

РАЗВИТИЕ ЗЕМНОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ И ЭНЕРГЕТИКА

В. М. КУЛЫГИН



Цивилизация в своем развитии вплотную подошла к необходимости осознания того факта, что ее влияние на освоенную среду обитания перестало быть пренебрежительным: ей придется считаться с природными ограничениями. Потребность в улучшении условий жизни большей части населения Земли, а также рост его численности влекут за собой требования ускоренного развития энергетики и увеличение потребления всех видов ресурсов: ископаемых, водных, сельскохозяйственных.

Истощение технологически освоенных видов сырья ведет к необходимости развития новых технологий для использования других его видов, которые прежде считались экономически неперспективными. Эти технологии, как правило, более энергоемки. Ликвидация последствий вредного воздействия человеческой активности на природу также требует дополнительных энергетических затрат. При этом следует учитывать существование опасности теплового «засорения» земной среды обитания, что ограничивает возможности производства и потребления энергии на Земле с использованием традиционных первичных источников.

Новые возможности предоставляет человечеству освоение вземных ресурсов. Это касается источников сырья, энергии и снятия пространственных ограничений. И потребует, в свою очередь, беспрецедентных энергозатрат. Обеспечить действительное распространение человеческой активности в пределах Солнечной системы сможет только использование энергии ядерного синтеза.

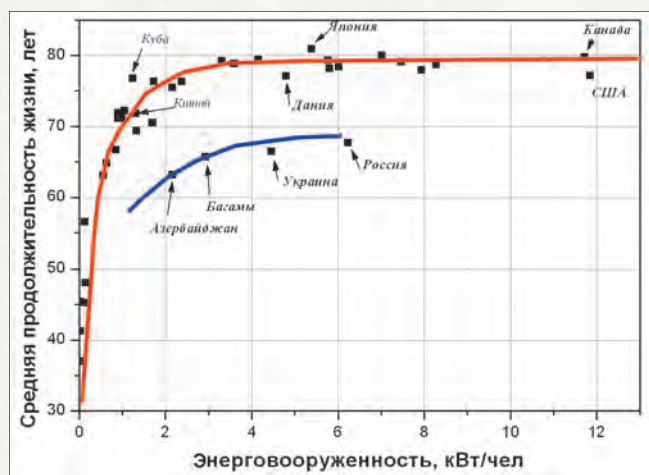


Рис. 1. Связь средней продолжительности жизни в стране с удельной энерговооруженностью

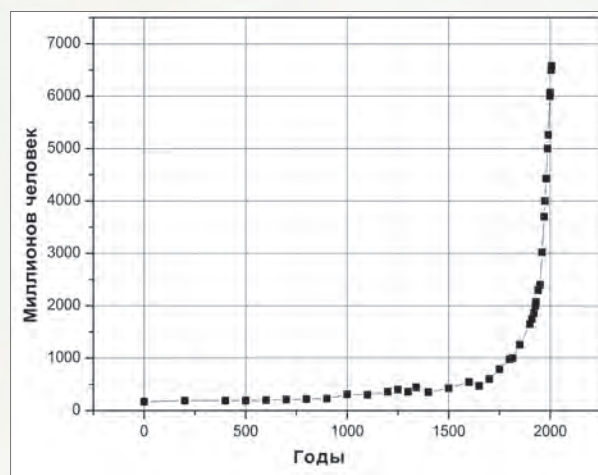


Рис. 2. Изменение численности населения Земли

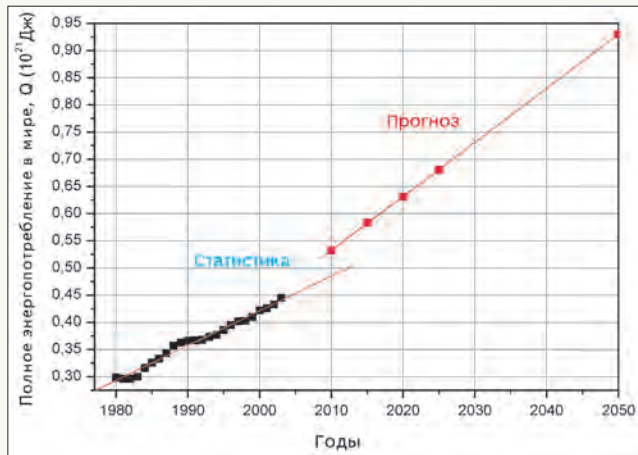


Рис. 3. Рост мирового энергопотребления

Энерговооруженность общества и его благосостояние. Энерговооруженность общества во многом определяет уровень развития цивилизации вообще и благосостояние населения в частности. Удобно анализировать уровень удовлетворения человеческих потребностей, основываясь на удельной энерговооруженности. Среднюю продолжительность жизни в стране можно считать показателем условий существования людей, а обеспечиваются эти условия посредством соответствующих энергозатрат. Рис. 1 иллюстрирует связь названных параметров. Зависимость выходит на насыщение при уровне энерговооруженности в 3–4 кВт на человека. Эту величину можно принять за обоснованную минимальную потребность энергообеспечения современного общества.

Годовое потребление энергии на душу населения при этом составит 26–35 МВт/ч.

Рост населения и увеличение требований к комфортности существования ведет к росту масштабов материального потребления и расходования имеющихся в распоряжении человечества энергоресурсов.

Увеличение населения Земли. Население Земли, составлявшее в 1830 г. 1 млрд. человек, перевалило в настоящее время за 6 млрд. Статистика эта широко известна, однако график, приведенный на рис. 2 и демонстрирующий ход роста численности землян, производит гораздо большее впечатление, чем просто названные цифры.

Демографы, правда, предсказывают уменьшение скорости роста населения, и к середине XXI столетия его численность будет на уровне

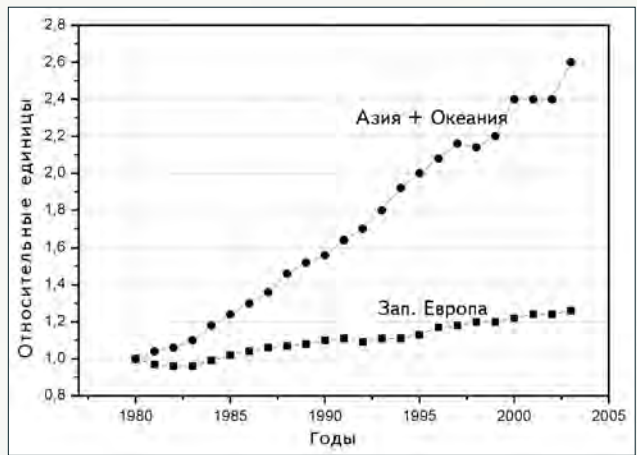


Рис. 4. Относительный (по отношению к 1980 г.) рост потребления энергии в развивающихся странах (Азия + Океания) и в странах Западной Европы

12 или 14 млрд. Из тех же оценок следует, что если бы удалось сократить рождаемость в среднем по миру в 2 раза, то эта асимптота прошла бы на уровне 10 млрд. человек.

Ограниченность земных ресурсов. Показанный на рис. 2 взрывной рост населения должен с необходимостью сопровождаться ростом производства средств жизнеобеспечения, что вызывает, в свою очередь, новые проблемы, ранее человечеству неизвестные. И связаны эти проблемы с тем, что наше воздействие на среду обитания перестало быть величиной бесконечно малой.

Это касается, в частности, истощения материальных ресурсов и ресурсов энергоносителей. По оценкам специалистов, в ближайшие 10–25 лет на Земле будут исчерпаны запасы алмазов, золота, индия, мышьяка, ртути, свинца, серебра, серы, таллия, цинка. На 25–50 лет хватит висмута, графита, меди, молибдена, кадмия, нефти, олова, селена, стронция, торфа, урана, флюорита. На 50–100 лет может хватить запасов вермикулита, вольфрама, газа, ильменита, кобальта, никеля, рения, сурьмы, тантала, фосфатов, циркония. От 100 до 130 лет можно еще будет добывать хром, бор, ванадий, железную руду. Йода, лития и угля может хватить лет на 300.

Важнейшим природным ресурсом является плодородная почва, покрывающая Землю слоем толщиной от 0,5 до 2 метров. Площадь этого слоя составляет примерно 150 млн. км², из которой на сельскохозяйственные земли приходится примерно 50 млн. км². Эти земли обеспечивают человечество продовольствием. В настоящее время на одного жителя планеты при-

ходится 0,28 га пахотных земель. По прогнозам к 2030 г. общая площадь пашни увеличится на 5 %, в то же время население возрастет до 8 млрд. человек. В результате количество пахотной земли в расчете на душу населения снизится до 0,19 га. По оценке Международного справочно-информационного центра по почвенным ресурсам, 15 % всемирного земельного фонда подвержено деградации под влиянием деятельности человека. Каждый год сотни тысяч гектаров леса уничтожаются пожарами, которые в половине случаев вызываются людьми.

Конечно, здесь речь идет о ресурсах, реализация которых осуществляется с помощью нынешних технологий получения нужного продукта или результата. Новые технологии, безусловно, расширят рамки внутриземных возможностей человечества. Однако введение этих новых, как правило более энергоемких, технологий потребует мобилизации дополнительных энергоресурсов.

Статистика и прогнозы потребностей в энергии. Обратимся теперь к реальному потреблению энергии на душу населения (рис. 3–4). В 1960 г. среднее по миру энергопотребление было ~10 МВт/ч на человека в год. Теперь эта цифра выросла до ~19 МВт/ч на человека в год, что все еще в ~1,5 раза меньше минимальной потребности. К тому же неравномерность распределения подушного энергопотребления по странам и регионам очень велика.

Свыше 80 % мирового населения пользуется количеством энергии, меньшим среднемировой величины и, если развивающиеся страны подтянутся до приемлемого уровня ее потребления,

который будет все еще гораздо ниже такового в развитых странах, среднее удельное энергопотребление вырастет на 50 % к середине XXI столетия. Это предсказание уже учитывает значительное замедление роста потребления энергии в США, Европе, России и Японии, на долю которых сегодня приходится свыше 70 % мировых энергетических ресурсов.

На основе выявленных тенденций развития можно предсказывать энергопотребление в XXI столетии. Теперь свыше 6 млрд. человек потребляют в среднем по 19 МВт/ч в год и мировое потребление близко к 0,6 Q в год ($Q = 10^{21}$ Дж). По «консервативной» оценке, принимая численность населения в 10 млрд. человек к 2050 г., и «консервативных» же 26 МВт/ч на человека в год в среднем, получаем, что среднее энергопотребление к середине XXI столетия поднимется более, чем в 2 раза по сравнению с нынешним и составит 0,9 Q в год.

Энергоресурсы. Приблизительная оценка (источник: Energy Options for the Future, Meeting at US Naval Research Laboratory. 11–12 March, 2004) запасов энергоресурсов Земли: нефть — $2,85 \cdot 10^{11}$ т (~13,3 Q); газ — $2\text{--}3 \cdot 10^{11}$ т (~8 Q); уголь — $9,74 \cdot 10^{12}$ т (297 Q); уран и торий $\sim 10^8$ т (~5000 Q); дейтерий — $2,5 \cdot 10^{13}$ т ($\sim 1,5 \cdot 10^{10}$ Q).

Приведенные данные в совокупности с прогнозами потребления энергии ясно указывают на насущную потребность в освоении новых технологий ее получения. Запасы ядерного «горючего», конечно, дают основания смотреть в будущее с оптимизмом, однако технологии его «сжигания» еще нужно разработать. Да и уголь тоже

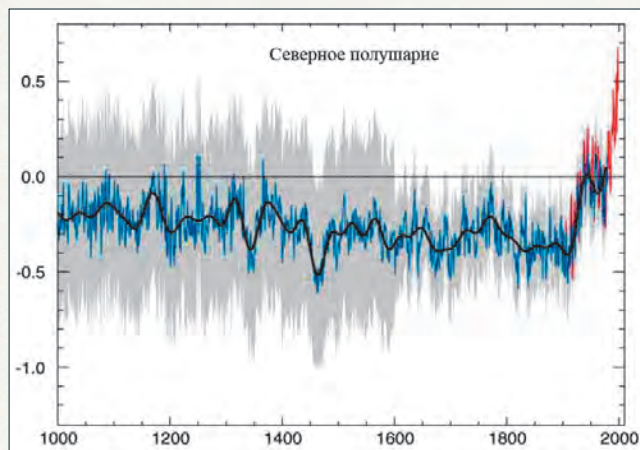


Рис. 5. Изменение температуры земной поверхности за тысячелетие

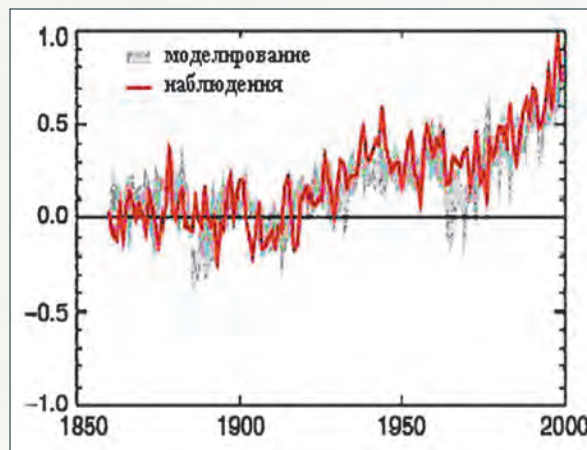


Рис. 6. Изменение температуры земной поверхности за последние 150 лет

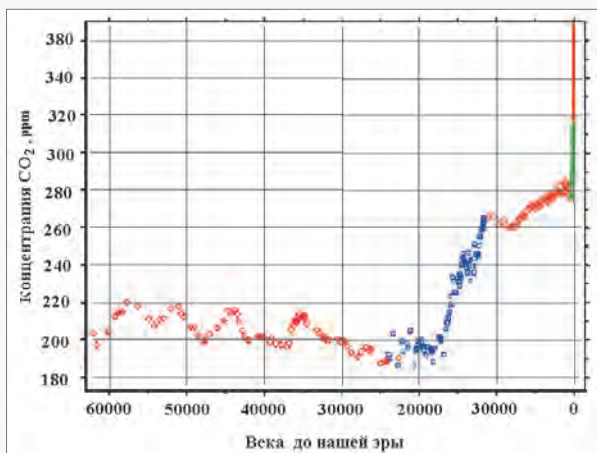


Рис. 7. Изменение концентрации CO_2 за 6 млн. лет

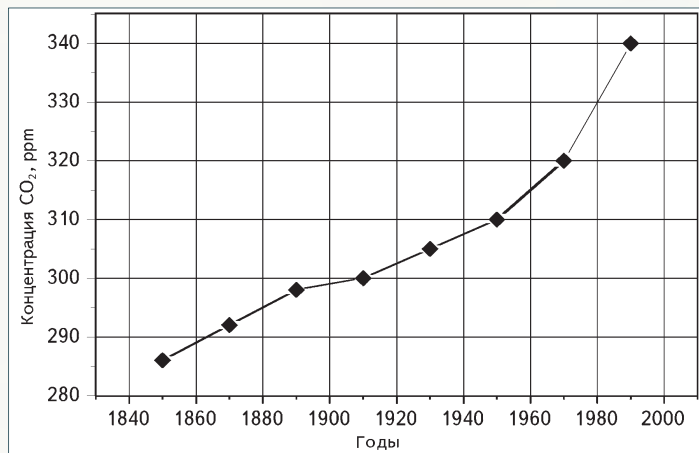


Рис. 8. Рост концентрации CO_2 в атмосфере Земли в «индустриальную эпоху»

уже нельзя жечь по-прежнему, без оглядки на возможные последствия.

Климатические изменения. Уже при нынешнем уровне потребления энергии, который, к тому же, как известно, обеспечивается сжиганием углеродосодержащих топлив, наблюдается увеличение температуры земной поверхности. Это увеличение температуры Земли связывается, в частности, с ростом концентрации углекислого газа в ее атмосфере, усиливающим ее «парниковый эффект». Приводимые рисунки (рис. 5–8) демонстрируют совершенно явное соответствие достаточно резкого увеличения температуры Земной поверхности периоду «индустриальной эпохи». Красным цветом выделены результаты прямых измерений. На «исторической» картинке серым цветом даны результаты, полученные по годичным кольцам деревьев, синим — по ледовым пробам и историческим записям.

«Безопасные» пределы энергопотребления. Перепроизводство энергии на Земле может стать угрозой для существования человечества даже раньше, чем будут исчерпаны земные ресурсы. Из результатов изучения природы изменений земного климата многие исследователи делают вывод, что мощность земной энергетики не должна превышать 0,1 % мощности солнечного излучения, падающего на землю, или 90 ТВт, что всего в 6 раз больше современного ее уровня. В то же время прогнозы потребления и, соответственно, производства энергии дают основания считать, что при нерегулируемом развитии ситуации этот предел может быть достигнут в конце текущего столетия. Согласно некоторым

оценкам, первые признаки усиления действия «парникового» эффекта можно будет определить уже к 2020 г., а к середине столетия это действие окажется уже необратимым. Участвовавшие в последнее время погодные аномалии заставляют серьезно относиться к этим оценкам. Таким образом, существует достаточно реальная угроза, что в середине, или, в лучшем случае, к концу XXI века земная среда и природные ресурсы нашей планеты не смогут выдержать техногенную нагрузку.

Обратимся к цифрам, имеющим отношение к энергетическому балансу нашей планеты. Их удобно представить в единицах $Q = 10^{21}$ Дж (1 кВт час = $3,6 \cdot 10^6$ Дж). На Землю ежегодно падает от Солнца $\sim 3300 Q$ (примерно половина отражается). На весь фотосинтез затрачивается $1,2 Q$ /год. Ветер, атмосферные течения $\sim 11 Q$ /год. Гидроэнергия $\sim 0,1 Q$ /год.

За всю историю вплоть до XX века человечество израсходовало примерно $1 Q$. В 2006 г. потребление энергии составило $0,55 Q$ (источник: IEA, Key World Energy Statistics, 2008.)

Безопасным пределом годового энергопотребления в настоящее время считается $3,3 Q$.

КУЛЫГИН Владимир Михайлович — зам. директора Института водородной энергетики и плазменных технологий, НИЦ «Курчатовский институт», кандидат физ.-мат. наук, доцент