

О принципиальной неисчерпаемости природных ресурсов*

д.т.н., проф. В.Е. Лотош

Автор считает, что проблема исчерпаемости природных ресурсов сводится к проблеме ограниченности энергетических ресурсов. Можно полагать, что в ближайшие десятилетия энергия возобновляемых источников станет дешевле и доступнее полученной из традиционных первичных энергетических источников. Человечество будет постепенно осваивать месторождения со всё меньшим содержанием целевых элементов, создавать экономически приемлемые технологии разработки «кларковых месторождений». В последних концентрация извлекаемого элемента равна его среднему содержанию в земной коре. Кларковые месторождения, по определению, не уничтожимы, т.е. вечны.

On the fundamental inexhaustibility of natural resources

by d.t.s., prof. V.E. Lotosh

The author supposes that the problem of natural resources inexhaustibility is the problem of energy resources' limitation. It may be assumed that in the next decades the energy from renewable sources will be inexpensive and more accessible than traditional primary energy resources. Humanity will exploit deposits with smaller and smaller concentrations of principal elements, it will create economically acceptable technologies of 'clarke deposits' mining. In those deposits the concentration of extracted element is equal to its average concentration in the earth's crust. Clarke deposits cannot be worked out by definition, i.e. they are eternal.

Проблема природных ресурсов относится к одной из важнейших в сознании человеческого сообщества. Обычно её формулируют как проблему ограниченности, исчерпаемости природного сырья. Однако эта точка зрения представляется не столь однозначной, несмотря на всеобщее признание. История науки показывает, что и общепринятые взгляды нередко требуют пересмотра. Так, в течение полутора

* Работа подготовлена при поддержке РФФИ (проект 04-06-80025).

тысяч лет господствовал геоцентрический взгляд на строение солнечной системы. В соответствии с ним её центром являлась Земля, а все другие небесные тела, включая Солнце, вращались вокруг неё. Гениальный польский астроном Николай Коперник в 16 в. показал ошибочность этих воззрений и разработал гелиоцентрическую теорию строения Солнечной системы. В ней центр – Солнце, а Земля, как и другие планеты, вращается вокруг него. Давно уже отринуты теория теплорода, ненаучные попытки превращения одних элементов в другие химическим путём, создания вечных двигателей и т.д. Автор полагает, что настанет время, когда человечество будет рассматривать и проблему конечности, исчерпаемости природных ресурсов как потерявшую актуальность. Подробнее обоснуем это утверждение.

Рассматривая современные представления об исчерпаемости природных ресурсов, нетрудно выделить в них пессимистическую и оптимистическую точки зрения.

В рамках пессимизма отмечается, что проблема исчерпаемости природных ресурсов с каждым годом приобретает всё большую актуальность. В частности темпы роста потребления ресурсов примерно на порядок превышают рост численности населения. Особенно быстро увеличивается использование углеродсодержащих ресурсов. Указывается, что в настоящее время ежегодно сжигается столько горючих полезных ископаемых, сколько природа накапливает за миллионы лет [1]. Приводятся многочисленные и зачастую противоречивые данные, на сколько лет хватит разведанных запасов тех или иных ресурсов.

В соответствии с оптимистическим сценарием «нельзя голословно утверждать, что в ближайшее время природно-ресурсный потенциал может быть физически исчерпан и человечество может быть поставлено перед глобальной проблемой его краха» [2]. Указывается на необходимость комплексного использования сырья, внедрения новых источников энергии, вместо выводимых, с теми же потребительскими свойствами. Муссируется, например, замена бензина из нефти в автомобилях на спирт, полученный из тростника (практика Бразилии и, на начальном этапе, США).

Наиболее оптимистический прогноз предусматривает исчерпание всего содержания *элементов* в земной коре. Для этого случая даются следующие сроки, лет: железа, урана, алюминия – 10^9 , меди – $242 \cdot 10^6$ [3]. Таким образом, в данном

варианте их запасы в худшем случае закончатся через несколько сотен миллионов лет (для меди) или через миллиард лет по железу, алюминию, урану.

К сожалению, последний, весьма оптимистический, сценарий логически ничтожен и не должен приниматься во внимание, поскольку получен на основании ложной посылки: химические элементы в процессе материальной деятельности исчезают. Это утверждение возвращает нас во времена алхимии. В любых химических и подобных им превращениях нерадиоактивные элементы в какие-то иные элементы не переходят, хотя оказываются в составе других соединений. Например, процесс восстановления железа из окисленных (гематитовых) руд может быть выражен уравнением:



Изделие из железа после окончания срока службы ржавеет (окисляется) и вновь переходит в оксид.

Из изложенного следует, что количество нерадиоактивных элементов на Земле постоянно, без учета образовавшихся при распаде радиоактивных веществ. Оно характеризуется кларком, т.е. средним содержанием элемента в земной коре, выраженным в процентах.

Что же исчезает? Что понимается под невозобновляемыми природными ресурсами? Конечно, имеются в виду месторождения полезных ископаемых, т.е. участки земной коры, в которых в силу тех или иных причин различные элементы достигают концентраций, существенно превосходящих их кларки. Последнее обеспечивает их экономически обоснованное извлечение.

История материального производства свидетельствует, что по мере совершенствования технологий экономически приемлемое содержание элементов в месторождениях существенно снижается. Возвращаясь к железу и другим металлам, можно отметить, что вначале экономически целесообразно было использование только их самородных проявлений. В последних содержание железа, меди, золота и прочих металлов было практически 100%-м. Затем наступила пора переработки сверхбогатых руд, в частности по железу – до 70%. В настоящее время в некоторых случаях используются руды с содержанием железа менее 18% (Качканарское месторождение титано-магнетитовых руд). Таким образом, за неполные 100 лет 20 в. экономически приемлемое содержание железа в рудах снижено в 4 раза. Кларк же-

леза – 4,65%. От 18 до 4,65% отношение такое же, как и уже пройденное от 70 до 18%. Можно принять, что и оно будет преодолено в сроки, сопоставимые со столетием. Допустим, тем не менее, что необходим повышающий коэффициент для прохождения этой дистанции, поскольку каждый последующий 1% снижения Fe достигается с большим трудом. Возможно, это увеличит продолжительность обсуждаемого периода до нескольких сотен лет. Однако геологические запасы руд даже с современным содержанием железа в настоящее время составляют 2500 лет и продолжают возрастать. Поэтому вполне реально, что задолго до того, как исчерпаются запасы нынешних месторождений, металлургические технологии достигнут уровня экономически эффективной переработки сырья с кларковым содержанием железа (такое в принципе близко к достижимому и в настоящее время при комплексном использовании исходного сырья). Это будет означать, что проблема дефицита железорудного сырья принципиально решена на весь срок существования Земли как небесного тела, пригодного для проживания людей.

Ещё меньше дистанция между содержанием алюминия в перерабатываемых в настоящее время рудах (17%) и его кларком (8,1%). При этом успехи в создании всё более эффективных технологий извлечения алюминия настолько велики, что за примерно 100 лет (вторая половина 19 в. – вторая половина 20 в.) стоимость его, первоначально в несколько раз более дорогого, чем золото, снизилась по отношению к последнему до уровня, на несколько порядков меньшего. На стыке веков алюминий по масштабам производства занимает прочно второе место (более 23 млн т/год), вслед за железом.

Перспективы перехода к использованию сырья с кларковым содержанием реальны и для других широко распространенных элементов. В частности из 85 стабильных элементов Периодической системы Д.И. Менделеева на долю наиболее распространенных девяти из них приходится 99,6% всей массы земной коры. Их кларки, кроме приведённых для железа и алюминия: 47,3 – кислород; 29,1 – кремний; 3,3 – кальций; по 2,5 – натрий и калий; 1,7 – магний; 0,44 – титан. Отсюда следует, что еще задолго до того, как будут использованы запасы нынешних месторождений, переход на сырье с кларковым содержанием в реально прогнозируемые сроки возможен для группы элементов и их соединений, образующих подавляющую долю современных запасов полезных ископаемых.

Очевидно также, что сроки истощения традиционных месторождений станут значительно более длительными, чем прогнозируемые в настоящее время. Геологи открывают всё новые и новые залежи, превышающие в подавляющем большинстве случаев по запасам выводимые в переработку. Сейчас в принципе невозможно предположить, когда в геологии возобладает противоположная тенденция.

Замедлят темпы истощения природных ресурсов и другие факторы. Глобальные масштабы приобретёт вовлечение в переработку вторичного сырья. Уже в наше время из него получают, например, 50% мирового выпуска свинца. Ясно, что во все времена содержание во вторичном сырье ценных компонентов будет существенно превышать их кларки. Многократный рецикл его станет обязательным. Мощным направлением экономии природного сырья явится комплексная переработка. Так, известна промышленная технология использования руд Лисаковского месторождения, позволяющая выплавлять не только чугун и сталь, но и производить фосфатные удобрения, глинозем для электролиза алюминия, белитовый шлам для выпуска портландцемента, наиболее крупнотоннажного продукта промышленности. В ряде случаев многие виды изделий станут получать только из отходов. В частности при производстве портландцемента основные компоненты его исходной сырьевой смеси (известняк, глина, пиритные огарки) могут быть заменены, в соответствии с практикой Старооскольского цементного завода, вскрышными породами железорудных месторождений.

Вероятно, со временем соотношение между отдельными видами выпускаемой продукции, вследствие изменений в сырьевой базе, изменится. Снизится, например, доля цветных металлов, увеличится – материалов на основе песка, глины. Преобладающие элементы в них – кремний, алюминий, кислород, суммарный кларк которых равен 85. Уже и сейчас производство материалов на кремнеземисто-алюминиевой основе весьма заметно: цементы, каменное литьё, фарфор, фаянс, кремниевые преобразователи энергии, диэлектрики, материалы-сверхпроводники и т.д.

Очевидно, что названные и другие решения, увеличивающие сроки истощения полезных ископаемых, позволят еще более обоснованно подготовиться к переходу человечества на технологии, экономически приемлемые для извлечения элементов из земной коры при их кларковых содержаниях. Техническая возможность

создания таких технологий очевидна. Доказательство тому – методы аналитической химии. По сути это технологии, позволяющие извлечь вещества из исходного материала с любыми, включая ничтожные, концентрациями входящих в него соединений.

Необходимо подчеркнуть, что во всех процессах трансформации вещества, иными словами, во всех видах технологических процессов единственным безвозвратно теряемым природным ресурсом является энергия. Так, в химическом процессе, выраженным уравнением (1), и до и после его протекания было три элемента (железо, кислород, углерод), количества которых, разумеется, не изменились. Однако стал другим характер химических связей между элементами. Связи кислорода с железом в исходном сырье были разорваны, но возникли дополнительные между кислородом и углеродом. На перераспределение связей потребовались затраты энергии, так как процесс (1) является эндотермическим.

Исходя из изложенных общих представлений, автор в свое время отмечал, что все виды производственной деятельности приводят к потреблению энергии (тепловой, механической, электрической и др.), расходуемой на добычу и переработку исходного сырья в потребительские товары и услуги [4,5]. Созвучна высказанному мысль о том, что труд есть управление энергетическими потоками окружающей человека природной среды, причём источником их служит сама природа [6].

Таким образом, истощаемость природных ресурсов как общее понятие сводится, по сути, к проблеме ограниченности энергетических ресурсов. Последнее по масштабам запасов делится на истощаемые и неисчерпаемые (возобновляемые).

К истощаемым относятся первичные энергетические ресурсы (ПЭР). Их массовая доля в природных ресурсах мизерна, так как элементы, составляющие их (углерод, водород и уран), входят в число 76 малораспространенных, суммарный кларк которых не превышает 0,4. При этом все ПЭР содержат лишь тысячную часть общего углерода осадочных пород, например известковых и доломитовых. Последние, в свою очередь, тоже составляют только долю запасов углерода в земной коре. При сгорании углеводородного топлива оно превращается в углекислый газ и воду. Поскольку образование новых месторождений углеводородов занимает

многие миллионы лет, то для человечества это означает их практическую невозможность.

Возобновляемые источники энергии также хорошо известны. В настоящее время это энергия Солнца и других нетрадиционных её источников, например ветра, приливов, отливов, рек и др. В настоящее время они находятся в начальной стадии использования и их стоимость выше, чем энергии ПЭР. Но последние по мере их истощения будут только дорожать. В свою очередь, стоимость энергии возобновляемых источников вслед за совершенствованием технологии ее производства неуклонно снижается. Можно полагать, что в ближайшие десятилетия энергия неисчерпаемых источников станет дешевле и доступнее полученной из ПЭР. На этот и более длительный период месторождений неорганических полезных ископаемых современного качества вполне достаточно. Затем, используя постоянно дешевеющую энергию неисчерпаемых её источников, человечество станет постепенно осваивать месторождения со всё меньшим содержанием целевых элементов, продвигаясь в направлении создания и освоения экономически приемлемых технологий переработки « кларковых» месторождений. Вводя новое понятие, автор понимает под кларковыми месторождениями участки земной коры с кларковым содержанием извлекаемого элемента.

Очевидно при этом, что необходимым условием продвижения к успешной переработке кларкового сырья является стабильное удешевление стоимости энергии, не отстающее от темпов снижения содержания извлекаемого элемента. Это условие записывается следующим образом:

$$C = Ц/К \leq \text{const}, \quad (2)$$

где C – стоимость энергии на единицу продукции;

$Ц$ – цена единицы энергии;

$К$ – концентрация полезного компонента в перерабатываемом материале.

Отсюда следует, например, что применительно к кларковым месторождениям алюминия и железа цену единицы энергии по сравнению с существующей необходимо снизить ориентировочно, по порядку величин, примерно в $18/4.65$ и $17/8.1$, т.е. в 2-4 раза. Эта оценка, несмотря на её определённую условность, показывает, что экономическая эффективность переработки кларковых месторождений данных и других наиболее распространённых элементов может быть достигнута задолго до

исчерпания месторождений в их современном понимании. В настоящее время геологические запасы железа и алюминия составляют соответственно 2500 и 68000 лет.

Автор надеется, что выполненное исследование в определенной степени поможет обществу повысить уровень оптимизма по поводу того, что ждет наших потомков в отдаленном будущем и насколько реальна с экономических позиций в долговременном плане концепция устойчивого развития.

Вместе с тем вне данного сообщения остаются представляющиеся в настоящее время почти фантастическими возможности, открывающиеся перед человечеством по созданию всех необходимых ему предметов материального мира, включая продовольствие, методами нанотехнологий.

07.01.2005

Литература

1. Воронков Н.А. Экология общая, социальная, прикладная. – М.: Агар, 1999. – 424 с.
2. Чапек В.Н. Экономика природопользования. – Ростов-на-Дону: Изд-во «Феникс», 2003. – 320 с.
3. Глухов В.В., Лисочкина Т.В., Некрасова Т.П. Экономические основы экологии. – СПб: Специальная литература, 1997. – 304 с.
4. Лотош В.Е. Теоретические основы критериального ранжирования процессов природопользования // Экономика природопользования. – 1998. – №1. – С. 96-100.
5. Лотош В.Е. Экология природопользования. – Екатеринбург: УрГЭУ, 2000. – 540 с.
6. Акимова Т.А. Теоретические основы организации эколого-экономических систем // Экономика природопользования. – 2003. – №4. – С. 2-80.