

О нефти и не только

Внимание! Сервер tung-sten.no-ip.com переехал на www.bobukh.com. Новый адрес этой страницы -- <http://tung-sten.no-ip.com/Texts/Popsci/Energy/Oil.htm>. Доступ через старый домен в какой-то момент прекратится. Пожалуйста, обновите Ваши закладки.

Евгений Бобух

1. "Кто здесь?!!!"

Люди!
Слушайте
все! На
Земле
кончается
нефть! И
скоро вы
все...
Магазинчик
Бо, серия
"Свобода
Слова"

Вот тут [некоторые](#) пугают скорым окончанием нефти. Дескать, мы уже находимся на максимуме её добычи и проскочим его довольно скоро. А когда мы его проскочим, всей цивилизации наступит конец и Всем Будет Очень Плохо. Потому как, эта, без нефти, значить, нету энергии, а без энергии, эта, жить, значить, невозможно. Рекомендации этих Адвентистов Последнего Баррелля разнятся от "всем вешаться" до "всем закупать спальные мешки, жестоко плакать о конце цивилизации, а потом всё равно вешаться."

Вообще-то паникёров отчасти понять можно. Нефть и вправду кончается. Но оснований для суицидальных настроений я не вижу. Ибо почти все эти мрачные прогнозы базируются на неверной предпосылке: "энергия == нефть". От неумения различать "энергию" и "нефть" и происходит несварение слабых умов.

Не выходя далеко за уровень школьных знаний, легко показать, что Земля полна ресурсов, которые легко обеспечат нас энергией на многие годы вперёд. Не без проблем, конечно. Но это естественно, ведь бесплатной энергии [в отличие от бесплатных блогов!] в природе не бывает.

Собственно, об этом и пойдёт речь. Какие у нас есть альтернативы нефти, и почём обойдётся их использование.

Но почти ни слова про то, в куда же должны пойти неграмотные журналисты, разводящие панику :)

2. Достоверные ресурсы

То есть такие, про которые мы твёрдо знаем, что они есть, пригодны к добыче уже сегодня, и подходят современным технологиям.

Тут нам потребуются несколько величин:

1. Один баррель = 159 литров в применении к нефти.
2. Одна малая тонна (short ton) = 907 кг. Этой странной мерой на Западе меряют уголь.
3. Один $Q = 10^{21}$ Джоулей. Это такая единица энергии. В Q удобно измерять потребление энергии человечеством. В настоящий момент оно составляет примерно $0.5 Q$ в год [1] и удваивается приблизительно каждые 25 лет [1].
4. Теплота сгорания нефти составляет 44 МДж/кг, угля -- 15-27 МДж/кг, природного газа -- 54 МДж/кг [3].

На эти параметры надо ориентироваться, если мы хотим и дальше видеть нашу цивилизацию подобной сегодняшней и развивающейся схожими темпами. Итак, что же предлагает нам природа? Поехали:

Нефть

Разведанные запасы нефти, доступные к экономически выгодной добыче **сегодняшними** технологиями по состоянию на январь 2007 года [2] составляют 1.2 - 1.3 триллиона баррелей, что эквивалентно 7-8 **Q** энергии.

Если всю земную энергетику перевести на нефть и сохранить нынешние темпы роста энергопотребления, этого хватит лишь на 12 лет. Если нефть будет составлять 40% баланса нашей энергетики, то этого хватит на 25 лет. Не так уж и много.

Заметим, что, помимо разведанных, существуют большие запасы нефти, либо неудобной для добычи сегодня, либо неразведанные. Но поскольку в этом разделе мы говорим о достоверных ресурсах, то здесь мы их исключим из рассмотрения.

Природный газ

Природный газ -- это в основном метан CH_4 , что химически почти та же нефть. Разведанных запасов этого газа на Земле известно примерно 175 триллионов кубометров [2], что эквивалентно 7 **Q** [4]. То есть, столько же, сколько и нефти. Щелчок костяшек на счётах -- и наши запасы удваиваются, а весь народ Туркменбашистана в очередной раз радуется богатству недр своей родины :)

Уголь

Пригодного к добыче угля на Земле сегодня имеется примерно $9 \cdot 10^{14}$ килограмм [5], или 14-25 **Q**.

Да, и уголь, и газ -- невозполнимые ресурсы, и подпадают под ту же проблему исчерпаемости, что и нефть. Но всё-таки их суммарный энергозапас в 3-4 раза превышает энергозапас нефти. Если даже полностью отказаться от нефти сегодня, и опираться только на уголь и газ, земной энергетике этого хватит на 30-35 лет при сохранении нынешних темпов **роста**. Одного этого достаточно, чтобы спать спокойнее.

Кстати, США и Россия являются держателями мировых запасов угля № 1 (27%) и № 2 (17%) [8]. А не арабы, на которых в сумме приходится хорошо если пара процентов этого ресурса :)

Так, я уже слышу, как проponentы Конца Света возмущённо орут: "Как уголь? А на чём тогда будут ездить машины?" Экологи тоже начинают беспокоиться, представив себе объёмы выбросов CO_2 в атмосферу. Экологам я отвечу подробнее чуть позже, а пока коснёмся первого возражения.

Товарищи. Граждане. Дамы и господа! Ну нельзя же так! Ну надо же отличать **носитель** энергии от неё самой! Автомобиль ездит на энергии. Носителем её может быть что угодно: электричество, сжатый газ, водород, искусственный бензин, маховик. Когда энергии в достатке, создать её носитель не так уж и трудно. Кстати, именно поэтому меня иногда смешат изобретатели "экологически чистых" автомобилей на аккумуляторах или водороде. Они любят говорить, что их машины не выбрасывают никаких выхлопных газов. Ага, как будто используемое ими электричество просто валяется на асфальте! Если встретите такого изобретателя, возьмите его за пуговицу, зажмите в углу и поинтересуйтесь, откуда берётся водород для его автомобиля. Не позволяйте ему уваливать. Не выпускайте из угла. И тогда он в конце концов признается, что водород берётся из воды и электричества, а последнее берётся... из электростанции, работающей на угле или мазуте! То есть, его автомобиль в конечном итоге жрёт всё ту же нефть, только ещё с и дополнительными потерями на "посредников" при перекачке энергии из одного формата в другой. Вопрос: ну и где здесь экология?

Вообщето, конечно, не-бензиновые автомобили важны как часть общего решения в плане отказа от нефти. Они также уменьшают выхлопы в центре города. Кроме того, электричество для них могут вырабатывать станции, работающие не "непрестижном" топливе типа бурого угля или мусора. В этом свете электромобили, безусловно, полезны. Но путать их с энергетической революцией всё-таки не стоит.

Ладно, вернёмся к теме. Если кто не в курсе, существует такая вещь, как искусственное топливо. Дизельное, например. Его делают из угля. Реакция эта известна с 1920-х годов, и в упрощённом виде может быть записана следующим образом [6]:

1. $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{энергия}$
2. $\text{C} + \text{H}_2\text{O} + \text{энергия} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$



Последний продукт в этой цепочке есть ни что иное, как насыщенный углеводород, то бишь бензин или дизельное топливо. Существуют и другие реакции похожего типа, в частности, прямая гидрогенизация угля [7], либо превращение $\text{CO} + \text{H}_2$ не в дизельное топливо, а в спирт. На котором тоже могут ездить машины.

Эти технологии -- не фантазии химиков. Они эффективно использовались во Вторую Мировую фашистской Германией [с нефтью у них было туго, а вот угля много], и используются сегодня южноафриканской компанией [Sasol](#). ЮАР, если кто помнит, в своё время бойкотировали практически всем миром за режим апартеида. Добойкотировались: ребята теперь вполне могут вообще обойтись без нефти :) Производимое [Sasol](#) топливо уже сегодня коммерчески выгодно. Их работами интересуется ряд вполне серьёзных нефтяных компаний, включая Shell. Так что изучать историю кризисов полезно. Справедливости ради, однако, отметим, что поднялся Sasol в своё время лишь благодаря очень серьёзным правительственным субсидиям.

Ибо процесс создания искусственного топлива имеет ряд недостатков. Более половины энергии, содержащейся в угле, теряется впустую. Стоимость и сложность производства довольно высоки. Поэтому оценки той цены на нефть, при котором оно становится выгодным, нечётки. Я видел цифры от 30 до 60 долларов за баррель, но тут важно понимать, что в эту цену входит цена самого угля, которая меняется. Исходя из энергетического баланса этой реакции, можно прикинуть, что искусственное топливо не станет выгоднее натурального, пока цена нефти (за баррель) не превысит цену угля (за малую тонну) примерно раз в 7.

С ценой на нефть сегодня всё более-менее понятно: в марте 2008-го на бирже она стоила чуть больше \$100 за баррель [9]. Куда более запутано всё с ценами на уголь. Они **очень** широко разнятся в зависимости от сорта, способа добычи, способа продажи, времени, и географического расположения. В зависимости от этих параметров, "малая" тонна угля может обойтись покупателю от ~\$7 до более чем \$100 [10, 11, 12]. Даже в пределах США цена угля разнилась от \$8 до \$50 в 2007-м году, и почти удвоилась в 2008-м -- не иначе как в результате общего энергетического кризиса, надо полагать.

Поэтому невозможно точно предсказать, когда же мы будем готовы к повсеместному переходу на искусственный бензин. Но почти наверняка можно утверждать, что в **некоторых** местах, где уголь изобилует, а нефти мало, этот переход оправдан уже сегодня. Его прямым последствием станет спад цен на нефть... и рост цен на уголь ;)

В заключение -- про нефть как источник сырья для химической промышленности. Думаю, не надо объяснять, что это не проблема? Ведь что такое тот же полиэтилен? Это просто соединение углерода и водорода. И того, и другого на Земле предостаточно. Затратив больше энергии, его вполне можно синтезировать из этих элементов. Нефть просто является удобной "стартовой площадкой", но не более. Её исчезновение не прекратит жизнь химической промышленности, хотя, конечно, сделает её труднее.

Ветровая энергетика

На первый взгляд, выглядит несерьёзно. Не хай-теково. "Ветровые мельницы" спасут нашу цивилизацию? Смешно. Но давайте подсчитаем.

В земной атмосфере, в виде энергии движения воздушных масс, содержится порядка 0.8 Q энергии [14], а мощность, с которой атмосфера перекачивает энергию из солнечного света в ветер, составляет $7-9 \text{ Ватт/м}^2$ [13, 14]. Базируясь на этих цифрах, нетрудно подсчитать, что характерное время возобновления энергозапаса земной атмосферы составляет примерно 2 дня, и если выкачивать из атмосферы абсолютно всё, то можно получать по $100 - 130 \text{ Q}$ в год. Сумасшедшая энергия!

Разумеется, нам она не светит. Во-первых, большая часть этого воздушного движения происходит на высотах во много километров. Нам же доступен только приземный слой, максимум метров 100 от поверхности. А во-вторых, если выкачать из атмосферы всё, что в ней есть, то встанет раком ветровая циркуляция на планете. Поэтому вряд ли можно изъять из атмосферы больше нескольких процентов её энергии так, чтобы не получить по голове от природы. Сколько точно? Это довольно сложный вопрос. В работах [15, 16] называются цифры в 4 и 2.25 Q в год. Это при условии, что мы будем ставить ветряки в море (где они дороже), и без учёта потерь на генерацию (КПД которой теоретически не может превышать 59%, [7]). Правда, КПД генераторов на угле или мазуте ещё ниже, так что можно не вводить на это поправку.

Но даже по самым скромным оценкам выходит, что ветровая энергетика способна обеспечить нас как минимум 2 -мя Q ежегодно. **Возобновляемо**. То есть, если отказаться от всех остальных источников

энергии, и продолжить нынешний курс на рост её потребления, этого хватит как минимум на 50 лет. При довольно скромном воздействии на экологию [об этом отдельно позже]. Золотая жила!

Умные люди в некоторых странах это уже поняли. Согласно [18], Германия вырабатывает 6.3% своей энергии за счёт ветра. Дания -- 20% (!). США -- лишь 1%, но шустро нагоняют, практически удваивая этот показатель каждые два года. Если такие темпы (теоретически) сохранятся, то лет через 20 США и Европа станут почти независимы от углеводородных источников энергии, и России с арабами останется нефтью разве что умыться... Ещё более агрессивно развивает свою ветровую энергетику Китай, упятеривший эти мощности с 2005-го по 2007-й год. Россия, увы, пока не попадает даже в первую тридцатку лидеров производства ветровой энергии, и уступает по этому показателю таким странам, как Украина, Египет, и Иран.

В общем, если у Вас есть немного не очень нужных сегодня денег -- покупайте акции компаний, занимающихся ветровой энергией. За ними будущее на ближайшие лет 20 :) Или не покупайте. Я за эти слова всё равно не отвечаю :))

Атомная энергия

Все её боятся, но пользоваться всё равно наверняка придётся. Ибо и уголь, и ветровая энергия помогут нам лишь примерно до 2060-го года, и это при самом грамотном использовании. Реально нехватка энергии начнёт ощущаться раньше. Если к тому моменту мы не сумеем овладеть Главной Альтернативой (о которой позже), то придётся строить атомные реакторы. А фактически, кое-где их придётся строить уже сейчас, ибо не у всех же есть хорошие запасы угля и ветра.

В противоположность общественному мнению, главная опасность атомной энергетики состоит отнюдь не во взрыве реактора или утечках. Ибо они хоть и ужасны, но случаются очень редко.

Даже если допустить, что трагедии типа чернобыльской будут происходить каждые 50 лет, всё равно от атомной энергии страдает куда **меньше** людей, чем от угольной. Ибо добыча угля -- это шахты, перевозки огромных грузов и занятость многих людей. Отсюда травматизм и несчастные случаи. Каждый год в мире гибнут тысячи шахтёров [20] -- больше, чем погублено атомной энергетикой за всю её историю. Согласно [19], смертность при производстве 1 **Q** угольной энергии **в 40 раз** превышает аналогичный параметр для атомной. Количество серьёзно заболевших только при добыче угля и только в США составляет порядка 4000 человек в год [21]. Это меньше, или по крайней мере сопоставимо с количеством заболевших от аварии Чернобыля в пересчёте на год [22].

Добавьте сюда выброс в воздух окислов серы, азота, тяжёлых металлов и даже радиоактивных элементов, содержащихся в виде примесей к углю. Так, согласно [23], к 2008-му году угольные электростанции выделили в атмосферу порядка 13 тысяч тонн тория и 6 тысяч тонн урана. В [24] с помощью хитрой статистики выводится, что лишь от двух угольных электростанций в Массачусетсе у населения случается порядка 43 тысяч приступов астмы в год, а загрязнение среды является косвенной причиной 159 смертей в год. Точность этих данных несколько сомнительна, но даже если допустить десятикратную ошибку, всё равно картина получается вполне однозначная.

He является также проблемой истощение запасов урана. Дело в том, что подавляющее большинство сегодняшних реакторов -- легководные (т.н. "light-water reactor") и могут работать только на 235-м изотопе урана ^{235}U . Содержание этого изотопа в природном уране -- 0.7%. Экономически доступных его запасов сегодня (по цене менее \$130/кг) -- примерно 2.1 **Q** [из 25 + 26]. Это и впрямь мало. Если всю земную экономику перевести на такой уран, то он кончится через 4 года; и даже при нынешнем относительно скромном весе атомной энергетики в общем балансе его хватит лишь лет на 40. Так что, на первый взгляд, атомная энергетика бесперспективна.

Но этот прогноз не учитывает, что стоимость урана составляет лишь 3-5% от стоимости производства энергии атомными электростанциями [28]. Поэтому увеличение его цены даже раз в пять по сравнению с сегодняшней слабо повлияет на стоимость электроэнергии, но позволит включить в оборот куда более бедные руды. Различные оценки [25 - 28] показывают, что при таком допущении речь идёт как минимум о 20 **Q**, чего достаточно уже на 25 лет.

Но даже это лишь крошечная доля от возможного. Дело в том, что известен другой тип реактора, называемый **бридером**. Он способен питаться 238-м ураном, которого в природе в 140 раз больше, чем 235-го. Бридеры также могут работать на тории, которого ещё в 3-4 раза больше. Далее, бридеры во много раз более эффективно "выжигают" радиоактивное топливо. Их энергетическая эффективность настолько высока, что уран для них может добываться из обыкновенного гранита (его там 4-5 грамма на тонну). Вместе взятое, это позволяет оценить резервы атомной энергетики цифрой в **7500 Q** [29]. Прикидка эта

очень приблизительна, просто потому, что у нас пока нет даже нужды в более точной :) Но 7500 Q, даже при нынешнем экспоненциальном потреблении, хватит человечеству на 200 с лишним лет. И на 15 тысяч лет -- если заморозить потребление сегодня. Практически, это бесконечность.

У бридеров есть и недостатки. Во-первых, они технологически сложнее и дороже. Во-вторых, значительно более радиоактивны. Но эти проблемы разрешимы. По крайней мере [один бридер](#) успешно работает и поставляет людям энергию уже сегодня -- и, кстати, именно в России. На этом фронте наша страна вполне правильно смотрит в будущее :)

Так что ядерная энергетика даже в одиночку легко развеивает ужасы "энергетического конца цивилизации" на сотни лет вперёд. Сторонники эсхатологических моделей могут пойти в угол и тихонько там поплакать :)

Настоящей проблемой ядерной энергетики являются отходы. Реактор вырабатывает полезную часть топлива, и остаётся высокорadioактивный "шлак". А после бридера -- ещё и очень активные элементы конструкции. Что с ними делать? Дезактивировать практически невозможно. Выкинуть в космос? Ненадёжно, опасно. Ракеты, бывает, падают. Захоронить? Тоже ненадёжно. Движения грунта, подземные воды. (Хотя вот рассматривается тут [один проект](#)). Хранить под дулами автоматов? Рано или поздно любая охрана ошибается. А речь идёт о хранении сроком в десятки тысяч лет, и ещё у нас, землян, есть такая дурная проблема, как терроризм... мда.

Занятно и грустно осознавать, что развитие ядерной энергетики в значительной степени тормозится проблемами не техническими, но социальными. Причём до позора старыми.

Вот, например, паровоз. Технически, ничто не мешает уже сегодня сделать для него двигатель на атомной тяге. С "заправкой" раз в 10 лет. Мешают проблемы другого рода: 1. преступность и терроризм (найдутся ведь желающие использовать начинку мотора или отходы как оружие); 2. дурость -- наверняка какой-нибудь идиот этот мотор вскрыет из любопытства; 3. аварии, которые суть те же безответственность и человеческие ошибки.

Все эти трудности с человеком были известны ещё 2000 лет назад. Решение для всех них находится и сегодня практически на том же уровне, что и тогда. Невероятный технический прогресс идёт рука об руку с ничтожным прогрессом социальным. Даже частичное решение этих заскоружлых проблем позволило бы сделать колоссальный рывок вперёд. Но мы упорно продолжаем быть теми, кто мы есть, и перекладываем решение этих трудностей на технологию.

В общем, радиоактивные отходы. Уже сегодня их накопилось не менее 50 тысяч тонн. Пока никакого внятного решения по ним не придумано. Если так будет продолжаться и дальше, мы в относительно недалёком будущем увидим много связанных с ними интересных, но, к сожалению, весьма неприятных событий.

Update: оказывается, правильно сконструированные бридеры способны выжигать топливо таким образом, что в отходах будут оставаться только короткоживущие активные вещества (с полураспадом в десятки, а не десятки тысяч лет). Более того, они, возможно, смогут даже работать на том, что мы сегодня полагаем отходами и не знаем, куда девать. Существуют вроде даже экспериментальные прототипы подобных устройств (см. http://en.wikipedia.org/wiki/Integral_Fast_Reactor, http://en.wikipedia.org/wiki/Fast-neutron_reactor#Advantages). Таким образом они, по крайней мере в теории, способны эффективно решить не только энергетическую проблему, но и куда более болезненную задачу по хранению/устранению радиоактивных отходов.

3. Недостоверные ресурсы

Нет, это не про неразведанные запасы нефти. А про разные альтернативные источники энергии, либо ограниченные в продуктивности, либо кажущиеся сомнительными мне лично. **Важно:** деление на "достоверные" и "недостоверные" ресурсы в значительной степени условно. Проведение чёткой границы между этими категориями требует иногда чёртовой прорвы усилий, знаний и времени. А у меня его нет. Поэтому я особо не заморачивался: всё, в чём я лично не испытывал 90%-й уверенности, сбрасывалось в эту категорию. Аминь. Если кому интересно, доразбирайтесь сами :)

Солнечная энергия

Каждый год Солнце изливает на Землю 5400 Q энергии. Крошечной доли этого за глаза хватило бы всей земной цивилизации на многие годы вперёд. К сожалению, солнечная энергия, при всей её соблазнительности, имеет ряд проблем:

1. Низкая плотность энергии. Да, от Солнца на Землю прилетает 1360 Ватт на квадратный метр. Но это на экваторе, в полдень, вне атмосферы, и по всему солнечному спектру. Если взять широту в 30 градусов, да учесть потери на всё вышеперечисленное, да усреднить за сутки, то речь уже будет идти лишь о ~ 190 ваттах на квадрат. Учтём, что КПД лучших солнечных батарей сегодня (как и тепловых преобразователей) -- примерно 30% [30]. Итог: с квадратного метра можно собрать лишь эдак ватт 55 долговременного "урожаю". В переводе на нормальный язык: солнечная электростанция мощностью в 1 гигаватт накроет тенью где-то 18 квадратных километров полезной площади. А чтобы обеспечить сегодняшние потребности всего человечества в энергии, потребуются поля площадью порядка 340 тысяч квадратных километров. Это близко к территории таких стран, как Германия или Япония.

2. И эту площадь надо не просто залить водой. А покрыть зеркалами либо солнечными батареями. И то, и другое высокотехнологично, стоит недёшево как в деньгах, так и в терминах потребной на производство энергии, требует содержания и может ломаться. Сильные возражения вызывают также "грязность" производства батарей или зеркал, и огромная отнимаемая площадь и изменения локального климата. Ведь солнечные батареи поглощают и отражают свет совсем не так, как грунт. Если застелить ими 1000 квадратных километров, в этой зоне и вокруг неё изменится весь тепловой баланс, циркуляция воздуха, растительность и т.д.

3. Наконец, стоит учесть, что процесс изготовления батарей довольно "дорог" в энергетическом смысле. Согласно [48], требуется 1.5 - 4 года работы батареи, чтобы просто вернуть затраченную на её производство энергию. Эту проблему можно частично обойти использованием обычных зеркал, концентрирующих свет на небольшую батарею, но это усложняет систему.

Всё вышесказанное не означает, что солнечная энергия бесполезна в борьбе с энергетическим голодом. Но, похоже, в **ближайшие** годы она не станет основным инструментом разрешения этой проблемы. Из её плюсов можно назвать хорошую "распределяемость": батарею можно ставить в непосредственной близости к потребителю, например, на крышу дома.

Гидроэлектростанции

Производят сегодня около 0.1 Q в год [32] и больше уже почти не могут. Просто потому, что почти все места на Земле, где их нормально можно приткнуть, уже заняты [31]. Следует, правда, отметить, что КПД производства этой энергии -- процентов 90, в отличие от тепловых двигателей на угле или мазуте, так что это куда более "качественные" Q .

В [32] утверждается, что включение в рассмотрение рек с малой мощностью (станции до 1 МВт) позволяет собрать в 4-5 раз больше энергии и, таким образом, генерировать до 0.5 Q в год. Этого, теоретически, достаточно, чтобы обеспечить сегодняшние потребности человечества, но вряд ли хватит на долгое время.

Независимую оценку сверху энергозапаса ГЭС можно получить из рассмотрения динамики земной атмосферы. Вспомним, ГЭС работают потому, что с гор вниз течёт вода. Что заносит её обратно вверх? Правильно. Движение воздуха. Общую мощность которого мы знаем: это 100-130 Q в год. Водяного пара в приземном воздухе 1-4%. Значит, общая мощность движения водяного пара в земной атмосфере не превышает 4-5 Q в год. Учитывая, что не весь пар выпадает в виде осадков, и что лишь четверть выпавшего попадает на сушу и далее потенциально в реки, на практике вряд ли речь может идти более чем об $\sim 1/6$ этой мощности -- то есть, примерно 0.75 Q в год. Это -- абсолютный потолок гидроэнергетики, на практике, конечно, недостижимый. Поэтому в долговременной перспективе гидроэнергетика не выглядит привлекательной.

Биотопливо

Биотопливо (biofuel) -- это газ, спирт, или масло, производимое растениями или из растений. Источник энергии, которым оно питается -- Солнце. А продуктивность Солнца высока: 2700 Q в год под атмосферой. Казалось бы, ну что может пойти не так?

Проблема в энергобалансе. Во-первых, максимальный известный КПД преобразования света в энергию высшими растениями составляет 6.7% [33]. Но это -- лабораторный идеал. В полевых же условиях получается хорошо если 2-3% [33]. Из этого в пригодное для биодизеля масло или спирт переходит только треть [33]. Что уже уменьшает доступный запас энергии до 18-27 Q в год. Океаны исключаем, остаётся 4-6 Q . Всё ещё много? Но вспомним, что эту энергию мы получим, только засадив всю земную сушу какой-

нибудь кукурузой. Далеко не все территории на нашей планете пригодны для этого! По данным [34], обрабатываемая площадь на Земле составляет сегодня 5.0 миллиардов гектаров, что эквивалентно 35% площади суши. Используя её **всю**, можно выжать примерно 1.5-2.0 **Q** в год. Но реально ли даже это? Ведь во многих странах плодородной почвы не хватает для производства еды -- а мы тут бензин собрались выращивать. Кажется маловероятным, что на этом фоне удастся оторвать от сельскохозяйственных угодий больше, чем десяток-другой процентов. А это ограничивает биотопливо потолком примерно в 0.3 **Q** в год. Достаточно, если думать только об автомобилях. Недостаточно в долгосрочной перспективе для решения энергетических проблем.

Дополнительную проблему представляет низкая энергетическая эффективность выращивания пищи человеком. По разным оценкам [63, 64], на производство одной единицы энергии сельскохозяйственной продукции в США сегодня расходуется от 0.4 до 1.0 единицы нефтяной энергии! (Дзинь, дзинь! Домашнее задание: какого поведения, в связи с этим, стоит ожидать от цен на продукты, если цена нефти выросла вчетверо и продолжает шпарить вверх?) Для кукурузы, правда, потери меньше; [65] называет цифру в 15%, но это не учитывает дальнейшие потери на изготовление топлива из этой кукурузы. В целом выходит, что не менее эдак 30-40% энергии, содержащейся в биотопливе, теряется на его производство, что делает энергетическую рентабельность этого направления ещё более сомнительной. А не стоит забывать, что именно энергетическая, а не "долларовая" прибыль в конечном итоге определяет судьбу источника энергии.

Заметный оптимизм, однако, вселяют разработки "биотоплив" [второго](#) и [третьего](#) поколений.

Топливо [второго](#) поколения -- это переработка органических отходов в метан или другие горючие вещества. Сегодняшний предел выращивания биомассы на Земле известен: 4-6 **Q** в год ([73] называет 3.5 **Q** в год). Почти всё это, в конечном, итоге, уходит в отходы. Если использовать треть этой энергии, можно получать не меньше примерно 1 **Q** в год. Этого достаточно, чтобы покрыть энергетические нужды человечества лет на 25 вперёд. Единственная трудность -- это (пока) слабая развитость индустрии производства и потребления "помойной" энергии.

Биотопливо [третьего](#) поколения основано на водорослях и отличается значительно более высокой эффективностью, хотя пока далеко от промышленной готовности.

Если развитие в этих направлениях будет успешным, то верхний предел продуктивности биотоплив можно будет поднять в 3-6 раз, что действительно позволит разрешить многие энергетические проблемы по крайней мере лет на 50 вперёд и переведёт биотопливо в раздел "достоверных" ресурсов :))

Кстати, на этом фоне забавно подсчитать "пищеварительную" мощность человечества. Нас 6 миллиардов штук. Каждому в день надо примерно 2500 килокалорий пищи. В пересчёте на выбранные единицы это составляет всего... 0.023 **Q** в год! Это раз в 200 меньше, чем можно, теоретически, вырастить на Земле, если "посадить везде кукурузу" (вспомнили Хрущёва?) Сразу видно, насколько же энергетически неэффективна "кулинарная" и пищевая система человечества и сколько из выращиваемого мы отправляем в помойку. Сама Природа велит ими воспользоваться :)

Горючие сланцы

Они же битуминозные сланцы, они же битуминозные мергели, они же oil shale. Представляют собою твёрдые осадочные породы обычно глинистого типа с примесью 10-30% [изредка до 70%] органического вещества, именуемого керогеном. Кероген нефтью не является, но схож с нею химически и горюч [57, 69].

Использовать сланцы можно двумя способами. Во-первых, просто жечь. Как уголь. Во-вторых, путём пиролиза производить из керогена искусственное дизельное топливо [57].

Мировые запасы энергии в горючих сланцах эквивалентны 2.8 - 3.3 триллионам баррелей нефти [59], или 17-20 **Q**. Весьма прилично, и это по консервативной оценке. А поскольку не очень понятно, при каком проценте органики породы ещё можно считать сланцами и где проходит граница энергетически выгодной добычи оных, то, покопавшись, можно встретить цифры и в несколько раз **большие** [см., например, 60].

Согласно [57], искусственное топливо, произведённое из горючих сланцев, становится коммерчески выгодным, если цена нефти достигнет \$70-\$95 за баррель и удержится на этом уровне несколько лет. В принципе, этого уровня мы уже достигли. В прошлом горючие сланцы разрабатывались активно, но после 80-х их добыча уменьшилась в три раза, вытесненная дешёвой нефтью [60]. На сегодняшний день единственная страна, энергетика которой серьёзно базируется на сланцах -- Эстония. 90% вырабатываемой там электроэнергии производится именно из сланцев [60]. США обладают громадными запасами этого ископаемого (62% мировых). Россия следует за США в этом списке.

Словом, сланцы со всех сторон хорошо выглядят. Так почему же этот ресурс не перечислен в списке "достоверных"?

Проблем две.

Первая, малая -- **сегодня** мировая промышленность не готова к массовому потреблению этого вида ресурсов. В 2000-м году в мире добывалось 16 миллионов тонн сланцев в год [60]. Это эквивалентно 0.0004 Q энергии. То есть, эту цифру надо увеличить хотя бы раз в 30, чтобы можно было говорить хоть о каком-то внятном вкладе в энергетический баланс. Но "увеличить" означает построить тысячи новых заводов, вырыть новые необъятные карьеры, вбухать миллиарды долларов. Фактически -- создать крупную индустрию с нуля. За год такое не делается. В лучшем случае -- за пять.

Вторая, более серьёзная проблема -- энергобалансовая. Что мы имеем в этом плане со сланцев?

Исходя из типичного содержания органики в 10-30%, получаем, что теплота сгорания килограмма сланцев составляет 4.5-13 МДж/кг. Для сравнения, килограмм угля даёт 14-25 МДж/кг, то есть, в 2-3 раза больше! Получается забавная ситуация: копать и возить для добычи тонны угля и сланцев надо одинаково, но на электростанции сланцы "счастья и радости" принесут вдвое меньше. При таком раскладе не стоит ожидать массовой добычи горючих сланцев раньше, чем мы всерьёз истощим запасы угля -- а это случится лишь лет через 50.

Кстати, согласно [66], 40-50% энергии, получаемой из сланцев, уходит на их добычу. Для сравнения, с обычной нефтью этот параметр составляет 6-9%.

Это не значит, что сланцы совсем бесполезны. В принципе, они находятся на грани того, что я назвал бы "достоверными ресурсами". По крайней мере в трёх сценариях они актуальны уже сегодня:

1. Получение искусственного топлива. С точки зрения энергобаланса, этот путь примерно равноценен угольному.
2. Разработка особо богатых органикой сланцев (с содержанием керогена выше ~50%).
3. Использование их там, где нет ни угля, ни нефти. Что, собственно, и делает Эстония.

Общий вывод из этого такой: несмотря на крупные запасы энергии в горючих сланцах, лишь некоторая их часть будет использована в обозримом будущем для преодоления энергетического кризиса. Грубо оценить сверху можно цифрой в 8 Q исходя из энергобаланса сценариев с искусственным топливом, хотя, вероятно, этот потолок сильно завышен. Очень уж велик разброс среди разных сланцев по содержанию органики и удобству добычи. Думается, что в целом их роль будет определяться скорее экономическими факторами, которые трудно предсказать.

Торф

Мировые запасы энергии в торфе составляют, по разным оценкам, 2-5 Q [61, 71, 72]. Таким образом, торф не может стать основным ресурсом в борьбе с энергетическим голодом. Маловато его для этого. Кроме того, он является не просто "запасом", но активной частью биосферы, и его массовое выжигание будет откровенным экологическим беспределом.

В некоторых странах торф, однако, вносит заметную долю в энергобаланс -- например, 6.2% в Финляндии [72].

Геотермальная энергия

Полная тепловая мощность, выделяемая недрами Земли, составляет 0.07 Вт/м² [36]. В переводе на язык Q это равно 1.1 Q в год. Это если укутать всю планету, включая дно океанов, геотермальными электростанциями со 100%-м КПД. Практический же потолок этого источника лежит где-то на уровне 0.1 Q в год. Надо ли ещё о чём-то говорить?

Впрочем, стоит отметить одну безумную и очень интересную идею, предложенную в [68]. В упрощенном виде суть её сводится к тому, что в некоторых местах на Земле богатые неокислёнными металлами (Mg, Fe, Si) породы должны подходить на расстояние всего в 4-10 километров к поверхности. Если пробурить шахту достаточной длины (а скважины до 12 километров мы теоретически делать умеем, [74]), да подать туда воду, то, окисляя ею горячий металл, назад можно получить... водород! В огромных количествах. А водород, как известно, является прекрасным топливом :)

Я не геолог, и мне трудно оценить рентабельность или даже выполнимость этой затеи, но она наводит на целый спектр интересных мыслей. Ведь теоретически в Земле, в виде тепла разогретых пород, содержится

что-то порядка до **ста миллиардов Q** энергии. Проблема лишь в том, что уж больно медленно эти **Q** наверх просачиваются! Слаб сегодняшний *естественный* поток энергии из недр Земли. Но нельзя ли его как-нибудь *искусственно* увеличить? Пробурить там что-нибудь, взорвать, расщепить, закачать под землю, организовать "искусственный вулканизм"? Ведь мы буквально ногами ходим по колоссальному резервуару энергии. Если бы удалось отщипнуть от него крошечный кусочек хоть в одном месте, то об энергетическом голоде можно было бы забыть на долгие годы вперёд. Пока, однако, это всё же скорее мечты...

Энергия вращения Земли

Именно. Наша планета -- это огромный вращающийся волчок. И в его вращении "сидит" 200 000 000 **Q** энергии. Замедлив вращение Земли хотя бы на одну миллисекунду в сутки, можно извлечь 5 **Q** энергии, и "питаться" ими потом 9 лет.

Проблема, однако, в том, что сегодня не существует приличных способов отнимать эту энергию. Единственная более-менее внятная реализация -- это приливные электростанции [их зачем-то относят к гидроэнергетике]. Но они хорошо работают только вблизи от побережья и только там, где бывают высокие приливы. Таких мест на Земле мало. Сегодняшний вклад приливной энергетики в мировой энергетический баланс ничтожен [40], и в нынешнем исполнении перспективность этого источника низка.

Теоретически, легко придумать устройства другого типа для решения той же задачи. Но они, в силу фундаментальных физических ограничений, должны быть **очень** тяжелы и громоздки и, видимо, поэтому никто ими всерьёз не занимается.

[Кое-кому, кстати, кажется невозможным отъём энергии вращающегося тела без взаимодействия с окружающими телами ввиду закона о постоянстве момента вращения. Но противоречия здесь нет. Момент вращения, в простейшем случае, есть $L = I\omega$. Энергия же даётся выражением $E = I\omega^2/2$. Выражая ω из первого уравнения и подставляя его во второе, имеем: $E = L^2/2I$. То есть, при сохранении момента вращения вполне можно менять энергию, изменяя конфигурацию вращающегося тела и, соответственно, величину I . На практике, конечно, это требует устройств планетарного размера.]

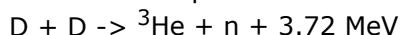
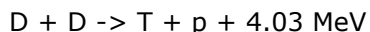
Термоядерный синтез

...или Главная Альтернатива. Сегодня он является научной фантастикой. Но всё-таки именно научной. [Прототипы реакторов](#) с положительным энерговыделением есть. Безумно дорогие и совершенно непригодные пока для коммерческого применения, но есть. Есть масса альтернативных подходов к проблеме. Есть неплохое понимание физики плазмы. И лично я сильно подозреваю, что если бы деньги, угроханные на иракскую войну (\$500 миллиардов, суки вонючие!!! [37]), пустили на развитие термояда, то, не исключено, рабочий реактор был бы сегодня лет на 20 к нам уже ближе.

Его действие основано на реакции слияния лёгких ядер в более тяжёлые, при котором выделяется масса энергии. Водородная бомба использует тот же принцип, только бесконтрольно. Основных плюсов у термоядерной энергетики три:

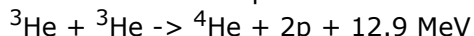
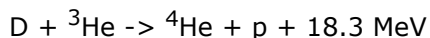
1. Такие реакторы не взрываются. Если в них хоть что-то идёт неправильно -- они просто затухают. Во всяком случае, этого очень легко добиться.
2. Почти бесконечный запас энергии, при правильно подобранном топливе.

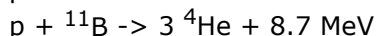
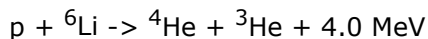
Так, в земных океанах на каждые 6500 атомов водорода приходится один атом дейтерия D. Дейтерий, теоретически, можно "жечь" в реакции [38]:



Её полный энергетический выход составляет $2.9 \cdot 10^{13}$ Дж/кг. Зная массу океанов, можно вычислить, что содержащегося в них дейтерия достаточно для выработки просто невообразимой "суммы" в $1.3 \cdot 10^9$ **Q**. Да, **миллиард Q**. Если вдруг погаснет Солнце, этой энергии хватит на обогрев Земли в течение полумиллиона лет. Или на создание второй Луны. В общем, это просто неземные масштабы.

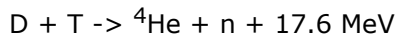
3. Третье преимущество -- низкая радиоактивность. Но опять же, при правильно подобранном топливе. Заманчиво выглядят в этом смысле следующие реакции:





Последняя из них особенно интересна тем, что в определённом образом сконструированных устройствах позволяет отнимать более 90% энергии продуктов реакции прямой перегонкой их кинетической энергии в энергию электрического поля. Рассчитывал я когда-то такую ловушку, помню :)

Оговорки про правильно подобранное топливо очень важны. Дело в том, что сегодня мы худо-бедно и с большим скрипом научились "жечь" лишь реакцию синтеза дейтерия и трития:



Её легче запустить, но она не обладает преимуществами № 2 и № 3. Ибо трития, ей необходимого, в природе нет. А выделяемые нейтроны создают наведённую радиоактивность. По сути, практической пользы от неё нет. Разве что демонстрационная и научная.

Чтобы успешно использовать другие реакции, многие параметры нынешних реакторов надо поднять на порядок. А до этого ещё ой как далеко. Как минимум, лет 40 при оптимистичном раскладе.

Поэтому, когда бывший глава корпорации "Энергия" публично заявлял о планах начать добычу гелия-3 на Луне для отечественной термоядерной промышленности [39], я ему не верил и с полным основанием полагал это пиаром и авантюрой. Ибо хоть топливо это и хорошее, да печки у нас для него нет и в обозримом будущем не предвидится.

4. Предварительные выводы

Вопли тех, кто обеспокоен окончанием нефти, до некоторой степени обоснованы. Но предсказания конца цивилизации не имеют под собой никаких оснований. Делают их либо люди, поленившиеся разобраться в вопросе... либо сознательные провокаторы, которым выгодна паника на нефтяном рынке и связанный с этим рост цен.

Так что сбросьте с души тяготящий Вас камень. Конца Света не будет. Как минимум на ближайшие 70 лет у человечества имеется линейка следующих ресурсов, способных полностью и достоверно покрыть наши потребности в энергии:

1. Газ и уголь [21-32 Q]
2. Ветер [более 2 Q в год]
3. Атомная энергия [не менее 20 Q, теоретически до нескольких тысяч Q]

Некоторую помощь также можно ожидать от следующих ресурсов:

1. Горючие сланцы [несколько Q]
2. Биотопливо [0.2-2 Q в год]

Разумеется, это лишь правда в первом приближении. Совсем без проблем никак не обойтись. Но об этом в следующем разделе.

5. Кризис

*Я знаю:
кризис
будет.
Я знаю:
выход
есть!*

Конечно, кризис всё-таки будет. А как же? Ведь львиная доля сегодняшней индустрии базируется на нефти. Мы жгём её ради энергии и пускаем на сырьё для химии. И даже та промышленность, которая вроде бы не использует нефть, всё равно, если копнуть глубже, опирается на что-то, что в итоге стоит на нефти.

Если эту опору вдруг выбить, зашатается всё и мало не покажется никому. Но важно понимать, что причиной этого кризиса будет не отсутствие "единственного и неповторимого" источника энергии. А технологические и, главным образом, экономические трудности.

Первая категория очевидна: технологии не готовы к повсеместному уходу от нефти, и не смогут совершить его быстро.

Да, возможны автомобили на водороде. Но **сегодня** они ещё не выгодны. Экономические условия пока благоприятны для бензиновых моторов. На разработку и внедрение альтернативы требуются время и деньги. Немалые. Но это большой риск, и никто не хочет с ним связываться. Поэтому водородные двигатели остаются в стадии прототипов, а прорабатываются только относительно "близкие" цели вроде гибридного двигателя или биодизеля.

Да, можно делать искусственное топливо из угля. Можно извлекать кучу энергии из ветра. Но это тоже требует огромных начальных вложений и "полировки" технологий. С туманной пока перспективой прибыли. Поэтому ждут. В итоге дожdemся. Будет, почти как у Ленина: "Сегодня рано, завтра будет поздно".

Экономические причины, в первом грубом приближении, тоже понятны. Дешёвая нефть создала "пузырь" технологий и бизнесов, зависящих от неё. Таких, которые живут только потому, что энергия в нефтяной форме доступна и удобна к потреблению. Когда нефть подорожает, они не могут не прогореть. Их обвал вызовет общее шатание экономики, обвалы по другим фронтам. Тем более что, как это и случается в классических пузырях, часть публики старается выжать максимально больше преимуществ из продолжающейся спекулятивной пирамиды, нежели тратить силы на выход из неё. Все надеются отыскать его "чуть позже" и малой кровью.

О спекулятивных тенденциях хочется высказаться особо. Именно благодаря им кризис происходит уже сейчас. Ибо его "спусковой механизм" -- отнюдь не фактическое окончание нефти, но политические и экономические хитрожопости среди тех, кто, наконец, осознал, что её запасы вовсе не бесконечны. Этот народ вынужден играть в весьма забавную в своём роде игру. Ограничения в ней просты. Тот, кто продаёт свою нефть сегодня, получает деньги прямо сейчас. Но тот, кто умудряется дотерпеть до завтра, продаёт нефть вдвое дороже и получает больше. В идеале выигрывает тот, кто остаётся владельцем последнего барреля нефти на планете и толкает его рыдающим капиталистам за все сокровища мира. На практике, конечно, до этого не дойдёт, ибо рано или поздно хоть какие-то альтернативы нефти найдутся.

Наиболее выгодной долгосрочной стратегией в такой игре является продавать сегодня настолько мало, насколько позволяет стабильность своей и мировой экономики, дабы сохранить побольше на завтра и "толкнуть" тогда товар подороже. Естественно, подобное поведение не способствует снижению цен на нефть. Подбавляют ажиотажу и страхи перед возможным созданием нового источника энергии. Если это случится, последние нефтяные спекулянты останутся с вдруг резко обесценившейся вонючей чёрной жидкостью и триллионными долгами :) Понятно, что им выгодны панические настроения на рынке. Ведь чем быстрее растёт цена на нефть, тем меньше риск в игре с её придерживанием сегодня и продажей завтра :)

Но рано или поздно отделение от нефти должно случиться. Это потребует немалых изменений в экономике и технологиях. И эти изменения будут тем болезненнее, чем дороже в тот день будет нефть. Ведь чтобы построить ветровые генераторы, надо сначала **затратить** энергию и материалы. А они берутся отчасти из нефти и, значит, дорожают вместе с нею. Возникает очень опасная ситуация, когда переход на дешёвую энергию **завтра** невозможен лишь потому, что энергия дорога **сегодня**. Именно эта проблема (экономическая, а не техническая!) кажется мне наиболее опасной. Давление безмерно раздувшегося пузыря нефтяной экономики может дорого нам обойтись в этом смысле. Кризис может оказаться весьма глубоким. Вспомним СССР, уровень жизни которого завалился в несколько раз без всяких стихийных бедствий и разрушительных войн, при **достаточных** нефтяных и прочих природных ресурсах. Просто от того, что привычные социальные и экономические отношения вдруг разорвались.

На этом фоне лучшие шансы успешно преодолеть кризис имеют, как кажется, структуры, способные потратить крупные деньги на альтернативную энергетику поперёк ближних нужд экономики. Тогда, когда это **ещё** не выгодно. То есть, всякие "тоталитарные" государства, где стратегические соображения легко подавляют экономические, а вопли "зажравшихся избирателей" никто не слушает... да изгой с экономикой настолько оторванной от мировой, что им выгоден отказ от нефти уже сегодня. Так и представляю себе, как правительство одной крупной азиатской страны издаёт декрет:

1. Нефть в стране стоит \$50. Несогласных расстрелять.

2. 100 000 учёных перебросить на альтернативную энергетику. Списки от горисполкомов к 7-му мартабря.

3. 31-го мартабря всеобщий переход на водородные автомобили. И не %%%т, что их нету.

Звучит до ужаса похоже на анекдоты про СССР? Но именно подобная стратегия, как ни странно, может оказаться правильной перед лицом кризиса.

США, к сожалению, к кризису подготовлены плохо. Потребление нефти на единицу произведённой продукции является относительно высоким по сравнению с мировыми стандартами [67]. Само потребление энергии -- тоже одно из высочайших в мире. Собственной нефти у страны мало, ибо пик её добычи был пройден ещё в 70-х годах. Кстати, не странным ли "совпадением" на этом фоне выглядит знаменитое нефтяное эмбарго 73-го года, объявленное арабами против стран, "поддерживавших Израиль" -- то есть, в частности, США? Это привело к примерно 4-х кратному скачку цен за какой-то год. Но ни окончание своей нефти, ни урок 73-го года ничему страну не научили: она по-прежнему производит 40% своей энергии из **импортируемой** нефти и не развила альтернативную энергетику. Сельское хозяйство чрезвычайно энергетически "прожорливо", затрачивая от 0.4 до 1.0 единиц энергии в виде нефти на каждую единицу выращенной сельскохозяйственной энергии. Транспорт сильно зависит от бензина. Стоимость услуг почты не менее чем на 40% формируется из стоимости горючего. Экономичность используемых в стране автомобилей в среднем в 1.5 - 3 раза хуже, чем в других индустриально развитых странах, в частности, Европе и Японии. Военные и авиация привязаны к нефти вообще намертво.

Кризис 73-го года не привёл к "концу света", но вызвал общий обвал рынка на 15% и выше. Как минимум, чего-то подобного стоит ожидать и в этот раз, особенно в областях, напрямую завязанных на нефть. Отличие сегодняшнего дня состоит в том, что цены на нефть уже больше снижаться не будут, по крайней мере, всерьёз. Дешёвая нефть кончилась. Всё. Дальше в среднем нефть будет только дорожать, и будет она это делать до тех пор, пока США и другие развитые страны не смогут от неё радикально отвязаться. Вряд ли это приведёт к "концу цивилизации", но к нескольким годам серьёзного промышленного спада среди многих капиталистических стран -- уж наверняка. Предвижу, какие радостные вопли будут в это время издавать их враги :))

Можно ещё много чего сказать в этом разделе. Про политику и использование нефти как механизм давления ряда менее известных стран на одну страну более известную. Про бездумное потребление. Но я не буду, ибо на эти темы можно говорить бесконечно, а я люблю доводить мысли до завершения. Просто подведу итог. Как я уже сказал, меня не пугает само окончание нефти. Что меня действительно пугает -- это человеческая жадность и иррациональность. Именно они могут затянуть этот кризис и сделать его болезненным сверх всякой меры. И, возможно, сделают.

Экономическая интерлюдия

Когда писался этот текст (в апреле 2008 года), будущий непрерывный рост нефтяных цен казался совершенно очевидным. Однако незнание экономики (как и всякое незнание) сослужило мне дурную службу. Забавно: ведь я даже был в курсе, что нефть -- это "жесткий" ресурс. То есть, что цены на него резко подскакивают даже при незначительном превышении спроса над предложением. Но что при этом все, смахнув скупую слезу, всё равно лезут в карман и платят. Вдвое и втрое дороже. Но мне и в голову не приходила обратная сторона этой закономерности: а именно, при спаде потребления цены, наоборот, должны резко обваливаться. Что и произошло.

В мировой экономике случился спад. В терминах промышленного производства он выглядит почти скромно, речь идёт об 1-10% в большинстве стран. Примерно на столько же снизилось потребление нефти. Но результат оказался впечатляющим: цены на неё рухнули почти втрое.

Означает ли это, что нефтяной кризис миновал? Не думаю. Ведь всё вышесказанное про величину её ресурсов сохраняет силу. Просто мы получили временную передышку. И, если посмотреть на всё внимательно, то, кажется, лучше бы уж этой передышки не было.

Ведь что требуется для массового перехода на альтернативные источники энергии, будь то ветер, искусственный бензин или горючие сланцы? Правильно. Высокая цена на нефть **в течение нескольких лет**. За которые можно развить инфраструктуру новой энергетики и по крайней мере отбить обратно вложенные в неё деньги. Но эти высокие цены не держатся! Стоит экономике чуть сбавить обороты (в силу нефтяного ли кризиса, или какого иного) -- как цены на нефть тут же резко падают. Зная об этом, мало кто

рискнёт заниматься всерьёз как альтернативной энергетикой, так и тривиальным строительством новых нефтяных скважин.

В результате, похоже, вместо одного болезненного, но относительно быстрого кризиса, завершающегося переходом на альтернативную энергетику, нас ждёт "отрубание хвоста по частям". Цены будут подсакивать; экономика притормаживать; цены падать; а богатые предприниматели, глядя на весь этот бардак, придерживать свои капиталы, вместо того, чтобы выстроить на них угольную энергетику и положить конец безобразию.

Так что моё непрофессиональное мнение просто: в текущем спаде мы наблюдаем не уход нефтяного кризиса, но часть первую ещё долгого "марлезонского балета".

На чём закончу данную вставку и вернусь к основной теме.

6. А экология?

Итак, мы очертили 3 источника энергии, использование которых наиболее вероятно в ближайшие ~50 лет:

1. Углеводороды: уголь, газ, нефть, возможно, горючие сланцы
2. Ветер
3. Атомная энергия

Предполагая, что именно на них мы будем в эти полвека опираться, хочется понять, какое влияние на экологию это окажет?

Первое, что надо отметить -- это глобальное потепление. Но не от парникового эффекта. А просто вызванное общим энерговыделением человечества.

Действительно, ведь вся производимая нами энергия в итоге уходит в тепло. И греет планету. Если всё будет продолжаться нынешними темпами, то через 50 лет земляне будут производить уже 2 **Q** энергии в год. Это сопоставимо с энергией, поглощаемой от Солнца (3200 **Q**). Нетрудно подсчитать, что это вызовет рост средней температуры на **0.1** градуса исключительно за счёт смещения излучательного равновесия. Причём нагрев будет крайне неоднороден: там, где мало населения и промышленности, практически незаметен, и очень велик в индустриальных районах. На первый взгляд, 0.1 градуса -- пустяк. Но проблема в том, что с этим невозможно бороться! Производя и потребляя энергию, невозможно не греть планету. Единственный выход -- выносить всё энергоёмкое производство в космос, доставляя на Землю только его результаты. При нынешних темпах развития мы вынуждены будем сделать этот шаг не позже, чем лет через 150, иначе просто "сваримся".

Вторая, гораздо более близкая проблема -- это парниковый эффект от выброса углекислого газа CO₂ в атмосферу. Особенно злобная потому, что, похоже, в ближайшие годы нам придётся всерьёз опираться на уголь. Но если так будет продолжаться, то к 2060-му году в атмосфере при наихудшем раскладе может скопиться до 0.09% CO₂. Это **втрое** больше, чем в начале 20-го века!

Сам по себе углекислый газ -- ещё не сама проблема. Легко подсчитать, что произрастающая на планете растительность способна сожрать **весь** CO₂ в атмосфере за какой-то десяток лет, а нынешний его избыток, что мы насоздавали -- вообще чуть ли не за год-два. Но этого не происходит, потому что есть природные процессы, возвращающие углекислоту в атмосферу. Горение, распад органики, дыхание растений. Мы это равновесие сместили, активно сжигая углеводороды. Главная беда в том, что мы плохо понимаем это равновесие. Мы не знаем пределов его устойчивости. Мы не знаем, как могут сыграть всякие вторичные эффекты, сдвигающие его как вправо, так и влево. Например, глобальное потепление ускоряет распад органики и выброс CO₂ в воздух, стремясь, таким образом, к "саморазгону". Но, с другой стороны, оно же может привести к повышению испарения, следовательно, влажности атмосферы, а следовательно, площади облачного покрова. Который отражает свет и способствует похолоданию. И нетривиальным образом зависит от типа облаков и географической широты. Таких вторичных эффектов полно, о многих мы, возможно, даже не догадываемся, не говоря уже про точный их расчёт. Как они друг с другом сложатся -- непонятно. В наилучшем для нас варианте природа отыграет назад и всё скомпенсирует. В более вероятном, скорее всего, накопление углекислоты в атмосфере приведёт к ощутимым эффектам. Потеплению на градус, смещению преобладающих ветров и течений, миграции пустынь и лесов, таянию ледников, заметному изменению уровня океана. При наихудшем (хоть и маловероятном) раскладе, за счёт

эффектов нелинейной обратной связи, речь может идти о катастрофических переменах вплоть до превращения Земли в безжизненную планету.

Всё указывает на то, что уголь останется главным источником энергии на ближайшие лет 20-30. Если так, то избежать производства огромных масс CO₂ мы **никак** не сможем. Просто потому, что это будет эквивалентно отказу от промышленности. А когда выбор стоит между загрязнением природы **завтра** и энергетическим коллапсом **прямо сейчас**, люди не станут долго колебаться. Как бы громко ни кричали бедные экологи.

Следовательно, углекислый газ будет. И его будет чертовски много. Вопрос: что делать?

Теоретически, с этой проблемой можно бороться. Существуют промышленно доступные технологии, позволяющие захватывать CO₂ прямо на угольной электростанции и потом закачивать его в подземные полости. Ряд компаний, в том числе Shell, вполне серьёзно над этим уже работают. Данная технология, конечно, имеет недостатки. Она увеличивает цену произведённой энергии процентов на 20-90% [41]. И до сих пор не вполне ясен вопрос о надёжности долговременного хранения углекислого газа. Станет ли человечество всем этим заниматься, непонятно. Всё зависит от того, когда и с какой силой нас клюнет в жопу жареный петух. Если убытки от глобального потепления [как прямые экологические, так и косвенные социальные в виде беженцев и бунтов] не превысят расходов на захоронение CO₂, то вряд ли.

Поэтому, практически, будущее видится мне так: если достаточно много могущественных стран поймут, что сильно пострадают от глобального потепления, то они откачкой углекислого газа и займутся. Если же никто из богатых серьёзно не пострадает, то заботиться о бедных они тоже не станут, и тем придётся бороться с засухами и наводнениями своими жалкими силёнками. Но в бедных странах есть умные люди, которые это понимают, и они будут стараться сделать так, чтобы больно было не только их странам. В богатых странах, однако, тоже есть умные люди, которые это всё понимают, поэтому они и дальше будут успешно и всё более энергично бороться с терроризмом и нелегальной иммиграцией. В интересное время мы с вами живём, да.

Третье. Ветер. С этим менее всего понятно. Мы не имеем внятного представления о том, сколько ветровой энергии можно из атмосферы высосать, чтобы существенно ей не навредить. Но я почти уверен, что мы этого предела быстро достигнем :) Как это отзовется -- не знаю.

Гибель птиц и летучих мышей, одно время бурно обсуждавшаяся, однако, не является проблемой ветровой энергетики [52 - 56]. Птицы, как правило, активно избегают столкновений с ветряками [54]. Так, в 2001-м году смертность птиц от турбин составляла в среднем 1.83 птицы в год на турбину, или 6400 птиц в год. Это в десятки тысяч (!) раз меньше, чем смертность от столкновений со зданиями, телемачтами, и автомобилями. Правда, чтобы обеспечить потребности США в энергии, турбин надо раз в 1000 больше. Но даже в этом случае гибель птиц от турбин составит менее 10% от вызванной другими факторами -- в частности, охотой кошек и котов! :) Летучие мыши, согласно [56], тоже не сильно страдают.

Не составляет также проблемы и отъём территории ветряками. При правильной организации процесса ветряки занимают лишь маленькие площадочки и вполне успешно сосуществуют с сельскохозяйственными полями [49, 50, 51]. А вот мерцание закатного света солнца, "прерываемого" лопастями турбин, оказывается, может создавать существенный дискомфорт у населения, так что выбирать места для ветряков надо всё-таки с умом.

Четвёртое и последнее: атомная энергия. Мы по-прежнему не представляем, что делать с атомными отходами. Между тем количество их будет расти экспоненциально. А когда люди не знают, что делать с проблемой, они имеют тенденцию спихивать её на других. На тех, кто по глупости полагает, что знает, что делать :))

Перевозу: богатые страны будут передавать свои отходы на хранение бедным. За деньги. Что мы уже наблюдаем. Россия в 2001-м согласилась импортировать западные отходы "на переработку" [42-45], хотя не может обеспечить адекватного хранения даже своих собственных отходов [46, 47].

Вопрос: если богатые страны не уверены, что могут успешно справиться со сложной задачей по хранению отходов, смогут ли это лучше сделать бедные? Три попытки на ответ... Правильно. Конечно же, нет. Будут утечки. Будут аварии. Будет, для "красоты", терроризм.

Поэтому, хотим мы того или нет, на Земле ещё при жизни многих читающих этот текст появятся пятна радиоактивного заражения. Если честно, будет даже лучше, если самый первый подобный утечки окажется весьма серьёзным. Тогда есть слабая надежда, что люди как следует испугаются и, быть может, сделают что-то внятное с этой проблемой на международном уровне.

В общем и целом, вывод такой: экологическое состояние Земли будет ухудшаться. Но полной катастрофы всё-таки, вероятно, удастся избежать. Потому что технические возможности для этого есть. Просто применяться они будут лишь тогда, когда ситуация будет становиться по-настоящему угрожающей.

Update: см. раздел про атомную энергию в "достоверных источниках". Оказывается, правильно сконструированные бридеры могут "выжигать" отходы, и, возможно, решить эту проблему. Экспериментальные прототипы подобных устройств тоже имеются.

7. А дальше?

Из данного рассмотрения следует, что к ~2080-му году у нас останется один-единственный источник энергии: атомные бридеры. Они будут производить в сотни раз больше радиоактивных отходов, чем сегодняшняя атомная промышленность. При этом их энергия будет стоить как минимум в 2-3 раза дороже сегодняшней, в нынешних деньгах. Означает ли это, что именно тогда нас ждёт новый энергетический кризис, причём на планете, уже превратившейся в радиоактивную помойку?

Думаю, что нет. Во-первых, шансы велики, что к тому дню мы всё-таки научимся пользоваться термоядом. Но даже если этого не случится... я всё равно не думаю, что это будет Конец Света. Тот факт, что мы не видим путей продолжения цивилизации за 2080-м годом не означает её конца. Он лишь очерчивает наш горизонт видимости. Ведь мы приняли в рассмотрение исключительно данные, доступные на сегодня. А до 2080-го года случится ещё ой как много чего. Без учёта этих событий наша модель просто теряет смысл за 2080-м годом, вот и всё. А скорее всего, она теряет его намного раньше :)

Но, конечно, очень хочется пофантазировать о том, что же может быть за этим горизонтом. Я начал было писать, но обнаружил, что текст растёт слишком быстро, а его строгость, к сожалению, так же быстро стремится к нулю. И что в нём слишком много философии, субъективных оценок, невнятных допущений и вообще инструментов из других областей. И, наконец, самое главное, что он вырастает в отдельную и вполне самостоятельную тему.

Поэтому я принял решение его исключить. Может быть, когда-нибудь потом я его отдельно и выложу. А здесь приведу только краткую "сводку", без всяких обоснований. Можете полагать это моим персональным бредом :)

<Мой Персональный Бред>

Многие проблемы сегодняшней цивилизации вызваны тем, что законное поведение её индивидов, выгодное им лично, часто прямо противоречит интересам вида или общества в целом. Причём люди даже могут **понимать** это, но всё равно не имеют возможности действовать иначе. Простейший пример: общество потребления. Да, я могу экономить энергию и ресурсы. Но если я начну это делать, я окажусь в невыгодной позиции по отношению к тем, кто продолжает изо всех сил потреблять и получает за счёт этого больше возможностей! Получается забег леммингов: каждый старается вырваться вперёд, и за счёт этого мы все дружно мчимся к обрыву. Подобные массовые самоподдерживающиеся состояния хорошо известны в истории многих стран в политике, войне, экономике.

Корни этого поведения редко лежат в рациональной области. Чаще они определяются "культурой" -- то есть набором почти подсознательных правил поведения и реакций на большинство жизненных случаев. Следовательно, чтобы избежать подвижных "культурой" регулярных забегов к обрывам, человечеству надо как-то научиться быстро и эффективно управлять иррациональной частью сознания людей.

Потенциально, я вижу два пути это сделать. Возможно, будут использованы оба:

1. Замена человека искусственным интеллектом в областях, полагавшихся ранее абсолютно "сакральными". Как то: управление обществом на уровне психологической манипуляции; обязательное посредничество при всяком человеческом общении; психоанализ и перестройка личности; предсказание поведения человека с точностью, значительно превосходящей его собственные возможности в этом деле; совершение ежедневных "мелких" выборов, таких как покупка товаров и услуг. Сильная деформация понимания ряда свобод, предполагавшихся ранее неотъемлемыми, таких как приватность, анонимность, свобода выбора, свобода совести, свобода мышления и убеждений.

2. Идеология. Возникновение и экспоненциальный рост течения, которое я бы (не без ехидства) назвал Фашиствующим Научным Буддизмом. Под "течением" понимается не политическая платформа, которую можно записать на CD и преподавать в Университете, а именно культура, возникшая на иррациональных на

первый взгляд предпосылках, но вознѣшаяся мощно, попав в благоприятную среду. В такую, где мало энергии, где невозможно свободное потребление, где природа разрушена, а выживание даѣтся нелегко. Носители ФНБ будут неприхотливы в запросах, как Будда; по-фашистски нетерпимы к носителям мешающих им культур; занудливо научно мыслящи, и дотошны и въедливы, когда речь идѣт об индивидуальных действиях, способных повлиять на общество или природу в целом.

Мне даже думается, что в ближайшую сотню лет может произойти разделение человечества на эти два лагеря. Первый из них можно назвать "путѣм Благосферы", второй -- "путѣм Дюны". Людей в нынешнем психологическом понимании почти не останется. Ибо содержимое наших сегодняшних мозгов, похоже -- тупиковый путь эволюции. Оно слишком слабо приспособлено к такой жизни, где на первый взгляд свободные и ни на что не влияющие поступки отдельных индивидов, повторѣнные миллиардами, вдруг оказывают катастрофическое влияние на планету в целом.

</Мой Персональный Бред>

8. Заключение

1. Конца Света, вызванного истощением нефтяных запасов, не будет.
2. Но экономический кризис, без сомнения, случится. И может быть тяжѣлым.
3. У человечества достаточно запасов энергии для продолжения нынешнего экспоненциального потребления как минимум до ~2080-го года.
4. Экологические проблемы будут нарастать. В основном изменения климата и радиоактивное заражение.
5. Не технические, но проблемы человеческого поведения являются главной нашей трудностью в обозримом будущем.

9. Источники

Ну, не совсем. Многие цифры в этой работе я *в принципе* представлял себе. Где конкретно и когда я их первый раз видел, я уже, ясное дело, не помню. Но, выкатывая на публику текст такого типа, надо ведь всё-таки слегка отвечать за свои слова, так? Поэтому перед употреблением цифр я их всё же ~~мыл~~ перепроверял. Как? Просто рылся в интернете и находил подтверждения. Потом записывал вот сюда. В результате этот раздел полон отсылок к совершенно разношѣрстным сайтам, зачастую весьма смешным или сомнительным. Но мне, простите, просто лень копать и искать на всё серьёзные источники. Если Вам кажется, что какие-то из использованных цифр или материалов **существенно** неверны -- пишите письма, я с радостью всё поправлю.

1. http://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_resources_and_consumption
2. <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/gasreserves.html>
3. http://ru.wikipedia.org/wiki/Удельная_теплота_сгорания,
http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_of_combustion
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_gas
5. <http://www.eia.doe.gov/pub/international/iea2005/table82.xls>
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Fischer-Tropsch_process
7. http://en.wikipedia.org/wiki/Bergius_process
8. [http://en.wikipedia.org/wiki/Coal#Liquefaction - Coal-To-Liquids .28CTL.29](http://en.wikipedia.org/wiki/Coal#Liquefaction_-_Coal-To-Liquids_.28CTL.29)
9. http://en.wikipedia.org/wiki/Price_of_oil
10. http://www.econstats.com/spot/rt_coal.htm
11. <http://www.eia.doe.gov/cneaf/coal/page/coalnews/coalmar.html>
12. <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/coalprice.html>
13. <http://adsabs.harvard.edu/abs/1989AmJPh..57..995G> -- мощность тепловой машины земной атмосферы дана как $3 \cdot 10^{15}$ ватт, или 100 Q в год.
14. <http://docs.lib.noaa.gov/rescue/mwr/094/mwr-094-02-0067.pdf> -- для Северной Америки дают $15.77 \cdot 10^5$ Дж/м² атмосферной энергии; мощность генерации 8.73 Вт/м², и диссипации 6.38 Вт/м². Это эквивалентно 0.8 Q энергии в атмосфере, скорости генерации этой энергии -- 138 Q в год, а характерному времени возобновления, соответственно, 2.1 дня.
15. <http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/204/4388/13> -- называют $1.3 \cdot 10^{14}$ ватт доступной ветровой энергии (4 Q в год), из них для США $2 \cdot 10^{12}$ Ватт (0.06 Q).

16. http://www.stanford.edu/group/efmh/winds/global_winds.html -- оценивают запас энергии в 72 TW, или 2.25 Q в год.
17. http://en.wikipedia.org/wiki/Betz%27_law -- максимальный теоретически возможный КПД ветровой турбины -- 59%.
18. http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power#Utilization_of_wind_power -- дают цифры производства некоторыми странами.
19. <http://www.world-nuclear.org/info/inf06.html> -- смертность при производстве разных видов энергии
20. http://frankwarner.typepad.com/free_frank_warner/2006/01/us_coal_mining_.html -- смертность шахтёров в США и Китае.
21. http://en.wikipedia.org/wiki/Coal_mining#Dangers_to_miners -- заболевшие.
22. http://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_disaster#Assessing_the_disaster.27s_effects_on_human_health -- Чернобыль и влияние на здоровье населения.
23. <http://www.ornl.gov/info/ornlreview/rev26-34/text/colmain.html> -- выброс тория и урана угольными станциями
24. <http://www.hsph.harvard.edu/news/press-releases/archives/2000-releases/press05042000.html> -- влияние угольных станций на здоровье.
25. <http://www.americanenergyindependence.com/uranium.html> -- статья с некоторыми цифрами.
26. http://en.wikipedia.org/wiki/Image:EIA2007_f4.jpg и http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_power#Conventional_fuel_resources.
27. <http://www.world-nuclear.org/info/inf75.html>
28. http://www.nei.org/filefolder/uranium_fuel_supply_adequate_0107.pdf
29. http://www.energypulse.net/centers/article/article_display.cfm?a_id=374
30. <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:PEff%28rev110707%29d.jpg>
31. [World Energy Resources By Charles E. Brown](#)
32. <http://en.wikipedia.org/wiki/Hydropower>
33. http://www.arenergysystems.com/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=31
34. http://www.fao.org/ES/ess/os/envi_indi/part_15.asp
35. http://www.srh.noaa.gov/jetstream/atmos/energy_balance.htm -- энергетический баланс земной атмосферы.
36. *Katharina Ladders and Bruce Fegley, Jr. The Planetary Scientist's Companion. New York, Oxford, Oxford University Press, 1998.*
37. http://www.nationalpriorities.org/costofwar_home, <http://zfacts.com/p/447.html>, <http://www.msnbc.msn.com/id/11880954/>
38. http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fusion#Criteria_and_candidates_for_terrestrial_reactions -- реакции.
39. <http://www.lenta.ru/news/2005/08/18/helium/>
40. http://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_resources_and_consumption#Wave_and_tidal_power
41. http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_capture_and_storage
42. <http://www.ens-newswire.com/ens/jun2004/2004-06-23-03.asp>
43. <http://www.nytimes.com/2006/07/09/washington/09russia.html>
44. <http://www.greenpeace.org/russia/en/press/releases/1299375>
45. <http://www.pacificenvironment.org/article.php?id=193>
46. <http://www.nti.org/db/nisprofs/russia/naval/waste/wasteovr.htm>
47. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/6058302.stm>
48. <http://solar.anu.edu.au/docs/Sliver%20cells%20060621.ppt> -- время энергетического окупания батарей 1.5 - 4 года (страница 16).
49. <http://www.nationaleminentdomain.com/stats/pepper/orderedlist/downloads/download.php?file=http%3A/www.nationaleminentdomain.com/HPJ.pdf> -- рассматриваются аспекты взаимодействия сельского хоз-ва и ветровых станций. Указывается, что большая часть земли под ветряками вполне успешно может быть возвращена в оборот, хотя это требует некоторых усилий. А вот мерцание закатного света, оказывается, бывает серьёзной проблемой!
50. http://tung-sten.no-ip.com/Texts/Thoughts/WindPower/800x600/DSC_0484.JPG.800x600.jpg.htm -- ветровые турбины в Германии, 22 декабря 2006 года. Отчётливо видно, что занимают они площадь основания, а не лопастей.
51. <http://www.res-ltd.com/wind-farms/wf-9canyon2.htm> -- турбины в SE Washington. Видно то же самое.
52. <http://www.awea.org/faq/sagrillo/swbirds.html> -- в 2001-м году смертность птиц от турбин составляла в среднем 1.83 птицы в год на турбину, или 6400 птиц в год. Это на 4 порядка (!) меньше, чем смертность от столкновений со зданиями, телемачтами, и автомобилями. Правда, чтобы обеспечить потребности США в энергии, турбин надо раз в 1000 больше. Но даже в этом случае смертность от турбин составит ~10% от остальных факторов и по-прежнему будет лишь сравнима со смертностью... от кошек и котов!
53. http://www.nationalwind.org/publications/wildlife/avian_collisions.pdf -- сама работа, цитировавшаяся выше

54. <http://www.currykerlinger.com/windpower.htm> -- птицы обычно избегают столкновений с турбинами
55. <http://www.currykerlinger.com/bats.htm> -- летучие мыши тоже вроде не страдают, по крайней мере не катастрофически (маловато данных).
56. http://www.awea.org/faq/sagrillo/ms_bats_0302.html -- подтверждают. Приводят цифры 1.16...4.26 погибших летучих мыши на турбину в год.
57. http://en.wikipedia.org/wiki/Oil_shale -- про shale oil
58. http://en.wikipedia.org/wiki/Abiogenic_petroleum_origin
59. <http://www.fas.org/sgp/crs/misc/RL33359.pdf> -- про shale oil
60. http://www.kirj.ee/public/oilshale/9_brendow_1_03.pdf -- про shale oil, ресурсы, использование в экономике
61. <http://www.imcg.net/docum/peatrenewable.pdf> -- торф
62. <http://members.aol.com/trajcom/private/oilcris.htm> -- общая статья от 98-года со значительно оправдавшимися предсказаниями :)
63. <http://www.energybulletin.net/5045.html> -- про энергетическую эффективность выращивания пищи
64. <http://oregonstate.edu/~muirp/fossfuel.htm> -- про энергетическую эффективность выращивания пищи
65. <http://bioenergy.ornl.gov/papers/bioam95/downing1.html> -- про энергетическую эффективность выращивания пищи
66. <http://www.rep.org/opinions/speeches/63.html> -- энергозатраты на добычу нефти
67. <http://www.cofc.edu/~neffj/EVSS650/Notes/lec4.pdf> -- соотношение между GDP и потреблением энергии
68. http://www.truemoral.ru/up_3.html#13 -- про водородную энергетику на глубоком бурении
69. <http://www.cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/012/052.htm> -- процент органики в сланцах
70. http://en.wikipedia.org/wiki/Heating_value
71. <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D1%80%D1%84> -- запасы торфа
72. <http://en.wikipedia.org/wiki/Peat> -- запасы торфа
73. <http://en.wikipedia.org/wiki/Biomass>
74. <http://www.vokrugsveta.ru/vs/article/417/> -- про сверхглубокое бурение

10. Благодарности

Автор благодарит за предоставленную информацию и ценные дискуссии, позволившие в заметной степени улучшить работу, следующих людей: [experimentator](#), [alex_khavr](#), [gans2](#), [kainka](#), [kostya13](#), [illyn](#).

11. Комментарии?

В ЖЖ: <http://eugenebo.livejournal.com/104000.html>.

04.2008

===

Text Author(s): Eugene Bobukh === Web is volatile. Files are permanent. **Get a copy:** [PDF] [Zipped HTML] === **Full list of texts:** <http://tung-sten.no-ip.com/Shelf/All.htm> === **All texts as a Zip archive:** <http://tung-sten.no-ip.com/Shelf/All.zip> [mirror: <https://1drv.ms/u/s!AhyC4Qz62r5BhO9Xopn1yxWMSxtaOQ?e=b1KSii>] === **Contact the author:** h o t m a i l (switch name and domain) e u g e n e b o (dot) c o m === **Support the author:** 1. **PayPal** to the address above; 2. **BTC:** 1DAptzi8J5qCaM45DueYXmAuiyGPG3pLbT; 3. **ETH:** 0xbDf6F8969674D05cb46ec75397a4F3B8581d8491; 4. **LTC:** LKtdnrau7Eb8wbRERasvJst6qGvTDPbHcN; 5. **XRP:** ranvPv13zqmUsQPgazwKkWCeAYecjYxN7z === **Visit other outlets:** Telegram channel <http://t.me/eugeneboList>, my site www.bobukh.com, Habr <https://habr.com/ru/users/eugenebo/posts/>, Medium <https://eugenebo.medium.com/>, Wordpress <http://eugenebo.wordpress.com/>, LinkedIn <https://www.linkedin.com/in/eugenebo>, ЖЖ <https://eugenebo.livejournal.com>, Facebook <https://www.facebook.com/EugeneBo>, SteemIt <https://steemit.com/@eugenebo>, MSDN Blog https://docs.microsoft.com/en-us/archive/blogs/eugene_bobukh/ === **License:** Creative Commons BY-NC (no commercial use, retain this footer and attribute the author; otherwise, use as you want); === **RSA Public Key Token:** 33eda1770f509534. === **Contact info** relevant as of 7/15/2022.

===