зная про Америку и Россию, не озабочился 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.

<sup>32</sup> 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 Гёбельс, и Суслов. Каждый униканел в своём репертуаре и доказывал свою что-то. На одних и тех же цитатах.

Год	1600	1630	1670	1700	1750	1801
Население, млн	4.81	5.6	5.77	6.05	6.52	16.35

По формуле {4.4} легко проверить, 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 каждого 5 абортов.
6. Сознательное воздержание от зачатия.
7. Пороки: пьянство, наркомания, проституция, от всего вышеупомянутого.
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 вопрос 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, 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 отпрysков 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 размножаться 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 земли 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 сверх-интенсивного 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 проскаивает 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 сумму для сбора милостыни и желают счастливого пути, жена идёт к повитухе, чтобы 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 проскаивает 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 ешё. 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. 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 – баклаборатория.



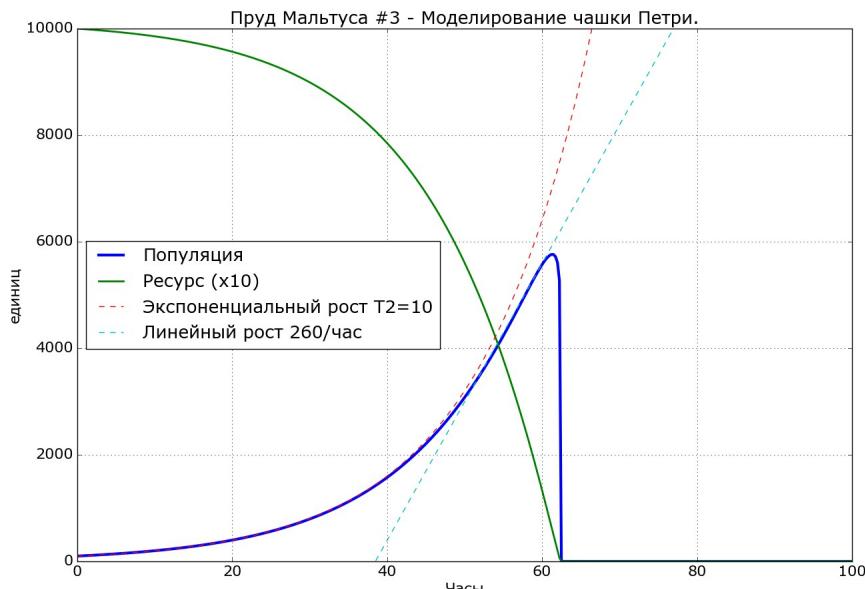
Пример в программе \Chapter 04\Test\_Malthus\_6.py

```
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, 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, всего в колонии их 5'600 тысяч. Через 63 часа после начала эксперимента, колония – кончается, так как весь agar съеден.



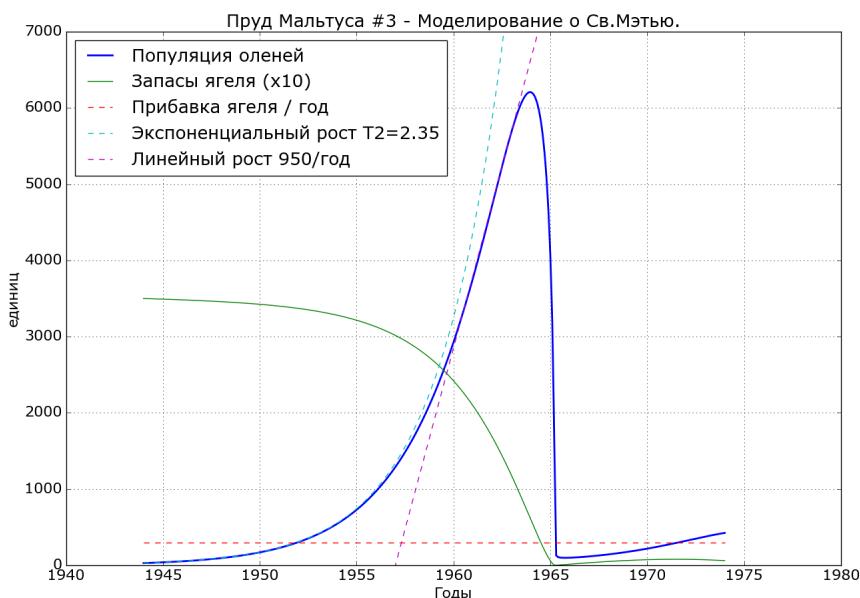
Во время Второй мировой на островке Св.Мэтью в Беринговом море американские морские пограничники расчистили взлётно-посадочную полосу и построили метеостанцию. Через Аляску перегоняли в Советский Союз истребители, новые с завода – всяко бывает. Помимо ящиков с консервами, завезли 29 живых северных оленей, на случай если совершившим вынужденную посадку захочется свежего мясца. В 1949 цирк с метеостанцией уехал, а олени – остались. К 1963, по острову гуляло более 6'000 оленей<sup>33</sup>. В 1965 осталось 42. Впрочем, такой скоростной обвал мог произойти и из-за необычайно суровой зимы 1963-1964 годов (смотрим «неурожай» на примерах выше), или из-за эпидемии какого-нибудь оленевого 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
```

<sup>33</sup> Площадь сурового северного острова – 357 км<sup>2</sup>. 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 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 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 мальтизянских 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»*<sup>34</sup>, 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».

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

Технически, имя Мальтуса следует ставить вначале. Пьер Франсуа Ферхюльст 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?]<sup>35</sup>

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, чтобы создавать не отчаяние, но активность. Мы не станем терпеливо подчиняться злу, но трудиться, чтобы 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

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

рождаемости – не приводит ни к чему хорошему. Циклы делаются длиннее, зато круче, и в мальтизационских 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<sup>36</sup>.

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? Пряником 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

<sup>36</sup> В Европе презерватив изобретён Габриэле Фаллонио 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.

предлагал толковые методы, как этого ужаса избегнуть.

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 2017 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 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 мясо! 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 (sic!) генетики!** 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 вылезают жеребята, телята, пороссята – 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, – 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 полит-экономии»<sup>37</sup>. 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

<sup>37</sup> Из которой потом К.Маркс выдёргивал таблицы, «позабыв» указать источник.

злобную пропаганду. Ага.

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 малтузианец.

**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 ~~каждавра~~ **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.

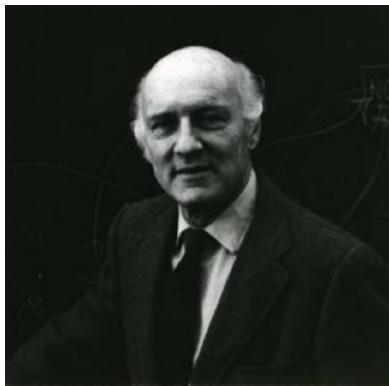
Все три возражения – совершенно правильные. Впрочем, и сам Мальтус, и позже Ферхольст неоднократно писали: их математическая модель – упрощение, чтобы хоть что-то аналитически решить, а первый (механический) компьютер Бэббиджа – строили уже после смерти Мальтуса, да так полностью и не достроили.

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 потеря  $d$ , 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 Иллинойс приготовили своему профессору ко дню рождения необычный подарок – научную статью<sup>38</sup>, где утверждалось, 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}:

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

положим:

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

Получаем так называемое уравнение фон-Фёрстера:

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

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

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 Р абонентов телефонной сети. Количество возможных подключений возрастает: два абонента – единственная

<sup>38</sup> 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.

возможность соединения, три абонента – три соединения, пять абонентов – 10 соединений, и вообще:

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

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  $P^{1+1/k}$ :

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

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

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

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:

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

Тут же рассчитали время Творения. Адам  $P(t_{\text{Творения}})=1$  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.

Проверили решение на устойчивость! Оказалось, что располагай Шарлемань<sup>39</sup> нашим уравнением, на своих статистических данных он бы вычислил приход Конца Света с точностью  $\pm 300$  лет (если бы у него была статистика, ага). Елизавета I могла бы скомандовать своим статистикам, и установила бы дату с точностью  $\pm 110$  лет, а Наполеон предсказал бы с точностью  $\pm 30$ . Со статистическими данными 1959 года,

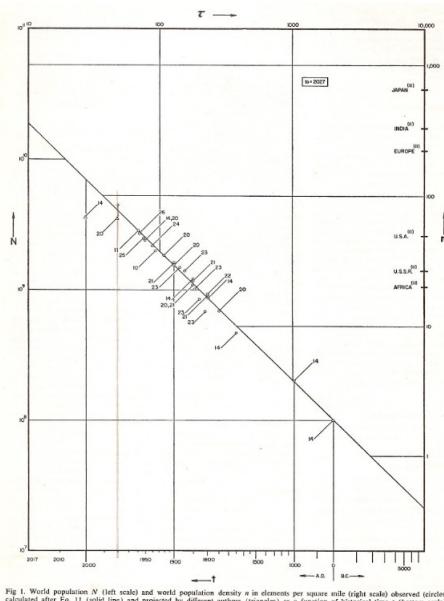


Fig. 1. World population  $N$  (left scale) and world population density  $n$  in elements per square mile (right scale) observed (circles), calculated (triangles), and projected by different authors (triangles). The numbers associated with each point are references.

<sup>39</sup> Он же Карл Великий

точность предсказания лучше:  $\pm 10$  лет.

Статья заканчивается пассажем (выделение моё):

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 правнучки не вымрут от недостатка пищи и ресурсов. **Они задушат друг друга в крепких объятиях**.

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

Особенно смешно выглядит определение даты Судного Дня с точностью до сотой:  $2026.87 \pm 5.50$ ! 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, вычисливших 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 иллинойская реприза хорошо забылось, шутку воспроизвёл в Англии фон-Хёрнер<sup>40</sup>. Его прикол был рассчитан не на профессоров и аспирантов, а на более широкую аудиторию, оттого и математика попроще:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = bP^2(t) \quad P(0) = P_0$$
$$P(t) = \frac{K}{t_0 - t} = \frac{2 \cdot 10^{11}}{2026.87 - t} \quad \{5.5\}$$

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\\_desyat\\_i\\_milliardov\\_3995327](http://pikabu.ru/story/sergey_kapitsa_istoriya_desyat_i_milliardov_3995327)

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.

Для достоверности пришлось пожертвовать Творением Адама в 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 (а) *куплять фанеру™* («строить межзвёздные корабли и лететь отсюда...», ага) и (б) *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, кто умеет в ОДУ – понимают юмор! Прежде чем рисовать, приведём полное решение уравнения фон-Фёрстера для k=1, если не «пренебречь смертью, как подобает немецким учёным»™:

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

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

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

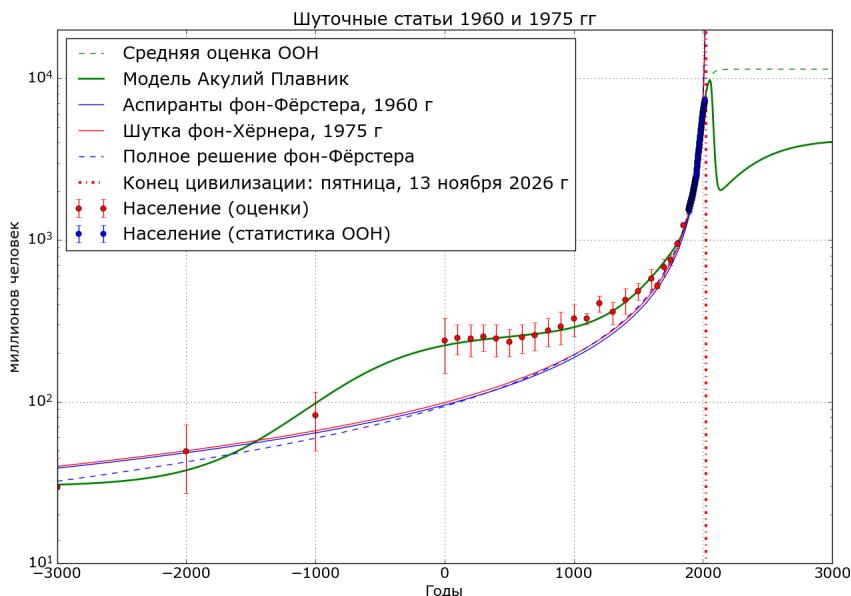
– то есть просто гиперболический косеканс, нормированный экспонентой.

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 РАН, профессор и телеведущий Сергей Петрович Капица взялся выводить из полуза забытого уравнения-шутки фон-Фёрстера «Феноменологическую теорию роста населения Земли»<sup>41</sup>.

Уравнение {5.5} записалось в виде:

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

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

Замена гиперболического косеканса на арктангенс, в-общем, шутка 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

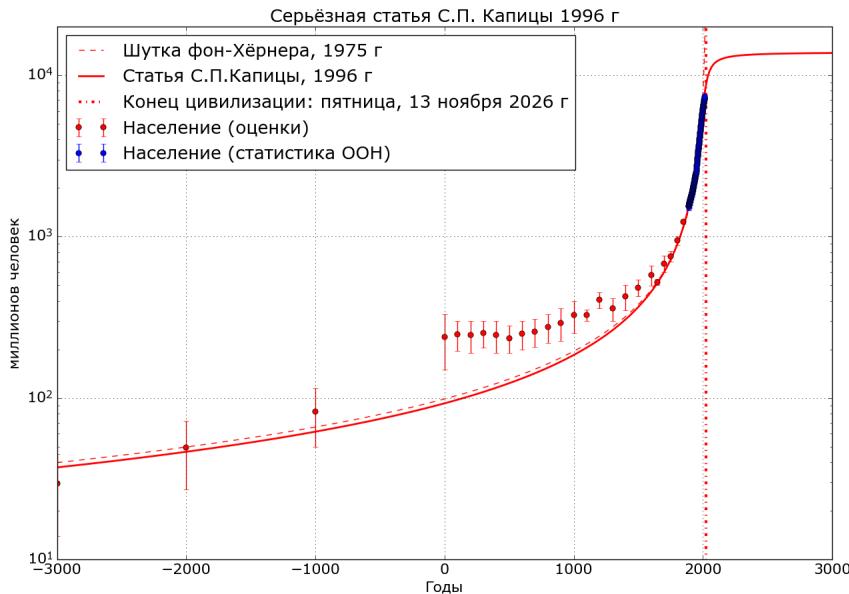
```
# Описывает популяцию по методу С.П.Капицы
# "Успехи физических наук" 139(1) 57-71, РАН, 1996
#
class Population_Kapitsa:
```

<sup>41</sup> "Успехи физических наук" 139(1) 57-71, РАН, 1996

```

def __init__(self, t0=2007, k=186e3, tau=42):
    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

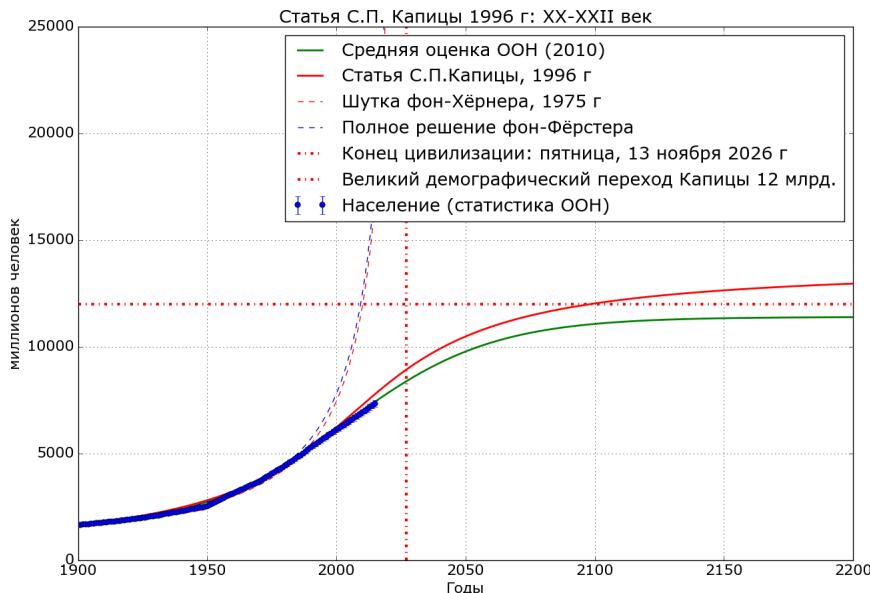
```



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:

$$K = 186 \text{ млрд} \quad t_0 = 2007 \quad \tau = 42$$

Как видим, несмотря на недостаток данных, С.П.Капица успешно предсказал GFC, начавшийся в декабре 2007. Что же до величины  $\tau$ , так это вообще мировая константа!<sup>42</sup> Для 2015 года, предсказание С.П.Капицы – 7'790 млн человек, а ООН отчиталась только о 7'348. Разницу в 441 млн (6%) от нас наверняка скрывают, но поглядев в «карты Гугл», я легко обнаружил пропажу.



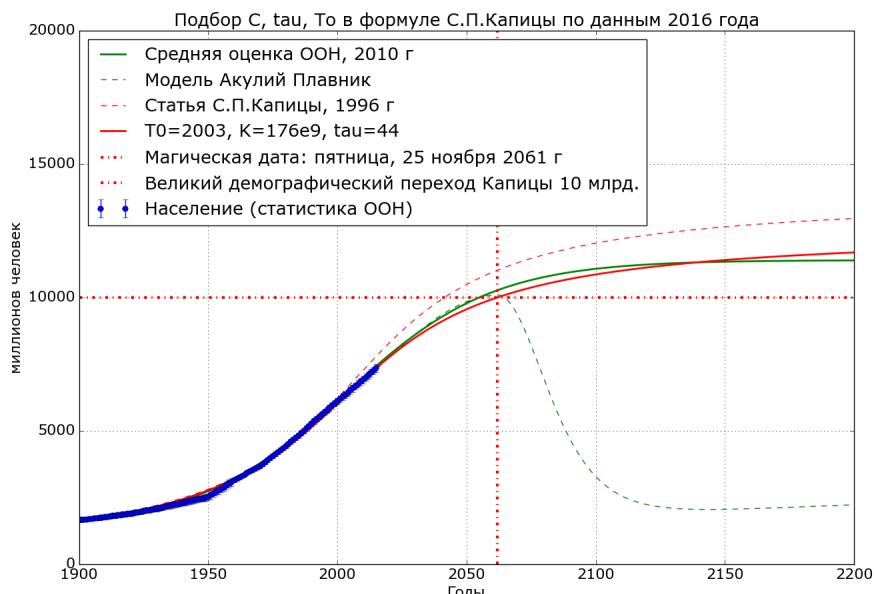
42 Полное описание: Adams D, THGTTG, Phases 1 & 2, BBC, MCMLXXVIII-XXX.

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 аркотангенса. Константа  $\tau$  изменяет наклон, точно так же, как  $\sigma$  меняет наклон сигмоиды в формуле {3.6}. Время  $t_0$  – 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 Ферхульста. 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.

От чашек Петри и островов с оленями перейдём к первобытным племенам.



Пусть у нас есть небольшой остров (вроде Пасхи, он же Рапа-Нуи, он же Чунга-Чанга)<sup>43</sup>. В нулевом году, на остров высаживаются смелые переселенцы в количестве 500 человек. Богатая и разнообразная природа острова может

43 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 не известно, 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 более простая, чем {5.8} ниже. Для читающих по-английски: James A Bandler 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:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial t} &= b_f \left[ 1 - \frac{F(t)}{F_0} \right] F(t) - O(t) & F(0) &= F_0 \\ \frac{\partial O}{\partial t} &= b_o \left[ 1 - \frac{O(t)}{jF(t)} \right] O(t) & O(0) &= O_0 \\ \frac{\partial P}{\partial t} &= O(t) - P(t) - dQ(t) & Q(0) &= Q_0 \\ \frac{\partial P}{\partial t} &= b_p \left[ 1 - \frac{P(t)}{Q(t)} \right] P(t) & P(0) &= P_0 \end{aligned} \quad \{5.8\}$$

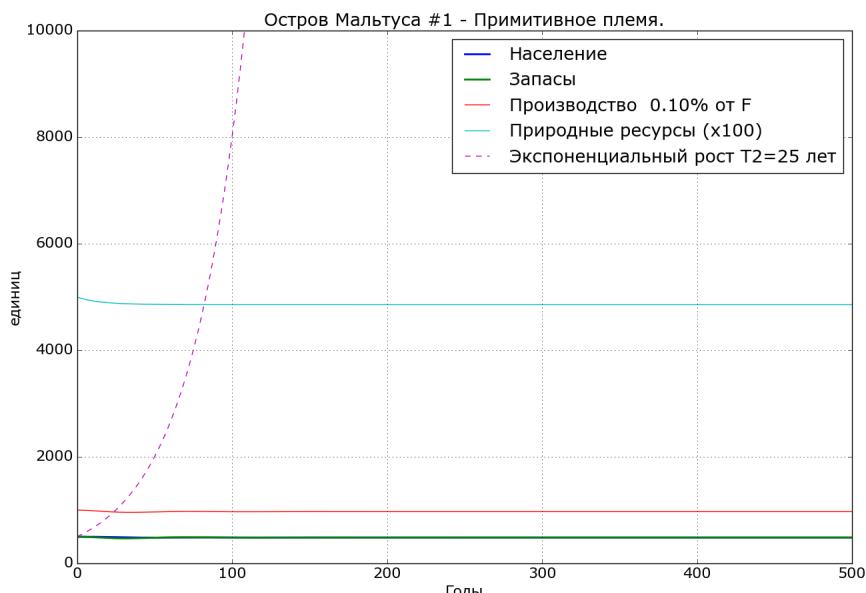
Здесь:

$F_0$  – 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 производства
# T2_F - время восстановления ресурсов
# d_Q - процент потери запасов
# j_0 - 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_0):
        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_0
    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)
```

```

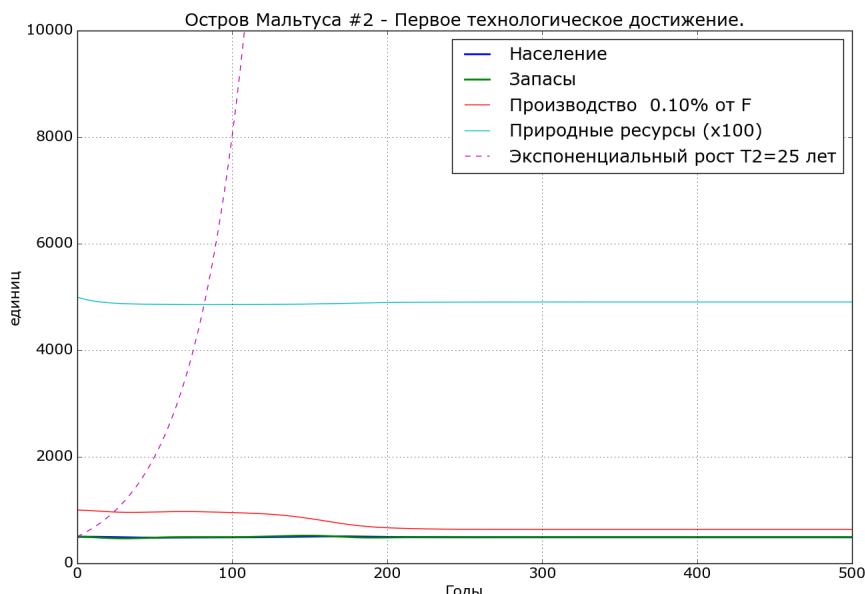
self.Solution_F = soln[:, 3].clip(0)
self.P = self.P_Initial
self.Q = self.Q_Initial
self.O = self.O_Initial
self.F = self.F_Initial
return

```

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 малтузианских 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.

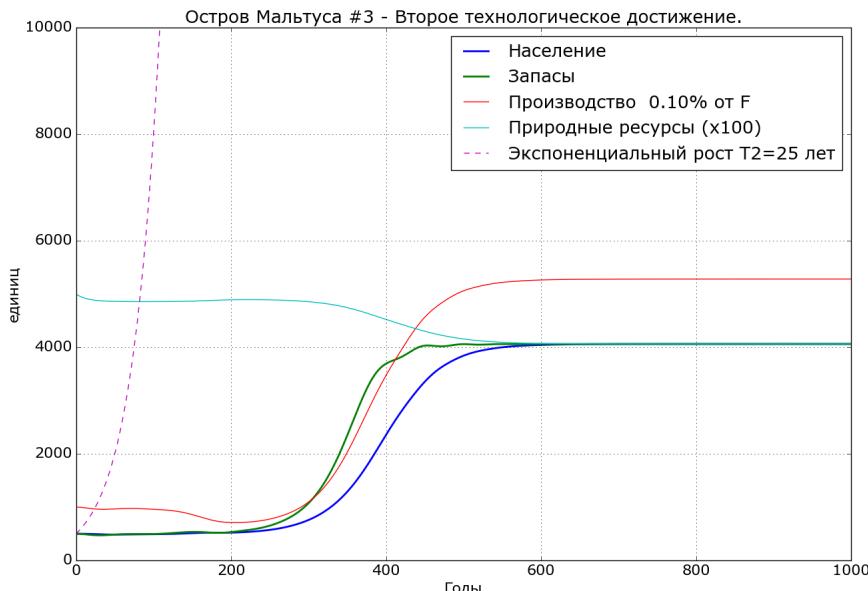


```

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

```

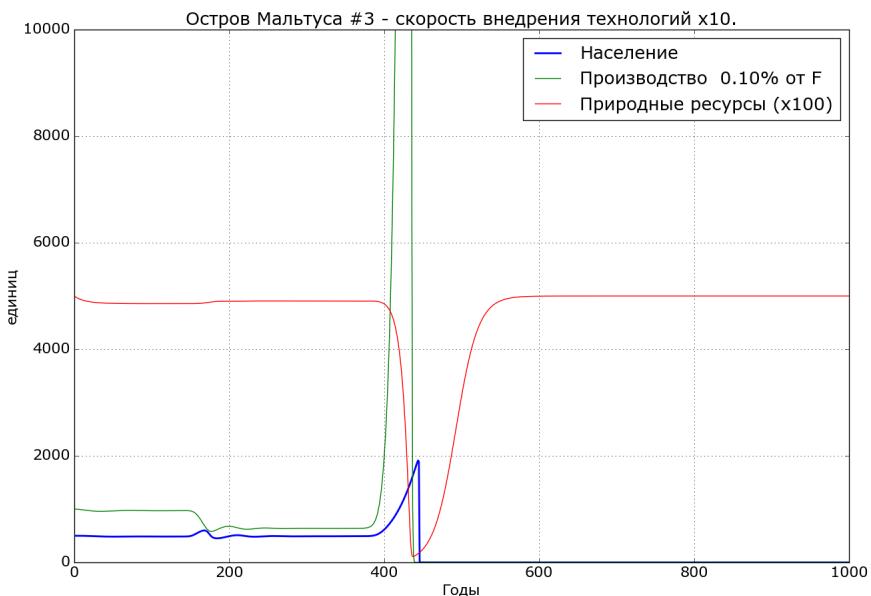
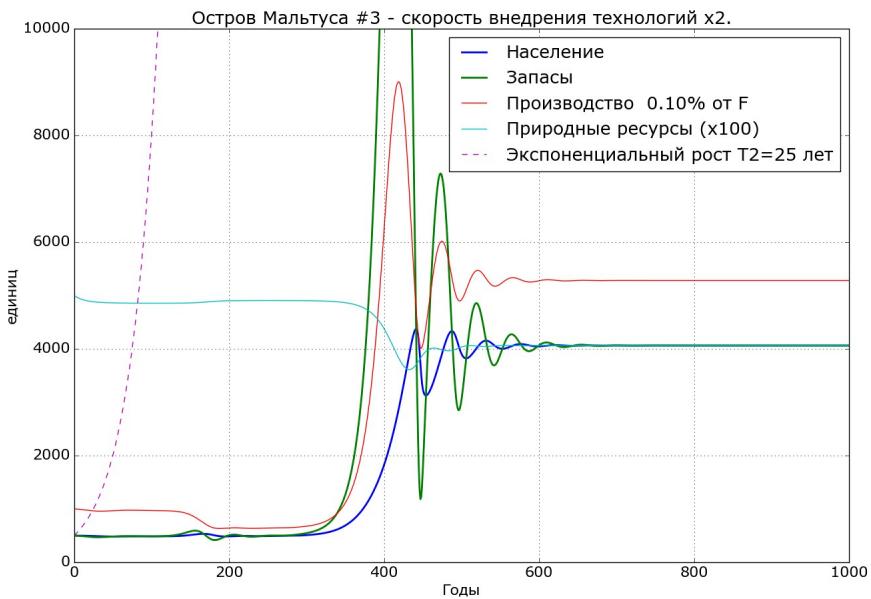
Итак, освобождённый гений-островитянин придумал вторую технологическую революцию: увеличим производство продовольствия, то есть урожайность, в десять раз, с  $j=0.001$  до  $j=0.01$ . Увеличение будет происходить постепенно, с 300 по 500 годы. \Chapter 04\Test\_Island\_3.py



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 два раза быстрее: не за сто 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!

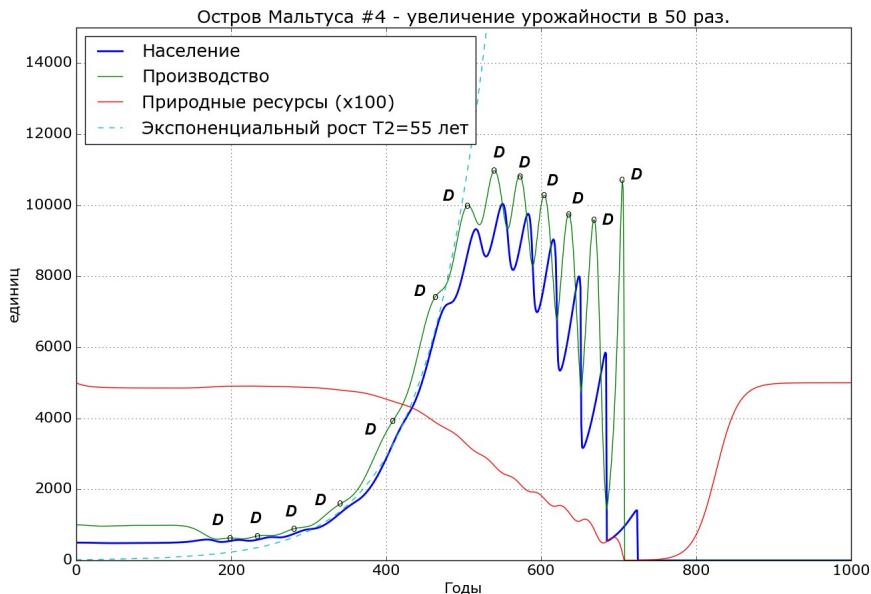


Приехали миссионеры и увидели, что это некультурно, не правда ли? Научили аборигенов строить туалеты класса «сортир-с-дыркой». Долбить известняк ломом – занятие не из лёгких, но чего не сделаешь за ради цивилизации, тем более и новый пастор сам взял лом и личным примером показывает, как надо. Результат: 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<sup>44</sup>, 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.

44 [http://royallib.com/book/chayanov\\_aleksandr/puteshestvie\\_moego\\_brata\\_alekseya\\_v\\_stranu\\_krestyanskoy\\_uto pii.html](http://royallib.com/book/chayanov_aleksandr/puteshestvie_moego_brata_alekseya_v_stranu_krestyanskoy_uto pii.html)

Великий критик мальтизианства 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 единствено-материалистическим, и оттого единствено-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.]<sup>45</sup>

На самом деле, это Маркс писал про Чарльза Дарвина, которого очень почитал и даже хотел посвятить автору «Происхождения видов» первый том «Капитала», но Дарвин от такой чести благородумно отказался – врагов теории эволюции и так 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 мальтизианских 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, 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<sup>46</sup>.

Мы же воспользуемся уравнениями и компьютерами, чтобы сделать нашу

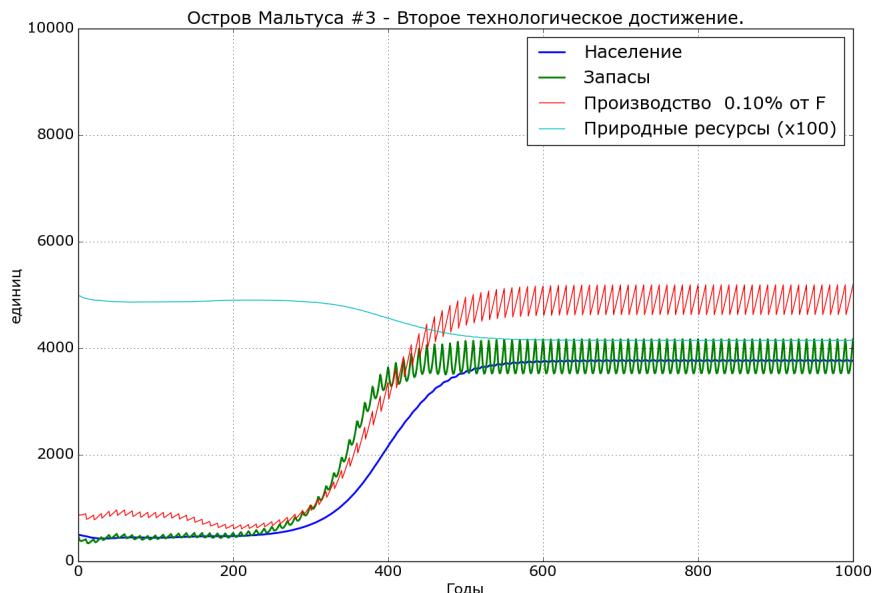
45 В русской версии «Капитала» такой ссылки вроде бы нет. Советское издательство «Прогресс» выпускало две версии Маркса: одну для проверенных совков, другую – для внешнего употребления.

46 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. Понемецки 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 не постоянна, 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, неурожай 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
```

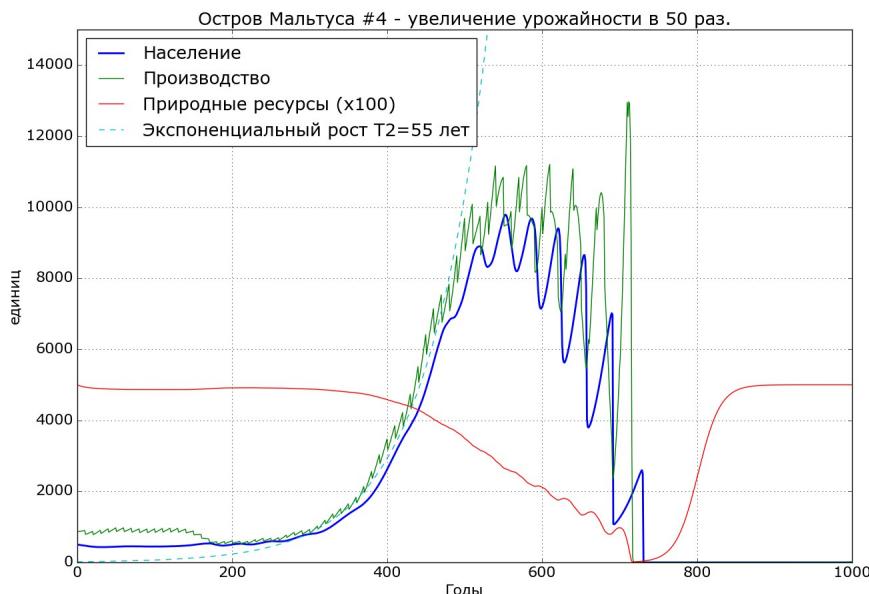


Как видим, решение остаётся достаточно гладким даже при внешних возмущениях. Теперь повторим то же самое для острова с 50-кратным увеличением урожайности. \Chapter 04\Test\_Island\_8.py

Нечто подобное происходит и на настоящем Рапа-Нуи. В 1722 году белые открыватели обнаружили на острове около 2'500aborигенов, 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.<sup>47</sup> Собственно, от полного вымирания аборигенов спас туризм. Прокрутите текст назад к картинке (обратите внимание на бетонный пирс на заднем плане справа!) Именно так и выглядят современные жители

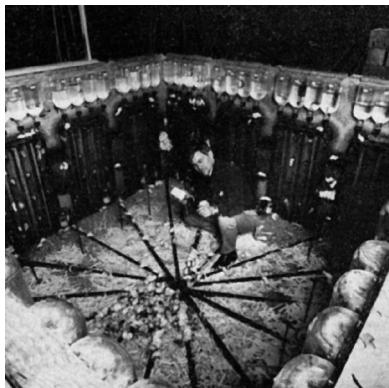
<sup>47</sup> Площадь острова Пасхи – 163.6 км<sup>2</sup>. Остров тропический (27.7° Ю.Ш.), климат ровный, тёплый и влажный: 18-24°C, 1150 мм осадков в год. На пике цивилизации плотность населения превышала 90 человек на км<sup>2</sup>, то есть 110 соток на человека. Запомним это значение.

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.
- 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 селедочных голов. Глаза кадавра сверкнули. Он пал на четвереньки, дробной рысью подскакал к окошечку и взялся за дело. Выбегало, 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 Выбегало привел с собой двух корреспондентов областной газеты. Корреспонденты были знакомые – Г.Пронциателль и Б.Питомник. От них тоже пахло водкой. Сверкая бликами, 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-очкикарик 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 избирателя, 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, высказывает: «**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 «рудник» назовёт вам это имя: Георгиус Агрекола, 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, а другие астрономы попробовали приборчик на хвостах комет, атмосфере Юпитера и других интересных объектах Солнечной Системы и увидели метан. Мы знаем, 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 пестицами. Короче, если вы ни разу в жизни не видели крокодила, не заявляйте, такого животного нет! Сходите в зоопарк, в конце концов.



В СССР идею Агриколыдвигал 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 компания «Вьетсовпетро» бурила очередную разведочную скважину на пока безымянном Блоке 9-3. Вообще, 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 буровицких сначала газом, а потом и нефтью. А Блок 9-3 официально стал месторождением и получил имя собственное: «Белый Тигр» (*Bach Hố*). Почему белый? Помните песочек на виброситах, шкура тигра. Вот.

По поводу обнаружения нефти и газа в магматических интрузивных породах сторонники abiогенного происхождения нефти начали праздновать победу, но праздник получился недолгим. Уже к 1992 выяснилось, 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<sup>48</sup> 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 осчастливления человечества бесконечными запасами углеводородов присоединился двойной соотечественник Шварценеггера астрофизик Томас Голд<sup>49</sup> (1920-2004). Этот почему-то полагал,

48 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>

49 «Кто такой Джон Голд?»<sup>TM</sup> 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

тупые геологи за двести лет так и не научились искать продуктивные залежи.

Надо признать, 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<sup>50</sup>, он затеял бурить скважину глубиной 7.5 км в районе озера и метеоритного кратера Силjan Ринг (Siljan Ring). По идеи Голда выходило, что из-за удара метеорита там существуют трещины прямиком в верхнюю мантию до глубин 45 км и более<sup>51</sup>.

Бурение шло довольно успешно до глубины 5000 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». Вообще, кто читал настоящие буровые отчёты понимает, что писал ~~астроном~~ астроном, а не геолог. Глубина по стволу скважины 5000 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 сворачивать, то есть откачивать жидкость. Всего получилось около (опять это «около») 85 баррелей ( $13 \text{ м}^3$ ) «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, изнахрученных о гранит.

Короче, к июлю 1990 (ровно 4 года тибидухались<sup>52</sup>), у Правительства закончились терпение, и скважину «Гравберг-1» ликвидировали. Тут же в 1991 заложили новую скважину и даже объявили, вроде обнаружили нефть на глубине 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, жизнь может существовать в нефтяных месторождениях на больших глубинах. Нефтяники пожали плечами: чего доказывать? Сами не раз видели. Если в тропиках, только забудешь добавить к буровому раствору биоцид, там такая

---

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

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

51 См <http://www.ogi.com/articles/print/volume-89/issue-2/in-this-issue/exploration/sweden39s-siljan-ring-well-evaluated.html>

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

жизнь начнётся! Бактерии-нефтефаги. Будешь зелёную слизь вместо нефти из скважины качать.

В 1984 году украинский доктор наук В.А.Краюшкин опубликовал книгу об abiогенном происхождении нефти<sup>53</sup>. 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<sup>54</sup>. 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 abiогенный;
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<sup>55</sup> 10 км надо бурить? Во-первых, **страшно** дорого. Во-вторых, суммарный объём пор там ничтожен, значит, ваша скважина плонет в вас сотню баррелей – и ждите ещё тыщу лет. Вам надо 100 баррелей за сорок

53 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%BA>

54 Лагеррер Жан, «Бесплатный сыр бывает только в мышеловке», The Wilderness Publications, 2004. бесплатно: [http://www.fromthewilderness.com/free/ww3/102104\\_no\\_free\\_pt1.shtml](http://www.fromthewilderness.com/free/ww3/102104_no_free_pt1.shtml)

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

миллионов баксов?

Веб-ресурс Украинской Академии Наук<sup>56</sup> заявляет: на основании теории abiогенного происхождения «при поисках нефти и газа в недрах Луганской, Сумской и Харьковской областей 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» компании «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 геолог «Укргаздобычи» Владимир Бенько. При этом пресс-служба не сообщает о перспективных объемах по добыче ресурсов в открытом месторождении.<sup>57</sup>

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.<sup>58</sup>

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 O-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.<sup>59</sup>

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

56 См. [http://igs-nas.org.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&Itemid=9&lang=ru](http://igs-nas.org.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=9&lang=ru)

57 РИА Новости Украина: <http://rian.com.ua/economy/20090209/78099573.html>

58 Скачано 28 сентября 2016: <http://mignews.com.ua/regiony/lugansk/1263878.html>

59 <http://www.unian.net/society/817908-v-luganskoy-oblasti-nashli-neft.html>

разведывается скважиной №1, составляют около 500 тыс. тонн условного топлива (**такие месторождения считаются мелкими**).<sup>60</sup>

И ещё два кубика в копилку.

Наконец, канадско-польская *Serinus Energy* в феврале 2016 **списала** украинские активы<sup>61</sup>. 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 онанотехнологии. 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, 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 «кливидировал» 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 инженирингу, 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**<sup>62</sup>, переломчик

60 [http://economics.lb.ua/business/2014/02/14/255432\\_ukrgazdobicha\\_otkrila\\_neftyanoe.html](http://economics.lb.ua/business/2014/02/14/255432_ukrgazdobicha_otkrila_neftyanoe.html)

61 Заявление для инвесторов: <http://www.serinusenergy.com/>

62 Нейтрино, нейтрино. Так Айболит сказал.

залечился. Будет немножко болеть, вот таблеточки. Принимайте по мере надобности, и через недельку всё пройдёт. С вас двадцать тысяч за новый 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, 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<sup>63</sup>, 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 jedem приличном биологическом институте; некоторые производят подопытных со скоростью до 10'000 в месяц. О правильном содержании мышей специалистам-зоотехникам известно, все параметры навроде оплодотворения, сроков беременности и вскармливания – вычислены.

Сочинениями Проницательных Питомников мы пренебрежём, а вытащим описание «Вселенной-25» прямиком из статьи Кэлхуна<sup>64</sup>. 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  $16 \times 4 \times 4 = 256$  самок, и достаточно для одновременного рождения  $256 \times 15 = 3'840$  мышат.

Сразу отметим, 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

63 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.

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

мышки-мамы беременеют по очереди и помогают друг другу ухаживать за сосунками. Четыре самки на самца – явный перебор. Отчего Дж.Кэлхун 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.

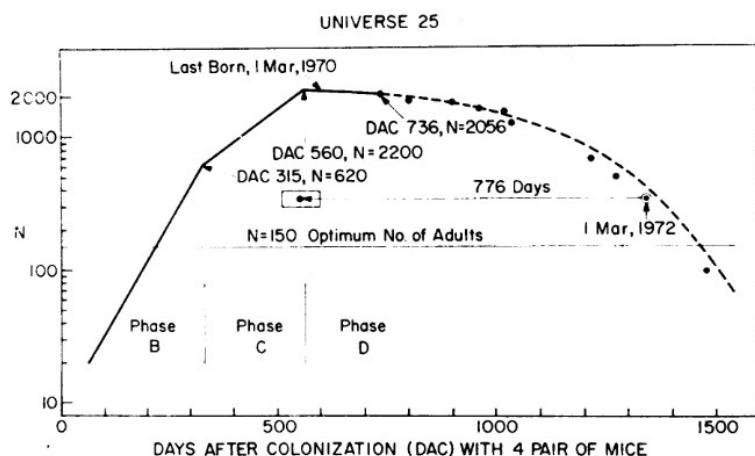
Загон убирали от мышиного помёта «каждые четыре-восемь недель» (Sic! Так в статье!) В нормальном виварии и сто лет назад за такое разгильдяйство смотрителей бы попёрли, а в 2016 году в толерантной Америке могут не только уволить, но и под суд отдать за издевательство над животными. По воспоминаниям одного из журналистов, запашок стоял такой, 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 вивариев 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; в вивариях начинают рожать на 80-90 день. Почему во «Вселенной-25» задержка два с половиной месяца? Объяснений может быть несколько: от некомфортных условий в «райо» (*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 вивариях «напряжённость» спадает через два часа после помещения самца в клетку к двум самкам? Может, «рай» не совсем райский?



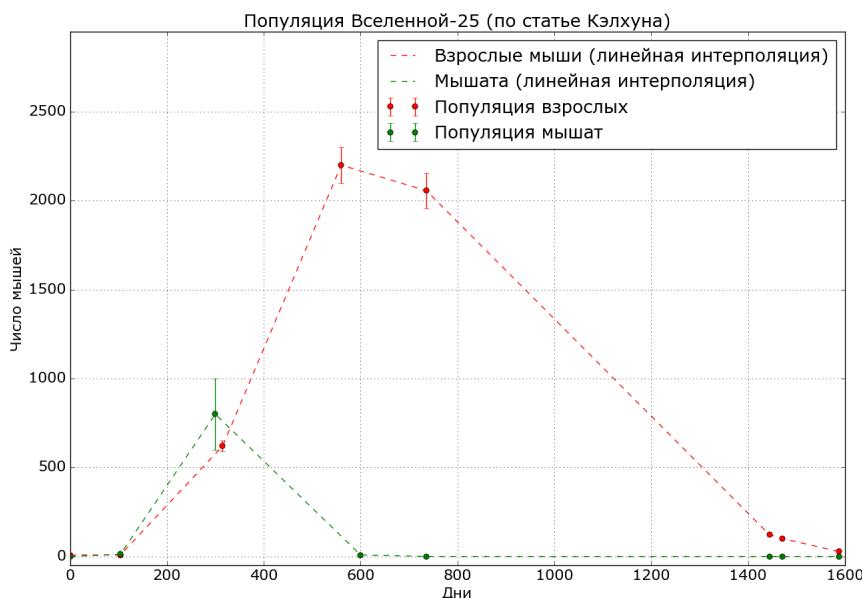
**Fig 2 History of population of mice in a closed Utopian universe.**  
*Broken line represents an estimate of numbers made about 700 days after colonization on the basis of observed mortality to that time. Observed points after Day 1000 are slightly lower than projected due to removal of about 150 mice 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 14 раз; все кроме двух первых и трёх последних – приблизительные. Даже когда на тысячный день эксперимента отбирали кандидатов ~~в космонауты~~ 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 подсчет, 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	1444	1471	1588
Число взрослых	8	8	$\approx 620$	$\approx 2200$	$\approx 2056$	122	100	27
Число мышат	0	12	$800 \pm 200$	?	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 2200 особей была замечена тенденция набиваться в гнёзда в количестве более 15, но при этом 20% гнёзд оставались неиспользованными».

Посчитаем:  $2200/(256 \times 0.8) = 10.7$ . 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 оброняли 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 дермо, 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 вивариев. 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 оброняющие 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 2200 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»<sup>65</sup>, читается «гомосексуальные», не правда ли?

На 1000 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», 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,  $\frac{3}{4}$  зверьков в популяции стало братьями и сёстрами по одной из линий. (Трансгрессирует.)

**Зоопатолог или врач (У-Янус Полуэктович Невстроев):** Ладно бы не

---

65 Несущие две одинаковые аллеи в генах. Объяснить не буду, читайте прямиком у Менделя!

считали мышек, ладно бы инфекция или инбредная депрессия. Где анализы? Где вскрытие умерших? В медицине «мёртвые служат живым», а у вас – не опыт, а пустая траты 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. Едительность 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 дертьмом. 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 опубликовал.]

**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 чем цвет.

**Проф. Мелланби:** В 1984 году Англия достигнет максимальной плотности популяции [*Профессор Мелланби Дж.Оруэлла научился! 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 мышью 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 Селвин 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 самцов, охранявших тоннели 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, «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-танацомин 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 навроде 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 траты 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 историю, как и «N-лучи Блондло», и «холодный термояд Фляйшмана», и «популяционную теорию С.П.Капицы». И только несчастные корреспонденты Г.Проницательный и Б.Питомник продолжают щёлкать вспышками и строчить в блокнотах Интернете всякую социологическую 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 откладывая 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».)

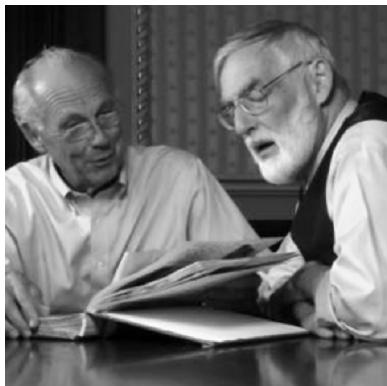
**Ф.С.Киврин:** Г-голубчик, мы изучаем на м-мышах биохимию, а не социологию. Н-надо же принять во внимание сложность человеческого поведения. В-ведь никто же не занимается, скажем, д-драконом в здании, хотя есть и огнеупоры, и... — У меня не дракон, у меня внеклассовый счастливый человек! — Г-голубчик, 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. Однако, 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, открытые 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 математика ошибочна». Если хотите критиковать математику – критикуйте математику. А по трёхколёсным я не специалист – пишите письма Санта-Клаусу.



## Глава 7. Нематериальные материалисты.

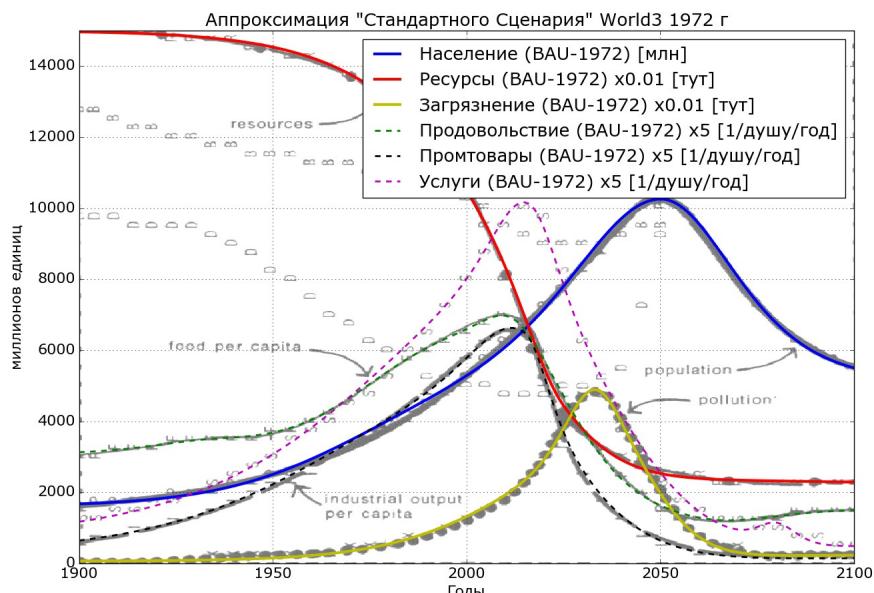
Максиму стало ясно, что проку от этой цивилизации будет немного, что это опять не то, что контакта лучше и не затевать, а надо проделать стандартные анализы, раза два облететь планету по экватору и убираться восвояси, и на Землю передать материалы серьёзным, много повидавшим дядям из Совета Галактической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

Забыть обо всём...

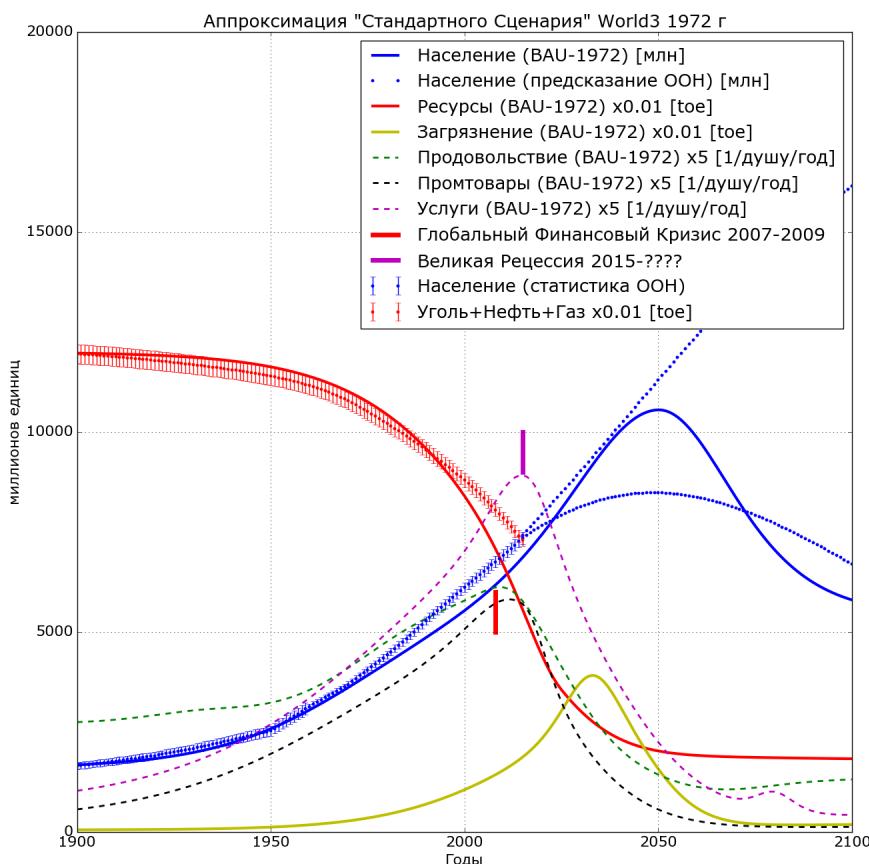
А. и Б. Стругацкие «Обитаемый остров» (вариант 1971 г.)

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:



Светло-серая картинка на заднем плане взята со страницы 124 издания 1972 года. Цветные кривые – оцифровка. Теперь картинку уберём, и поглядим, как на кривые ложатся реальные данные мировой статистики: ООН по населению и «Бритиш Петролеум» по углю, нефти и газу.



Как видим, к 2015 году население планеты (синие графики) обогнало предсказание «Пределов роста» на 300 миллионов. Невозобновимые природные ресурсы: нефть, уголь, газ – наоборот, расходуются несколько медленнее, чем предсказывала модель. Напомним, что расчёты проводились и книжка печаталась до энергетических кризисов 1973 и 1979 годов. Чтобы не загромождать график, данные по производству продовольствия будут показаны ниже, а пока обратим внимание на две вертикальные метки: декабря 2007 и июня 2015. Первая соответствует на графике пику продовольствия на душу населения, вторая – пику «услуг», в том числе финансовых. Что произошло в реальном мире, надеюсь, объяснить не надо.

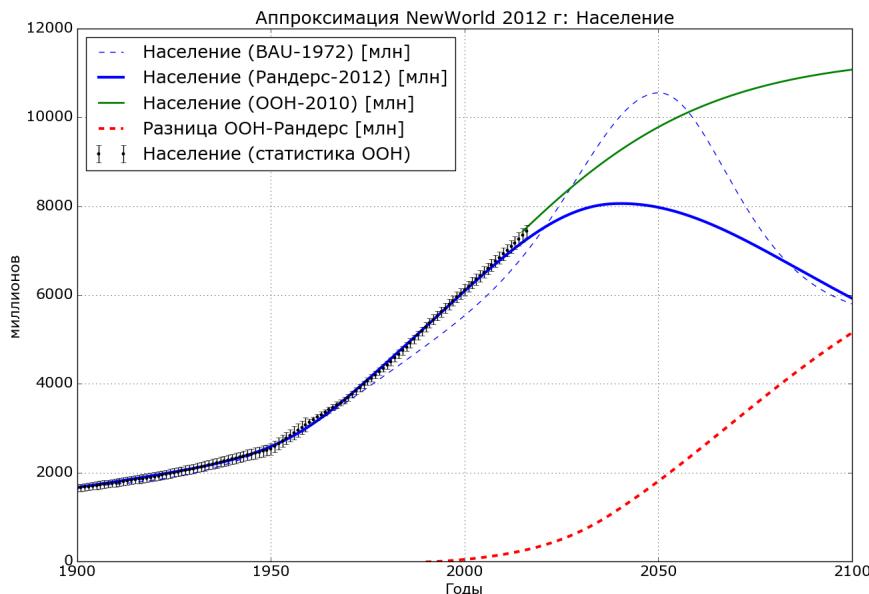
Прочитав это, магистры конспирологии всех мастей начнут говорить, что

мировая статистика подделана под книжку 1972 года<sup>66</sup>. Совершенно непонятно, зачем тогда повсеместно ругали в восьмидесятые. То, что «Пределы роста» 1972 года – хитрый заговор капиталистов против СССР – тоже не катит. Ругали-то как раз на Западе, а в Советском Союзе её 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<sup>67</sup>. 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.

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):



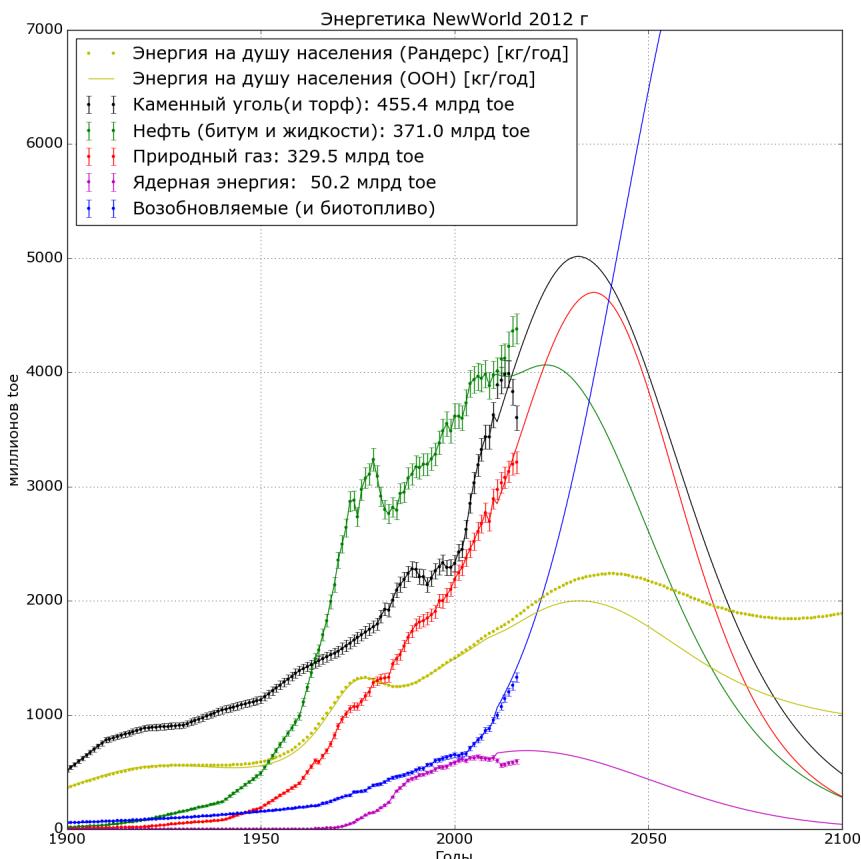
Для сравнения показан пунктиром базовый сценарий 1972 года, а зелёной линией – «наиболее вероятный» от демографов ООН. К 2050 году ООН отличается от сценария Рандерса почти на два миллиарда человек! За пять лет с момента публикации, население планеты уже обгоняет первое условие

66 Надеюсь, вы не думаете, что можно подделать 30 миллионов экземпляров книги?

67 Веб-страница на английском: <http://www.2052.info/download/>

Рандерса на 200 миллионов. 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: вывести производство концентрированной энергии из возобновляемых источников (включая биотопливо) на уровень не менее 6 млрд тонн условного топлива (ТУТ) в год. Много это или мало? Примерно в полтора раза больше, чем мы получали в 2012 из «нефти и жидкостей»<sup>68</sup> и примерно вдвое больше, чем тогда же из природного газа.



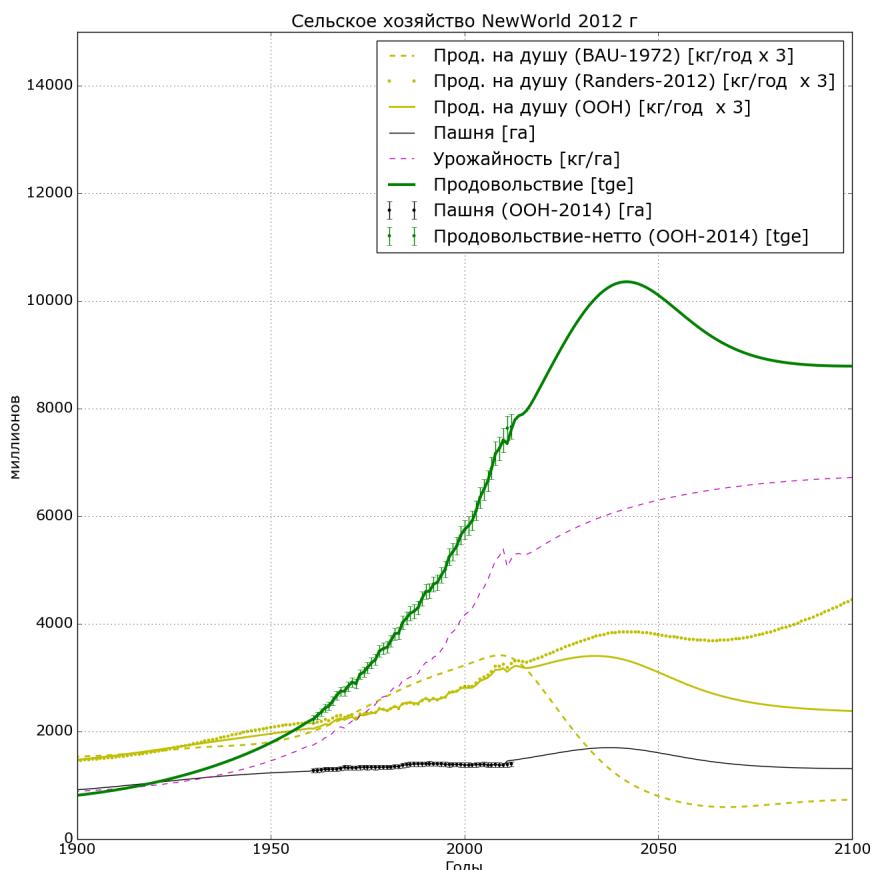
Принимая теплоту сгорания нефти за 41 ГДж/т, 6 млрд ТУТ в год – это мгновенная мощность  $41 \cdot 6 \cdot 10^9 / 365 / 86.2 \cdot 10^6 = 7.8$  ТВт, то есть на 70% больше технически-осуществимого максимума 4.6 ТВт, рассчитанного во второй главе этой книги. Например, если добывать эту энергию при помощи солнечных батарей с умопомрачительным КПД 30%, каждому жителю Земли

68 То есть включая «широкие фракции природного газа» и битум.

понадобится 18 м<sup>2</sup> панелей<sup>69</sup>, а в реальности – втройне-впятеро больше. Но даже с такой научной фантастикой, 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 «полочеке» 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. У газа надежда ещё есть, хотя слегка отстает от модели, а вот уголёк демонстрирует обратную динамику: добыча в 2013 составила 4006 млн ТУТ, а в 2016 – всего 3656. В год вместо полутора процентного прироста – трёхпроцентная убыль. Порадовали «сланцевой» нефтью США и битумом – Канада. Огорчила ядерная энергетика. Делать выводы пока рано, но концентрированная энергия нужна не сама по себе, а для продуктивности сельского хозяйства, откуда четвёртое условие:

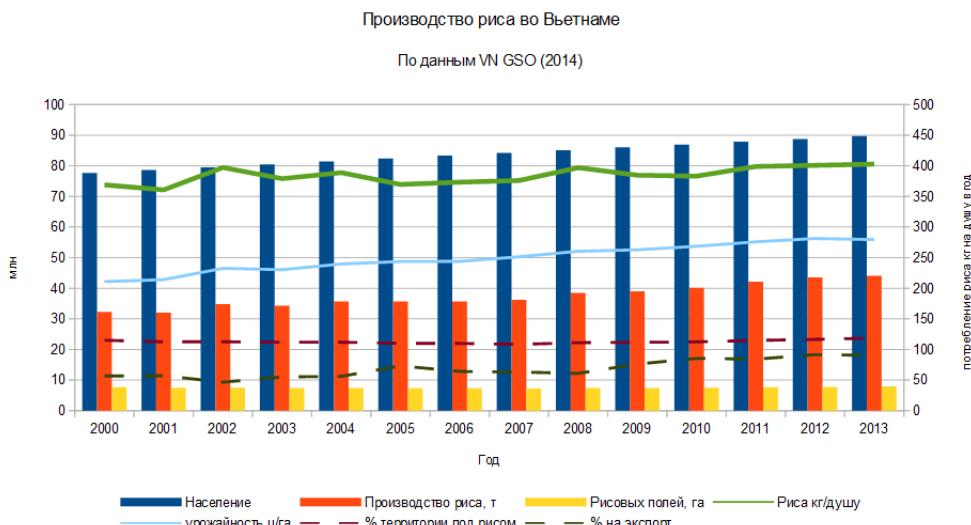
**4. К 2050 году среднемировая урожайность не менее 6.5 Тонн Условного Продовольствия (ТУП) с гектара<sup>70</sup>.**



<sup>69</sup> Во-первых, не хватит индия, галлия и теллура. Во-вторых, производство чистого кремния – бешено энергозатратный процесс. В-третьих, время жизни солнечной панели – около 25 лет.

<sup>70</sup> ООН считает по «рисовому эквиваленту», 1 кг зерновой пшеницы = 0.93 кг сырого риса.

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.

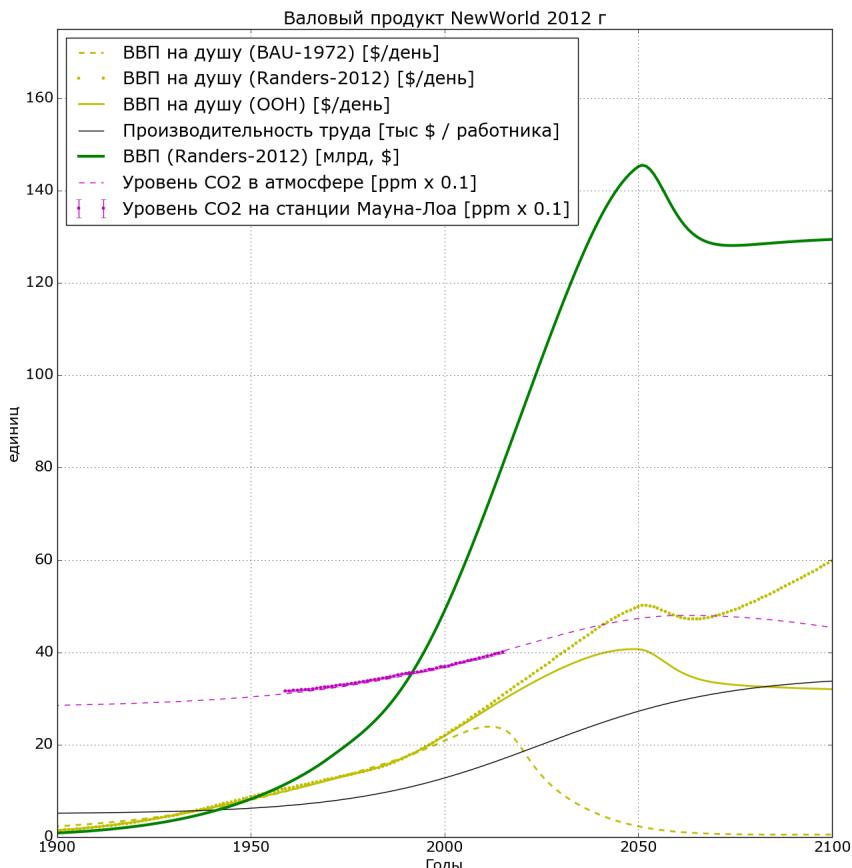


За 13 лет урожайность выросла с 42 до 55 центнеров с гектара, то есть линейно (как Мальтус и предсказывал) – по 1 ц/га за год<sup>71</sup>. Если так пойдёт и дальше, к 2050 вполне может получиться 85 ц/га, но лишь при условии использования генетически-модифицированных семян, «стального буйвола» (это 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 2/3 потенциальных сельхозугодий, и число это за 13 лет оставалось постоянным. Новой земли взять неоткуда: леса остались только в горах, а одним рисом съят 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. Сначала вьетнамцы скажут: «привет, Бангладеш», а потом и сами пояса затянут.

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

<sup>71</sup> Заметим, 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.

технологий. Помимо энергоресурсов и продовольствия, Рандерс приводит и скорректированный за инфляцию ВВП: в условных долларах США 2012 года. Здесь вам и увеличение производительности труда в семь раз по сравнению с 1900 годом, и продуктивность около \$50 ВВП в среднем на работника в сутки.



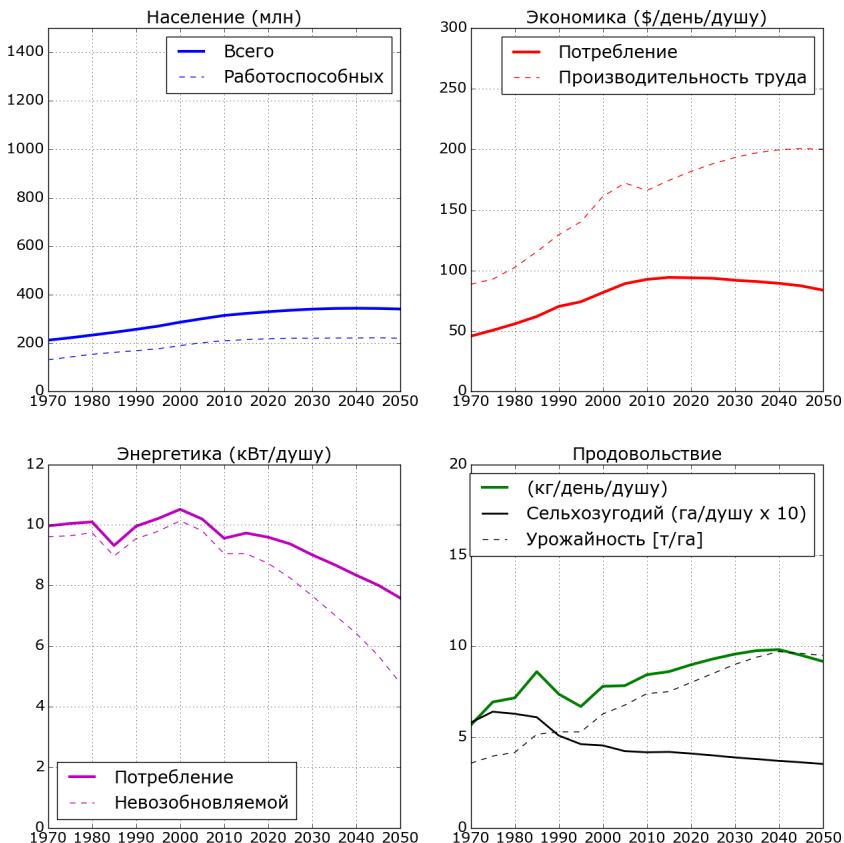
Отдельной строкой идут климатические прогнозы: в 2050 концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере 490 частей на миллион (объёмных), температура на  $2^\circ$  выше базовой 1900 года, а уровень океана повысится не более чем на 0.8 метра, а скорее всего на 0.4. Подробно останавливаться не будем.

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 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:

Соединённые Штаты (предсказание NewWorld 2012 г.)



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<sup>72</sup>. Потребление на уровне \$90 в день<sup>73</sup>. 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.

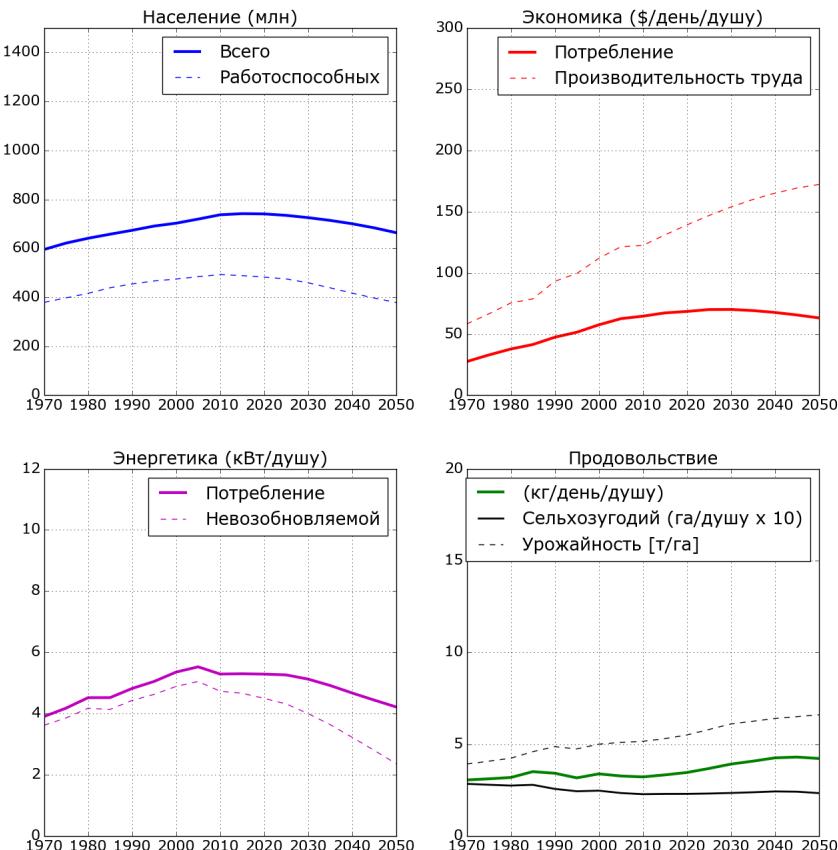
Несколько хуже держатся 34 развитые страны Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР или OECD). Я специально оставил вертикальный масштаб. Суммарное население ОЭСР по мнению Рандерса должно пройти пик 735 млн в 2025 году. Потребление энергии снизится с сегодняшних 5.5 кВт до 4.1. Продовольствия тоже вдвое меньше, чем в США:

72 Напомним, что килограмм условного «мяса» равен 6 кг условного продовольствия, а хроническое недоедание начинается с уровня 1.5 кг условного продовольствия в сутки.

73 Все доллары в модели скорректированы за инфляцию и приводятся к уровню 2012 года.

менее 5 условных кг в сутки. Ну и уровень благосостояния на 2/3 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.

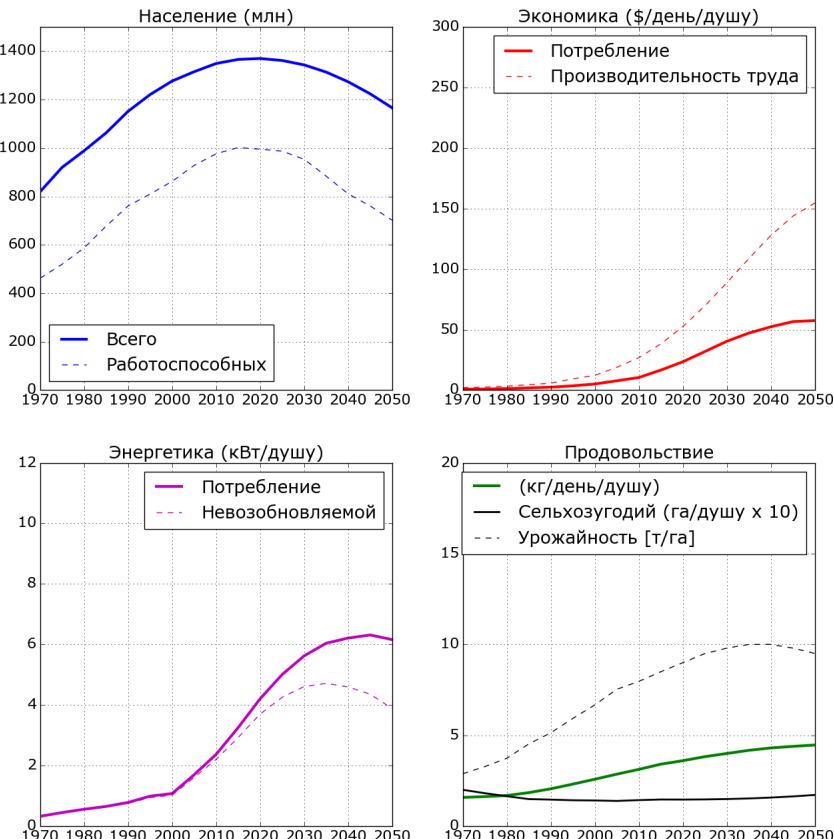
Население Китая должно пройти пик 1.37 млрд человек в 2020 году, а к 2050 – снизится до 1.17 млрд. Этому миллиарду, по мнению Рандерса, родное правительство к 2040 году обеспечит уровень жизни, сравнимый с европейским: потребление по \$55 в день, 6 кВт энергии (около 25% из возобновляемых источников), 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<sup>74</sup>. Напомню «оценку Джевонса» из 3 главы: на веганской диете, 10 соток

<sup>74</sup> 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

– абсолютный минимум. Рандерс считает, урожайность в Китае образца 2040 года будет не меньше 100 ц/га.

Итак, к «золотому миллиарду» ОЭСР добавился «стальной миллиард» китайцев:

КНР (предсказание NewWorld 2012 г)



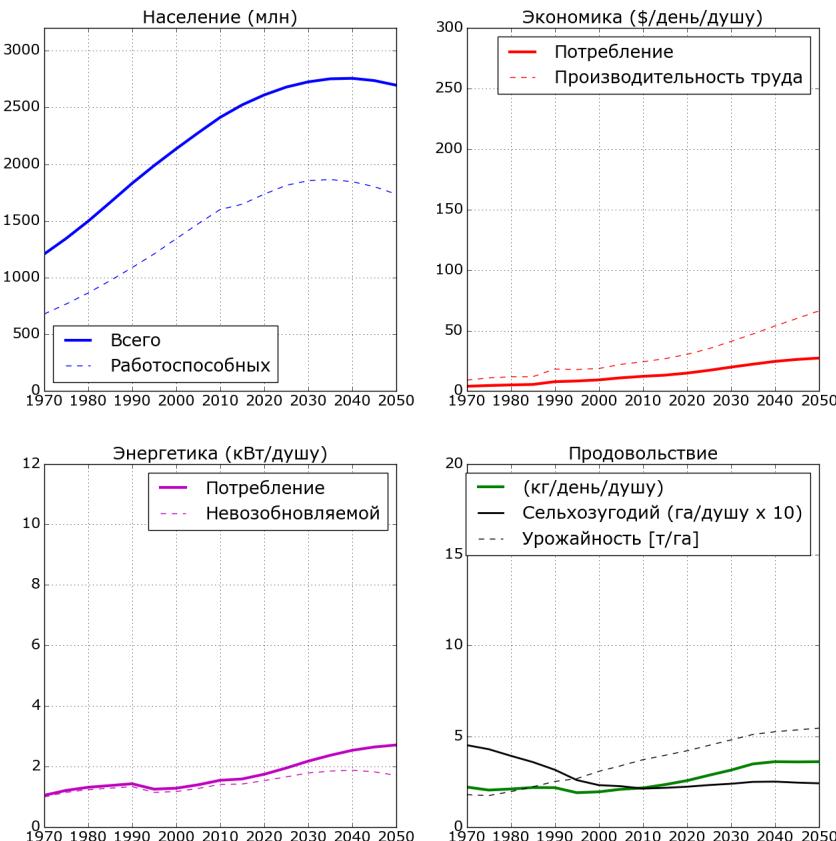
Третью группу Рандерс обозвал «BRISE»: Бразилия, Россия, Индия и «сильные экономики»: от Аргентины до ЮАР. Честно говоря, я в такую «статистику» не верю, и уж никак не отношу Индию к «сильным экономикам». Скорее, это «экономика, подвязанная шпагатом»: инфраструктура разваливается, а у 570 миллионов населения нет доступа к чистой воде и, 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

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».

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.

BRISE (предсказание NewWorld 2012 г.)

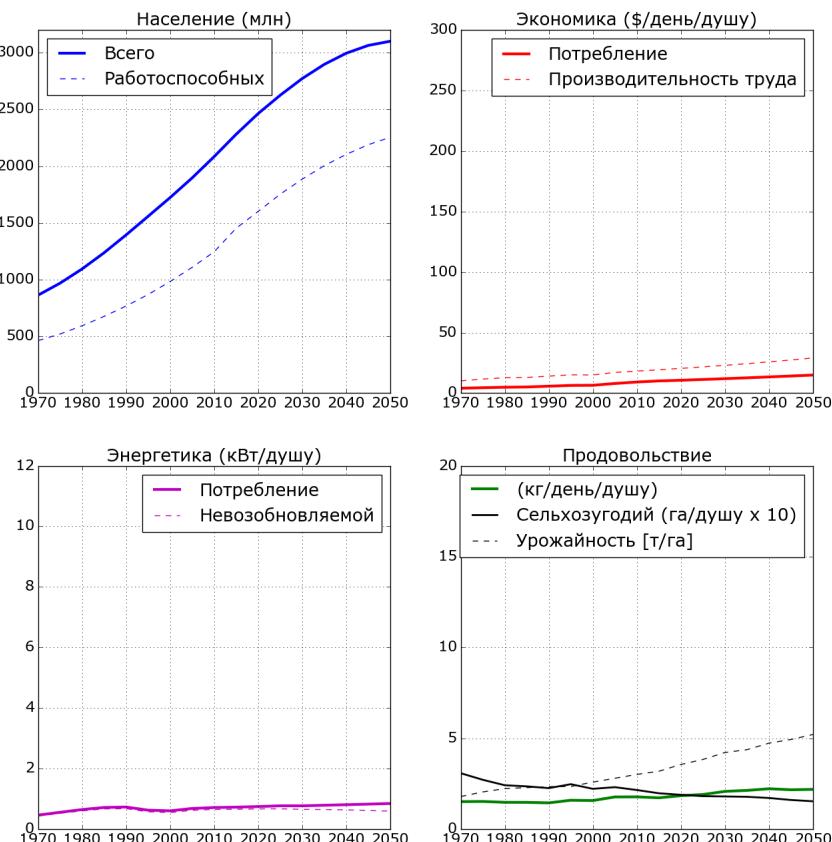


Наконец, сухой остаток, называемый ROW: Rest of the World или попросту «остальные». Заметим, как грациозно автор обошёл понятие «развивающиеся страны». Действительно, в его модели «развиваются» только Китай и BRISE. Страны «экономического сотрудничества и развития» в лучшем случае цепляются зубами и 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 (то есть реально несколько миллионов долларовых миллионеров, остальным доллар в день и банан), менее 1 кВт энергии – практически только на обогрев и приготовление пищи, 2.1 кг средне-условной брюквы. 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.

Остальные страны (предсказание NewWorld 2012 г)



В целом, даже для «трёх навозных миллиардов» прогноз до 2050 не такой уж сурвый. 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 связанным 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 правительства потребуются усилия не меньшие, чем во времена принудительного развертывания военной промышленности в годы Второй Мировой, или Плана Маршала – 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 вызывает 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 прессы 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. Однако, мы пашем дальше[...]

А вот как высказалась по поводу базовой модели Рандерса известная пессимистка Гайл Тверберг<sup>75</sup>. 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 Дорорес «Доли» Гарсия<sup>76</sup>, можно прикинуть предположения, принятые автором. Существует также веб-сайт ([www.2052.info](http://www.2052.info)), где Рандерс выложил результаты численной модели в виде таблиц. Можно заключить, автором выдвинуто

75 Скачано 20 декабря 2016 с её блога: <https://ourfiniteworld.com/2013/09/25/why-i-dont-believe-randers-limits-to-growth-forecast-to-2052/>

76 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.]

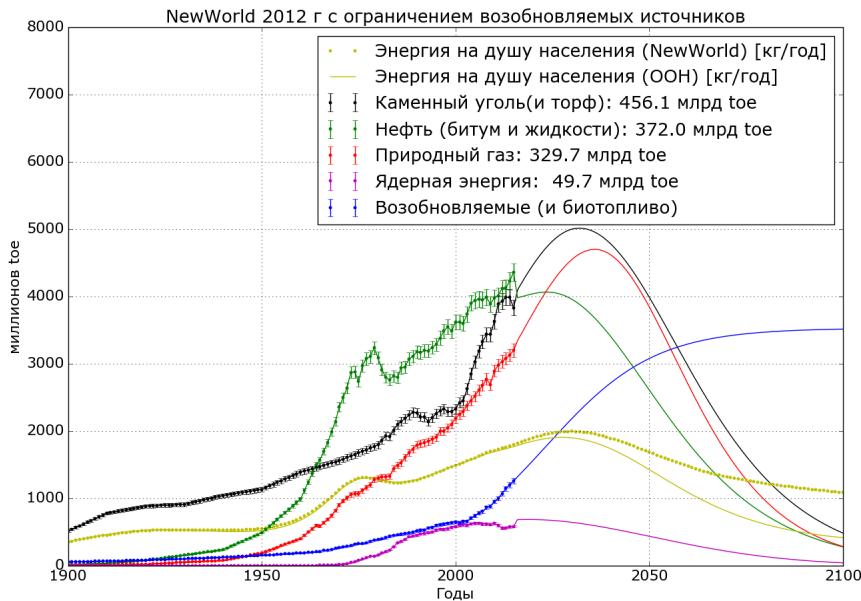
Третья причина, отчего я не верю в прогноз NewWorld, – отсутствие в модели факторов эскалации. Разберём на примере истощения нефтяных месторождений Египта, Сирии или Йемена. Каждая из этих стран какое-то время была экспортёром нефти. Когда месторождения были выработаны, обнаружилось, что население выросло 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, с недоумением отношусь к заведомому отрицанию более «жёсткого» поведения функций.

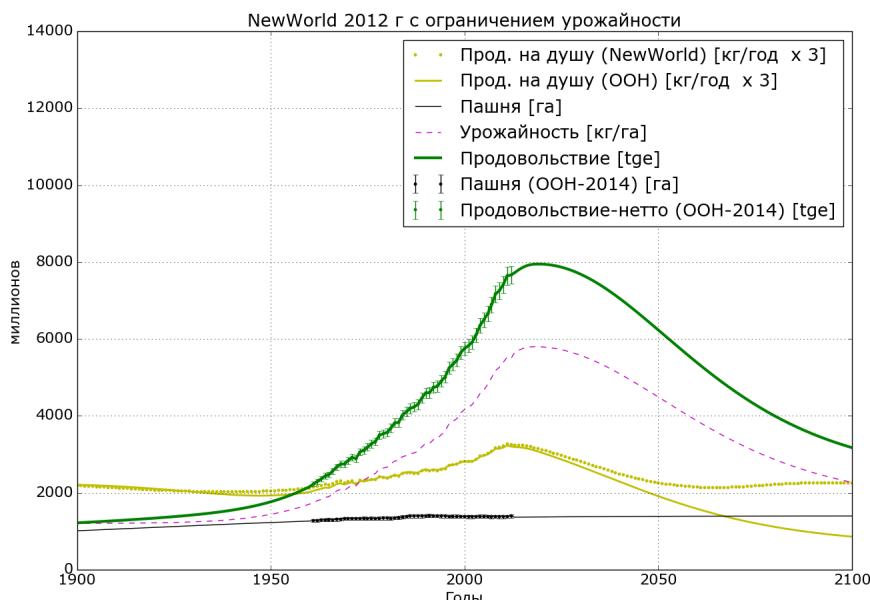
Я тоже предсказаниям из книги «2052» не сильно верю, но раз Йорген Рандерс выдал нам свой *NewWorld* в «Экселе» – грех не воспользоваться, тем более я уже семь глав убеждаю читателей установить себе «Питон» и проверить мои вычисления собственноручно!

Оставив пока без изменений предположения 1, 3 и 4 (о населении, производстве ископаемого топлива и урожайности), изменим кривую ввода в строй возобновляемой энергетики. Наша кривая тоже оптимистична: троекратный рост с 2015 по 2055 годы с выходом на технологическую «полочку» 4.6 ТВт, как показано во второй главе. Безудержная синяя экспонента из книги Рандерса превращается в куда более реалистичную сигмоиду.

Что наблюдаем? Потребление энергии «высокой концентрации» на душу населения в год достигает максимума 2000 кг условного топлива. Это 2.6 кВт мгновенной мощности, то есть меньше, чем в Китае образца 2016 года и на 10% меньше, чем насчитал Рандерс в 2012. Однако, у Рандерса в модели потребление после 2030 остаётся примерно на уровне 2000 кг/год, а в модифицированной модели – снижается за 70 лет до 1000. 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 в 2100 году, на душу выходит меньше, чем в среднем по планете к 1900.



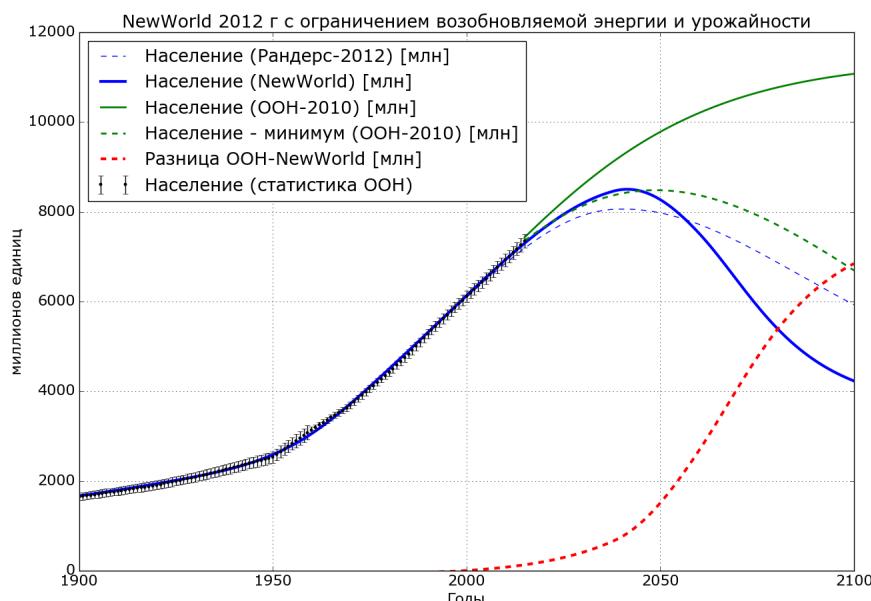
Вторая часть Марлезонского балета! Ежели энергии высокой концентрации на душу как в далёком 1970, урожайность сельского хозяйства не может быть как в 2020. Оптимистично предположим выход на «полочку» 60 ц/га к 2020, а затем очень-очень плавный спуск. Кстати, у Рандерса 60 ц/га достигается лишь в 2038.



Выработка продовольствия на душу населения выйдет к 2050 на уровень 1900 года, да там и останется. Если же принять «среднюю» модель населения ООН, к 2100 на душу будет не более 2.2 кг условной пищи в сутки, то есть уровень

голодного 1800 года. Здравствуй, дедушка Мальтус!

Естественно, это означает, что «средний» сценарий ООН реализоваться не может, а вероятно получится вариант «меньше меньшего» как показано на картинке. Наша модифицированная модель к 2100 проходит на 2.5 млрд человек ниже «минимального» сценария ООН и на 1.8 млрд ниже модели Рандерса 2012 года. Разница со «средней» моделью ООН – около 7 млрд.



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**»<sup>77</sup>. Ниже показано, как живут в Маниле. Кстати, район на снимке официально «трущобами» не считается. Тут проживают «люди среднего достатка» – по филиппинским меркам, естественно<sup>78</sup>.
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<sup>79</sup>.

<sup>77</sup> Понимающие в английский – смотрите: <https://www.youtube.com/watch?v=73X8R9NrX3w>

<sup>78</sup> «Трущобы», по определению местных бюрократов, – незаконный землеотвод. А тут улицы имеют названия, дома – номера, вполне легально проведено электричество, телефон, Интернет. Есть водопровод по норме «одна водоразборная колонка на 175 человек» (вода платная, у колонок сидят яденыки). Мусор перерабатывается на месте, канализация и «ливнёвка» отсутствуют как класс, ибо выдумка зажравшихся капиталистов. Но жить можно.

<sup>79</sup> Знаю, что арифметика не работает, но так в книге. Вероятно, опечатка.



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.

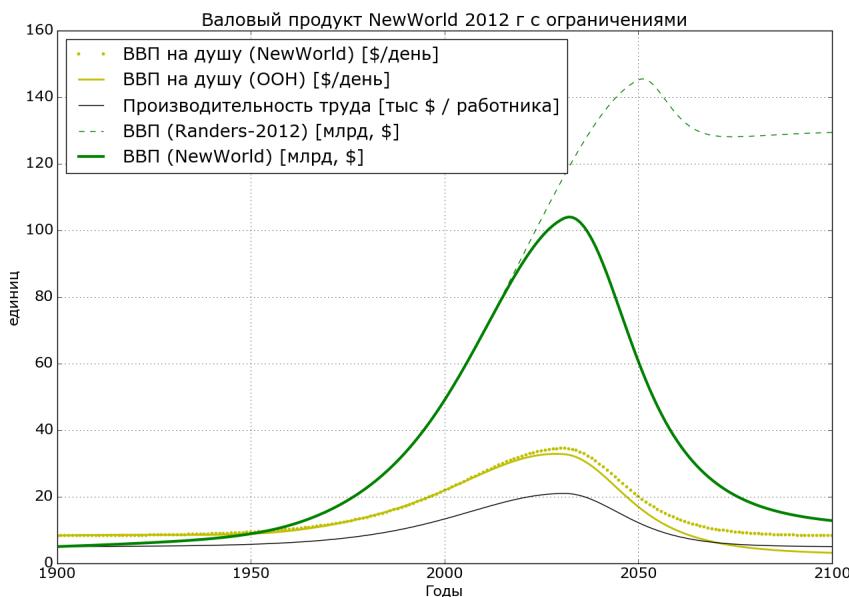
1. Компании добывают нефть, газ, уголь. Начинает не хватать – пробуют разные заменители, в том числе, возобновляемые источники. Но есть физический предел, который мы обсуждали во второй главе.
2. От недостатка энергии высокой концентрации падает урожайность в сельском хозяйстве. Народ пытается бороться, отжимая «лишнее» сельское население в города. Недостаток продовольствия приводит к (чаще сознательному) снижению рождаемости и (чаще случайному) 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.

Не знаю как вам, а мне второе объяснение кажется материалистическим, а первое – идеализмом. Нет сомнения, **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. Однако, именно в «странах ROW» 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. Пик у нас не в 2050, а в 2040 году, а далее ВВП на душу населения плавно спускается к уровню 1900 года.



Вне всякого сомнения, журналисты и политики станут объяснять локальные малайзийские катастрофы классическими «напастями»: недостатком чистой воды, голodom, ухудшением экологической ситуации, гражданским неповиновением, преступностью, войнами. Примутся искать крайнего, например злых франкмасонов в Европе или злых белых колонизаторов в Африке.

Заметим сразу, приведённый расчёт требует 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 сильно 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 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.
- 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 4-5 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 пролетариев), 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 достигнет 9.5 млрд человек. Вероятно, в следующие 20-30 лет население слегка превысит «минимальную» модель ООН. Существенным фактором ограничения популяции в беднейших странах с населением около 2.5 млрд человек будет **голод**.



## 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 сожжем.

— 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). 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 добрести 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,  $\varphi_e=0.100$  означает, что в кубометре породы ровно 100 литров соединённых пор<sup>80</sup>. 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  $K_w$ , но мы будем использовать международное обозначение  $S_w$ . Если  $S_w$  равно 0.300, то при пористости 0.100 в кубометре породы  $(1-0.3)\times 0.1\times 1'000=70$  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**  $S_{wirr}$  ( $K_{wo}$ ). 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**,  $S_{or}$  ( $K_{no}$ )<sup>81</sup>.

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<sup>82</sup>.

Если  $S_{or}=0.400$ , то всего можно извлечь  $(1-0.3-0.4)\times 0.1\times 1'000=30$  литров нефти. Это – **технически извлекаемые запасы**. Отношение технически-извлекаемых и геологических называется **техническим коэффициентом извлечения нефти**, КИН<sub>т</sub>. В нашем примере КИН<sub>т</sub> = 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). Естественно, геологические запасы<sup>83</sup>, технически-извлекаемые запасы и КИН<sub>т</sub> выражаются формулами:

80 Есть ещё не соединённые поры (ваги), но они роли не играют.

81 Для газа условно считается, что остаточные объёмы определяются атмосферным давлением.

82 Есть ещё формулы для газа и газового конденсата, но мы загромождать книгу не будем. Желающие могут обратиться к специальной литературе.

83 Геологические запасы ещё называют STOIP (Stock Tank Oil In-Place)

$$UR = \frac{V \cdot \varphi \cdot (1 - S_w)}{B_o} \quad \text{– геологические запасы (ultimate reserves)}$$

$$URR = \frac{V \cdot \varphi \cdot (1 - S_w - S_{or})}{B_o} \quad \text{– технически-извлекаемые (ultimate recoverable)}$$

$$КИН_T = \frac{URR}{UR} = \max(0, 1 - \frac{S_{or}}{1 - S_w}) \quad \{8.1\}$$

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  $500 \times 500$  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:  $500 \times 500 \times 10 \times 30 = 75$  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-лимина 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, залежь находится не в Юте, а на *планете Шелезяка*<sup>TM</sup> 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 Мальчишку*<sup>TM</sup> 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 насолько 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<sup>84</sup>.

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<sup>85</sup> 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

<sup>84</sup> Надо ли объяснять, что доставка энергетических полезных ископаемых на Землю из космоса имеет смысл лишь для какого-нибудь трития?

<sup>85</sup> M.K.Hubbert. Существует русское написание «Хубберт». С точки зрения произношения и стандартной транслитерации – это неверно. Тогда английская фамилия писалась бы «Hoobbert».

физически не может.

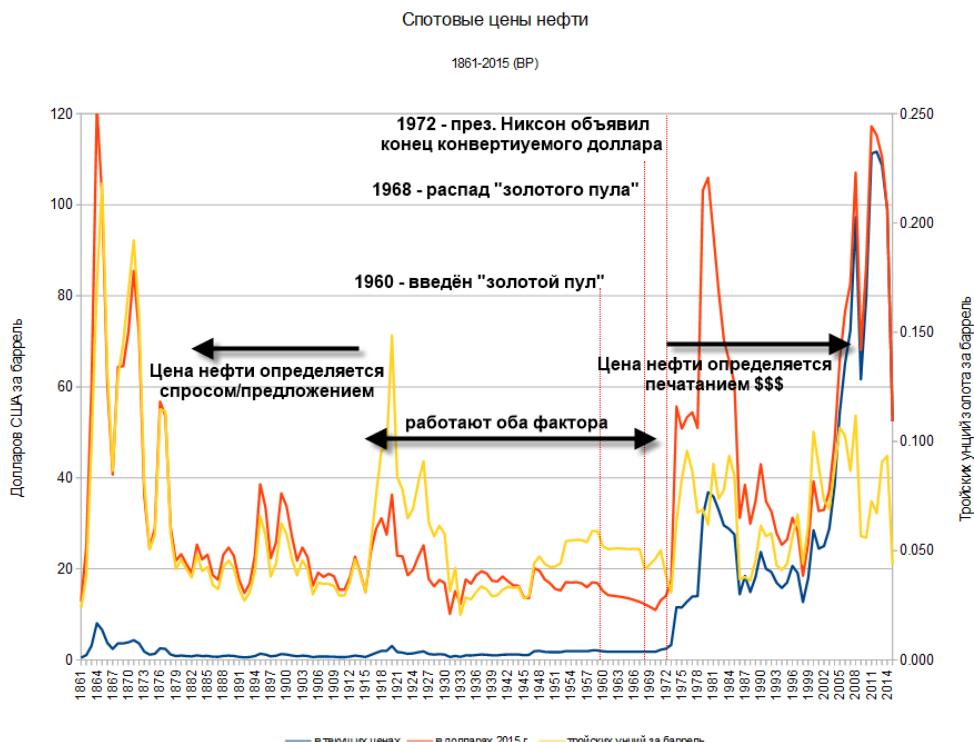
Отсюда следует очевидный математический вывод для максимальных извлекаемых запасов (UUR):

$$URR = Q_{\infty} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial Q}{\partial t} dt \quad - \text{ограничен} \quad \{8.2\}$$

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.

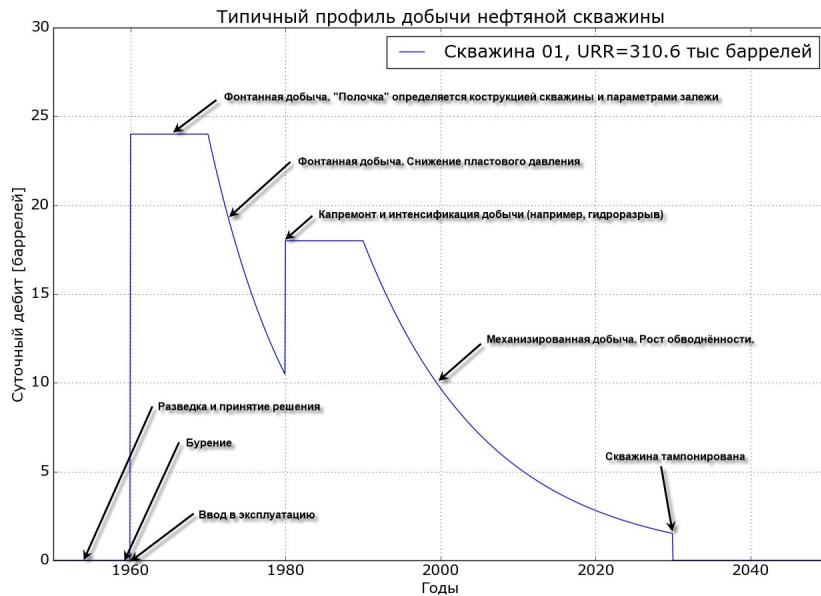
Всё выше сказанное не относится к сфере финансов. После того, как бумажные деньги оторвались от золотого эквивалента, бумажек можно напечатать очень много. А теперь ассигнации заменили электронными импульсами в памяти компьютера – и любая бесконечность стала доступна. Ниже приведена цена нефти на спотовом 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<sup>86</sup>. 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 вверх, «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

86 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 были 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 ограничена 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 расчёт получать по пол-ляма в год уже накрылся, однако и \$440 тыс в год – 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, однако) бодрый пятидесятилетний Джо Смит из накопленных денег проводит гидроразрывы 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 КИН =  $310/1'100 = 0.28$ , а не 0.43, как считали выше. Чистая прибыль за 70 лет – \$13 млн. Что можно сделать, чтобы повысить КИН? 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 старику оставил три «стриппера» посреди кукурузного поля, доход в \$65 тыс годовых и расписку, что сынок приведёт природу в порядок. В плотную заняться сельским хозяйством семействе 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 пол-лимона баксов). Заметим, что в маленькой залежи ( $500 \times 500$  м) две жадные соседки отобрали у первой скважины около 150 тыс баррелей суммарной добычи.



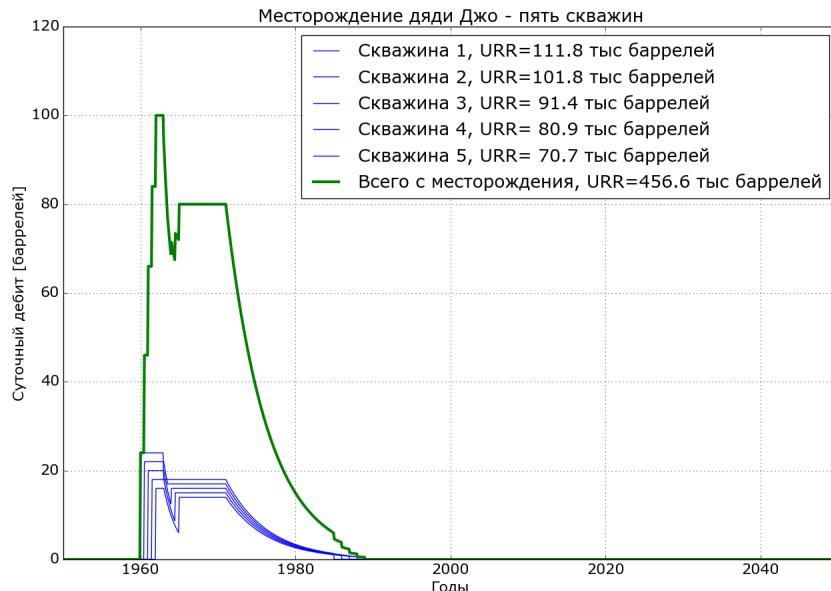
На две лишние скважины и дополнительное оборудование потрачено ещё три миллиона. Общая добыча составила 440 тыс баррелей, реальный КИН =  $440/1100 = 0.40$ . Чистая прибыль за 50 лет – \$15.7 млн, то есть деньги потрачены не зря! Опять-таки, зелёнькая кривая добычи асимметрична, но удовлетворяет условиям 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 =  $457/1'100 = 0.42$  – выше головы (КИН<sub>т</sub>) 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<sup>87</sup>.



Давайте поглядим, что получится, если применить «новейшие» технологии<sup>88</sup>. Программа \Chapter 08\Test\_04\_Well.py

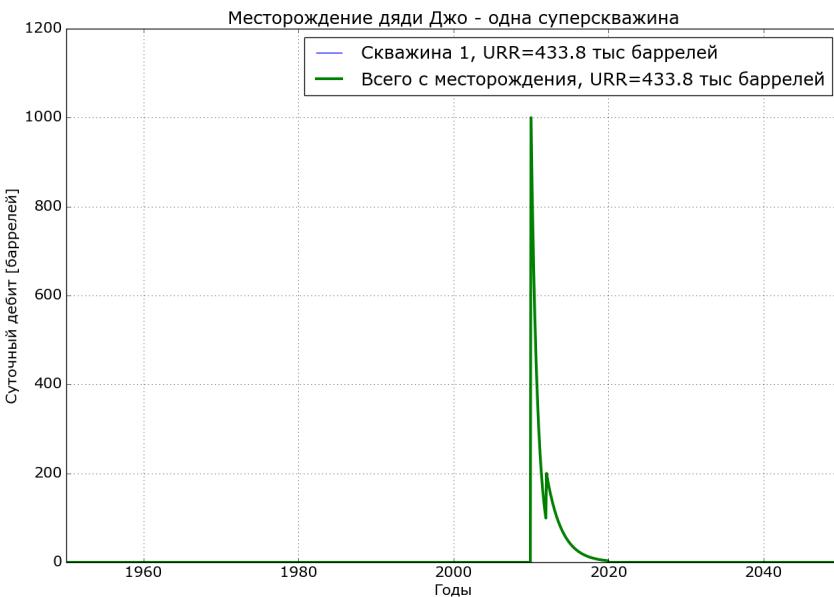
Горизонтальная скважина пронзает нашу залежь из конца в конец, немедленно после спуска колонны выполняется 10-стадийный гидроразрыв, то есть наша единственная скважина эквивалентна как минимум сорока «классическим» скважинам Джо Смита из 1960 года, а начальный дебит – 1000 баррелей в сутки. На дебите 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 раз больше **по линейным размерам**.

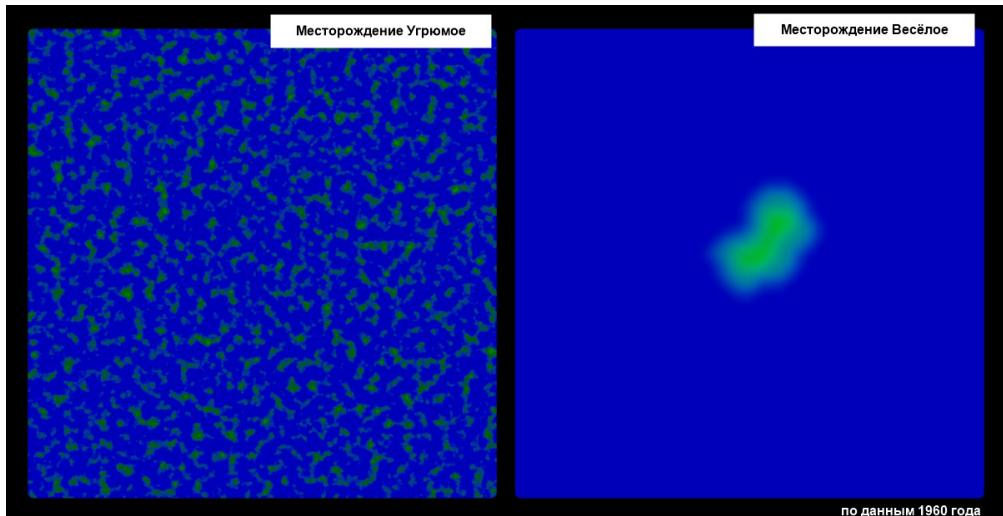
87 Стоимость колонны пропорциональна длине скважины, а не вертикальной глубине. В вертикальной скважине делают один гидроразрыв, а в горизонтальных – несколько (так называемых стадий). Экономится несколько часов «постановки на скважину», а рабочее время на каждую «стадию» и химикаты – те же, что и для одиночного разрыва вертикальной скважины. И вообще, одна технически сложная горизонтальная скважина неизбежно дешевле нескольких простых вертикальных с тем же суммарным дебитом.

88 Ниже будет показано, «новейшие» они условно. Гидроразрыв известен Прогрессивному Человечеству с середины XIX века.



Итак, месторождение Весёлое состоит из одной залежи размерами примерно  $5000 \times 5000$  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.  $5000 \times 5000 \times 100 \times 0.2 \times (1 - 0.3) = 350$  млн кубометров, или 2.20 млрд баррелей.
- Технически-извлекаемые запасы.  $5000 \times 5000 \times 100 \times 0.2 \times (1 - 0.3 - 0.3) = 200$  млн кубометров, или 1.25 млрд баррелей.
- Предельный КИН<sub>т</sub> =  $200/350 = 57\%$



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  $250 \times 250$  км. Геологические запасы Угрюмого даже выше, чем у Весёлого: 2.90 млрд баррелей. Это оттого, что КИН<sub>т</sub> 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  $T$ , валим конечное число сосен  $C$  и строим ненулевую избушку  $I$ .

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, чтобы повалить вторую сосну. Ещё, надо доставить бревна к месту строительства. При том же количестве пряморуких мускулистых сапиенсов, за время  $T$  повалить  $C$  не удастся. Ненулевая избушка  $I$  – таки получится, но после огромных усилий, и покрыв лесоповалкой 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... ну, ты понел. Тяжело в ученье – легко в бою, короче. Но это в армии. Математик подсчитает, что та же бригада пряморуких прямоходящих будет строить избушку ну очень долго. Чтоб получить ненулевую  $I$  за приемлемое  $T$ , 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.

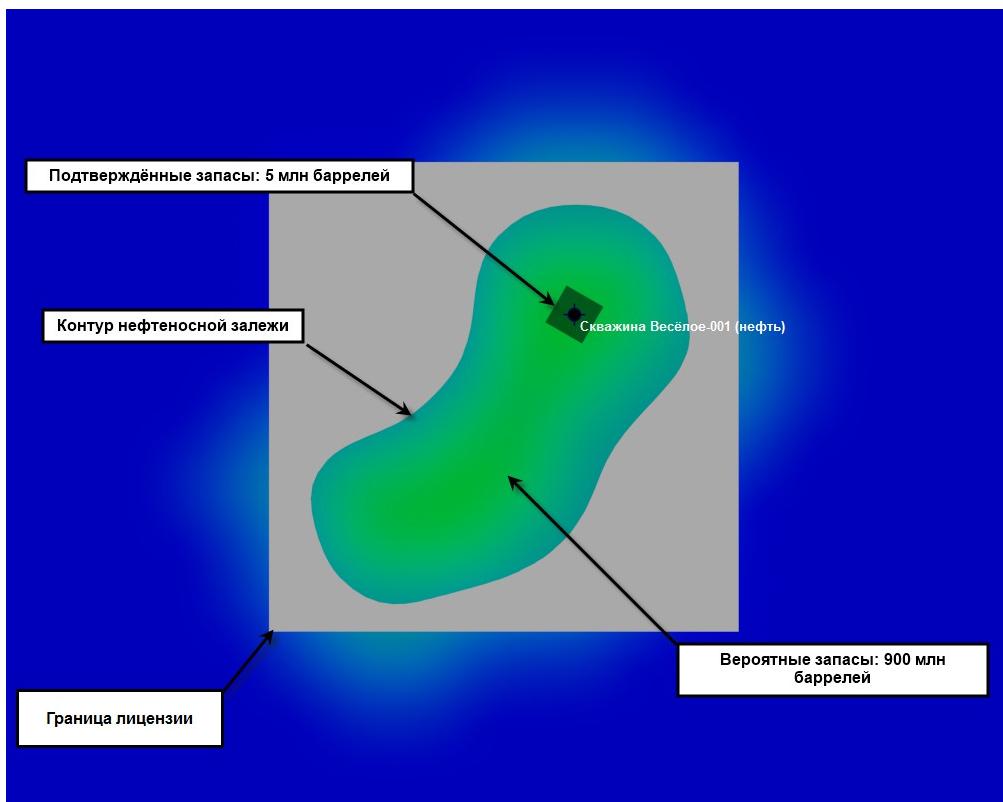
Если и Весёлое, и Угрюмое находятся в Юте, решение однозначно: Весёлое разрабатывается первым! Если Угрюмое в Юте, а Весёлое – в Тихом океане, Угрюмое опередит наверняка. А если Угрюмое в Юте, а Весёлое – на Аляске, возможны варианты.

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 ложам 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.

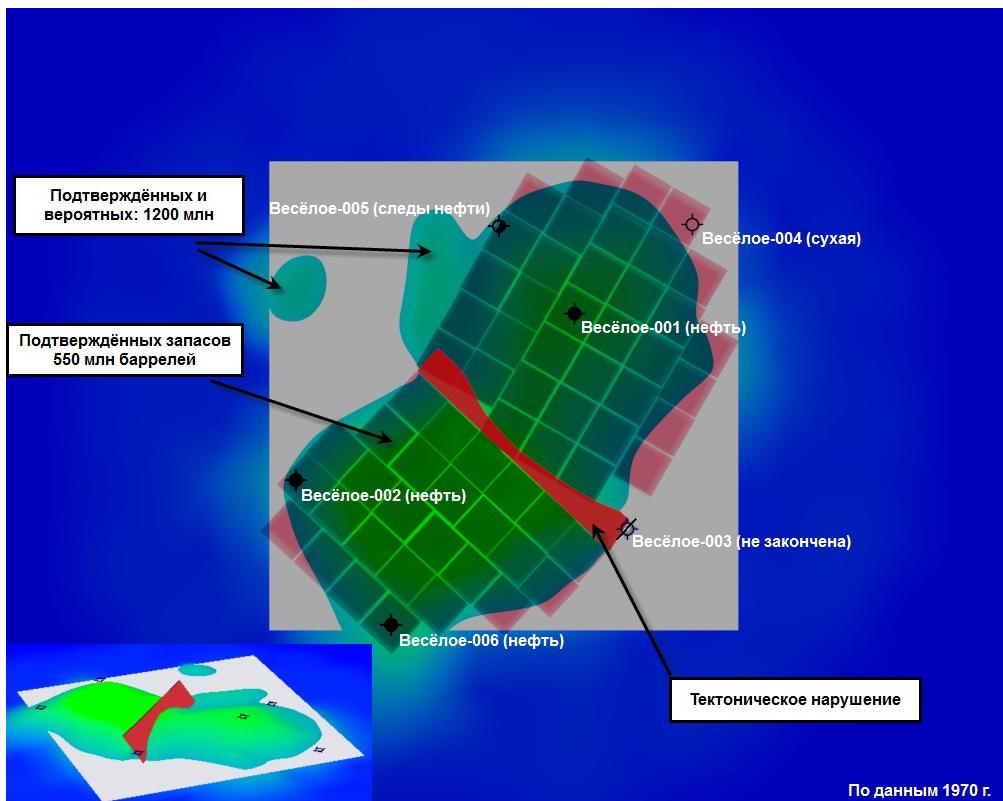


Но мы с нашим примером пока останемся на Аляске 1960-х годов. Помимо

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. Вероятные извлекаемые запасы: 900 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 planktona хватает, мало настоящих инженеров. За регулярное всовывание шеи в петлю – платят неплохие деньги!

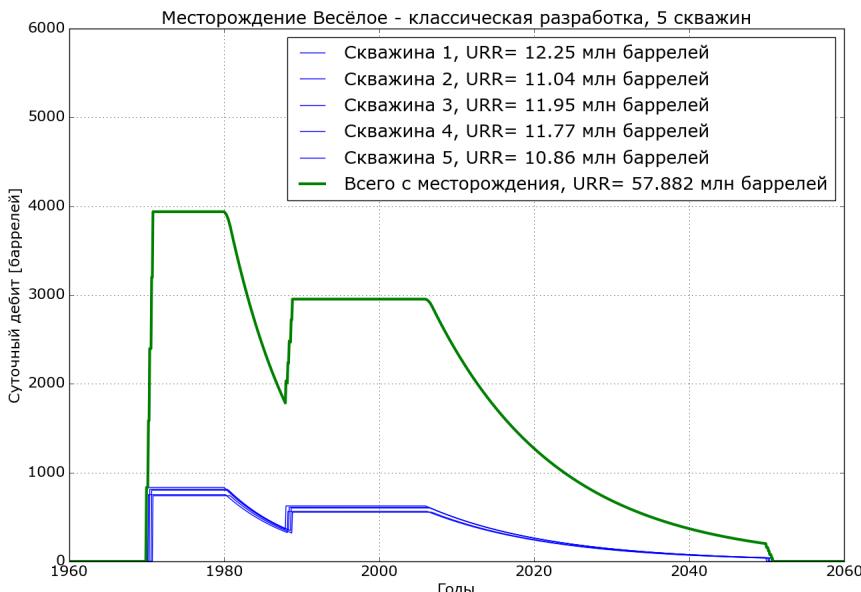


Однако, время движется. В 1966-1967, Компания *Весёлая Нефть* подтаскивает к месторождению пару разведочных буровых и бурит ещё пять скважин **оконтуривания**, с опробованиями. Скважина номер 004 попадает в воду, на 005 – лишь следы нефти. Скважину 003 вообще не добурили из-за аварии, зато она обнаружила тектоническое нарушение – разлом, позже интерпретированный по сейсмике. Вероятные запасы подтверждаются – хотя и несколько не так, как представлено на картах 1960.

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.

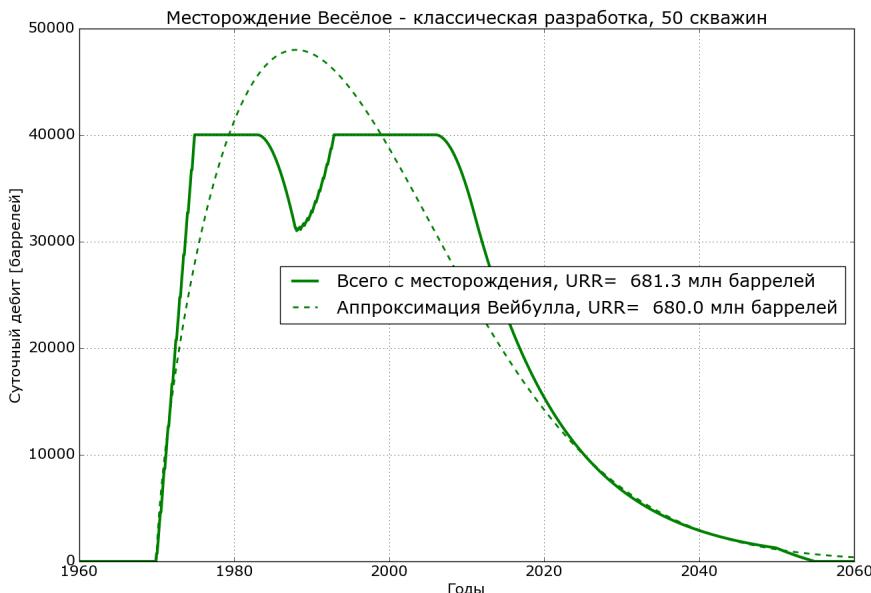
А сколько нужно скважин? В классической нефтянке используется понятие выработки ресурса. Всё крупное оборудование: обсадные колонны, задвижки, сепараторы, и так далее, имеют характерную продолжительность жизни 40 лет<sup>89</sup>. Именно на это время и рассчитывают в среднем «полочку» добычи месторождения. 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  $\approx 57.9/1800 \approx 3\%$ . Слишком много нефти остаётся в земле!



<sup>89</sup> Если хотите, можно использовать мировую константу 42, рассчитанную вице-президентом РАН 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  $\approx 680/1800 \approx 38\%$ . 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: ваши 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:

$$Weib(t) = \begin{cases} bk(b(t-t_o))^{k-1} e^{-(b(t-t_o))^k} & t-t_o \geq 0 \\ 0 & t-t_o < 0 \end{cases} \quad \{8.3\}$$

Здесь:

$t$  – время в годах,

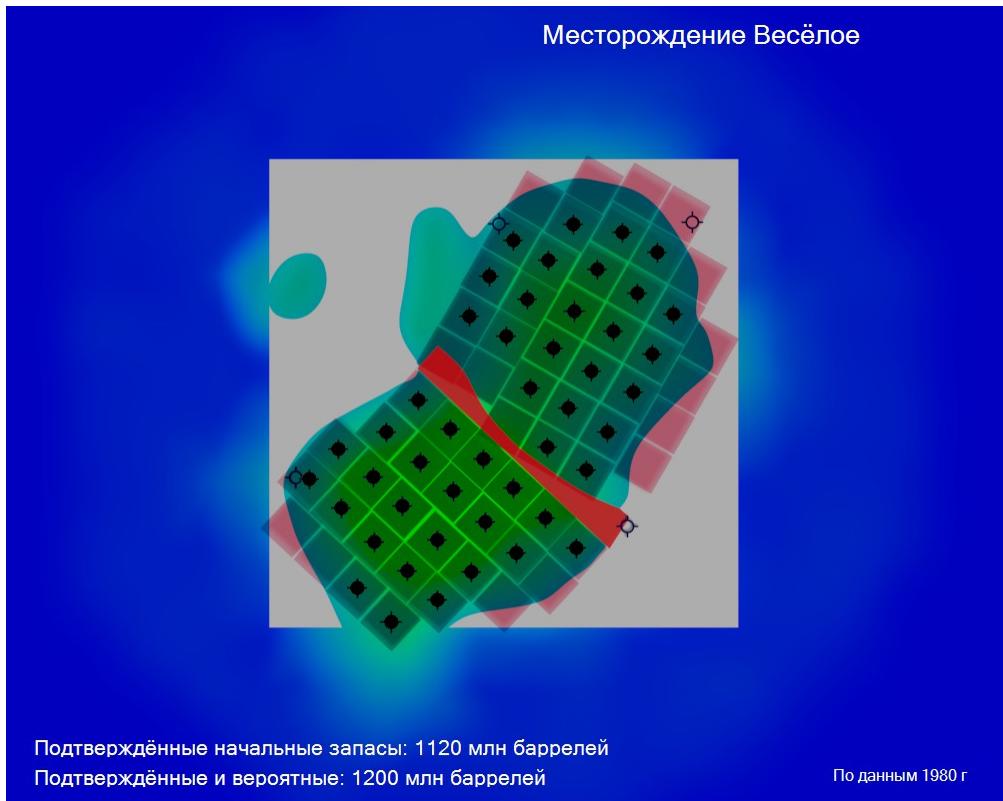
$t_0$  – начало промыслового бурения,

$k$  – 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 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.

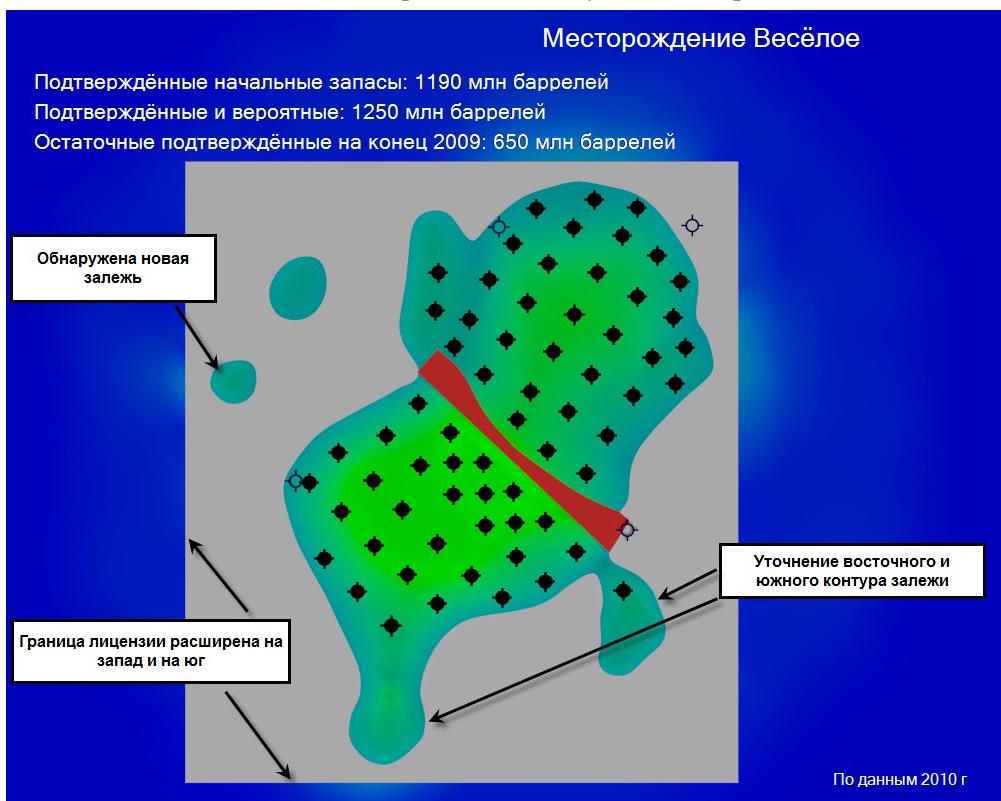
Каковы трудозатраты на разработку месторождения? Пятьдесят скважин за пять лет можно сделать двумя арктическими буровыми. Четыре вахтовые буровые бригады по сто человек, плюс всякие прочие подрядчики-дорожники и трубопроводчики. Пусть в долларах 2015 года одна скважина стоит те же 10 миллионов, отстегнув 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* отбывает 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, добывающих 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.

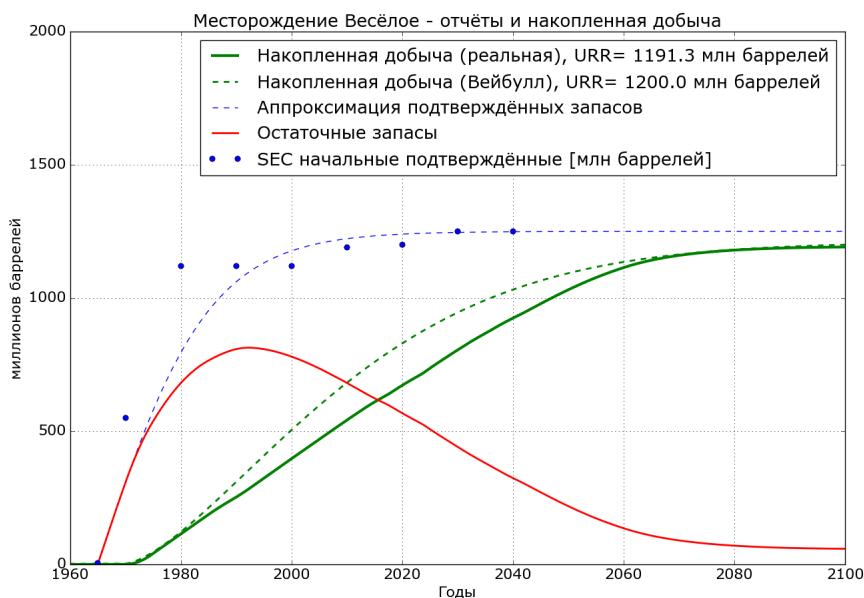
Как выглядит отчёт *Весёлой Нефти* в 2010? Тут ещё интереснее.



Подтверждённые запасы скакнули до 1'190 млн баррелей. Квадратики исчезли. Это оттого, что в 2010 году вместо квадратиков SEC принимает «оценку P90». На рабоче-крестьянский это переводится так: «С вероятностью 90% в месторождении есть 1'190 млн баррелей». Циферка 1'250 – это «оценка P50»

(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 мальвкой 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.

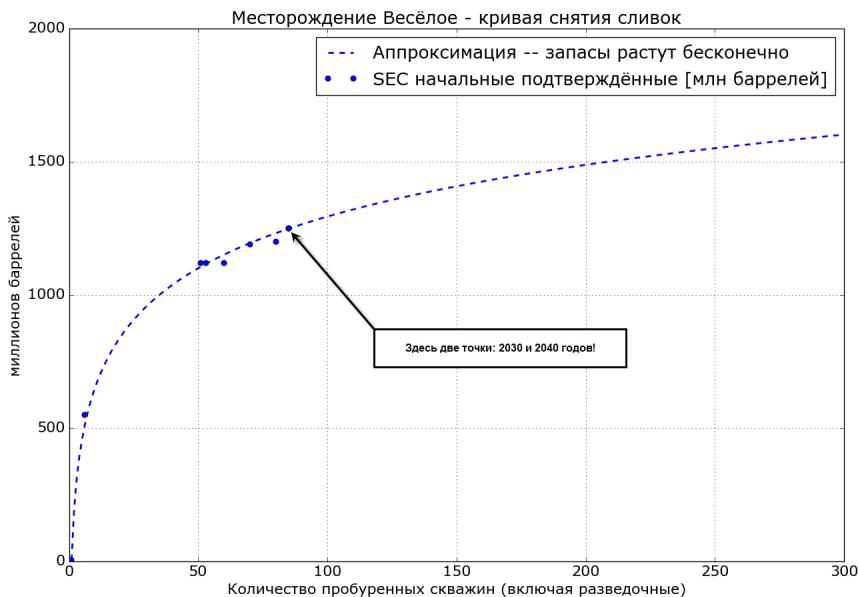
Считаем программкой \Chapter 08\Test\_07\_Creaming.py



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 первцам ясно, что не только

300, но и сто скважин никто бурить не станет, потому что бесполезно: месторождение вышло на кривую безудержного спада добычи.



Почему SEC и USGS требуют консервативного подхода в оценке запасов? Инженеры вообще консервативны по природе, в отличие от экономистов. У экономистов «исторический опыт» кончается данными прошлого десятилетия, а технари – помнят ошибки 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<sup>90</sup>, 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

90 Длинная английская тонна 1'020 кг. В пределах погрешности можно считать равной метрической тонне.

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. Страффордшир	75	1'618	20	619
Юж. Страффордшир	93	973	неизвестно	неизвестно
Шревсбури		незначительные	неизвестно	неизвестно
Юж. Уэльс	906	16'000	неизвестно	неизвестно
Уоррикишир	30	417	107	1'767
<b>ВСЕГО Англия и Уэльс</b>	<b>2'779</b>	<b>38'080</b>	<b>Более 932</b>	<b>Более 16'440</b>
<b>ВСЕГО Шотландия</b>	<b>1'720</b>	<b>25'323</b>	<b>неизвестно</b>	<b>неизвестно</b>
<b>ВСЕГО</b>	<b>4'499</b>	<b>63'403</b>	<b>Более 932</b>	<b>Более 16'440</b>

По подсчётом Э.Халла, месторождения угля занимали не менее 5'431 квадратных миль, то есть 6% площади Великобритании, и содержали не менее 79'843 миллионов тонн угля. Нас, воспитанных на математической статистике и физике, точность до одного миллиона тонн, конечно, смешит, но так у автора.

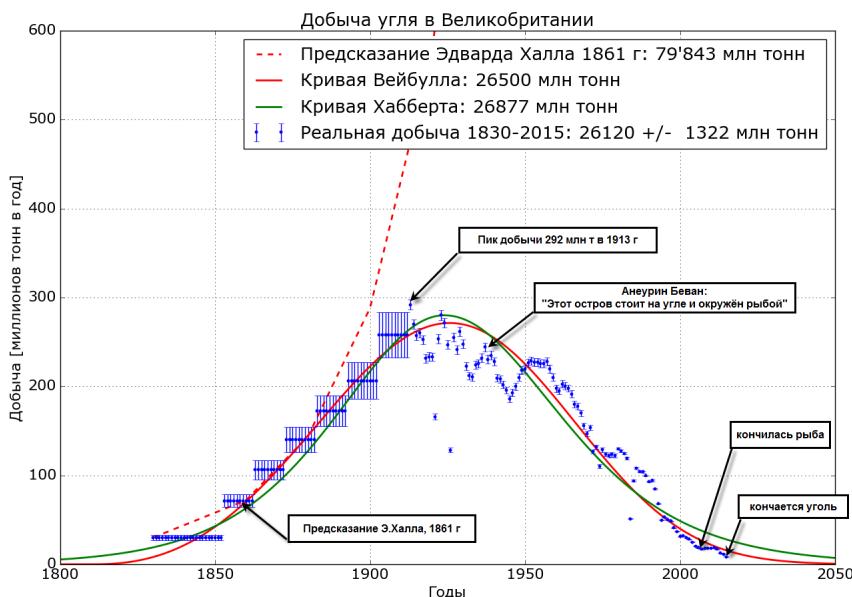
Далее, Халл знал, в 1860 Великобритания добывала 72 млн тонн угля в год, значит, 79'800 миллионов тонн хватит на 1'100 лет. Конечно, заявлял геолог, добыча будет возрастать! Известно, что в 1830 году Британия добывала только 30 млн тонн. Можно прикинуть, на сколько хватит запасов угля, если добыча станет 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**. Впрочем, не страшно: уголь можно везти морем из Америки и Австралии! Притом, учитывается только уголь то 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



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 – восстановилось до 280 млн тонн – и немедленно покатилось под горку. Добыча 2015 года: 8.6 млн тонн, то есть **втрое меньше**, чем в 1830. В 2016 закрылась последняя шахта. В апреле 2017 – выведены в резерв две последние угольные ТЭЦ. Великобритания стала «безугольной экономикой».

Каковы запасы угля в Британии-2017? В наличии стратегический запас антрацита<sup>91</sup> в Южном Уэльсе: 250 млн тонн. То есть, **ровно одна годовая добыча 1911-1912 года**. Остальные месторождения технически выработаны «в ноль». Общая добыча с 1830 года:  $26'120 \pm 1'322$  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. В Англии, 10-сантиметровый пропласток угля на глубине 50 метров от поверхности является

91 Тот самый «кардифф» на дредноутах Первой Мировой, ага.

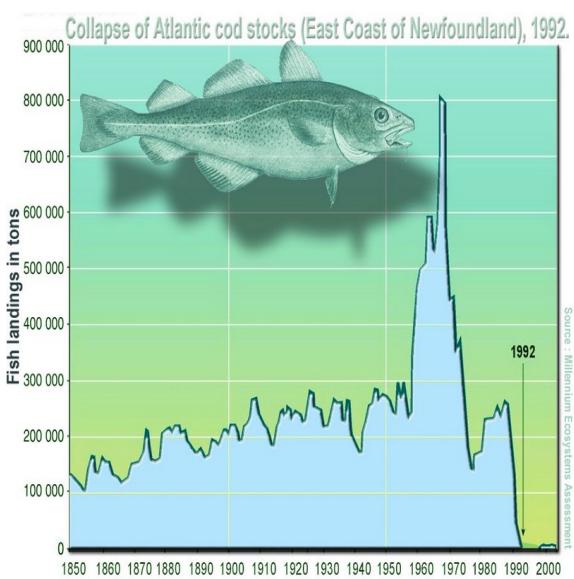
месторождением. Такой же пропласток на глубине 1'200 м является бесполезной залежью, и так ей навсегда и останется, какой бы ни была цена. Вы можете привезти в Англию рабов или послать восьмилетних пацанов обратно в шахты, но энергия добытого угля меньше энергии, потраченной на добычу.

А вот с максимальной глубиной угольных шахт в 1220 м горный инженер из далёкого 1861 почти не ошибся. Самая глубокая угольная шахта «Джесунрих 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 Спрайхилл 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 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<sup>92</sup>.

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 первцы термодинамику не всосали. Британский политик Анеурин Беван в 1945 году



92 Только не предлагайте пускать в шахты роботов. Вы не в XXIII веке. Пока, каждому роботу требуется наладчик.

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. 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):

$$\frac{\partial Q(t)}{\partial t} = j \left[ 1 - \left( \frac{Q(t)}{Q_\infty} \right)^\gamma \right] Q(t) \quad Q(-\infty) = 0 \quad \{8.4\}$$

Здесь:

**Q** – некий минеральный ресурс: нефть, газ, уголь, золото, как функция от времени; производная – это добыча в год;

**Q<sub>∞</sub>** – весь ресурс в месторождении или на планете;

**γ** – 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:

$$U(t) = \left( \frac{Q(t)}{Q_\infty} \right)^\gamma \quad Q(t) = Q_\infty U^{\frac{1}{\gamma}} \quad \frac{\partial Q(t)}{\partial t} = \frac{Q_\infty}{\gamma} U^{\frac{1}{\gamma}-1} \frac{\partial U}{\partial t}$$

Подставляя полученное в {8.4}:

$$\frac{Q_\infty}{\gamma} U^{\frac{1}{\gamma}-1} \frac{\partial U}{\partial t} = j [1 - U(t)] Q_\infty U^{\frac{1}{\gamma}} \quad \frac{\partial U}{\partial t} = j \gamma [1 - U(t)] U(t)$$

Последнее уравнение решил за нас Ферхюльст, а решение приводилось в главе 3 – формула {3.5}.

$$U(t) = [1 + e^{-\gamma j(t-t_0)}]^{-1} \quad Q(t) = Q_\infty [1 + e^{-\gamma j(t-t_0)}]^{-\frac{1}{\gamma}}$$

Чаще нас интересует не сама функция Q(t), а сколько можно добыть за год:

$$Hubb(t, \gamma) \equiv \frac{\partial Q(t)}{\partial t} = j Q_\infty \frac{e^{-\gamma j(t-t_0)}}{\left[1 + e^{-\gamma j(t-t_0)}\right]^{\frac{1}{\gamma}+1}} \quad \{8.5\}$$

Здесь:

$q_{peak} = j Q_\infty$  – расход (добыча за единицу времени) на пике;

$\sigma = j \gamma$  – наклон кривой;

$t_0$  – точка пика при  $\gamma = 1$

При  $\gamma = 1$  кривая упрощается:

$$Hubb(t, 1) \equiv q_{peak} \frac{e^{-\sigma(t-t_0)}}{\left[1 + e^{-\sigma(t-t_0)}\right]^2} \quad \{8.6\}$$

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.

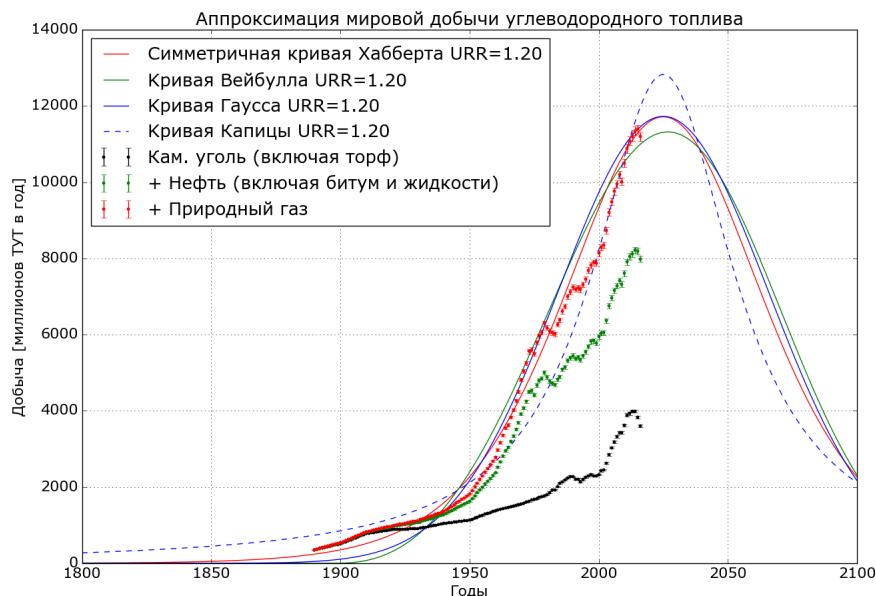
$$Gauss(t) \equiv \frac{\partial Erf(t)}{\partial t} = q_{peak} e^{-\sigma(t-t_0)^2} \quad \{8.7\}$$

Подобие и правда есть, однако **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. Сборка по производству угля, газа и нефти составлена по данным отчётов BP 2016 и 2017 года 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» 4250 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 серединой 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 объяснинки к суперской геологической деятельности. Про истощение китайских запасов 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 плохо отражают добычу до 1940 года, а кривая Капицы – наоборот, завышает. У всех трёх кривых – одинаковая величина  $URR = 1.2$  триллиона тонн нефтяного эквивалента (ТУТ или тое, как больше нравится).

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 реальных данных Великобритании показано **прохождение Пика Угия** 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  $URR=1.2 \cdot 10^{12}$  тонн нефтяного эквивалента. Однако, и другие разобранные кривые с тем же URR достаточно хорошо ложатся на калибровку.
- Те, кто называет сторонников Пика Хабберта малтузианцами, – совершенно правы. «Пикники» – малтузианцы не только по духу, но и в строгом математическом смысле, так как используют уравнение Мальтуса-Ферхольста.



## 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»

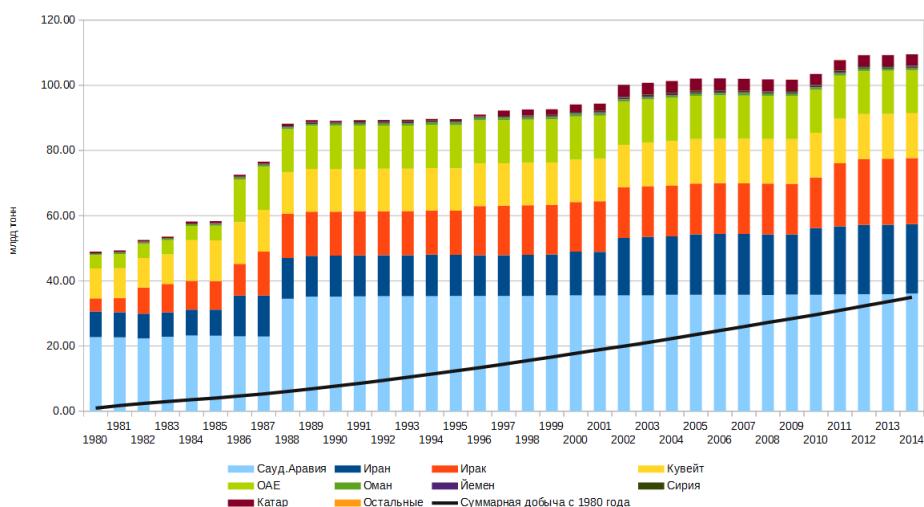
В предыдущей главе мы разобрались, как рассчитывается добыча и запасы одного месторождения. Теперь расширим те же расчёты на ресурсную базу всей планеты.

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 правительства и частных компаний. Команды Джеймс-Бондов, чтобы вламываться в секретные сейфы китайской «CNOOC», у отдела Экономических Исследований «BP» просто нет. Вот как выглядит исторический график подтверждённых запасов стран ОПЕК из отчёта 2015 года:

Подтверждённые запасы нефти и суммарная добыча

по данным BP 2015 г



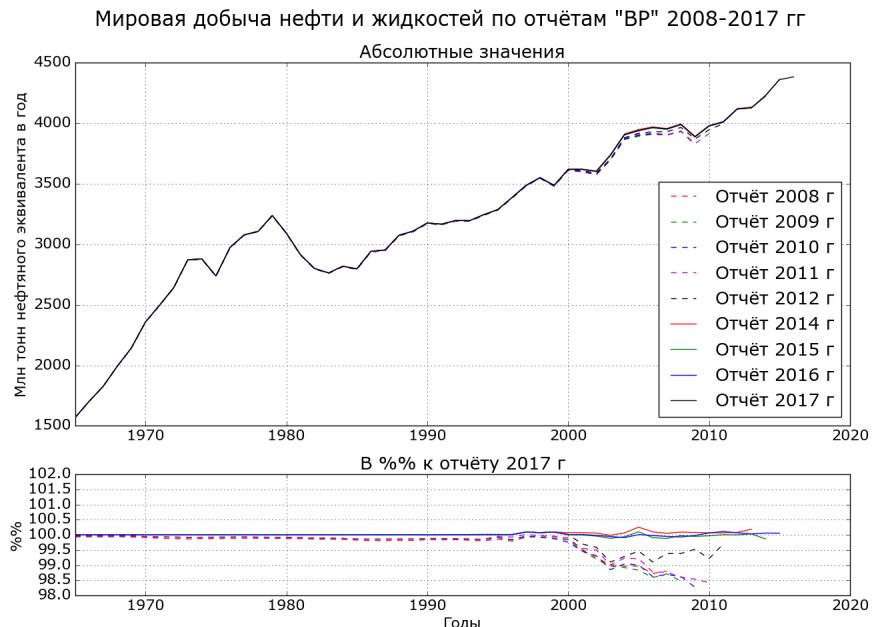
Скачок запасов 1986-89 годов – это вообще не открытия новых

месторождений, а так называемая «гонка за квотами». На собрании ОПЕК решили, что квоты на добычу станут выдавать пропорционально подтверждённым запасам. Соответственно, подтверждённые стали немедленно расти. В отличие от американской SEC, в ОПЕК 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 несёт золотые яйца Вексельберга.

Ясно, что цифрам подтверждённых запасов в отчётах «BP» верить надо очень осторожно<sup>93</sup>. Но стоит ли доверять числам **добычи**? С какой точностью статистикам «BP» известна фактическая добыча нефти, газа, угля?

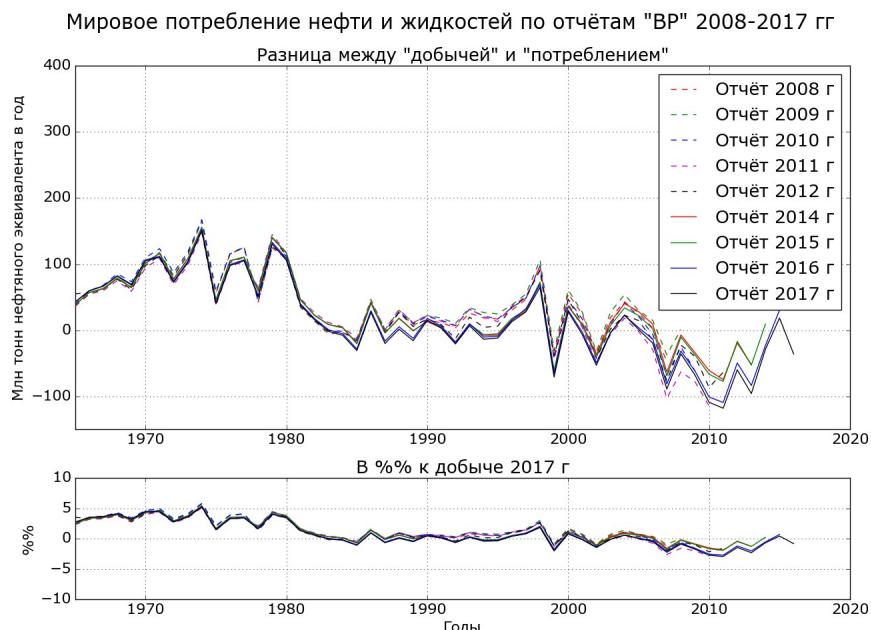
Сравним отчёты «BP». Автор накопил публикации компании, начиная с 2008 года. В моём распоряжении нет лишь числовой части отчёта за 2013 год: таблица с данными была резво удалена с сайта компании, а чуть ниже я выдвину предположение, почему. Отрисуем сначала данные по добыче нефти (программа \Chapter 09\Test\_01\_BP\_Oil\_Data.py):



Как видим, отчёты 2008-2012 годов шли нос-к-носу, но с 2013 «BP» принялась

<sup>93</sup> 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».

корректировать исторические данные по добыче. Общая коррекция данных за 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»:

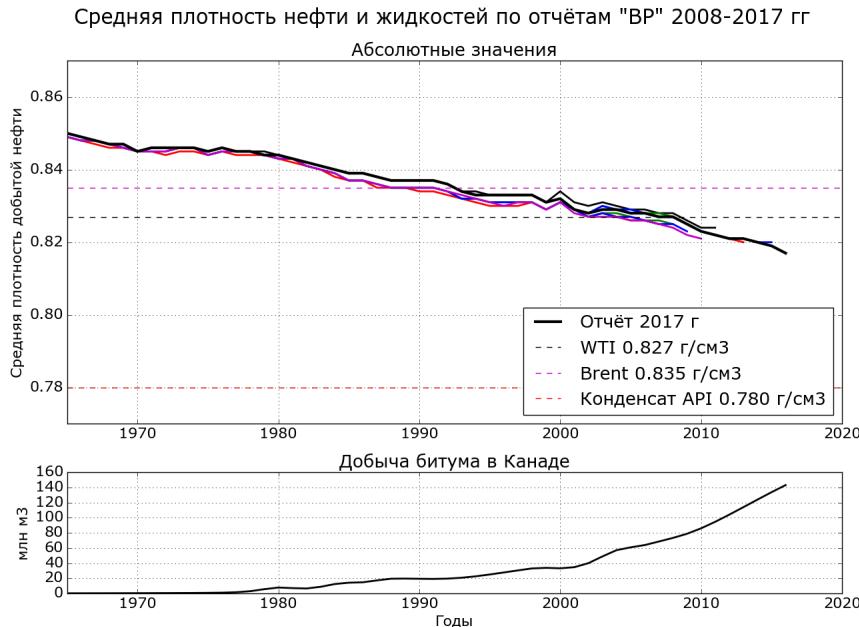


Наблюдаем интересную картину. До 1985 года производство по данным «BP» систематически превышало потребление на примерно 100 млн тонн в год, то есть 5% нефти с месторождений не доходило до потребителя. После 2000, годовое потребление в среднем превышает добычу на 50-70 млн тонн ежегодно. Если считать, что разница компенсировалась стратегическими хранилищами, к 2000 году в хранилищах имелся бы резерв около 1400 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, 1400 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:

$$\rho = \frac{1000 \cdot M [\text{млн т в год}]}{0.159 \cdot V [\text{тыс баррелей в день}] \cdot N [\text{дней в году}]}$$



Как видим, «среднемировой баррель» нефти легчает; не помогают даже «нефтяные пески» Канады с их тяжёлым битумом<sup>94</sup>. В 1965 году усреднённый баррель весил 135 кг, а в 2017 – всего 130. Теплотворная способность горючего измеряется не от объёма, а от массы – спросите любого химика. Значит, баррель образца 2017 года при сгорании выделит на 4% 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 – ценнное 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

<sup>94</sup> 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.

заводе. Сейчас уже в годовых отчётах некоторых компаний и бутан считают 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» (Natural Gas Production 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.

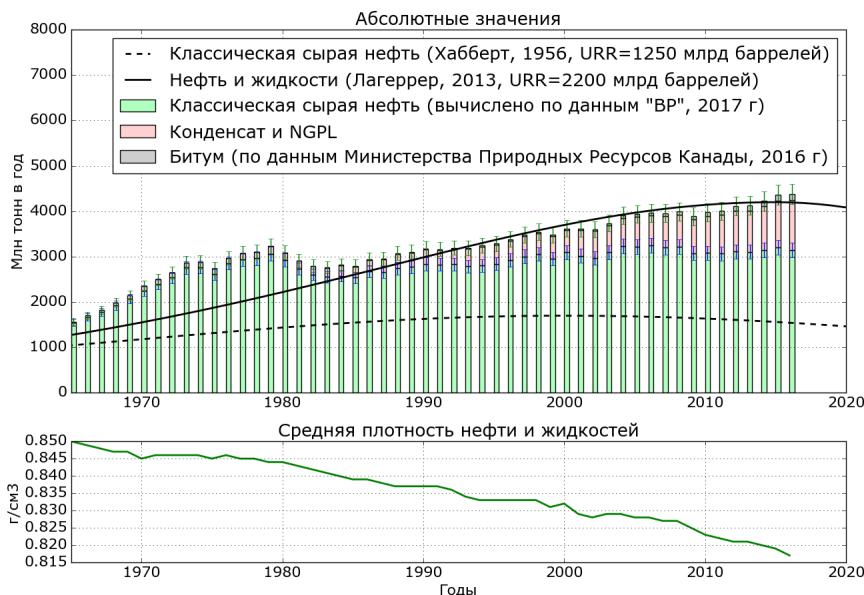
По данным «BP» можно грубо прикинуть количество конденсата и NGPL в мировой добыче (программа \Chapter 09\Test\_04\_BP\_Oil\_Data.py):

$$V = V_{crude} + V_{gc} + V_{tar}$$

$$M = M_{crude} + \rho_{gc} V_{gc} + \rho_{tar} V_{tar}$$

$$M_{crude} = \frac{\left(1 - \frac{\rho_{gc}}{\rho}\right) M - (\rho_{tar} - \rho_{gc}) V_{tar}}{\left(1 - \frac{\rho_{gc}}{\rho_{crude}}\right)} \quad \{9.1\}$$

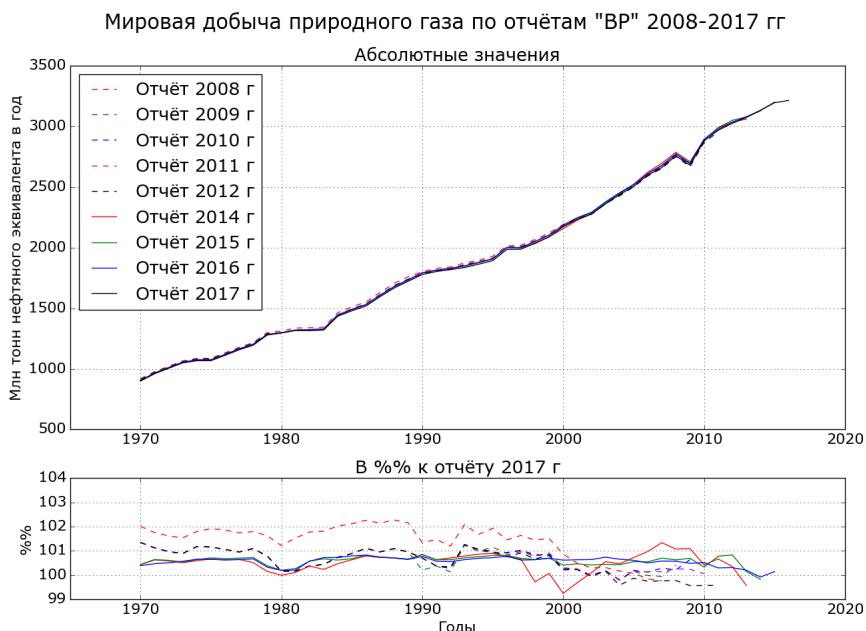
Оценка добычи сырой нефти по отчётом "BP" 2008-2017 гг



Заметим, что с 2005 года прироста «классической нефти» нет, а всё увеличение добычи происходит за счёт газового конденсата, в том числе «сланцевой нефти» США, и 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 1250 млрд баррелей, или  $170 \pm 40$  млрд тонн, в том числе  $120 \pm 35$  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, пик добычи «классической» сырой нефти наступил между 2000 и 2010 годами (скорее всего, в 2005), на дебите 3.2 млрд тонн, а к 2016 году общая накопленная добыча составила  $166 \pm 8$  млрд тонн. Те, кто заявляет: «Хабберт наверняка ошибся», явно имеют машину времени. А если без шуток, точность «оценки Хаббера» достоверно определится лишь к 2030-2035 году. Пока мы можем лишь с некоторой надеждой заявлять, что нижняя оценка Хаббера, к счастью, не реализовалась, а извлекаемые запасы «классической чёрной нефти» вероятно ближе к верхней оценке в 210 млрд тонн (из которых 80% уже исчерпано).

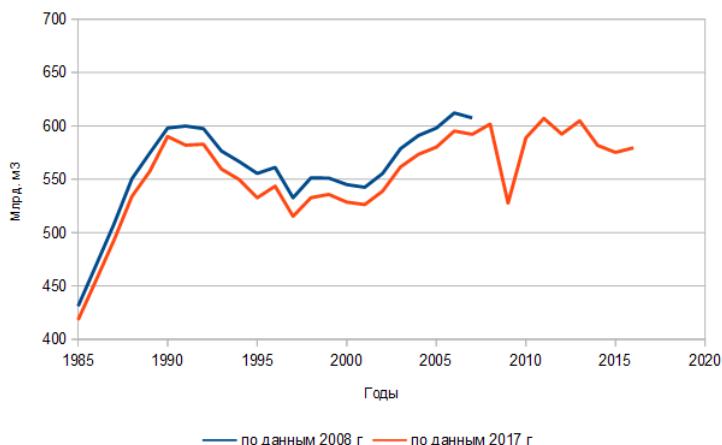
Перейдём к данным «BP» по природному газу (программа `\Chapter 09\Test_05_BP_Gas_Data.py`):



Как и с нефтью, данные по газу в отчётах последних трёх 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

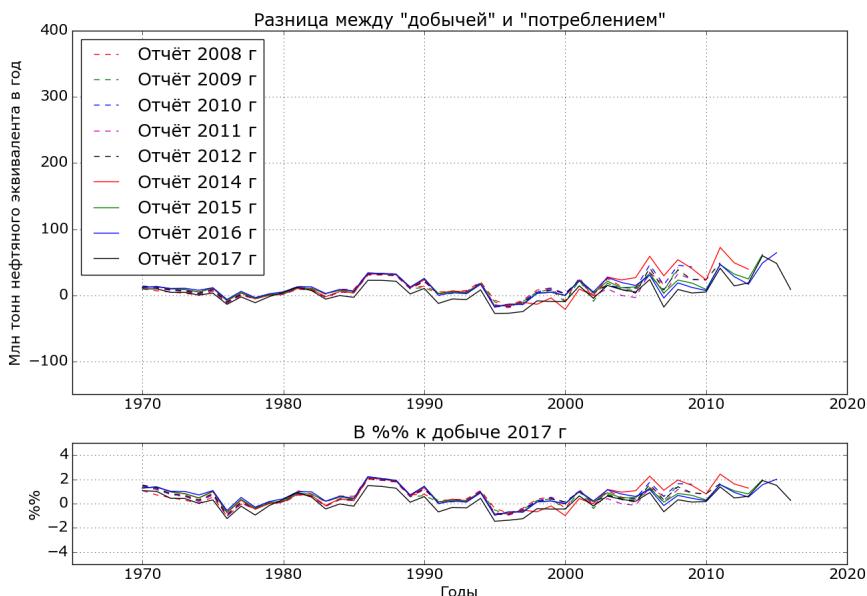
публикация по ошибке конфиденциальных «внутренних» данных компаний.<sup>95</sup>

#### Добыча природного газа в России



Аналогично нефти, сравним данные по добыче и потреблению природного газа программой \Chapter 09\Test\_06\_BP\_Gas\_Data.py

Мировое потребление природного газа по отчётам "BP" 2008-2017 гг



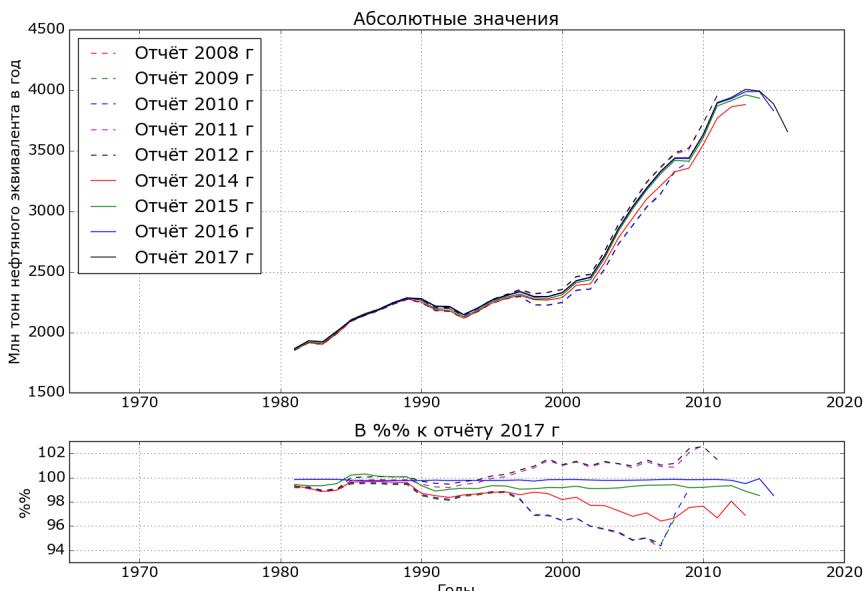
Систематическая погрешность между добычей и потреблением — около 2%. Некоторые страны имеют хранилища природного газа, но в отличие от нефти

<sup>95</sup> В блоге проскочило предположение, что изменение данных «Газпром» связано с переводом российских «стандартных условий» (1 атмосфера, 20°Ц) в «международные» (1 атмосфера, 15°Ц). Но при таком 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»!

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

Мировая добыча каменного угля по отчётам "BP" 2008-2017 гг

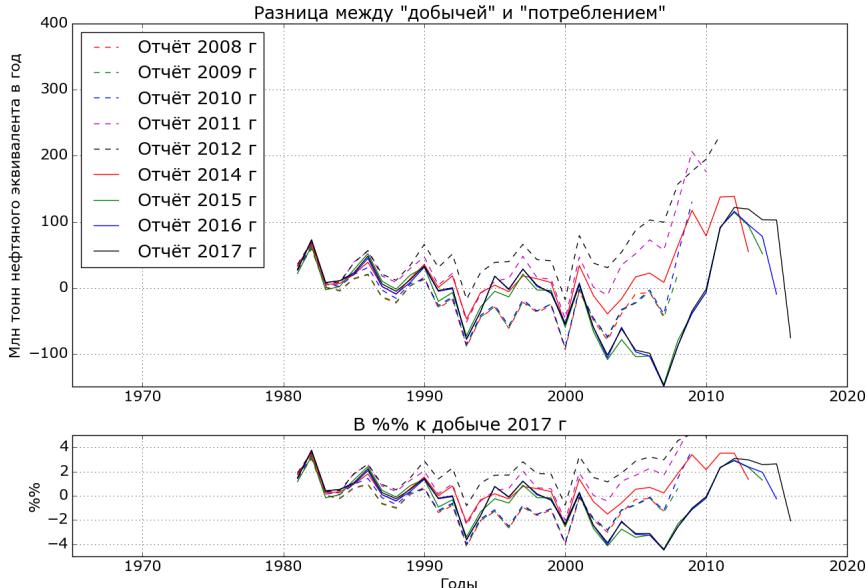


Возможно, перед нами пик мировой добычи угля! Если снижение в США с 1063 млн тонн (597 млн ТУТ) в 2008 г до 661 млн т в 2016 году обусловлено в основном сокращением реального сектора американской экономики и переводом генерирующих мощностей на подешевевший природный газ, то в Китае обвальное падение добычи с 3974 млн тонн (1895 млн ТУТ) в 2013 до 3411 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 1%. В 2016 году КНР импортировала 65% потреблённой нефти, 35% природного газа, 11% 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 3-5% за год, вплоть до полного прекращения промышленной разработки угля в пятидесятых или шестидесятых годах этого столетия.

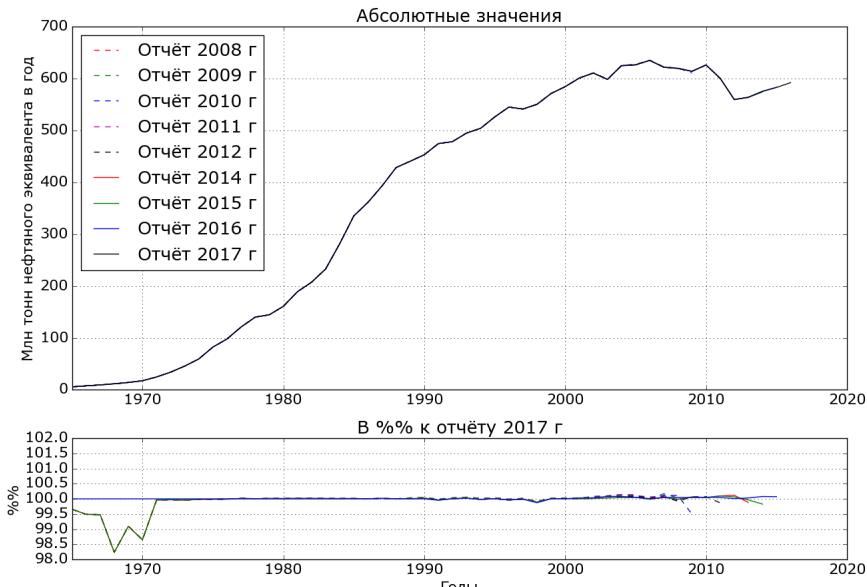
Программа \Chapter\_09\Test\_08\_BP\_Coal\_Data.py сравнивает таблицы «BP» по добыче и потреблению угля.

Мировое потребление природного газа по отчётам "BP" 2008-2017 гг



Наблюдаем разброс данных  $\pm 4\%$ , что и следует считать статистической надёжностью данных по углю.

Мировое производство ядерной энергии по отчётам "BP" 2008-2017 гг

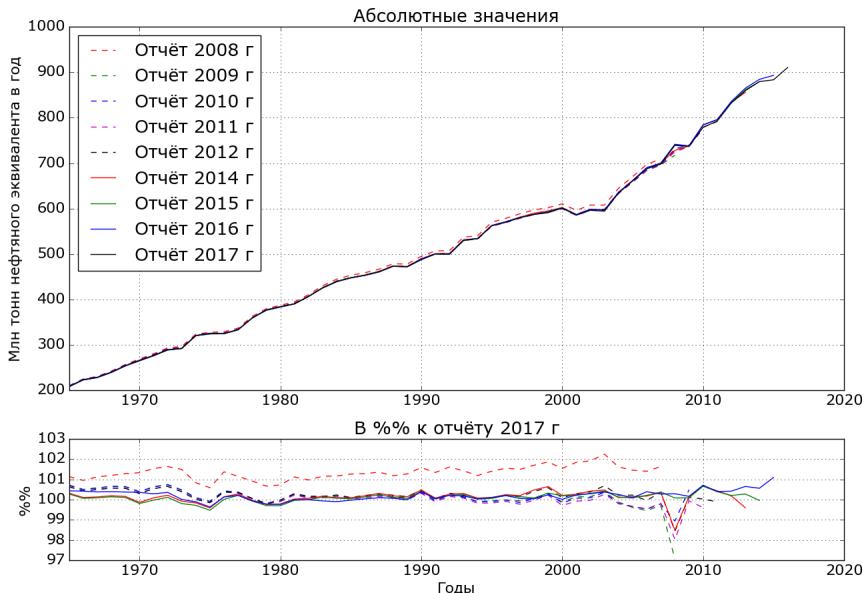


Для полноты картины приведём данные «BP» по ядерной энергии, гидроэнергии и «прочим возобновляемым». В последние «BP» включает солнечную энергию, ветрогенераторы, приливную и геотермальную энергию,

сжигание биомассы<sup>96</sup>.

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. Несколько хуже с гидроэнергетикой (программа \Chapter 09\Test\_10\_BP\_Hydro\_Data.py): разброс в данных около ±2%.

Мировое производство гидроэнергии по отчётам "BP" 2008-2017 гг



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!

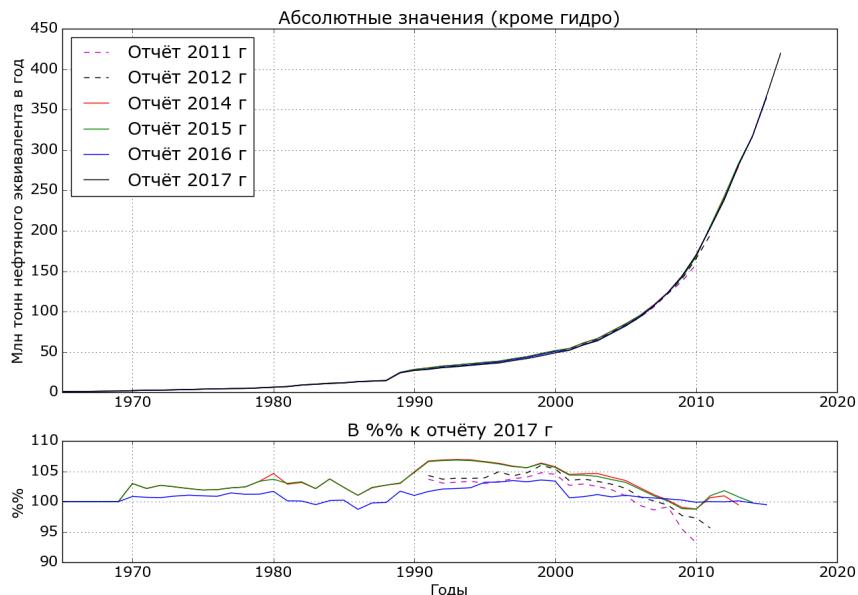
Глядя на график производства «прочих возобновляемых», оптимисты видят стремительно растущую экспоненту, а пессимисты смотрят на вертикальный масштаб. Действительно, на графиках добычи нефти, угля, газа – по вертикали порядка 4000 млн ТУТ. У гидроэнергии – четвертушка: 1000 млн, у ядерной – пятая часть: 700 млн. А весь график «прочих возобновляемых» умещается в диапазон 0-450 млн ТУТ, то есть 10% от нефтяного, газового или угольного.

Как видим, общее производство «прочих возобновляемых» в 2016 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 5 лет – чуть больше 2.3 кВт мгновенной

96 При пересчёте выработанной электроэнергии в ТУТ «BP» вводит КПД тепловых станций 30%. Если же переводить по тепловой, значения ВИЭ в отчёте следует делить на 3.

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.

Мировое производство возобновляемой энергии по отчётам "BP" 2008-2017 гг

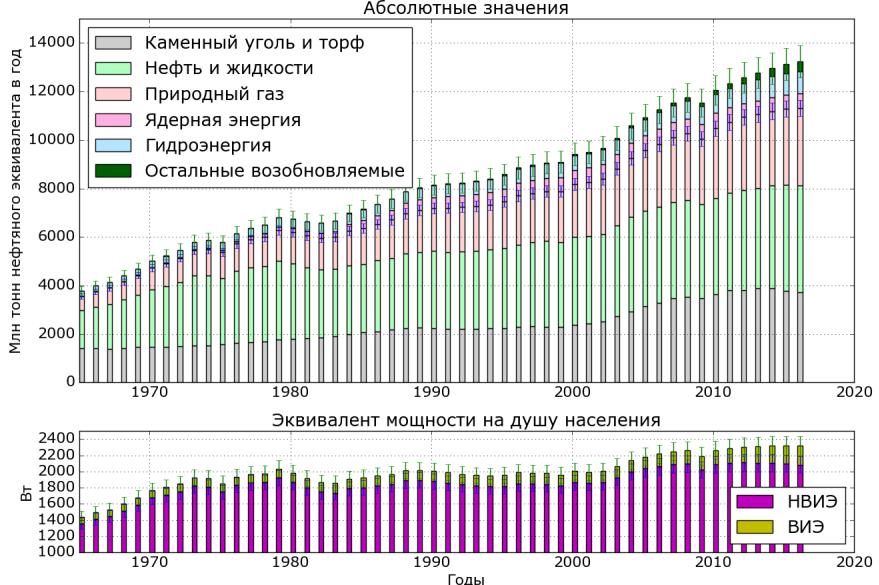


Чтобы не возникало лишних иллюзий, нарисуем сравнение всех видов доступной человечеству низкоэнтропийной энергии по данным «BP» с указанием вычисленной нами статистической погрешности программой `\Chapter 09\Test_12_BP_Energy_Uncertainty_Data.py`

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.

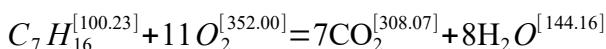
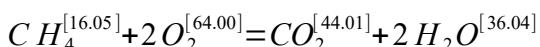
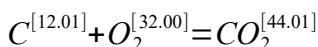
### Мировое производство энергии по отчёту "BP" 2017 г



Предупреждаю сразу: все задачки с подвохом, а количество «рабов» заключённых в 11.5 млрд ТУТ 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 13 главе, а пока попробуем откалибровать энергетические отчёты «BP» по независимым данным. Специально для климатически-озабоченных заранее поясняю: я не буду делать **никаких выводов о глобальном потеплении или похолодании**. Просто хочу убедиться, что правительства и нацкомпании не сильно врут уважаемой «British Petroleum».

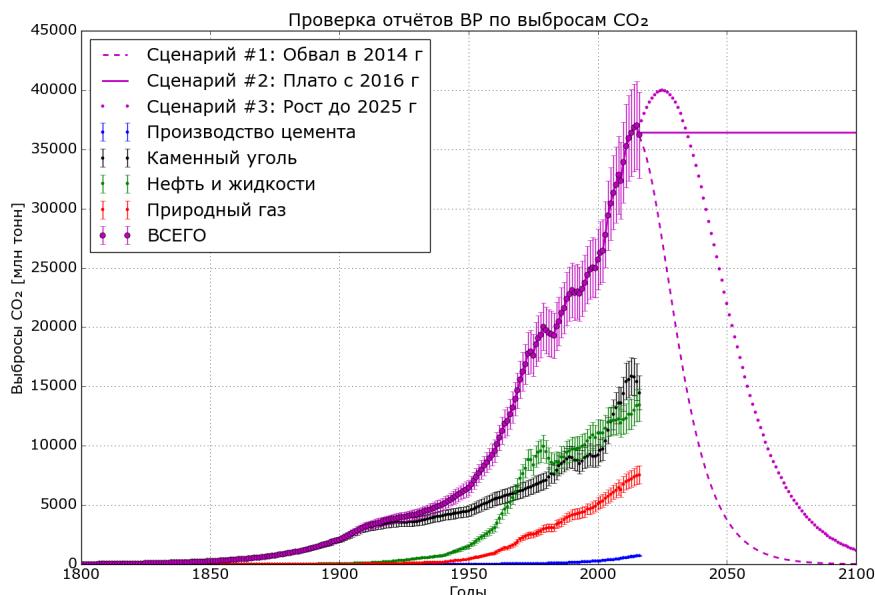
Основное использование угля, нефти и природного газа на планете Земля – в топку! При сгорании выделяется углекислый газ. Сколько конкретно? Напишем химические формулы:



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

неспораемые 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. «BP» в своих расчётах использовала коэффициенты 3.96, 2.35 и 3.07 тонн на toe.<sup>97</sup>

Ещё одним антропогенным источником CO<sub>2</sub> на планете является производство цемента, с выбросами газа до 735 млн тонн в 2015 году. А всего в том же году мы выбросили в атмосферу  $36 \pm 2$  млрд тонн углекислого газа<sup>98</sup>. На середину 2017 года в атмосфере  $404 \pm 4$  ppmv (частей на миллион объёмных) CO<sub>2</sub>, 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<sub>2</sub> 44.01 г/моль. Итого:  $404 \cdot 10^{-6} \cdot 44.01 / 28.97 \cdot 5.1480 \cdot 10^{15} = 3.2 \cdot 10^{12}$  тонн. Значит, в 2015 году человечество выбросило в атмосферу  $3.6 \cdot 10^{10} / 3.2 \cdot 10^{12} = 1.1\%$  от массы атмосферной углекислоты<sup>99</sup>.



На картинке выше (программа `\Chapter_09\Test_13_CO2.py`) представлен расчёт по нашим формулам для периода 1965-2015 на основании данных «BP» и EIA о добыче угля, нефти и газа. «Хвост» с 1800 по 1889 – сделан условно, экспонентой с приростом 6% в год. Далее представлены три сценария:

97 Methodology for calculating CO<sub>2</sub> emissions from energy use. [https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2017-carbon-emissions-methodology.pdf](https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-carbon-emissions-methodology.pdf) В 2017 году компания стала учитывать, что часть углерода использована для химического синтеза, и в виде CO<sub>2</sub> в атмосферу не попадает.

98 Все вулканы мира производят ежегодно не более 0.32 млрд тонн: <https://www.skepticscience.com/volcanoes-and-global-warming.htm>

99 Международные организации приводят CO<sub>2</sub> как «выброс углерода», базируясь на идеи, что надо учитывать метан и прочие газы, содержащие углерод. Однако, наша калибровка именно по углекислоте. Для перевода тонн CO<sub>2</sub> в «тонны углерода» делите на коэффициент  $2*16/12.01 + 1 = 3.66$

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.

Куда углекислый газ девается из атмосферы? Постоянная сексвестрация 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 заморозить в ледники, но в текущий геологический период они существенной роли не играют.

А всякие леса, джунгли, бескрайние колхозные поля и прочие «лёгкие 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 сексвестрируют  $\text{CO}_2$  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 сексвестрации не работали совсем, с 1800 года в атмосферу добавилось бы от сжигания угля, нефти и газа  $1.6 \pm 0.2 \cdot 10^{12}$  тонн углекислоты, то есть  $1.6 \pm 0.2 \cdot 10^{12} \cdot 0.658 / 5.1480 \cdot 10^{15} = 205 \pm 25$  ppmv. Концентрация углекислоты до индустриальной эпохи по данным гляциологов составляла  $285 \pm 15$  ppmv, значит сегодня обсерватория на Мауна Лоа<sup>100</sup> показывала бы нам  $490 \pm 40$  ppmv, на 85 больше, чем на самом деле.

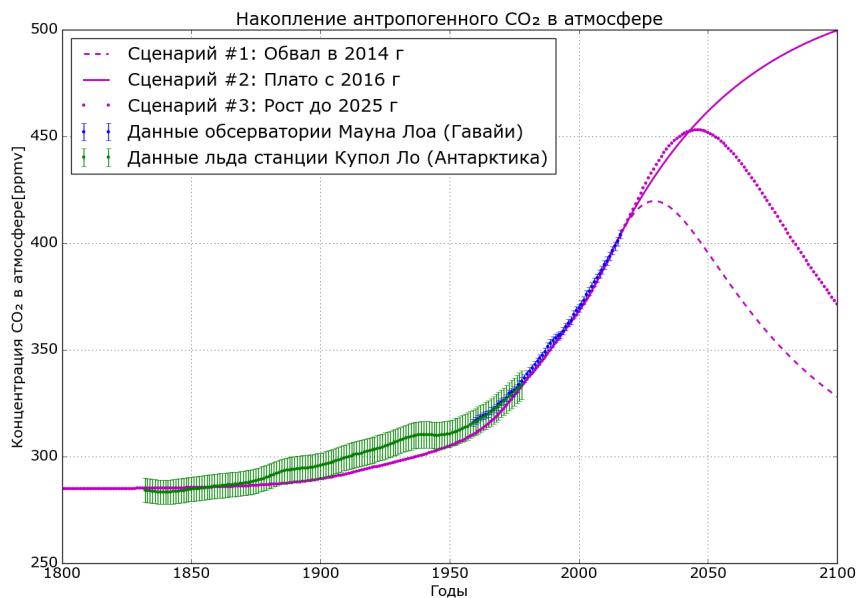
К счастью, образование керогена и известняка продолжается, и земная кора отбирает углекислоту у атмосферы. Чтобы посчитать тренд, применим свёртку, а в качестве функции затухания  $D(t)$  используем самую примитивную экспоненту (программа `\Chapter 09\Test_14_CO2.py`):

$$(Q*D)(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} Q(\tau) D(t-\tau) d\tau \quad \{9.2\}$$

$$D(t) = e^{-\sigma t}$$

---

<sup>100</sup> В реальном времени: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>



Хорошие новости: характерное время двукратного снижения «лишнего» CO<sub>2</sub> в атмосфере – порядка 35 лет, что примерно соответствует работе фитопланктона и коралловых. Всю углекислоту учли простой формулой; 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<sub>2</sub> 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.

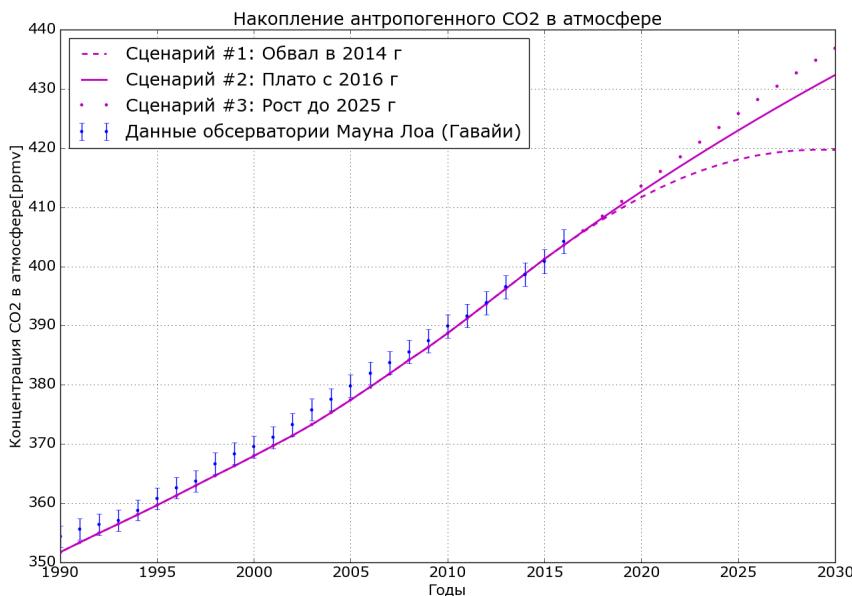
В сценарии 3, концентрация углекислоты в атмосфере не превысит 460 ppm, что на 30 ppm ниже, чем в базовом сценарии Й. Рандерса из главы 7.

Итак, о добыче углеводородов с 1965 по 2005 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.

Я предупредил выше, что не буду гнать волну про Глобальное Потепление и Изменение Климата? Увеличение концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере, вне всякого сомнения, – дело человеческой промышленности. Однако, изменение среднепланетарной температуры на 1-2 градуса или подъём уровня мирового океана на 35 см – абсолютная мелочь по сравнению с невозможностью накормить наших детей, не так ли?

А вот новости плохие (программа \Chapter 09\Test\_15\_CO2.py): на основании

только наблюдений CO<sub>2</sub>, определить, куда пошла планета после GFC 2008 года, к сожалению, пока невозможно. Мы узнаем это достоверно лишь лет через десять-пятнадцать.



Итак, количество отпитого из нашей пивной кружки мы кое-как знаем. Попробуем, вслед за известными геологами и экономистами, оценить начальный объём.

Тут следует сделать лирическое отступление о так называемых «категориях» запасов. Помимо деления на **геологические** (в России и СССР их также звали «балансовыми») и **извлекаемые**, связанные строгой формулой {8.1}, бюрократы разных стран высасывают из частей тела разные другие определения. В СССР, а теперь в России, запасы делятся на категории А, В, С, D, у которых есть ещё подкатегории. В частных нефтяных компаниях США, запасы делят на «подтверждённые» и «неподтверждённые», а у тех есть деление на «разбурренные», «ещё не разбурренные», «добываемые», «условные», «вероятные» и «возможные». 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. В геологоразведке (не в добыче!) рабочие места сокращаются последние 25 лет. Вот и остаётся двигать циферки в таблицах. О категориях запасов можно писать отдельные книги, и много даже написано<sup>101</sup>, но подавляющему большинству читателей они неинтересны. К теме данной книги категории запасов точно не относятся.

101 Гутман И.С. «Методы подсчета запасов нефти и газа» М.: Недра, 1985.

Когда о «подтверждённых запасах» нефти, газа или угля рассуждает специалист-геолог, то скорее всего, он имеет в виду чисто-конкретные запасы, то есть пользуется одним из бюрократических определений, смотрим выше. А вот когда с веб-страницы Интернет про «подтверждённые» поёт песнь специалист-пиарщик или, не к ночи будь помянут, президент мелкой инвестиционной компашки – враньё может быть абсолютно любое. Даже у бюрократов уши вянут.

Итак, возьмём одно из крупнейших месторождений – шестое в мире по **извлекаемым** запасам нефти – настоящее нефтяное сокровище: Самотлор, открытое в 1965 году. Посмотрим, можно ли определить 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.

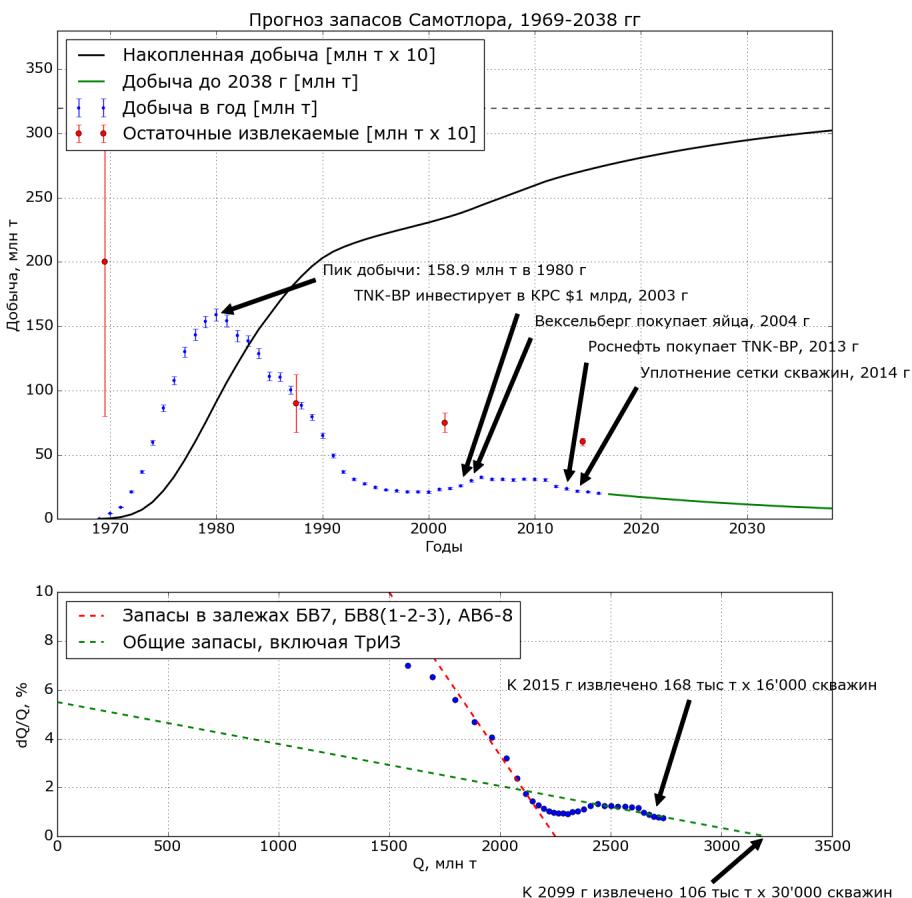
На «Весёлом» отчёты мы несли в американскую геологическую службу USGS, а также в Комиссию по Ценным Бумагам SEC. В СССР похожие документы отправляли в Комиссию по Запасам. Если бы СССР стоял по сию пору, точные числа из тех отчётов мы бы узнали году примерно в 2065. Однако, с Самотлором нам повезло. В 2003 была сформирована, а в 2013 году – продана «Роснефти» компания «TNK-BP», и смелые британские учёные информацию слили газете «Нью-Йорк Таймс»<sup>102</sup>.

Год отчёта	Геологические (балансовые) запасы STOIP, млн т	КИН <sub>t</sub>	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

По форме, график добычи не сильно отличается от разработки гипотетического месторождения «Весёлое», что мы обсуждали в предыдущей главе, только на

102 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}. Данные отрисованы программой \Chapter 09\Test\_16\_Samotlor.py



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 были доведены с «чего-то есть» до 3'600 млн тонн, из которых 2'000 признали технически извлекаемыми. По мере бурения добывающих скважин, 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.

Итак, в 1980 году добыча Самотлора достигла пика 158.9 млн тонн – и немедленно покатилась под горку<sup>103</sup>. В начале 90-х добыча вышла на

103 Для желающих – взгляните снова на графики добычи угля и атлантической трески в стоявшей, как

«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 «Фабержे». 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<sup>104</sup>.

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 так:



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!

известно, на угле и несомненно окружённой рыбой Великобритании – страницы 159-160.

104 Интервью гендиректора «Самотлорнефтегаз» Валентина Мамаева агентству «Рейтер». Скачано 21 июля 2017 с <https://ru.investing.com/news/>

Площадь Самотлора относительно невелика: 1'751 км<sup>2</sup>. 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 км<sup>2</sup>.

Как по данным ежегодной добычи прикинуть общие извлекаемые запасы: URR? Если спад добычи следует кривой Хабберта {8.6}, то:

$$Q(t) = \text{Sig}(t) = \frac{\text{URR}}{1 + e^{-\sigma(t-t_0)}}$$

$$Q'(t) = \text{Hubb}(t) = \sigma \frac{\text{URR}}{[1 + e^{-\sigma(t-t_0)}]^2} (1 + e^{-\sigma(t-t_0)} - 1)$$

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{\sigma}{\text{URR}} (\text{URR} - Q) \quad \{9.3\}$$

То есть касательная к графику пересекает ноль в точке (URR, 0). Метод носит имя «линеаризация Хабберта», хотя придумал его не Хабберт, а последователи.

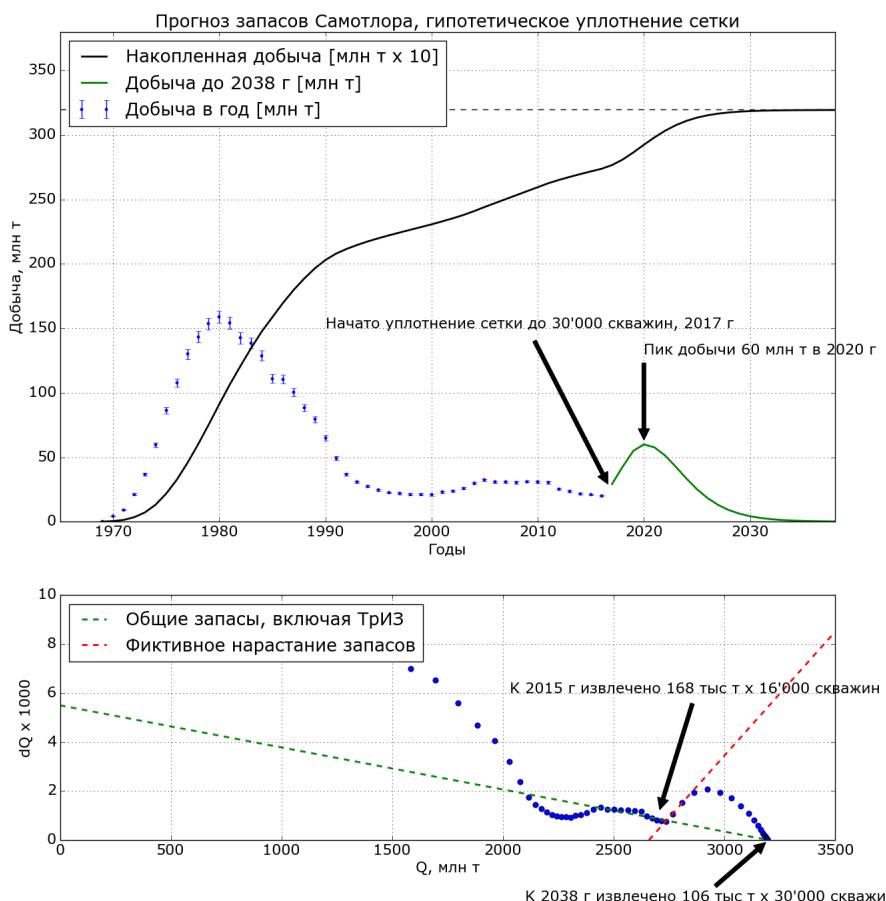
Кривая добычи Самотлора – не хаббертиана, а решений два: 2'300 и 3'200 млн тонн накопленной добычи. Это оттого, что в пределах месторождения не одна залежь, а много. Условно их можно разделить на две группы. В первую входит «корнилица наша» – залежь пласта БВ8<sup>1-2-3</sup> мегионской свиты нижнемелового периода<sup>105</sup>. К ней примыкают, хотя и не на всей площади месторождения: БВ7<sup>1-2</sup> 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<sup>1-2</sup>, 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

<sup>105</sup> Чтобы не было разнотений, номенклатура геологических объектов по отчёту «Самотлорнефтегазгеология» 1987 г. Для не-геологов: в нефтянке середины прошлого века пласти 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<sup>1</sup> и БВ7<sup>2</sup>, чтобы не переименовывать нижележащие. Надстрочные индексы изображались поворотом барабана пишущей машинки «на щелчок». Однако, крутить туда-сюда было неудобно, оттого появлялись имена типа БВ71 и БВ72.

появляется до 25% воды. После гидроразрыва из скважины можно получить и 50 тонн в сутки, однако гидроразрывы часто уходят в обводнённые пласти, 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 несостоителен (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.

*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. 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.

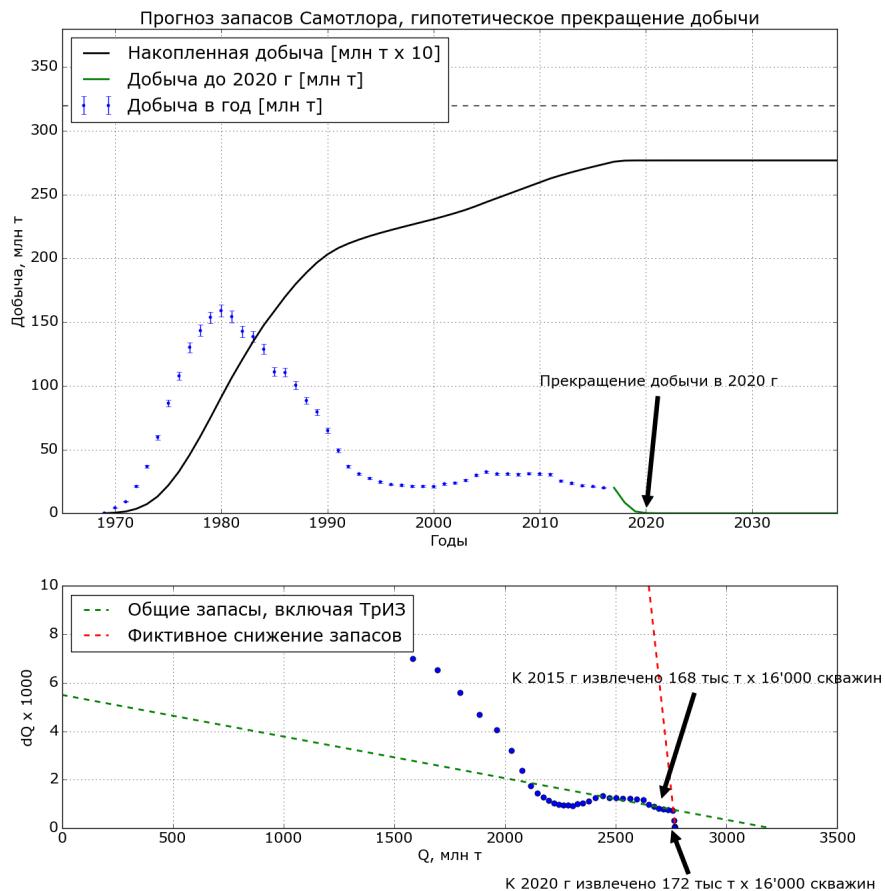
2. Увеличивающие **дебит** из скважин, **возможно при некотором снижении КИН<sub>т</sub>**. Добудем извлекаемые на сто лет раньше, но кое-что придётся в земле оставить. Типичный представитель – гидроразрыв пласта. Сюда же относя: кислотная обработка (особенно в карбонатных породах), различные методы 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 съят-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 зёков в шахте. При этом, из каждой тонны добытой нефти шахта будет потреблять на собственные нужды 900 кг».

Ясно, что никаких зёков 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.

В этом случае, посчитанные по методу «линеаризации Хабберта» извлекаемые запасы дадут всего 2'770 млн тонн при КИН<sub>т</sub>=39%. Это не означает, однако, 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. Программа \Chapter 09\Test\_18\_Samotlor.py



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?»

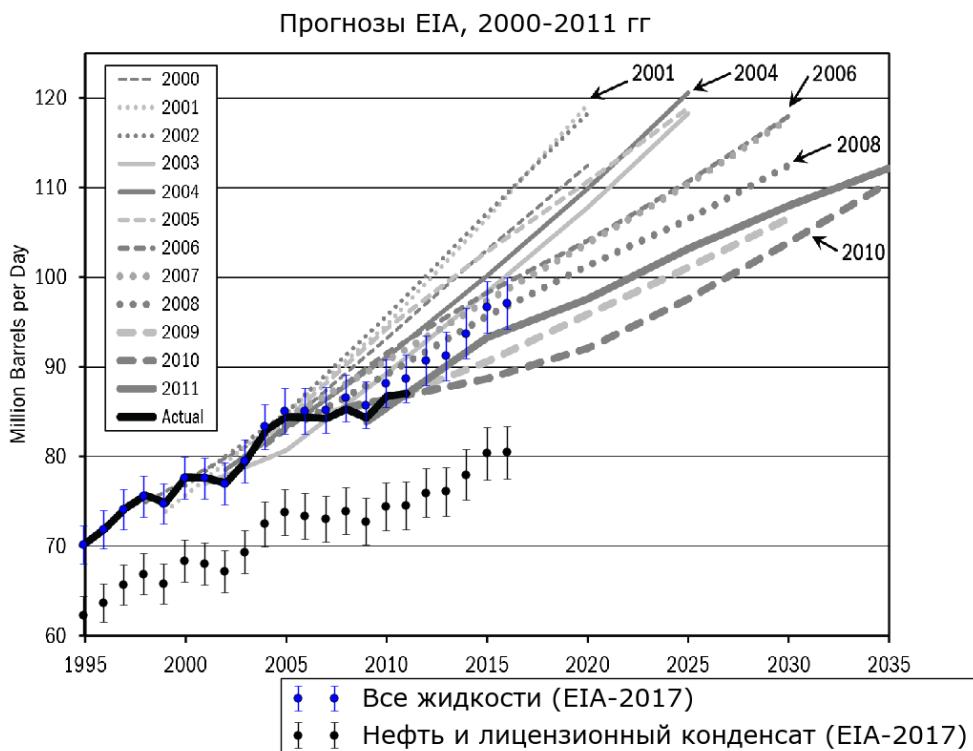
Чего тут считать? Один сборщик делает за смену  $9 \times 2 = 18$  велосипедов,  $18 \times 3 = 54$ .

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 несруочно». 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. 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 EAI никогда это официально не признают, но просто анализируя данные, можно прикинуть алгоритм этих 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 30 лет растёт линейно по 82 млн человек в год<sup>106</sup>, 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<sup>107</sup>. Последние в прогнозе 2000 года утверждали, что в 2016 году из планеты удастся выкачивать 5400 млн тонн нефти, то есть те же 110 млн баррелей в сутки. Смотрим график выше.

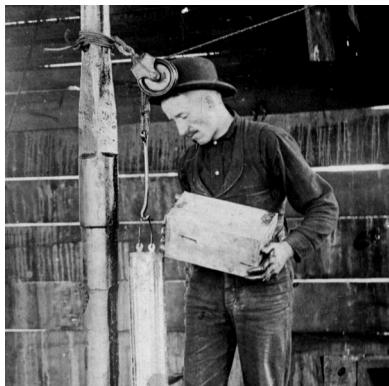
Когда экономисты говорят, мол сторонники Пика Нефти «постоянно ошибаются в прогнозах», следует перцев самих ткнуть носом в прогнозы бесконечного линейного развития, которые сбываются лишь случайно.

Итоги главы:

- По данным отчётов «BP» за 2008-2017 годы проведена грубая прикидка статистической точности. Погрешность данных в отчётах «BP» (и американской EIA) – не лучше  $\pm 3\%$ , по-видимому, до  $\pm 5\%$ . Так как исторические данные по добыче до 1965 года имеют разброс тоже **около  $\pm 5\%$** , 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<sub>2</sub> в атмосфере по наблюдениям станций Мауна Лоа и ледового керна станции Купол Ло. **В пределах заявленной погрешности  $\pm 5\%$  данные «BP» по добыче – достоверны.** Данные «BP» по «подтверждённым запасам» не стоят даже байтов на вашем жёстком диске.
- На примере разведанного месторождения Самотлор показана **невозможность определения извлекаемых запасов нефти на основании лишь данных по добыче** (например, по 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**.

106 См. в главе 3 на страницах 44-45.

107 См. в главе 2 на страницах 36-37.



## 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:

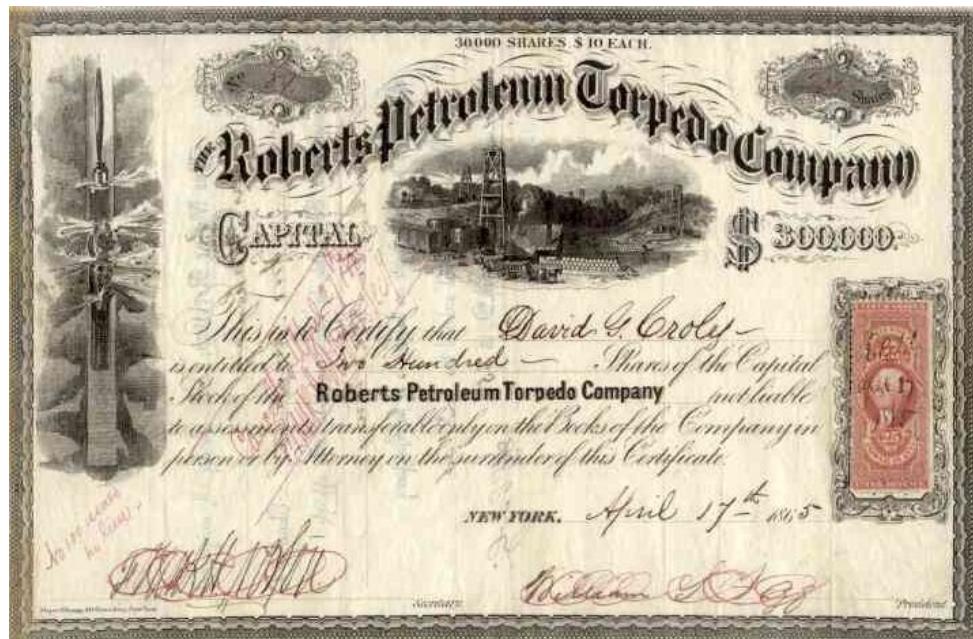
*В некотором царстве-государстве США в 2010 году подходила к концу нефть. Кинул Президент Обама клич на весь мир: «Кто поможет проблему решить, дам дочку Малию в жёны и полцарства Пуэрто-Рико в придачу!» Набежали со всего мира елавные витязи умные дяди в белых халатах и придумали Новую Технологию: «гидроразрыв пластика». 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 кролинка Роджера полковника Роберта, 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»<sup>108</sup>.

Получив патент, полковник основал «Компанию нефтяных торпед Робертса». За работу брал всего-ничего: \$200 за каждый «выстрел», да  $\frac{1}{15}$  от прироста добычи за первый год. В современных нам долларах, двести – не так уж много: около \$3000. А вот с одной пятнадцатой хозяева скважин были категорически не согласны. В некоторых скважинах торпеды увеличивали дебит на 1200%, 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

108 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 Пинкертон, 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 был сделан в мае 1990.

«Нефтяные торпеды» на порохе (вместо опасного нитроглицерина) стреляют до сих пор; в России метод известен под именем ТГХВ – термогазохимическое воздействие<sup>109</sup>. Пороха чаще используются специальные, с замедленной скоростью сгорания. Изменилась и конструкция торпед: электrozапал вместо раскалённого гвоздя Робертса, бескорпусные торпеды, и так далее, но принцип действия не отличается от метода 1866 года.

### **Сказка вторая. Почему «Халлибётон» 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/м<sup>3</sup>. Всего в «торпеде»  $9'800 \cdot 10 \cdot 3.14 \cdot 0.05^2 = 770$  МДж энергии<sup>110</sup>, из которой с пользой для дела – на производство трещины – расходуется около 20%, или примерно 160 МДж.

109 См., например: «Большая энциклопедия нефти и газа» <http://www.ngpedia.ru/pg0135qxA8t6D4Z193i3N60044083401/>

110 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 вдвое больше, чем у полковника Робертса. Дополнительное преимущество – больше CO<sub>2</sub> 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 500-2000 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  $\frac{3}{4}$  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 Хьюгтон в штате Канзас. В пласт на глубине около 730 м закачали 1'000 галлонов ( $3.8 \text{ м}^3$ ) бензина, для вязкости замешанного с напалмом<sup>111</sup>. 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 Хьюгтон? В 1960-1975 годах добыча составляла более 850 миллиардов кубических футов ( $24 \text{ млрд м}^3$ ) 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.



<sup>111</sup> 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<sup>112</sup>. 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<sup>113</sup>. 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 объемах там нет, оттого желающих купить (лохов) не наблюдается.

### **Сказка третья. На Барнетт суда нет.**

Жил-был на свете Мальчиш-Кибальчиш. Нет, не народоволец – изготавитель фирменного «гримучего 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*»<sup>114</sup>. Компания поучаствовала в послевоенном нефтяном буме.

Джордж Митчелл наверняка читал знаменитые статьи Хабберта. Достоверно известно также, что в конце шестидесятых «*Митчелл Энержи*» спонсировала

112 См. <https://www.google.com/patents/US2664954> Патент «Станолинд» включал любые жидкости, в том числе и бензин. Конечно, на бензине никто не рвет сейчас! Неэкологично и небезопасно, но главное – дорого.

113 <http://www.stanolind.com/>

114 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, тридцатые 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<sup>115</sup>, открытая пористость в пластовых условиях — от 0.03 до 0.06,  $S_{wirr}$  — от 0.6 до 0.85. В кубометре породы, таким образом, для газа остаётся всего  $0.05 \cdot (1 - 0.7) = 0.015 \text{ м}^3$ , пятнадцать литров! Конечно, газ под землёй находится под давлением, однако при повышенной температуре. Для пересчёта используем формулу

$$V_{c.y.} = V_{\text{залежи}} \frac{273.15 + T_{c.y.}}{273.15 + T_{\text{залежи}}} \frac{P_{\text{залежи}}}{P_{c.y.}} \frac{Z_{c.y.}}{Z_{\text{залежи}}} \quad \{10.1\}$$

Здесь:

$T$  — температура в градусах Цельсия; в нефтянке стандартные условия —  $15^\circ\text{Ц}$

$P$  — давление, стандартные условия — 1 атмосфера

$Z$  — фактор (коэффициент) сжимаемости газа, табличное значение

Для Барнетта, при пластовом давлении порядка 230 атмосфер и температуре около  $120^\circ\text{Ц}$  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 ТУТ. Для сравнения, на каждом квадратном километре Уренгоя или Медвежьего — от 1.0 до 1.7 млрд кубометров, или 1.2 млн ТУТ.

---

<sup>115</sup> [http://www-udc.ig.utexas.edu/geofluids/graphics/news/LowPermWS\\_Polito.pdf](http://www-udc.ig.utexas.edu/geofluids/graphics/news/LowPermWS_Polito.pdf)

Годовое потребление природного газа в США – порядка 780 млрд м<sup>3</sup>. Значит, если снабжать США газом исключительно с Барнетта, надо каждый год высасывать досуха газ с территории 2800 квадратных километров – это квадратик со стороной 53 км. Если поставить себе целью закрыть Барнеттом все потребности Америки в нефти, газе и угле – порядка 1940 млн ТУТ в год – сторона квадрата будет около 86 км. Площадь Барнетта не велика, но не бесконечна: 13'000 км<sup>2</sup>. 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 м<sup>3</sup>, 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<sup>116</sup>:

$$\nabla P = -\frac{\mu}{k} \cdot q = -\frac{\mu}{k} \cdot \varphi v \quad \{10.2\}$$

Где:

$\nabla P$  – градиент давления в Па/м.

$\mu$  – вязкость в Па·с, нефтяники используют внесистемную единицу санти-Пуаз (сП), 1 Па·с = 1'000 сП.

$k$  – коэффициент проницаемости в м<sup>2</sup>, а в нефтянке – внесистемные Дарси (Д), 1Д ≈ 10<sup>-12</sup> м<sup>2</sup>, а также 1 мкм<sup>2</sup> = 10<sup>-12</sup> м<sup>2</sup>.

$q$  – нормированный приток, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>/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  $\varphi$ .

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 м<sup>3</sup>/с. Нормированный приток  $q = 1.75 / 110 / \pi / 0.311 = 1.6 \cdot 10^{-2}$  м/с. Скорость

---

116 Её также называют формулой Козени-Кармана.

газа в порах  $1.6 \cdot 10^{-2} / 0.05 = 0.3$  м/с.

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  $1 \cdot 10^{-19}$  м<sup>2</sup>. 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 ( $10^{-16}$  м<sup>2</sup>) не считали промысловой залежью.

Градиент давления по формуле {10.2}  $\nabla P = 1.6 \cdot 10^{-5} \cdot 1.6 \cdot 10^{-2} / 10^{-19} = 2.6 \cdot 10^{12}$  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.

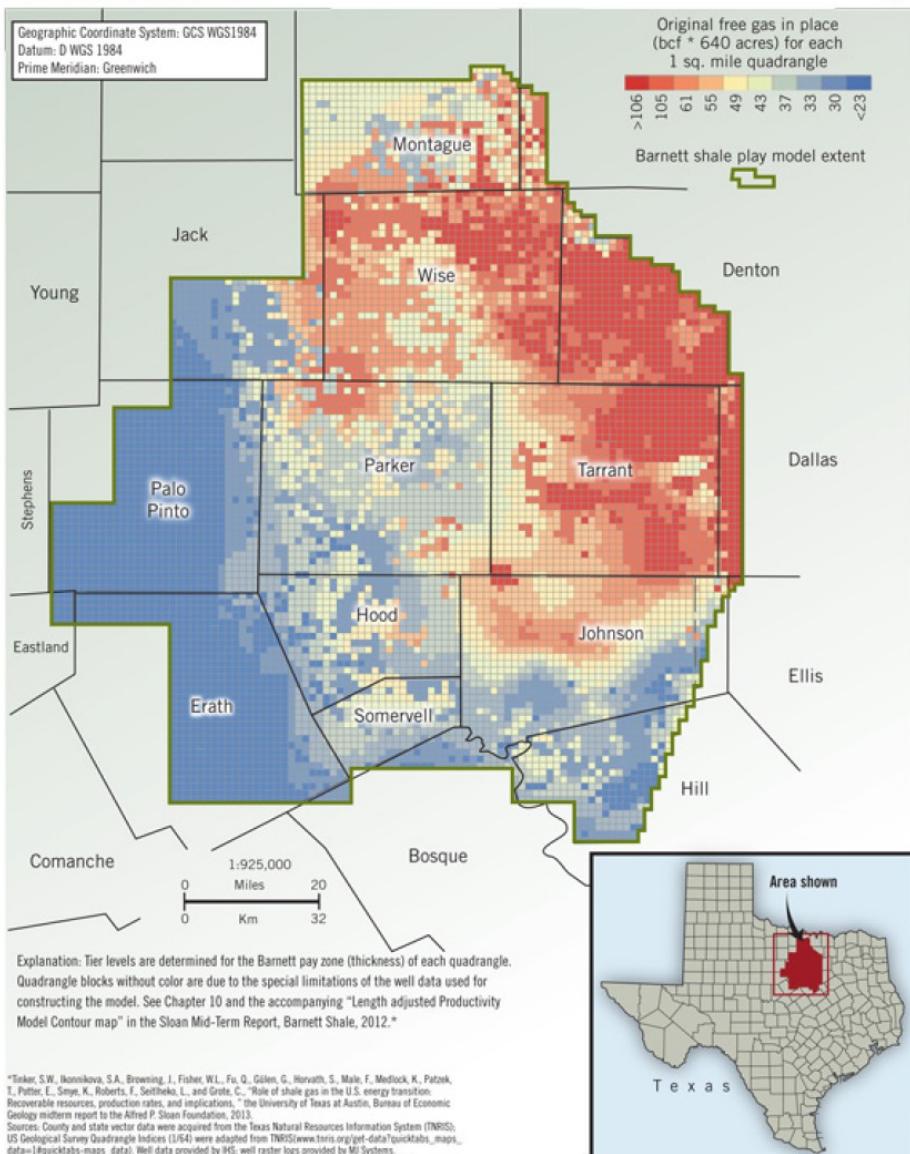
Что привнёс в историю Барнетта Джордж Митчелл? Первичный гидроразрыв! До Митчелла основным применением разрывов – и на нитроглицерине, и с насосами – было восстановление добычи старых нефтяных скважин. Когда «классическая» нефтяная скважина добывает нефть, наряду с другими факторами изменяются свойства 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 м<sup>2</sup> – 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.

#### BARNETT SHALE: ESTIMATED OGIP

FIG. 1



В 2013 году Университет Техаса (в Остине) и Университет Райса (в Хьюстоне) совместно опубликовали доклад о потенциальных ресурсах Барнетта<sup>117</sup>. Для начала приводится оценка начальных извлекаемых запасов газа: 86 триллионов кубических футов (2'400 млрд м<sup>3</sup>), из коих 19 уже в эксплуатации, 45 «пока не найдено на уже эксплуатируемых площадях», и 22 «пока не найдено на

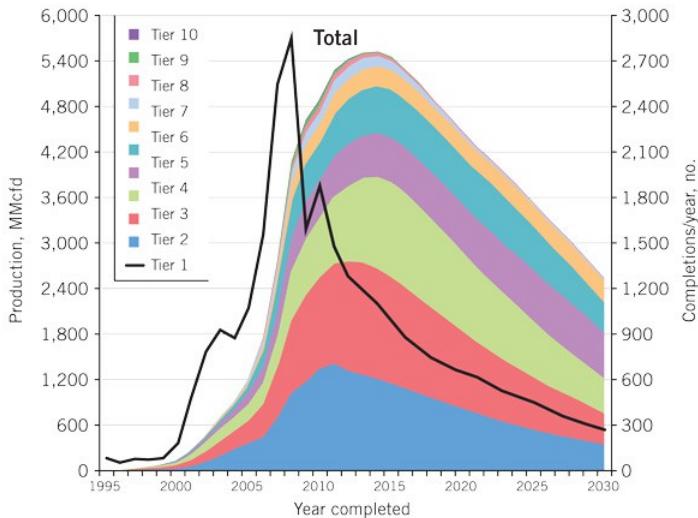
117 John Browning, Scott W. Tinker, Svetlana Ikonnikova, Gürcan Gülen, Eric Potter, Qilong Fu, Susan Horvath, Tad Patzek, Frank Male, William Fisher, Forrest Roberts (University of Texas, Austin); Ken Medlock III (Rice University, Houston) «BARNETT SHALE MODEL-2: Barnett study determines full-field reserves, production forecast», **Oil & Gas Journal**, 02/09/2013

территории, где ещё не бурили». Любому, кто хотя бы поверхностно знаком с историей геологоразведки штата Техас, в последней фразе прозвучит звоночек. С конца позапрошлого века бурили в Техасе практически везде, другое дело что 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 –  $13'000 \text{ км}^2$ , в среднем на каждом километре, оценочно,  $0.28 \text{ млрд м}^3$  начальных геологических запасов, итого  $3'600 \text{ млрд}$ . Коэффициент извлечения у аспирантов получился меньше 100%. Нормально.

На карте геологических запасов каждый квадратик – 640 акров, или квадратная миля, то есть  $2.6 \text{ км}^2$ . На этом квадратике – от «менее 23» до «более 106» млрд кубических футов газа, что даёт от «менее 0.25» до «более 1.15» млрд  $\text{m}^3$  геологических запасов газа на квадратный километр. Вычислив стоимость бурения, пришли к выводу, что буриться будут лишь квадратики с геологическими запасами не меньше  $0.58 \text{ млрд м}^3$  на  $\text{км}^2$ . 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  $120 \text{ млн м}^3$ . Всего со «сладких точек» можно добыть (к 2050 году) 45 триллионов кубических футов ( $1'275 \text{ млрд м}^3$ ) природного газа, примерно половину расчётных извлекаемых запасов. Воспроизведём график из доклада.

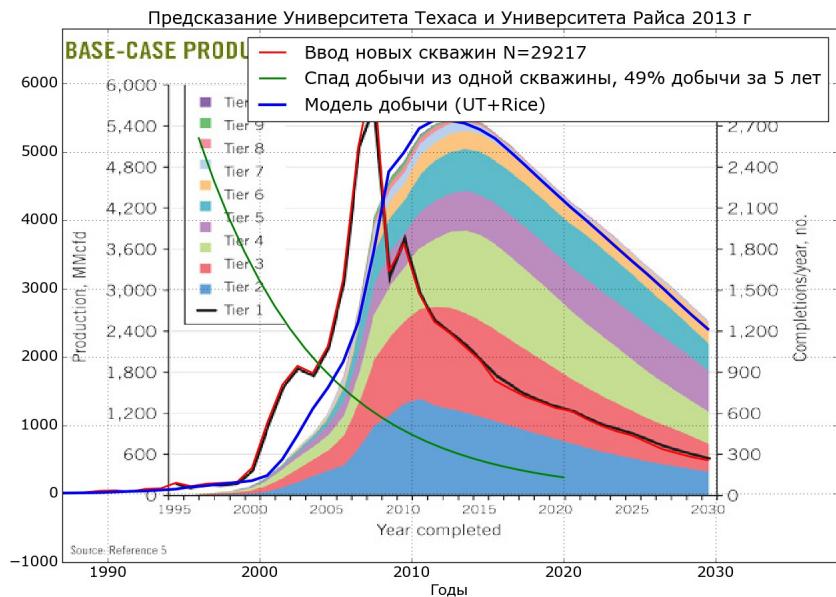
**BASE-CASE PRODUCTION FORECAST**

FIG. 5



Source: Reference 5

Чёрная кривая – ввод новых скважин, заливка – предсказанная добыча до 2030 года. Как уважаемые авторы рассчитали общую добычу? Приведём упрощённый метод, используя уравнение свёртки, аналогичное {9.2}, лишь вместо спада концентрации  $\text{CO}_2$  – спад дебита из скважины (программа **\Chapter 10\Test\_01\_Prediction\_Barnett.py**):



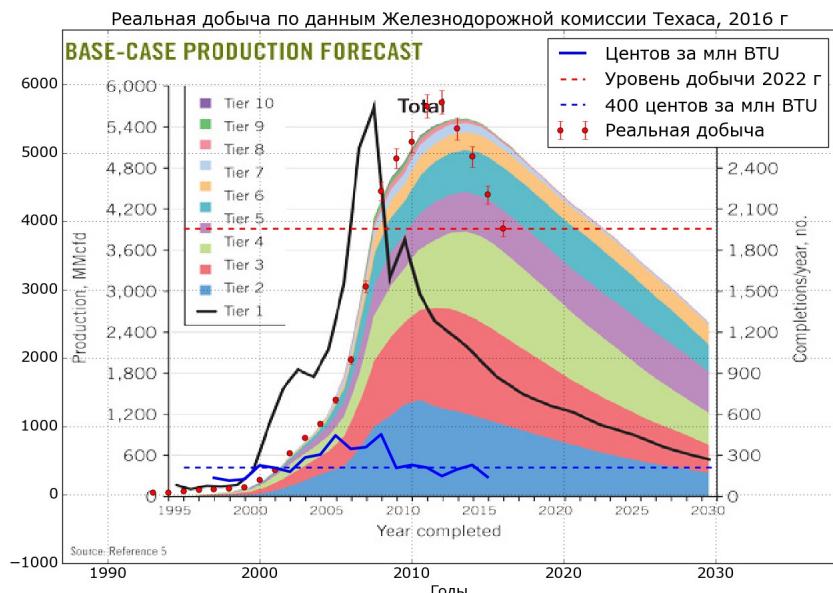
Как видим, авторы приняли, что первый год после гидроразрыва скважина на Барнетте будет давать в среднем 520 тыс кубических футов (14.7 тыс м<sup>3</sup>) газа в сутки, а снижение добычи – по 12% за год, при общем времени работы скважины 25 лет.

Обратите внимание на несоответствие реальных и расчётных данных за период 1995-2006 гг. Похоже, скважины пробуренные «Митчелл Энержи» с 1981 года 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!) добывчных 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<sup>118</sup>. С тех пор добыча неуклонно снижается, причём гораздо быстрее, чем предсказали университетские геологи. В 2016 г добыча упала до 3'890 млн кубических футов в сутки. По мнению университетов, такое снижение дебита ожидалось

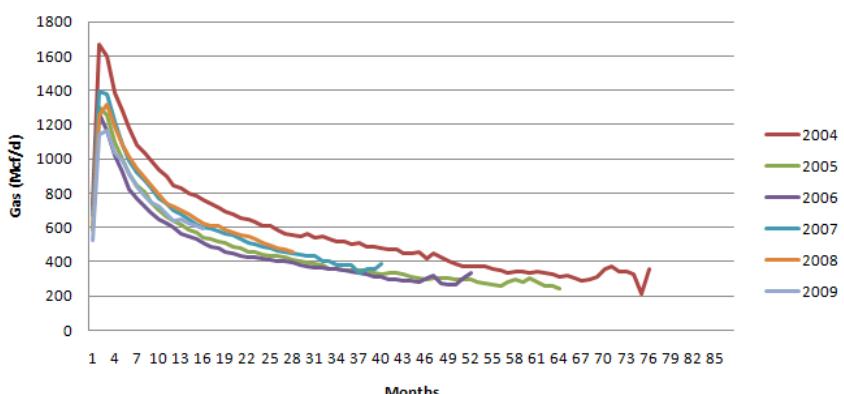
<sup>118</sup> По факту оказалось меньше 5'000 млн кубических футов в сутки: в 2017 году EIA выяснила, что долгие годы «Митчелл Энержи» фальсифицировала значения  $T_{запеки}$  для формулы {10.1}, но аспиранты не могли этого знать. Здесь и далее вычисления приводятся со «старыми» коэффициентами расширения газа. Новые значения приводятся в следующей главе.



Экономисты жалуются, что в 2012 году произошёл обвал цен на природный газ в США. Ну, обвалом это можно считать условно: в 2008 году цена упала более чем вдвое: с \$8.86 за млн BTU до \$3.94, однако, 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.

### Devon Barnett Shale Type Curves



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  $q_0$  – дневной дебит:

$$dQ = 30 q_0 \exp(-\sigma t)$$

Тогда добыча за всё время жизни скважины  $T$ :

$$Q = \int_0^T 30 q_0 \exp(-\sigma t) dt = 30 \frac{q_0}{\sigma} (1 - \exp(-\sigma T)) \quad \{10.3\}$$

Половина газа будет добыта за время  $T_{1/2}$ :

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\sigma} = \frac{0.7}{\sigma} \quad \{10.4\}$$

Ни одна скважина полные 25 лет на Барнетте не отработала. Самая первая скважина, «Слэй-1»<sup>119</sup> 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 $\text{фут}^3$	$\sigma$ , $1/\text{месяц}$	$T_{1/2}$ , месяцев	$Q$ , млрд $\text{фут}^3$	$Q$ , млрд $\text{м}^3$
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 говорил один знакомый техасский бурильщик: «я пёрнуть могу больше, чем такой дебит».

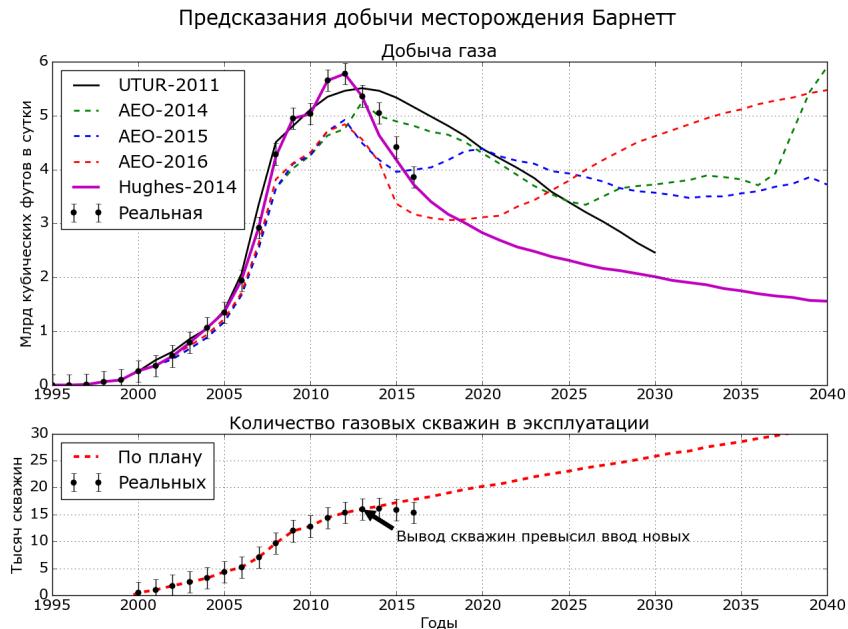
Отчего такое снижение производительности между 2004 и 2009 годами? В 2004 году бурили «сладкие точки» с характерными запасами газа (вспомним карту выше) 1.15 млрд  $\text{м}^3$  на  $\text{км}^2$ . При этом скважина дренирует порядка 0.06  $\text{км}^2$  площади, или 500x1000x120 метров объёма. Здесь 500 – апертура

<sup>119</sup> В буквальном переводе с буровицкого сленга: «Первого замочили». Что показательно.

типового гидроразрыва, 1000 – 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 м<sup>3</sup> на км<sup>2</sup>, а там скважина дренирует 0.05 км<sup>2</sup> 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 2300 скважин. Технически невозможного в этом нет, бурили и по 2900. Однако задумайтесь: вы поддерживаете бешеные темпы бурения, а добыча газа не только не растёт, не только не стоит на «полочек», а снижается на 5% ежегодно! Ни у одного нормального инвестора нервы не выдергат.

Независимо от университетских аспирантов, будущее Барнетта предсказывали американская EIA[21] и независимый нефтегеолог Дэвид 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 м<sup>3</sup> 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 м<sup>3</sup>, а Хьюз полагает, что всего 25-30 млн м<sup>3</sup>. 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 — 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<sup>120</sup>). 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 хлестких заголовков в прессе) будет продолжаться. Потому, 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**.

---

<sup>120</sup> 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.



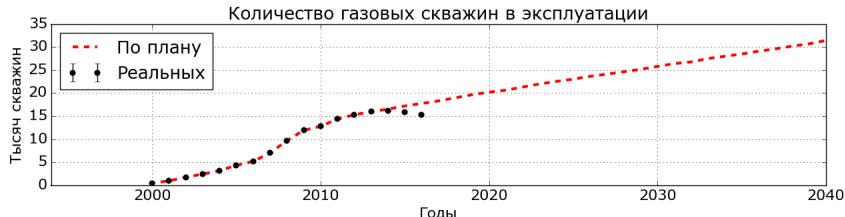
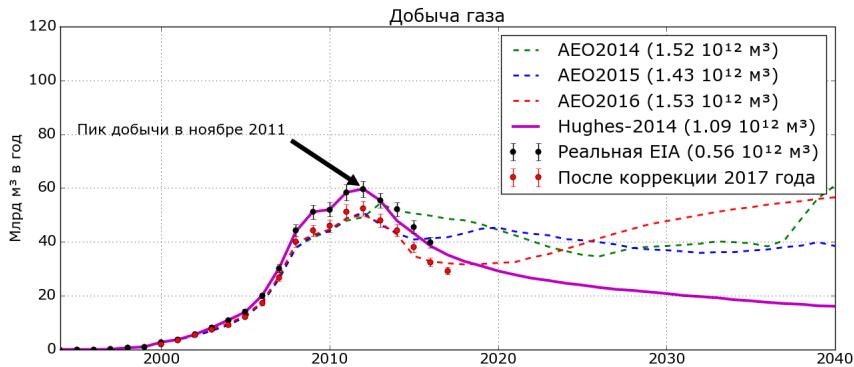
## Глава 11. Двести лет сланцевых.

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<sup>121</sup>. Первое в списке – уже известное нам месторождение Барнетт<sup>122</sup>. Программа Chapter 11\01\_Barnett\_Gas.py

Добыча газа на месторождении Барнетт



121 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, конечно, не существует.

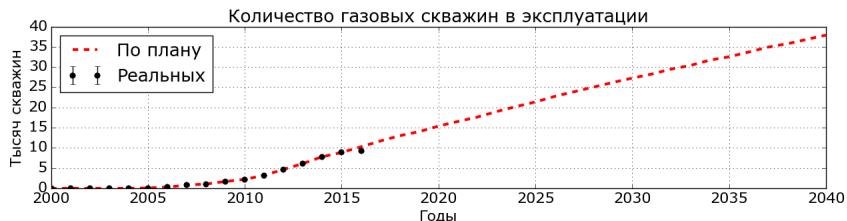
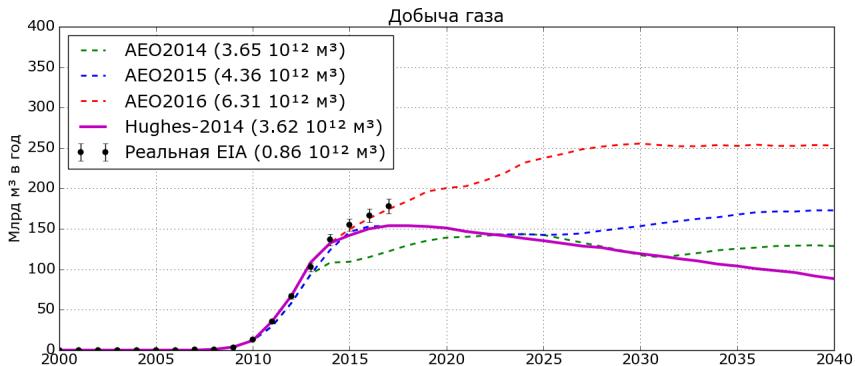
122 В 2017 году в EIA изменили значения коэффициента  $B_g$ , то есть параметры в формуле {10.1} на некоторых месторождениях. Кое-где коррекция значительна. Оказывается, Митчелл и последователи вводили USGS в заблуждение относительно зарегистрированного градиента температур.

На пике добычи в ноябре 2011 года месторождение обеспечивало около 8% американского природного газа, но с тех пор сдулось на %. Обеспечивавшие 91% добычи «сладкие точки» находились в основном в 5 графствах Техаса: Тэррант, 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 выполнит. На чём основаны прогнозы EIA, не знает даже само агентство.

Однако двинемся дальше – на месторождение Марцеллус в Пенсильвании и Западной Вирджинии. Программа **Chapter 11\02\_Marcellus\_Gas.py**

Добыча газа на месторождении Марцеллус

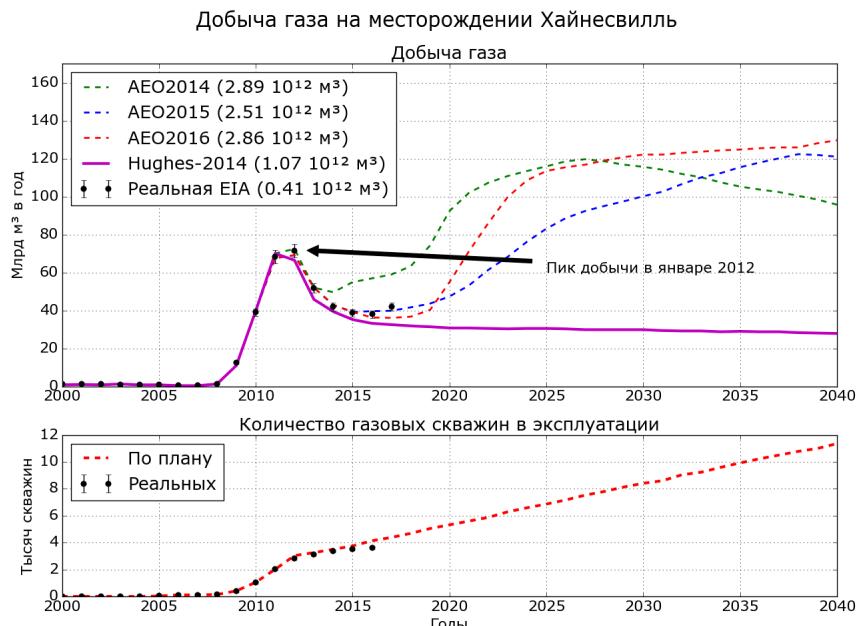


На сегодняшний день Марцеллус – самое продуктивное газовое месторождение США. Имея в активном фонде менее 9'600 скважин, оно добывает более 170 млрд м<sup>3</sup> в год, или около четверти общей газодобычи из «сланцевых». Пик добычи пока не пройден.

Как и в случае с Бернеттом, предсказания EIA сверх-оптимистичны: прогноз 2016 года предусматривает выход к 2030 году на бесконечную «полочку» добычи 250 млрд м<sup>3</sup>. По мнению Хьюза, при условии бурения еще 27'000 скважин, то есть по тысяче ежегодно плюс взамен выбывающих, к 2040 году удастся удержать добычу выше 80 млрд м<sup>3</sup> в год – это втрое меньше, чем

прогноз EIA. К слову, Хьюз – совсем не пессимист. Геологи USGS полагают, что до 2040 года из Марцеллуса удастся выдать «всего»  $2.4 \text{ триллиона м}^3$  – 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**



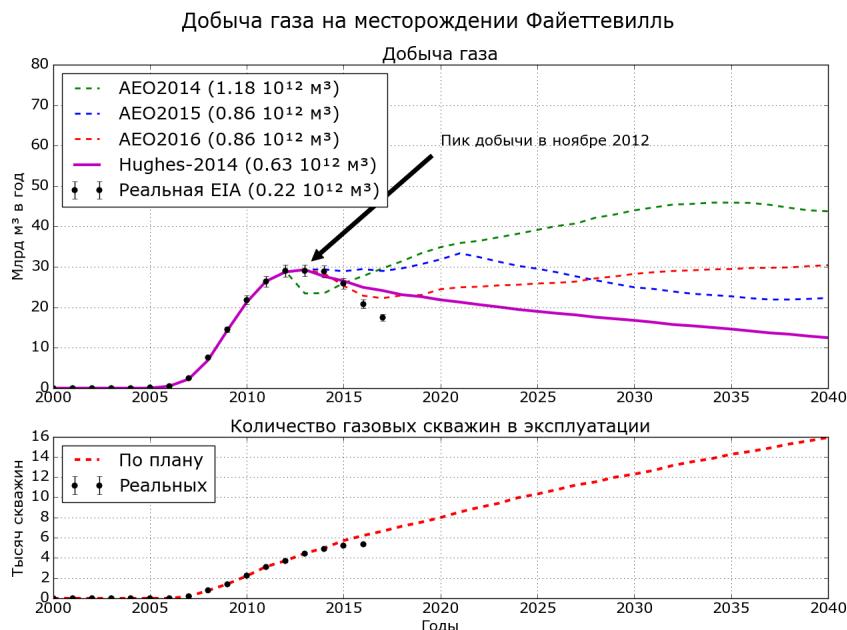
Это месторождение в геологическом плане – младшая сестричка Барнетта. Разработка началась на тридцать лет позже, рост добычи был круче, и также круче получился спад. Основные «сладкие точки» в графстве Де-Сото (штат Луизиана) уже разбурены. Сейчас на месторождении осталось в эксплуатации около  $3'600$  скважин. Годных к бурению точек – около  $17'000$ , но продуктивность там будет низкая. Как и на Барнетте, ожидается безумная буровая гонка с нарашиванием парка работающих скважин до примерно 11 тысяч к 2040 году. При этом есть шанс удержать добычу на полочке около  $25$  млрд  $\text{м}^3$  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  $\text{м}^3$ . Хьюз рассчитывал на несколько

меньшее значение: 0.99. Это, пожалуй, единственное газовое месторождение, где прогноз AEO2016 не слишком далёк от геологической реальности.



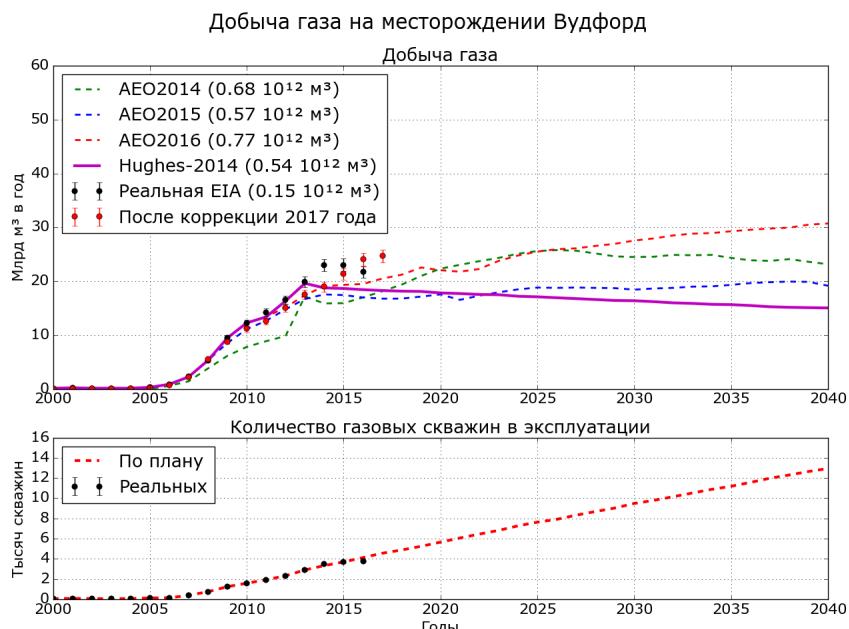
Относительно небольшое месторождение Файеттевилль – штат Арканзас. Программа **Chapter 11\05\_Fayetteville\_Gas.py** Половина «сладких точек» сосредоточена в двух графствах: Ван-Бурден и Конуэй. Ещё в трёх: Уайт, Клебур и Фолкнер – находится почти всё остальное.



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](#)

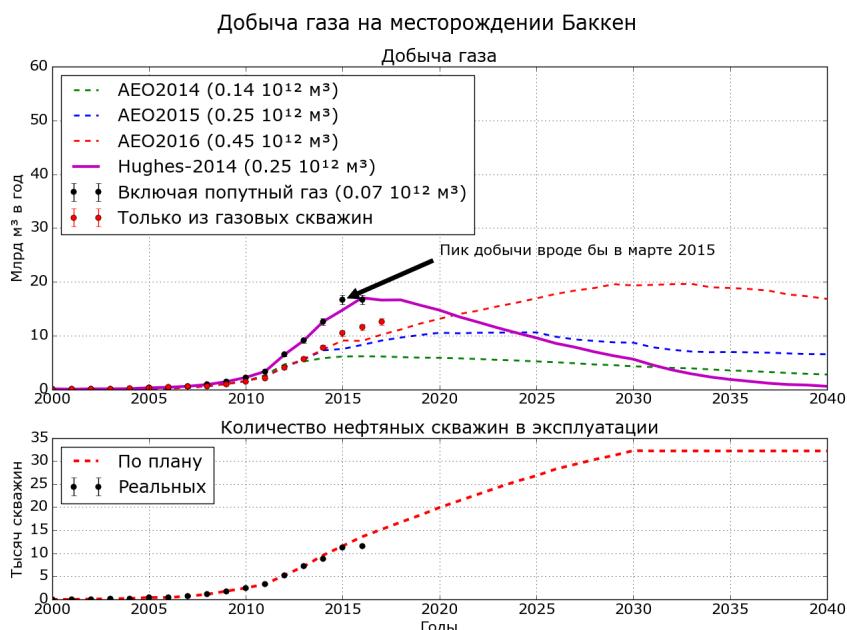


Ситуация здесь аналогична Файеттевиллю. EIA намерено извлечь 122% от собственной оценки подтверждённых и перспективных запасов. Сейчас на месторождении функционирует около 4'700 скважин, и есть место ещё для 14'000. При условии бурения 900 скважин ежегодно удастся поддерживать «полочку» выше 18 млрд м<sup>3</sup> 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 ЕIA, так и прогноз Хьюза (последний в 2016 году предсказал скорректировал)<sup>123</sup>. Программа **Chapter 11\07\_Bakken\_Gas.py**



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,

123 В статистике ЕIA 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».

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 право.

А теперь – держитесь за стул! В 2015 году «исследователи» из университета Западной Вирджинии насчитали в Ютике 782 (семьсот восемьдесят два прописью)<sup>124</sup> 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 м<sup>3</sup>. В 2017 году EIA в очередной раз перетасовала классификацию, переместив множество малых месторождений, с их 2.4 млрд м<sup>3</sup> 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<sup>125</sup>. Таким образом, к

124 Скачано в ноябре 2017

[http://www.rigzone.com/news/oil\\_gas/a/139667/study\\_utica\\_shale\\_larger\\_than\\_previous\\_estimates/](http://www.rigzone.com/news/oil_gas/a/139667/study_utica_shale_larger_than_previous_estimates/) См. также <http://slideplayer.com/slide/8415347/>

125 Скачано 6 ноября 2017 года с <https://www.eia.gov/naturalgas/weekly/>

«сланцевому» газу «остальных месторождений США» в 2016 году была сделана искусственная добавка 30 млрд м<sup>3</sup> – отняли, естественно, у «классического» газа. Зачем понадобились бумажные фокусы? Предполагаю, что очень хотелось побить рекорд 2015. Действительно, по «новым, самим проверенным», данным EIA «сланцевого» газа в 2015 добывали 424.8 млрд м<sup>3</sup>, а в 2016 – 442.7. Без изменения классификации скважин рекорд остался бы стоять. Впрочем, побили бы в 2017 – по «новой классификации» в этом году вероятно будет добыто более 460 млрд м<sup>3</sup>.

## Программа Chapter 11\09\_Others\_Gas.py

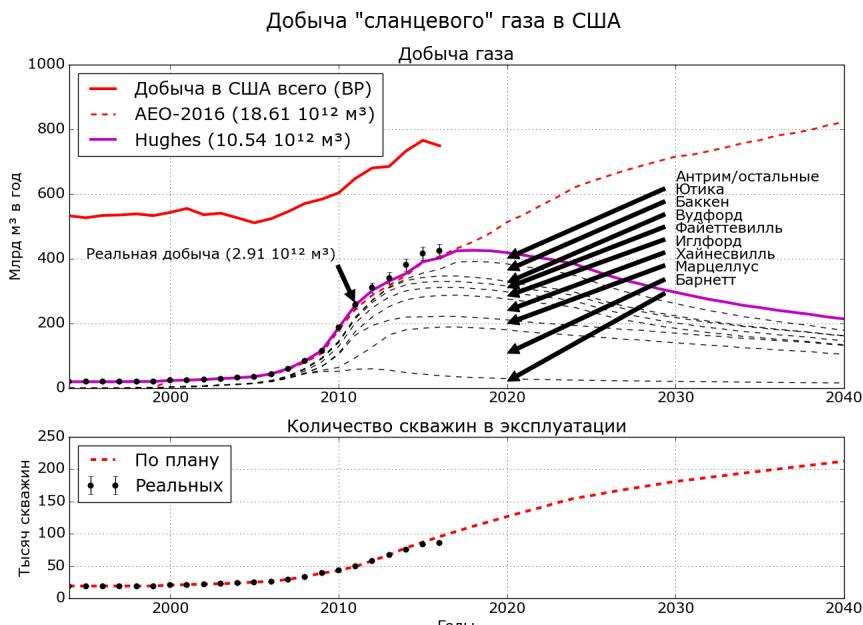


Когда представителей EIA попросить показать на карте США, где именно находятся эти «остальные», вам уверенно ткнут пальцем в северную часть штата Мичиган, где находится месторождение Антрам. Штучка действительно уникальная. Здесь газовые залежи на глубинах всего 200-700 м непрерывно подпитываются за 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, Антрам 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 м<sup>3</sup> годовой добычи. Но с такими дебитами угли уже не справляются, оттого добыча падает по 4.6% ежегодно.

Сведём наши данные в табличку (последние данные за сентябрь 2017 г.).

Месторождение	открытие	начало освоения	пик добычи газа
1. Антим (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
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	2011-2012

Теперь просуммируем модели Хьюза и предсказание EIA 2016 года программой **Chapter 11\10\_Total\_Gas.py**

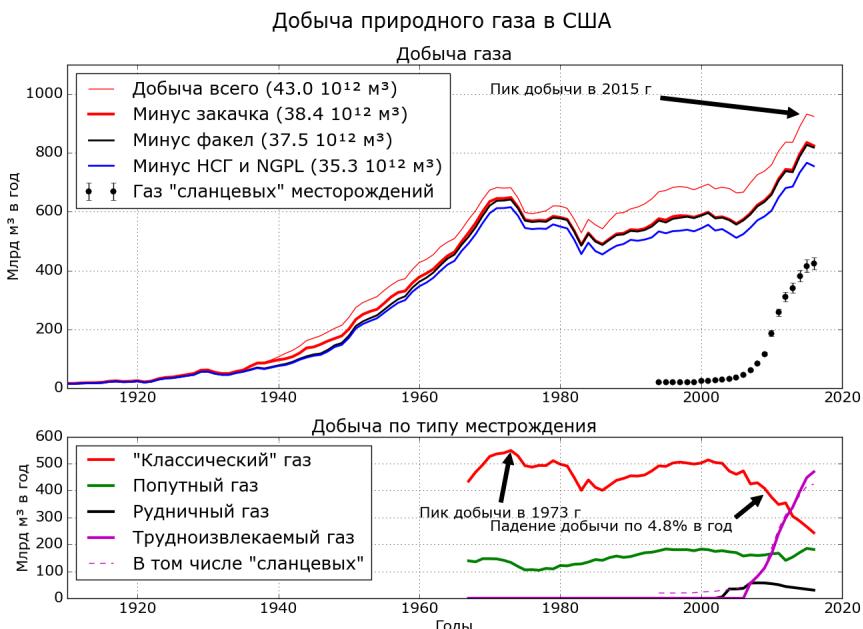


К 2016 году более половины американского газа добывали с помощью первичных гидроразрывов из пород с проницаемостью существенно ниже 0.1 мД. По мнению EIA, добыча такого газа к 2040 году возрастёт примерно вдвое – до 800 млрд м<sup>3</sup> в год (сколько потребуется скважин, специалисты EIA смело

«забыли посчитать»). Дело за малым: USGS должна в следующие десять-пятнадцать лет обнаружить на территории США ещё 8 триллионов м<sup>3</sup> 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.

Дэвид Хьюз оптимистически полагает, что к 2040 году добыча трудноизвлекаемых запасов газа в США плавно спустится до примерно 200 млрд м<sup>3</sup> 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 гидроразрывов. Количество необходимой пресной воды исчислению не поддаётся.<sup>126</sup>

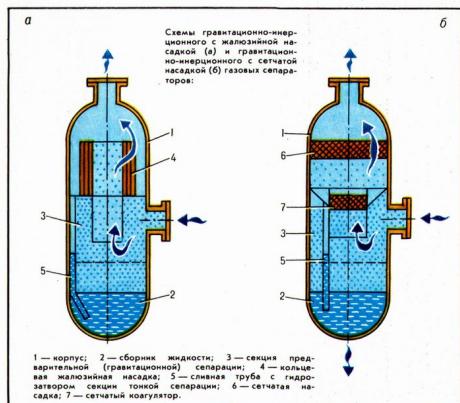
Теперь сравним прогноз Хьюза и АЕО2016 с общей добычей в США с начала прошлого века. Программа **Chapter 11\11\_USA\_Gas\_History.py**



Ситуация с добычей природного газа в США значительно сложнее, чем в голове у «сланцевых» газетчиков, и даже несколько сложнее, чем можно вывести из отчёта «BP». Разберём на примере пикового 2015 года.

126 Напомню, что на Барнетте отдельные гидроразрывы уже используют 11 тыс тонн на одну скважину.

- Всего добыто, по данным EIA, 32.915 триллиона кубических футов, или 932.0 млрд м<sup>3</sup>. 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 м<sup>3</sup>, или 48% извлечённого газа.
- Далее, 8.2 млрд м<sup>3</sup> сгорает в факелах синим пламенем (либо просто втихушку вентилируется в атмосферу) без всякой выгоды. Лидерами сжигания являются Баккен – 3.0 млрд м<sup>3</sup> и Пермское с «помогающим» Иглфордом – 3.2 млрд м<sup>3</sup>. 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 м<sup>3</sup>. Вероятно до 1930 ещё примерно 300 млрд, но там статистики факелов никто не вёл.
- Далее 96.6 млрд м<sup>3</sup> берут насосы... и закачивают обратно под землю! Особенно полюбились подобные упражнения на Аляске – 80.0 млрд м<sup>3</sup>. Зачем они такие нужны? Во-первых, на нефтяных месторождениях надо же девять куда-то попутный газ. Строительство газопровода сквозь Канаду в 2014 году было заморожено. Да если и построят, пропускная способность будет «всего» 41 млрд м<sup>3</sup> в год. Во-вторых, закачкой газа поддерживают пластовое давление. Наконец, в-третьих! Если на газовом месторождении перед закачкой пропускать добывшее через сепаратор<sup>127</sup>, 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 сырье яйца по двадцатке за десяток, варил и перепродаивал по два рубля штучка. Ещё много любителей наваривать конденсат есть в Техасе – в 2015 году закачали обратно 15.1 млрд м<sup>3</sup> газа. А всего с 1936 года в США вернули природе 5 годовых добыч: 4.6 триллиона м<sup>3</sup>.
- 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<sub>2</sub> и жутко полезные гелий, аргон,



<sup>127</sup> Для тех, кто не видел, разрез газового сепаратора представлен на врезке (по материалам Горной Энциклопедии).

криптон, ксенон... Всего в 2015 году таких газов в США получилось 12.5 млрд м<sup>3</sup>.

- На том же нефтезаводе природный газ делят на фракции! Американцы рапортуют честно: 766.4 млрд м<sup>3</sup> «коммерческого» (он же «сухой») природного газа для электростанций, кухонь и водогреек и 48.3 млрд м<sup>3</sup> 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 м<sup>3</sup>.

По последним, самым проверенным данным, добыча с 2000 по 2017 год выглядит так (2017 год – экстраполяция по данным 3 кварталов):

Год	Извлечено газа, млрд м <sup>3</sup>					Расход и переработка, млрд м <sup>3</sup>				Сухого товарного газа		
	CG	OWG	СВМ	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	424.8	58.4%
2016	243.2	181.2	30.2	469.6	924.1	6.0	100.0	11.7	51.4	755.0	442.7	62.2%
2017	222.8	177.3	27.2	492.2	919.5	6.0	106.7	11.7	51.4	743.8	462.9	66.2%

Добыча попутного газа в США из нефтяных скважин (OWG) стоит примерно на «полочке» 160-190 млрд м<sup>3</sup> 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 м<sup>3</sup> в год – больше, чем годовая добыча всей Африки.

В 2017 году доля «сланцевого» газа в сухом товарном газе США превысит 2/3. Ничего хорошего в этом достижении нет. Просто вместо одной вертикальной скважины (без гидроразрыва) надо бурить и рвать 10 наклонно-направленных.

Вопрос не в том, перекроет ли Америка в 2017 или 2018 году собственный рекорд добычи 2015 года. Если считать по товарному газу – вполне может перекрыть. Для этого хватит лишь уменьшить закачку и факельное сжигание (118 млрд м<sup>3</sup> суммарно) на 10%. Однако, дальше придётся строить тот газопровод с Аляски...

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 третья «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! Если для вас, дорогой читатель, это прозвучало откровением, вы открыли не ту книгу. Вам в отдел про попаданцев.

По факту, 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 потрошki. 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 гидроразрывов 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 м<sup>3</sup>, но бизнес «не взлетел», сами угадайте отчего. Даю наводку: СВМ/CSG – почти чистый метан.

Но скажем честно: предотвращать газовый коллапс в США никто не собирался, и никто не будет. Переходим к собственно предсказаниям. Вот что пишет Хьюз. Привожу цитату целиком, ибо лучше не скажешь:

*Когда в июле 2014 году я готовил «Drilling Deeper», большинство месторождений «сланцевого газа» были на подъёме, а количество работающих в США буровых вышек было 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 Хайнесвиль, 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 Марселяусе, 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.<sup>128</sup>]. Программа довольно сложна. В заявлении по ссылке EIA предупреждает: «Большинство скачавших NEMS наши программу трудной в использовании». [Я лично трудной её не нашёл, но обнаружил тонны ненужного говнокода на «Визуальном Фортране». На дворе XXI век! Аллё! Есть кто дома?]

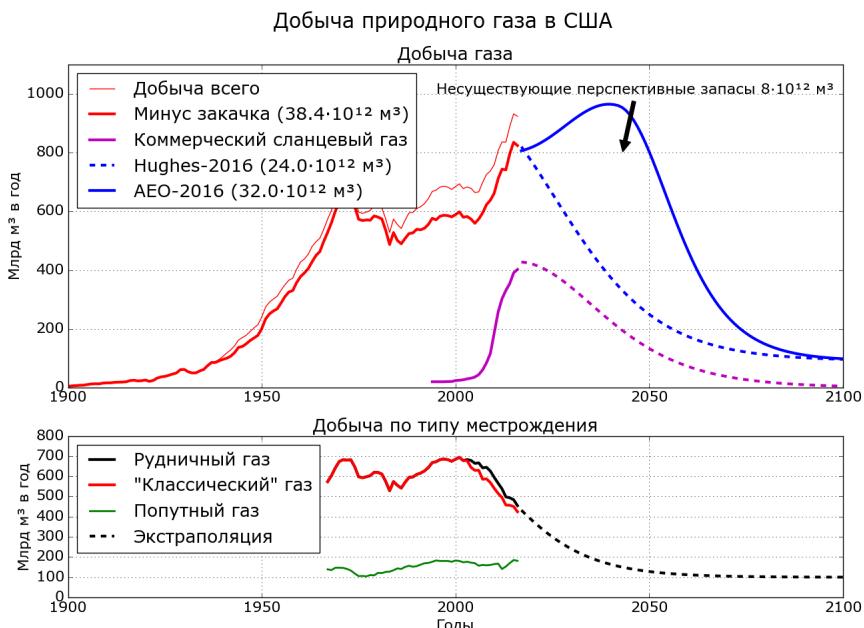
[...] Так или иначе, используя свою чудесную программу, EIA увеличила прогноз добычи «сланцевого» газа на 31% по сравнению с прогнозом 2015 года, при одновременном снижении цены газа на 20%. Неужто наше знание геологии США так существенно изменилось всего за год [не слишком активного бурения]? Почему добыча сланцевого газа на Марцеллусе 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 извлеченного 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 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 раскрытии будущий спрос на газ, вне зависимости от того, сможет ли добывающая промышленность подобные дебиты

128 Как скачать, написано по ссылке: [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/info\\_nems\\_archive.php](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/info_nems_archive.php)

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.

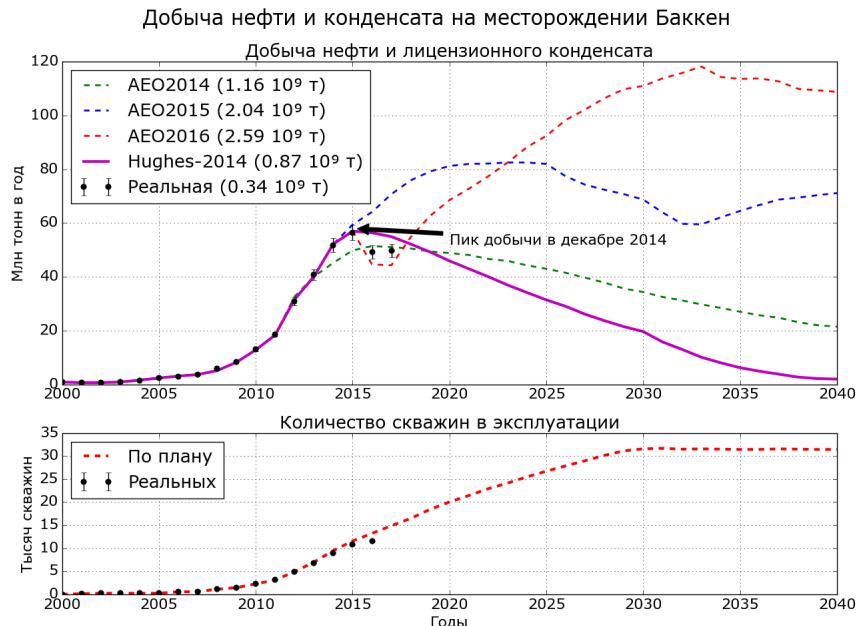
Кроме цитаты, приведу прогнозы общей добычи газа в США по мнению Хьюза и в соответствии с АЕО2016. Говнокодый и хитроздадий фортранный NEMS нам для этого не понадобится. Достаточно программы **Chapter 11\12\_USA\_Gas\_Prediction.py**



Теперь от природного газа перейдём к предсказаниям Д.Хьюза по «сланцевой» нефти. Здесь и далее, чтобы не путать продукт с пиролизными углеводородами из природного керогена, будем пользоваться официальный терминологией: LTO – Light Tight Oil – «запасы лёгкой нефти из низкопродуктивных залежей»

Добыча 2017 года экстраполирована по данным за январь-октябрь, путём суммирования добычи до октября и добавления ещё двух октябрьских дебитов. Здесь и далее, будем переводить американские баррели в сутки в нормальные единицы: миллионы тонн в год. За плотность нефти примем американский стандарт WTI: 0.827 г/см<sup>3</sup>. В реальности плотность несколько отличается, так как часть добычи составляет газовый конденсат с плотностью ниже 0.780, а также тяжёлая нефть с плотностью выше 0.920. EIA публикует данные по плотности американской нефти лишь с января 2015 года<sup>129</sup>. С этого момента и по август 2017 средняя плотность по сумме всей нефти и конденсата на территории «нижних 48 штатов» составила 0.826 г/см<sup>3</sup> – в пределах погрешности.

<sup>129</sup> [https://www.eia.gov/dnav/pet/pet\\_crde\\_adc\\_mbblpd\\_m.htm](https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_crde_adc_mbblpd_m.htm) Не надо путать это значение с условной плотностью по данным таблиц «BP». Последняя включает NGPL как «жидкость».



В 2014 году Хьюз [23] предсказывал извлекаемые запасы Баккена на уровне 0.9 млрд тонн и пик добычи в 2015 году; ЕIA 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 ЕIA продолжает увеличивать прогнозы. АЕО2015: 2.0 млрд т с «полочкой» добычи до 2025 года, АЕО2016: 2.6 млрд т с пиком в далёком 2033. Реальная добыча пока отстает даже от прогноза Хьюза – падение суммарного дебита месторождения с момента пика составило в среднем 0.3% в месяц.

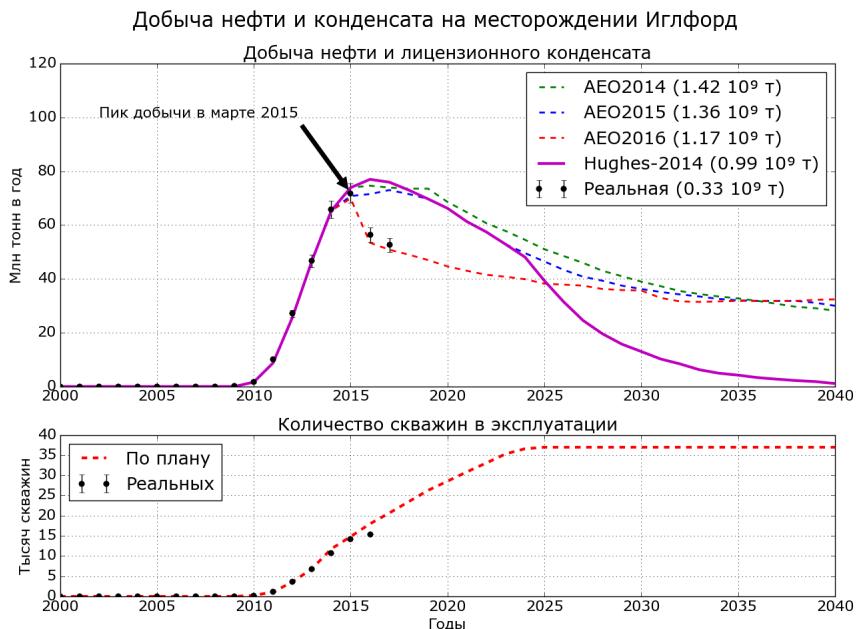
Для сравнения: на момент начала разработки, запасы Самотлора оценивались в 2.0 млрд тонн (после освоения и доразведки на 2015 год – 3.3), к 2016 году примерно 16 тысяч скважин извлекли более 2.7 млрд т накопленной добычи. На Баккене 15.4 тысячи пробуренных скважин извлекли за 15 лет всего 0.33 млрд тонн. 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 км<sup>2</sup>) в среднем всего 2-5 тысяч тонн<sup>130</sup>. USGS в 2013 году оценила общие подтверждённые и перспективные извлекаемые запасы Баккена в 0.96 млрд т (P50), что близко к независимой оценке Хьюза, однако половина

130 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 площадях месторождения добыча составляет всего две тонны в сутки с квадратного километра! См. <https://www.dmr.nd.gov/oilgas/mpindex.asp>

этих запасов размазана за пределами «сладких точек»<sup>131</sup>.

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 отстает на многие тысячи единиц. Главная проблема: негде стало бурить. «Сладкие точки» на территории графств Маккензи и Монрео в Северной Дакоте уже разбурены практически полностью, ещё три графства догоняют: Данн, Уильямс и Ричленд (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 км<sup>2</sup> – «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**). И картина опять знакомая: добыча «жидкостей» падает, как кирпич. По 1.2% в месяц.



Впрочем, одно отличие имеется – здесь EIA не питает особых иллюзий. С 2014 по 2016 годы оценки извлекаемых запасов непрерывно снижались. Хьюз, однако, полагает, что сохранить «полочку» добычи на 35-40 млн тонн

<sup>131</sup> 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

нереально, и к 2023 году 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.

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 пол-столетия 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 ЕIA переквалифицирует «старичков» в «новые месторождения». Поэтому графики ниже предсказаний Хьюза не содержат.

Вот месторождение Пермское – вполне «классическое» стариинное 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<sup>132</sup>, захватывая чуток верхнего Каменноугольного (323-260 млн лет назад).

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<sup>133</sup>, в Спраберри – от 1.9 до 7.6<sup>134</sup>, в Боун-Спринг – от 1.1 до 4.5<sup>135</sup>, а всего по оценке P50 – 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!

P50 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.

132 Как и российский город Пермь, который стоит на пермских отложениях. Американцы зовут верхний Каменноугольный период «Пенсильванским».

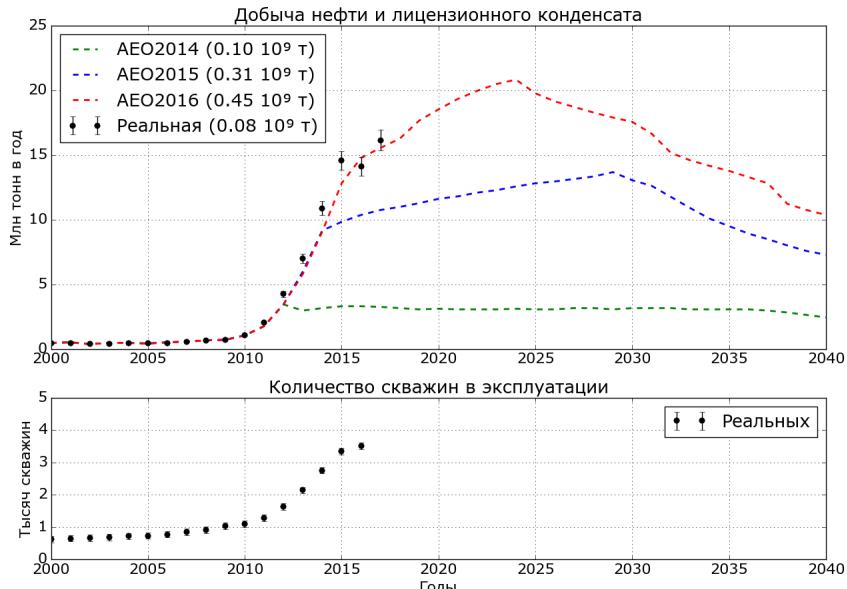
133 <https://pubs.usgs.gov/of/2017/1013/ofr20171013.pdf>

134 <https://pubs.usgs.gov/fs/2017/3029/fs2017173029%20.pdf>

135 <https://pubs.usgs.gov/fs/2012/3051/fs2012-3051.pdf>

## Программа Chapter 11\15\_Permit\_BoneSpring\_Oil.py

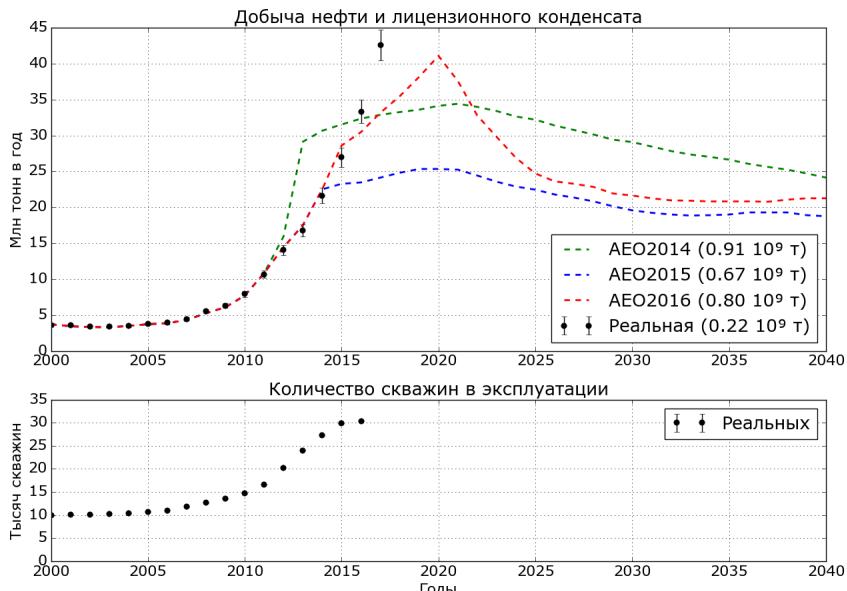
Добыча нефти и конденсата на месторождении Пермское / Боун-Спринг



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 добывчей менее 3 баррелей в сутки. В условиях высоких цен на нефть, количество действующих скважин довели до 3'500.

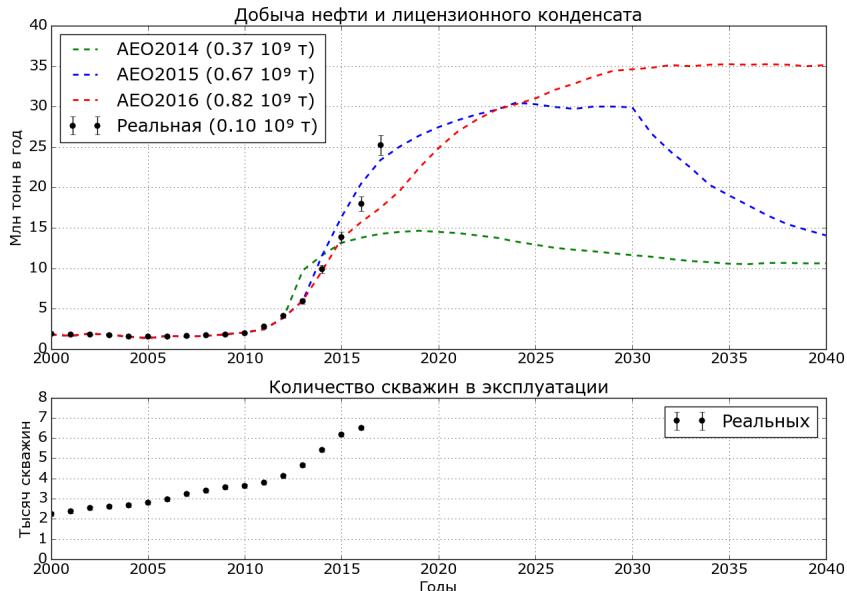
## Программа Chapter 11\16\_Permit\_Spraberry\_Oil.py

Добыча нефти и конденсата на месторождении Пермское / Спраберри

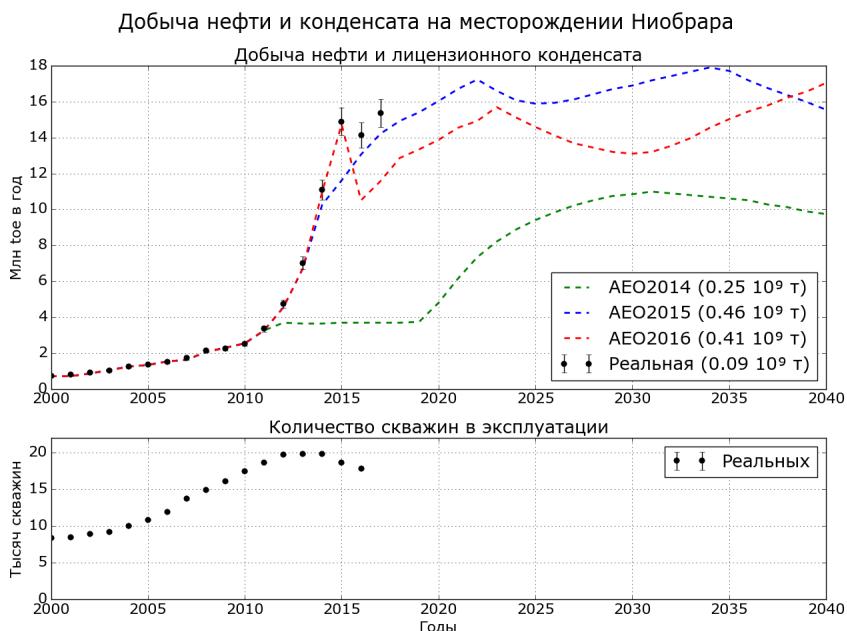


## Программа Chapter 11\17\_Permit\_Wolfcamp\_Oil.py

Добыча нефти и конденсата на месторождении Пермское / Вольфкамп



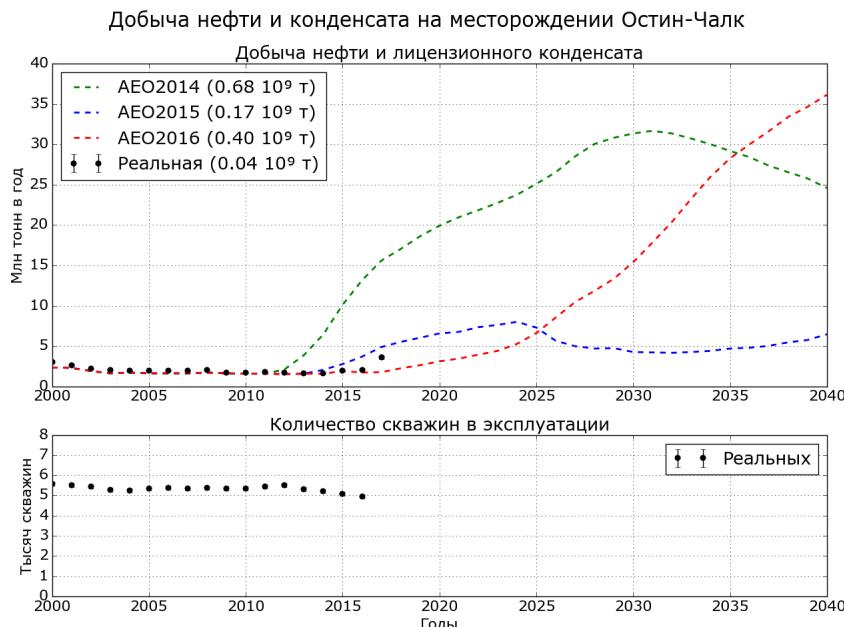
Ещё на двух «старых»: Ниобаре и Остин-Чалк – ситуация аналогична Пермскому. Программа **Chapter 11\18\_Niobrara\_Oil.py** (данные в тоннах нефтяного эквивалента в связи с со спецификой отчётности в Колорадо):



Самое крупное **газовое** месторождение Ниобарского 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). Ни о какой «сланцевой революции» буровики штата не знают, так как строительство скважин проводилось по планам разработки из 1980-х, однако, это не мешает EIA считать Ниобару «сланцевой».

## Программа Chapter 11\19\_Austin\_Chalk\_Oil.py



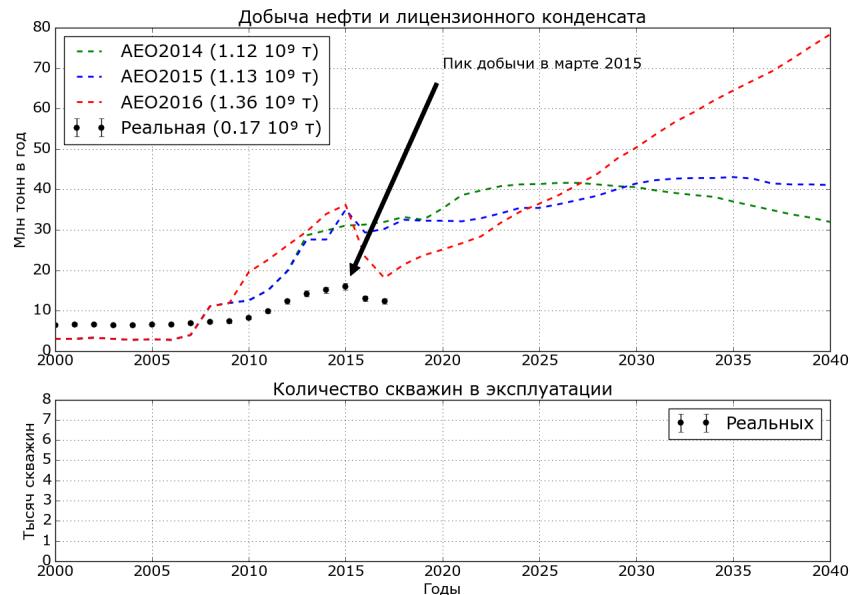
Остинский мел примыкает к Иглфорду (в основном на территории графства Кэрнс). Разработку начали во время Второй Мировой, пик добычи – 8.6 млн тонн в 1991 году. На то время было пробурено более 15'700 скважин, с тех пор большинство было выработано и ликвидировано; на конец 2016 года в работе осталось около 4850, 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.

Наконец, в нефтяных прогнозах EIA есть так называемые «остальные». Сюда 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. Программа **Chapter 11\20\_Others\_Oil.py** (скважин в статистике нет, так как они все проходят по категории «газовые»):

Добыча нефти и конденсата на остальных и ещё не открытых месторождениях

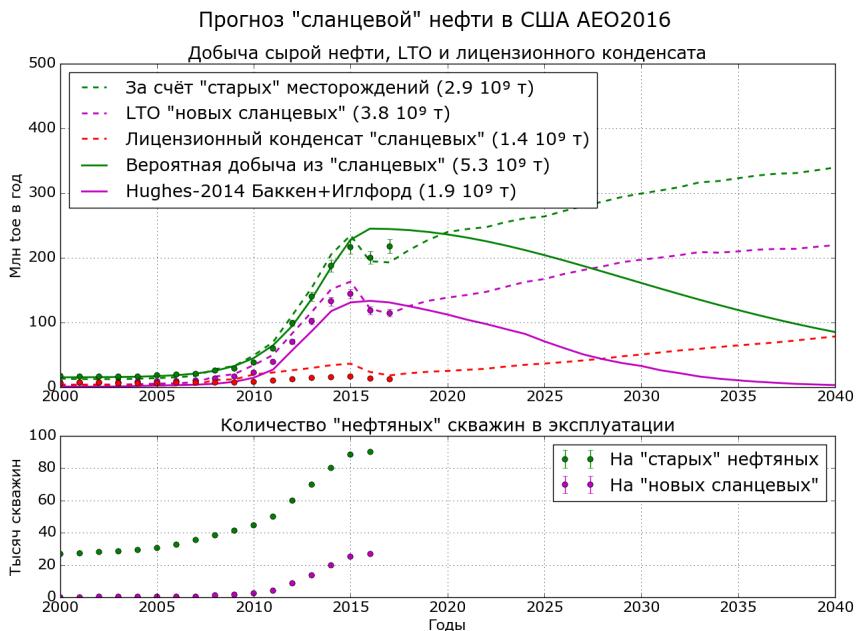


Теперь, как и для газа, соберём все предсказания вместе. Для ясности, поделим нашу «сланцевую нефть» на три категории: во-первых, конденсат «сланцевого газа», во-вторых, LTO и конденсат с месторождений, которые начали разрабатывать после «официального начала сланцевой революции» и в-третьих, трудноизвлекаемые 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

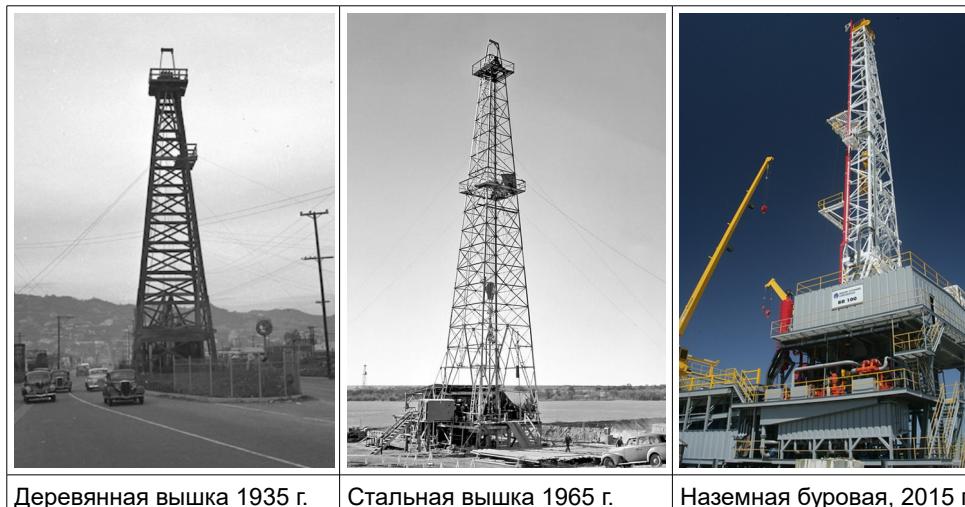
добыть из «сланцевых» (включая переведённые в категорию «сланцевых» ТриЗ «старых» месторождений) порядка 9 млрд тонн. Хьюз полагает, что при существующей низкой буровой активности такой оптимизм не обоснован. Вероятно, к 2040 году удастся извлечь 5.0-5.5 млрд тонн, в том числе из Баккена и Иглфорда – 1.8-2.0 млрд тонн ( $\frac{2}{3}$  от подтверждённых и перспективных Р50, или все Р95, называйте как хотите).



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.

Статистика EIA по нефти и конденсату начинается с далёкого 1859 года. С тех пор добыто  $29.2 \pm 0.5$  млрд тонн, или примерно 9 Самотловов. 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 нефти и конденсата был пройден в 1970 году на уровне 462.5 млн тонн в год, когда трудилось «всего» 1028 вышек, причём по сравнению с 1940 и 1950 годами количество буровых сократилось в 2.8 раза.



Деревянная вышка 1935 г.

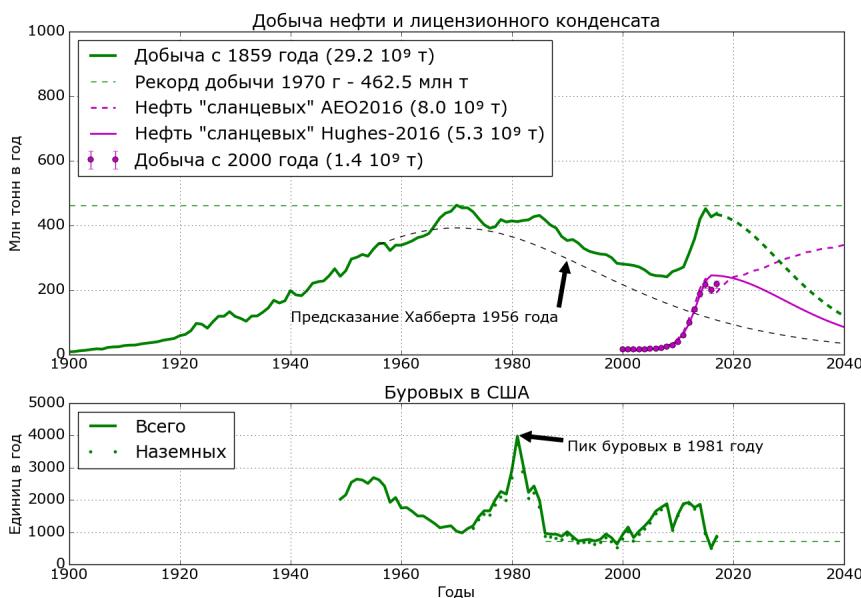
Стальная вышка 1965 г.

Наземная буровая, 2015 г.

Для любителей порассуждать о «спаде активности», приведу исторические картинки выше. Буровая образца 1965 года – 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 с 1028 до 3970 в 1981 году (из них 256 – морских платформ). Несмотря на увеличение парка буровых в четыре раза, добыча «жидкостей» оставалась на «полочеке» 420 млн т в год. Обвальное сокращение бурения с 1981 по 1985 годы на «полочеке» 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.

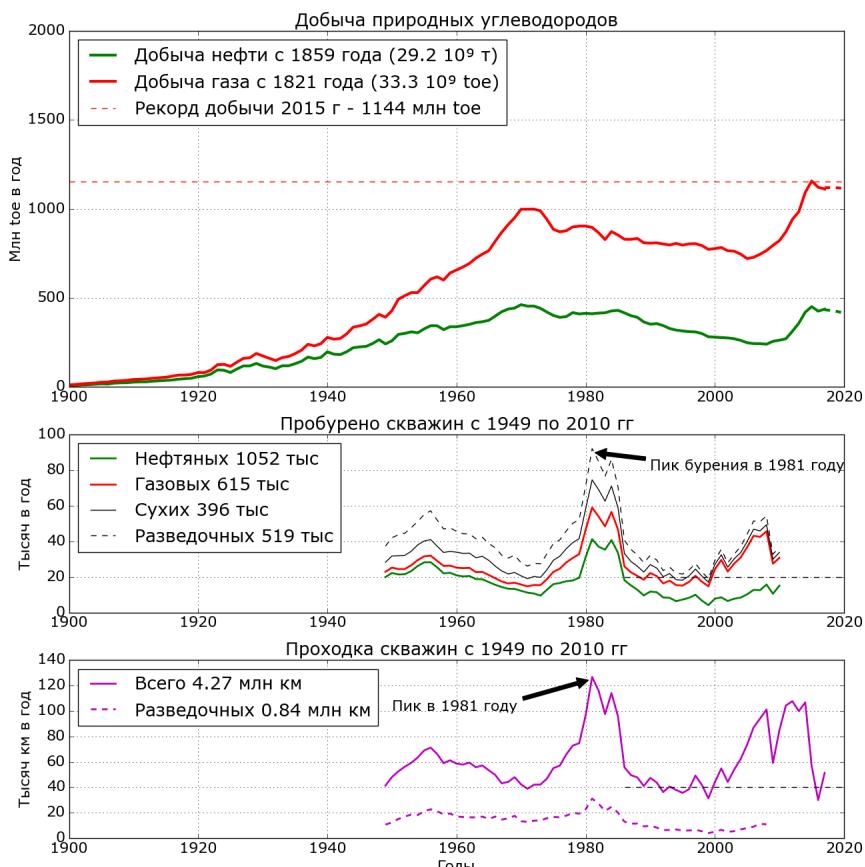
Добыча нефти и лицензионного конденсата в США



После сокращения количества буровых с примерно 1800 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 читателя, что рассматривать добчу нефти как простую функцию количества буровых – довольно бесперспективное занятие. Попробуем соединить данные по добчи 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**

Добыча нефти и природного газа в США



EIA публикует количество пробуренных скважин с 1949 по 2010 годы включительно, и опять прямой корреляции между количеством пробуренных скважин и добчей нет. В первом приближении скважины коррелируют с числом буровых: больше работает буровых – больше бурится скважин. Логично. Но и здесь не совсем пропорциональность. На пике активности в 1981 году 3970 буровых сделали 92 тыс скважин (в среднем по 23 скважины в год на буровую), а тремя годами позже 86.2 тыс скважин построены 2428

буровыми (в среднем по 35 скважин в год на установку, или новая скважина каждые 10-11 дней). В кризисном 2008 году 1879 буровых построили 54.3 тыс скважин, то есть по 28 скважин в год каждая.

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 – требуется 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 свободовать (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 баек и 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»<sup>136</sup> 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»

<sup>136</sup> Скачано в ноябре 2017: <http://money.cnn.com/2016/03/24/investing/fracking-shale-oil-boom/index.html>

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.<sup>137</sup> На октябрь 2017:

Месторождение	Количество неоконченных скважин
Пермское <sup>138</sup>	2533
Ниобара	685
Хайнесвилль	192
Иглфорд	1485
Баккен	791
Марцеллус <sup>139</sup>	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 тое. Гораздо интереснее, что будет дальше, особенно в связи с неизбежным истощением Баккена и Иглфорда.

В январе 2017 года EIA выдала документ «Annual Energy Outlook 2017 with Projections to 2050» (AEO2017) [24]. Документ принципиально отличается от предыдущих версий АЕО. Во-первых, там всего 125 страниц, а в 2014-2016 было по 250 с хвостиком. 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:

- **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. План уже почти 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 добить за 35 лет от 19.1 до 24.9 млрд т нефти. За всю историю нефтедобычи США накопленная добыча 29.2 млрд т.

137 <https://www.oilandgas360.com/current-duc-inventory-will-require-20-8-billion-complete-enercom/>

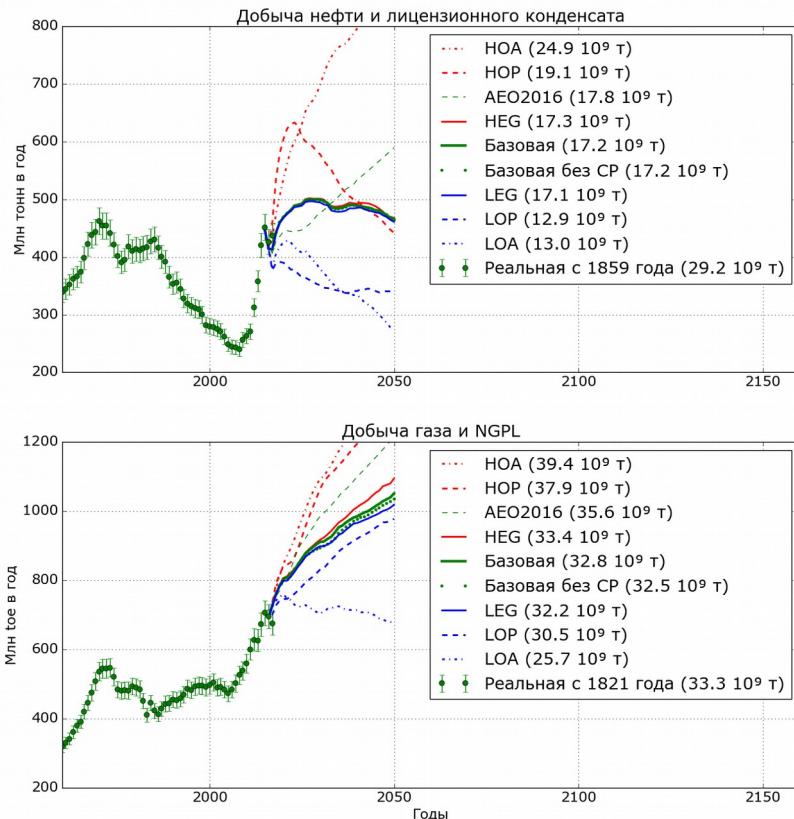
138 <https://seekingalpha.com/article/4127133-permian-duc-wells-surge-massive-implications-wti-oil-prices-inventories-permian-oil-producers>

139 <http://marcellusdrilling.com/2017/07/oil-gas-ducs-now-flying-in-different-directions/>

- **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.

## Программа Chapter 11\24\_AEO2017.py

Добыча нефти и природного газа в США - прогнозы AEO2017

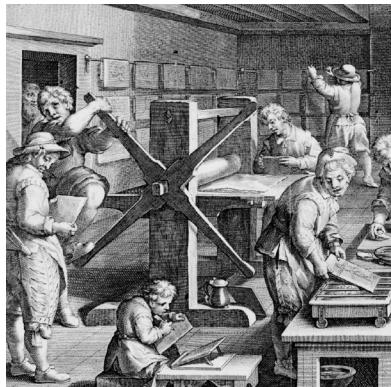


Следует, однако отметить и положительный момент. Впервые за долгие годы в отчёте EIA опубликована модель, где добыча «сланцевых» хотя бы в паре сценариев не улетает в заоблачную высь. Похоже, кому-то из высокопоставленных бюрократов в Вашингтоне приходит мысль, что за раздутые прогнозы кому-то придётся отвечать уже при этой президентской администрации.

Итоги главы:

- Официальные модели EIA вероятно **затягивают 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 м<sup>3</sup>.
- Общая добыча природного газа в США к 2050 году вероятно снизится до 250 млрд м<sup>3</sup>, причём не менее  $\frac{2}{3}$  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 – снизится на уровень 10-15% от современной, однако сможет оставаться на этом уровне весьма продолжительное время.
- Если позволит международная обстановка, США будут оставаться импортером сырой нефти и нефтепродуктов на уровне 250-350 млн тонн в год. Экспорт природного газа в Мексику будет продолжаться на уровне 35-60 млн тое 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.



## 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: [collections.dartmouth.edu/teitexts/meadows/diplomatic/meadows\\_ltg-diplomatic.html](http://collections.dartmouth.edu/teitexts/meadows/diplomatic/meadows_ltg-diplomatic.html) [[назад к тексту](#)]
- [2] Donella H. Meadows, Jørgen Randers, Dennis L. Meadows, et al, **Beyond the Limits**, Chelsea Green Publishing, ISBN 0-9300031-62-8. [[назад к тексту](#)]
- [3] Donella H. Meadows, Jørgen Randers, Dennis L. Meadows, et al, **Limits to Growth: The 30-Year Update**, Chelsea Green Publishing, ISBN 978-1931498586. [[назад к тексту](#)]
- [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. [[назад к тексту](#)]
- [5] Campbell, Colin. **The End of Cheap Oil**. Scientific American, 3-1998. [[назад к тексту](#)]
- [6] Lomborg, Bjørn. **The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World**. Cambridge, UK: Cambridge University Press. ISBN 0-521-01068-3. [[назад к тексту](#)]
- [7] Meadows, Dennis L. **Dynamics of Growth in a Finite World**. Productivity Press, ISBN 978-0262131421. [[назад к тексту](#)]
- [8] Turner, Graham. **A Comparison of The Limits to Growth with Thirty Years of Reality**. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO). [[назад к тексту](#)]
- [9] Perez, Richard & Marc. **A Fundamental Look at Energy Reserves for the**

**Planet.** IEA/SHC Solar Update, 1/27/2009. [\[назад к тексту\]](#)

[10] British Petroleum. **World Energy Report, 2017.** [\[назад к тексту\]](#)

[11] Dye, S. T. (2012). **Geoneutrinos and the radioactive power of the Earth.** Reviews of Geophysics, 50(3). [\[назад к тексту\]](#)

[12] International Energy Agency, **World Energy Outlook 2000.** IEA (2001) [\[назад к тексту\]](#)

[13] Nico Keilman, **How Accurate Are the United Nations World Population Projections?** JSTOR Population Council (1998) [\[назад к тексту\]](#)

[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 [\[назад к тексту\]](#)

[15] Bardi, Ugo, **The Limits to Growth Revisited (SpringerBriefs in Energy)**, Springer (2011), ISBN 978-1441994158. [\[назад к тексту\]](#)

[16] Marx, Carl, **Capital A Critique of Political Economy**, Progress Publishers, Moscow, USSR, by the original English edition of 1887 [\[назад к тексту\]](#)

[17] Darwin Charles, **On the Origin of Species**, 6th Edition, 1872. Бесплатно в Интернете: <https://www.goodreads.com/ebooks/download/22463?doc=3863> [\[назад к тексту\]](#)

[18] Randers, J, **2052: A Global Forecast for the next 40 years**, Chelsea Green Publishing Vermont USA (2012), ISBN 978-1603584210. [\[назад к тексту\]](#)

[19] Hubbert, M.K., **Nuclear Energy and the Fossil Fuels**, American Petroleum Institute, 1956. Бесплатно: <http://www2.energybulletin.net/node/13630> [\[назад к тексту\]](#)

[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. Бесплатно: <https://ia802703.us.archive.org/24/items/coalfielddsgreat00goog/coalfielddsgreat00goog.pdf> [\[назад к тексту\]](#)

[21] DOE/EIA-0383(2016) **Annual Energy Outlook 2016 with projections to 2040**, 2016: [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2016).pdf) [\[назад к тексту\]](#)

[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 [\[назад к тексту\]](#)

[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 [\[назад к тексту\]](#)

[24] DOE/EIA Annual Energy Outlook 2017 with projections to 2050 (AEO2017) Jan 2017. [www.eia.gov/ao](http://www.eia.gov/ao) [\[назад к тексту\]](#)

[80] 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 [\[назад к тексту\]](#)

[81] Pukite, Paul, **The oil conundrum**, ISBN 1-56849-587-0. Бесплатно: <http://TheOilConundrum.com> [\[назад к тексту\]](#)

[82] 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/> [\[назад к тексту\]](#)

[83] Paul R. Ehrlich, **The Population Bomb**, Sierra Club / Ballantine Books, ISBN 1-56849-587-0. [\[назад к тексту\]](#)

[84] Simon, Julian, **The Ultimate Resource**, Princeton University Press (1981, 1996), ISBN 0-691-00381-5. [\[назад к тексту\]](#)

## *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 столько о науке, сколько 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.

<sup>9</sup> Скачано 27 июня 2016 с <http://www.kongord.ru/Index/Articles/40yearsli.html>

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

<sup>22</sup> [https://ru.wikipedia.org/wiki/Мальтузианская\\_ловушка](https://ru.wikipedia.org/wiki/Мальтузианская_ловушка)

<sup>23</sup> <http://www.johnjeavons.info/index.html>

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

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

<sup>38</sup> 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.

<sup>40</sup> См. [http://pikabu.ru/story/sergey\\_kapitsa\\_istoriya\\_desyatimiilliardov\\_3995327](http://pikabu.ru/story/sergey_kapitsa_istoriya_desyatimiilliardov_3995327)

<sup>41</sup> «**Успехи физических наук**» 139(1) 57-71, РАН, 1996

<sup>42</sup> 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.

<sup>43</sup> 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.

<sup>44</sup> [http://royallib.com/book/chayanov\\_aleksandr/puteshestvie\\_moego\\_brata\\_alekseya\\_v\\_stranu\\_krestyanskoy\\_utopii.html](http://royallib.com/book/chayanov_aleksandr/puteshestvie_moego_brata_alekseya_v_stranu_krestyanskoy_utopii.html)

<sup>46</sup> <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0315086077900581>

<sup>48</sup> 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>

<sup>51</sup> См. <http://www.ogi.com/articles/print/volume-89/issue-2/in-this-issue/exploration/sweden39s-siljan-ring-wellevaluated.html>

<sup>53</sup> 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>

<sup>54</sup> Лагеррер Жан, «**Бесплатный сыр бывает только в мышеловке**», The Wilderness Publications, 2004. Бесплатно: [http://www.fromthewilderness.com/free/ww3/102104\\_no\\_free\\_pt1.shtml](http://www.fromthewilderness.com/free/ww3/102104_no_free_pt1.shtml)

<sup>56</sup> См. [http://igs-nas.org.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&Itemid=9&lang=ru](http://igs-nas.org.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=9&lang=ru)

<sup>57</sup> РИА Новости Украина: <http://rian.com.ua/economy/20090209/78099573.html>

<sup>58</sup> Скачано 28 сентября 2016: <http://mignews.com.ua/regiony/lugansk/1263878.html>

<sup>59</sup> <http://www.unian.net/society/817908-v-luganskoy-oblasti-nashli-neft.html>

<sup>60</sup> [http://economics.lb.ua/business/2014/02/14/255432\\_ukrgazdobicha\\_otkrila\\_neftyanoe.html](http://economics.lb.ua/business/2014/02/14/255432_ukrgazdobicha_otkrila_neftyanoe.html)

<sup>61</sup> Заявление для инвесторов: <http://www.serinusenergy.com/>

<sup>64</sup> Копия статьи на <http://physicsoflife.pl/dict/pic/calhoun/calhoun's-experiment.pdf>

<sup>67</sup> Веб-страница автора (на английском): <http://www.2052.info/download/>

<sup>71</sup> В 2015 и 2016 – отчёты VN GSO (Государственного Статистического Комитета Вьетнама).

<sup>75</sup> Скачано 20 декабря 2016 с блога: <https://ourfinitemworld.com/2013/09/25/why-i-dont-believe-randerslimits-to-growth-forecast-to-2052/>

<sup>77</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=73X8R9NrX3w>

<sup>93</sup> Пресс-конференция главного экономиста «BP» Спенсера Дэйла 13 июля 2017 г.

<sup>97</sup> Methodology for calculating CO<sub>2</sub> emissions from energy use.

<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-carbon-emissions-methodology.pdf>

<sup>98</sup> <https://www.skepticalscience.com/volcanoes-and-global-warming.htm>

<sup>100</sup> В реальном времени: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

<sup>101</sup> Гутман И.С. «**Методы подсчета запасов нефти и газа**», М.: Недра, 1985.

<sup>102</sup> Kramer, Andrew E. «**Mapmakers and Mythmakers: Russian Disinformation Practices Obscure Even Today's OilFields, New York Times**», (1 December 2005).

<sup>104</sup> Интервью гендиректора «Самотлорнефтегаз» Валентина Мамаева агентству «Рейтер». Скачано 21 июля 2017 с <https://ru.investing.com/news/>

<sup>109</sup> См., например: «Большая энциклопедия нефти и газа»  
<http://www.ngpedia.ru/pg0135qxA8t6D4Z193i3N60044083401/>

<sup>112</sup> См. <https://www.google.com/patents/US2664954>

<sup>113</sup> См. <http://www.stanolind.com/>

<sup>115</sup> [http://www-udc.ig.utexas.edu/geofluids/graphics/news/LowPermWS\\_Polito.pdf](http://www-udc.ig.utexas.edu/geofluids/graphics/news/LowPermWS_Polito.pdf)

<sup>117</sup> 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

<sup>124</sup> Скачано в ноябре 2017

[http://www.rigzone.com/news/oil\\_gas/a/139667/study\\_utica\\_shale\\_larger\\_than\\_previous\\_estimates/](http://www.rigzone.com/news/oil_gas/a/139667/study_utica_shale_larger_than_previous_estimates/) См. также  
<http://slideplayer.com/slide/8415347/>

<sup>125</sup> Скачано 6 ноября 2017 года с <https://www.eia.gov/naturalgas/weekly/>

<sup>128</sup> Как скачать, написано по ссылке: [https://www.eia.gov/outlooks/aoe/info\\_nems\\_archive.php](https://www.eia.gov/outlooks/aoe/info_nems_archive.php)

<sup>129</sup> [https://www.eia.gov/dnav/pet/pet\\_crd\\_api\\_adc\\_mbblpd\\_m.htm](https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_crd_api_adc_mbblpd_m.htm)

<sup>130</sup> См. <https://www.dmr.nd.gov/oilgas/mprindex.asp>

<sup>131</sup> 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

<sup>133</sup> <https://pubs.usgs.gov/of/2017/1013/ofr20171013.pdf>

<sup>134</sup> <https://pubs.usgs.gov/fs/2017/3029/fs2017173029%20.pdf>

<sup>135</sup> <https://pubs.usgs.gov/fs/2012/3051/fs2012-3051.pdf>

### **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<sup>2</sup>]

**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]

**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)	$5.101 \cdot 10^8$ км <sup>2</sup>
Площадь суши Земли	$1.489 \cdot 10^8$ км <sup>2</sup>
Площадь континентального шельфа	$0.325 \cdot 10^8$ км <sup>2</sup>
Площадь потенциальных сельхозугодий	$4.884 \cdot 10^7$ км <sup>2</sup>
Площадь сельхозугодий под пашней в 2014 году	$1.396 \cdot 10^7$ км <sup>2</sup>
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)	$4.25 \cdot 10^{15}$ кг/год
Общий поток солнечной радиации	173'000 ТВт
Геотермальный тепловой поток	$47 \pm 2$ ТВт
Плотность энергии радиации Солнца на орбите Земли	1'361.5 МВт/км <sup>2</sup>
Плотность энергии солнечной радиации	340.4 МВт/км <sup>2</sup>
Эквивалент зерновых на производство 1 кг протеинов	6 кг/кг

## *V. Физические величины, оценка которых приводится в книге*

Энергия стока с континентов	$10.4 \pm 2$ ТВт
Плотность энергии солнечной радиации после отражения атмосферой	163.2 МВт/км <sup>2</sup>
Плотность захвата солнечной радиации биосферой	0.600 МВт/км <sup>2</sup>
Плотность тепловой энергии океанов	0.168 МВт/км <sup>2</sup>
Плотность энергии геотермального теплового потока	0.092 МВт/км <sup>2</sup>
Общий поток энергии, доступный человеку без разрушения биосферы	$2'250 \pm 450$ ТВт
Общий поток энергии, потребляемый человеком в 2015 году, не менее	400 ТВт
Максимальный теоретический поток энергии «высокой плотности» из возобновляемых источников	$47 \pm 5$ ТВт
Технически-реализуемый поток энергии «высокой плотности» из возобновляемых источников, исключая биомассу	$4.6 \pm 0.5$ 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	$18.5 \pm 2$ млрд
Максимальная популяция человечества из расчёта по возобновляемым источникам энергии с использованием реальных технологий 2015 года	$1.8 \pm 0.2$ млрд
Масса антропогенных выбросов CO <sub>2</sub> в 2015 г	$47 \pm 5 \cdot 10^9$ т

Масса антропогенных выбросов CO <sub>2</sub> в 2015 г к массе CO <sub>2</sub> в атмосфере Земли	1.5%
Накопленная добыча каменного угля, включая бурый уголь и торф, с 1830 по 2016 гг	$199 \pm 20 \cdot 10^9$ ТУТ
Накопленная добыча нефти и лицензионного газового конденсата, с 1860 по 2016 гг	$181 \pm 9 \cdot 10^9$ т
Накопленная добыча нефти, включая конденсат, битум и широкие фракции природного газа, по 2016 г	$189 \pm 10 \cdot 10^9$ т
Накопленная добыча природного газа, с 1830 по 2016 гг	$102 \pm 5 \cdot 10^9$ ТУТ
Накопленная добыча углеводородного сырья «уголь+нефть+газ» с 1830 по 2016 гг	$490 \pm 50 \cdot 10^9$ ТУТ
Оценка общих извлекаемых запасов углеводородного сырья «уголь+нефть+газ»	$1200 \pm 200 \cdot 10^9$ ТУТ
Мировой пик добычи углеводородного сырья «уголь+нефть+газ», не позднее	2040 года
Вероятный мировой пик добычи углеводородного сырья «уголь+нефть+газ»	2013 год

## 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 метanol, 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» «ВР»	50.8 в 2010 52.2 в 2010	41.0 (нк) 42.2 (всего)
Кыргызстан	<a href="http://www.vb.kg/doc/188032_pervyy_barrel_nefti_dobyty_v_kyrgyzstane_inostrannoy_kompaniey.html">http://www.vb.kg/doc/188032_pervyy_barrel_nefti_dobyty_v_kyrgyzstane_inostrannoy_kompaniey.html</a>	0.490 (всего) в 1958	Около 0.05
Украина	<a href="http://forum-ukraina.net/threads/dobycha-nefti-v-ukraine.17267/">http://forum-ukraina.net/threads/dobycha-nefti-v-ukraine.17267/</a>	14.5 (всего) в 1972	1.6

Государство	Источник	Пик добычи нефти и конденсата, млн т	Добыча в 2016 году, млн т
Туркменистан	<a href="http://cabar.asia/ru/sabar-asia-energoresursnyj-sektor-turkmenistana-ozhidaniya-i-perspektivy/">http://cabar.asia/ru/sabar-asia-energoresursnyj-sektor-turkmenistana-ozhidaniya-i-perspektivy/</a>	«начало добычи 1876 г, пик в 1975 г на уровне 15.5 млн т»	11.7
Белоруссия	<a href="https://www.kp.by/daily/26672.4/3694966/">https://www.kp.by/daily/26672.4/3694966/</a>	«около 8 млн в 1975»	1.3
Грузия	<a href="http://ru.reuters.com/article/businessNews/idRUKAL83275720080228">http://ru.reuters.com/article/businessNews/idRUKAL83275720080228</a>	«более 3 млн в 1980»	Около 0.02
Таджикистан	<a href="https://cyberleninka.ru/article/n/energetika-i-problemy-ustoychivogo-razvitiya-tadzhikistana">https://cyberleninka.ru/article/n/energetika-i-problemy-ustoychivogo-razvitiya-tadzhikistana</a>	0.418 (всего) в 1979	Около 0.01
Российская Федерация	EIA <a href="http://burneft.ru/archive/issues/2011-04/1">http://burneft.ru/archive/issues/2011-04/1</a> «ВР»	545 (нк) в 1988 547 (всего) в 1980	534.2 (нк) 547.5 (всего) 554.3 (всего)
Казахстан	«ВР»	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  $\pm 3\%$ , 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 2017 года.

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2016 года	Добыча 2016 года к пику	Территория ( с терр. водами)	К сумме
							террито-
			Млн т	Млн т	%	км <sup>2</sup>	рий
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%

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2016 года	Добыча 2016 года к пику	Территория ( с терр. водами)	К сумме террито-рий
			Млн т	Млн т	%%	км <sup>2</sup>	%%
GMB	Гамбия					11295	0.01%
GIN	Гвинея					245857	0.16%
GNB	Гвинея-Биссау					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	Монтенегро					13812	0.01%
NAM	Намибия					825615	0.55%
NPL	Непал					147181	0.10%
NIC	Никарагуа					130373	0.09%
NCL	Новая Кaledония					18575	0.01%

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2016 года	Добыча 2016 года к пику	Территория ( с терр. водами)	К сумме терри-торий
			Млн т	Млн т	%%	км <sup>2</sup>	%%
PSX	Палестинские территории					6020	0.00%
PAN	Панама					75417	0.05%
PRY	Парaguay					406752	0.27%
PRT	Португалия					92090	0.06%
PRI	Пуэрто-Рико					9104	0.01%
RWA	Руанда					26338	0.02%
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	Сомалия					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	Менее 0.1			450295	0.30%
BEN	Бенин	1985	0.4			114763	0.08%

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2016 года	Добыча 2016 года к пику	Территория ( с терр. водами)	К сумме террито-рий
			Млн т	Млн т	%%	км <sup>2</sup>	%%
JOR	Иордания	1986	Менее 0.1			89342	0.06%
SVN	Словения	1993	Менее 0.1			20273	0.01%
	Всего группа 1	1986	0.5			31935854	21.24%

Группа 2 включает страны и территории, где пик добычи прошёл до 2007 года. (Заметим, что в самом 2007 пик не прошла ни одна страна). Закраской выделены члены Организации стран – экспортёров нефти (ОПЕК): Венесуэла, Ливия, Иран, Габон, Экваториальная Гвинея, Нигерия; Индонезия, где внутреннее потребление превышает добычу, покинула ОПЕК.

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2016 года	Добыча 2016 года к пику	Территория ( с терр. водами)	К сумме террито-рий
			Млн т	Млн т	%%	км <sup>2</sup>	%%
KGZ	Кыргызстан	1958	0.5	Менее 0.1	10%	199951	0.13%
AUT	Австрия	1965	1.4	0.8	54%	83871	0.06%
VEN	Венесуэла	1970	197.2	115.3	58%	916445	0.61%
LBY	Ливия	1970	159.5	19.5	12%	1759540	1.17%
UKR	Украина	1972	14.5	1.6	11%	603500	0.40%
CAN	Канада	1973	100.3	50.3	50%	9984670	6.64%
IRN	Иран	1974	303.2	205.9	68%	1648195	1.10%
BLR	Беларусь	1975	8.0	1.3	16%	207600	0.14%
DEU	Германия	1975	4.7	2.4	50%	357114	0.24%
PER	Перу	1975	10.1	2.0	20%	1285216	0.85%
TKM	Туркменистан	1975	15.5	11.7	75%	488100	0.32%
ROU	Румыния	1977	15.1	3.9	26%	238397	0.16%
IDN	Индонезия	1978	84.9	42.2	50%	1910931	1.27%
TJK	Таджикистан	1979	0.4	Менее 0.1	2%	143100	0.10%
BRN	Бруней	1980	12.7	5.5	43%	5765	0.00%
GEO	Грузия	1980	3.0	Менее 0.1	1%	69700	0.05%
MAR	Морокко	1980	0.1	Менее 0.1	20%	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	12.1	3.6	30%	5130	0.00%
HUN	Венгрия	1982	2.1	0.7	34%	93028	0.06%
SRB	Сербия	1982	1.9	1.0	53%	88361	0.06%
HRV	Хорватия	1982	2.5	0.7	28%	56594	0.04%

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2016 года	Добыча 2016 года к пику	Территория ( с терр. водами)	К сумме территорий
			Млн т	Млн т	%%	км <sup>2</sup>	%%
CHL	Чили	1982	2.2	0.2	10%	756102	0.50%
ALB	Албания	1983	3.8	1.2	31%	28748	0.02%
ESP	Испания	1983	2.9	Менее 0.1	5%	505992	0.34%
GRC	Греция	1984	1.3	0.2	12%	131990	0.09%
MINI	Малые острова и территории*	1984	0.1	Менее 0.1	50%	39570.7	0.03%
MMR	Мьянма (Бирма)	1984	1.6	0.8	47%	676578	0.45%
TUN	Тунис	1984	6.1	2.5	41%	163610	0.11%
BGR	Болгария	1985	0.3	Менее 0.1	17%	110879	0.07%
CMR	Камерун	1985	9.3	4.7	51%	475442	0.32%
COD	Конго (Киншаса)	1985	1.7	1.0	61%	2344858	1.56%
NLD	Нидерланды	1986	4.7	0.9	20%	41850	0.03%
FRA	Франция	1988	3.4	0.8	24%	640679	0.43%
TUR	Турция	1991	4.4	2.5	56%	783562	0.52%
JPN	Япония	1992	0.9	0.2	23%	377930	0.25%
PNG	Папуа-Новая Гвинея	1993	6.4	2.9	45%	462840	0.31%
EGY	Египет	1996	46.7	25.0	54%	1002450	0.67%
SYR	Сирия	1996	29.5	1.5	5%	185180	0.12%
SVK	Словакия	1996	0.1	Менее 0.1	12%	49037	0.03%
GAB	Габон	1997	18.7	10.7	57%	267668	0.18%
ARG	Аргентина	1998	42.8	25.9	60%	2780400	1.85%
GTM	Гватемала	1998	1.2	0.5	38%	108889	0.07%
UZB	Узбекистан	1998	5.9	2.7	46%	447400	0.30%
GBR	Великобритания	1999	135.5	47.2	35%	242495	0.16%
AUS	Австралия	2000	36.4	14.7	40%	7692024	5.12%
YEM	Йемен	2001	22.3	1.1	5%	527968	0.35%
LTU	Литва	2001	0.5	0.1	21%	65300	0.04%
NOR	Норвегия	2001	162.9	83.4	51%	323802	0.22%
CZE	Чехия	2003	0.3	0.1	35%	78865	0.05%
BGD	Бангладеш	2004	0.3	0.2	67%	147570	0.10%
VNM	Вьетнам	2004	20.4	15.3	75%	331212	0.22%
DNK	Дания	2004	19.7	7.1	36%	43094	0.03%
CUB	Куба	2004	2.9	2.5	86%	109884	0.07%
MYS	Малайзия	2004	38.7	33.8	87%	330803	0.22%
MEX	Мексика	2004	176.0	110.7	63%	1964375	1.31%
GNQ	Экваториальная	2004	18.5	11.5	62%	28051	0.02%

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2016 года	Добыча 2016 года к пику	Территория ( с терр. водами)	К сумме территорий
			Млн т	Млн т	%%	км <sup>2</sup>	%%
	Гвиана						
ZAF	ЮАР	2004	2.8	0.1	4%	1221037	0.81%
ITA	Италия	2005	5.8	3.6	62%	301336	0.20%
NGA	Нигерия	2005	132.7	94.7	71%	923768	0.61%
TCD	Чад	2005	8.9	5.6	63%	1284000	0.85%
CIV	Берег Слоновой Кости	2006	3.1	1.5	49%	322463	0.21%
TLS	Восточный Тимор	2006	5.1	2.7	53%	14874	0.01%
MRT	Мавритания	2006	1.5	0.3	16%	1030700	0.69%
	Всего группа 2	1997	1445.5	989.0	69%	50021519	33.27%

\* Включает страны и территории: Американские Самоа, Антиока и Барбуды, Аруба, Барбадос, Бермуды, Кап-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.Пьера, 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 2007 года, либо ещё не пройден. Отдельно добавлены Россия и США. В России пик нефти и конденсата – на уровне 545.3 млн т в год – пройден по данным EIA в 1988 году. Добыча в 2016 году составила 534.2 млн т (98% от пика); таким образом, вопрос о «нефтяном рекорде России» находится в пределах статистической трактовки исходных данных; есть надежда побить рекорд в 2017 году. В США по данным EIA пик пройден в 1970 году на уровне 9.637 млн баррелей в сутки (475.4 млн тонн в год). Рекорд 2015 года: 9.408 млн баррелей в день (98% от пика), однако в 2016 году добыча резко упала. Закраской выделены члены ОПЕК: Алжир, Ангола, Катар, Эквадор, Ирак, Кувейт, ОАЭ, Саудовская Аравия.

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2016 года	Добыча 2016 года к пику	Территория ( с терр. водами)	К сумме территорий
			Млн т	Млн т	%%	км <sup>2</sup>	%%
USA	США	1970	475.4	436.9	92%	9525067	6.34%
RUS	Россия	1988	545.3	534.2	98%	17098246	11.37%
DZA	Алжир	2008	86.3	68.3	79%	2381741	1.58%
AGO	Ангола	2008	98.8	89.6	91%	1246700	0.83%
NZL	Новая Зеландия	2008	3.0	1.8	58%	270467	0.18%
AZE	Азербайджан	2010	50.8	41.0	81%	86600	0.06%
BLZ	Белиз	2010	0.2	0.1	47%	22966	0.02%
SDN	Судан	2010	24.5	5.3	22%	1861484	1.24%

Код	Страна / территория	Год пика	Добыча на пике	Добыча 2016 года	Добыча 2016 года к пику	Территория ( с терр. водами)	К сумме террито-рий
			Млн т	Млн т	%%	км <sup>2</sup>	%%
IND	Индия	2011	39.5	37.2	94%	3287263	2.19%
QAT	Катар	2011	79.3	77.1	97%	11586	0.01%
NER	Нигер	2012	1.0	0.7	65%	1267000	0.84%
KAZ	Казахстан	2013	82.3	79.3	96%	2724900	1.81%
COL	Колумбия	2013	50.7	44.9	89%	1141748	0.76%
GHA	Гана	2014	5.3	5.1	96%	238533	0.16%
PAK	Пакистан	2014	4.7	4.3	91%	881912	0.59%
PHL	Филиппины	2014	1.9	1.0	53%	300000	0.20%
ECU	Эквадор	2014	28.1	27.8	99%	276841	0.18%
SDS	Южный Судан	2014	7.8	6.0	76%	644329	0.43%
CHN	КНР	2015	214.6	199.7	93%	9596961	6.38%
BAHR	Бахрейн	2016		2.5		765	0.00%
BOL	Боливия	2016		3.0		1098581	0.73%
BRA	Бразилия	2016		127.4		8515767	5.66%
IRQ	Ирак	2016		218.9		438317	0.29%
COG	Конго (Бразавиль)	2016		15.6		342000	0.23%
KWT	Кувейт	2016		148.0		17818	0.01%
MNG	Монголия	2016		1.2		1564110	1.04%
ARE	ОАЭ	2016		175.4		83600	0.06%
OMN	Оман	2016		49.3		309500	0.21%
POL	Польша	2016		1.0		312679	0.21%
SAU	Саудовская Аравия	2016		529.6		2149690	1.43%
SUR	Суринам	2016		0.9		163820	0.11%
THA	Таиланд	2016		13.0		513120	0.34%
Всего группа 3		2016	2946.0	2946.0	100%	68374111	45.48%
Всего в мире		2016	3934.9	3934.9	100%	150331484	100.00%
По данным «BP» 2017*		2016	4382.4	4382.4	100%		

\* Данные «BP» включают все «жидкости», кроме биотоплива и жидкостей по технологиям «газ-в-жидкость» и «каменный уголь в жидкость».

Пик нефти и конденсата по состоянию на конец 2016 года:

- 21.2% стран и территорий (по площади) – нефтедобычи в коммерческих количествах нет.
- 33.3% – пик пройден в прошлом веке, снижение добычи по 1.8% в год в среднем.
- В 12 странах с территорией 68.4 млн км<sup>2</sup> (10.3% суши и

территориальных вод планеты) и населением 422.8 млн человек (5.7% населения Земли) пик пока не прошёл. Эти 12 стран, в том числе 4 члена ОПЕК, обеспечивали в 2016 году 32% мировой добычи нефти и конденсата.

- Четыре не прошедшие пик члена ОПЕК: Ирак, Кувейт, ОАЭ и Саудовская Аравия, имеют территорию 2.7 млн км<sup>2</sup> (1.8% суши и территориальных вод), население 82.8 млн (1.1% населения Земли). Добыли в 2016 году 1'073 млн тонн нефти и конденсата (27% от планетарной добычи).

