



Устойчивость биосферы и геохимические принципы создания неосферных технологий

В одной из последних своих работ В.И.Вернадский назвал ноосферой будущее состояние биосферы, которое должно возникнуть в результате разумной природопреобразующей деятельности человека. Почти полвека спустя мировое сообщество вынуждено было констатировать, что ныне действующие правила социально-экономического развития не позволяют добиться гармонизации с природой, и более того — стремительно разрастающийся глобальный экологический кризис является их следствием. Необходимость разрешения этого противоречия в наиболее общем виде была сформулирована в концепции устойчивого развития.

Концепция устойчивого развития не является планом конкретных действий. Она представляет собой, образно говоря, техническое задание, в котором оговорены необходимые и достаточные условия длительного эволюционного развития человечеству. Реализация этого «технического задания» сопряжена с решением многих проблем, но прежде всего с выявлением законов функционирования и развития системы «природа — общество», сформулированных на языках точных наук: математики, физики, химии. Только точное знание позволяет выбирать оптимальную траекторию развития, учитывающую взаимосвязь и взаимодействие всех компонентов биосферы как целостной системы и сводящую к минимуму вероятность так называемых непреднамеренных негативных последствий хозяйственной деятельности.

Целенаправленное преобразование человеком биосферы следует рассматривать как реализацию особого рода ноосферных технологий, связывающих естественные и производственные процессы посредством их сопряжения в форме определенной структурно-функциональной организации природно-техногенных систем. Один из наиболее эффективных способов изучения и проектирования таких систем связан с использованием методов геохимии.

Современная геохимия, изучая любые объекты и явления на атомно-молекулярном уровне, описывает их как миграцию атомов химических элементов. Благодаря этому геохимический язык очень прост, так как соответствующий «алфавит» включает всего около 90 «букв» — разных химических элементов, а геохимическое описание различных объектов и явлений природы основывается на фундаментальных законах физики и химии. В силу этих обстоятельств геохимический подход позволяет унифицировать описание объектов и процессов в живой и неживой природе, включая деятельность человека.

Человек, являясь одним из многих биологических видов, принципиально отличается от других организмов способностью к труду (хозяйственной деятельности). В свое время К. Маркс охарактеризовал труд как процесс, в котором человек опосредует, регулирует и контролирует обмен веществ между собой и природой. Однако ни в одной из экономических теорий законы, по которым происходит обмен веществ между человеком и природой, не были предметом специального исследования. Природа и окружающая среда в экономике рассматривались как ресурс, который человек тем или иным способом использует. Во взаимоотношениях природы и человека всегда решался один вопрос: как с наименьшими затратами взять у природы максимально больше ресурсов. Вопрос о том, имеются ли у самой природы «потребности» и что надо сделать для их удовлетворения, никогда ранее не стоял.

В этом отношении показательна попытка А.Е.Ферсмана — одного из основателей современной геохимии — связать, по его выражению, на рыночной основе экономические и геохимические характеристики хозяйственной деятельности человека. Человек, по Ферсману, является покупателем, которому нужно определенное количество разных товаров по определенной цене, зависящей от его потребностей, предложения и стоимости эксплуатации технических

средств. Земная кора является поставщиком этих товаров, имея в наличии некоторое их количество в форме месторождений полезных ископаемых. Ферсман показал, что цены различных видов полезных ископаемых прямо пропорциональны потребности в них и обратно пропорциональны степени концентрирования в месторождениях, разведанным запасам руд и эффективности технических средств добычи. Недостатком рассуждений Ферсмана является то, что в рыночных отношениях должны удовлетворяться потребности не только покупателя, но и производителя. Между тем земной коре человек ничего взамен не дает, кроме ненужных ей отходов техногенного метаболизма. Человек просто отбирает необходимые ему «товары», сообразуясь со своими потребностями и имеющимися возможностями их изъятия. Цена определяется исключительно имеющимся количеством того или иного необходимого «товара» и издержками процесса его присвоения. Рыночных отношений здесь нет. Есть присвоение организованной группой людей чужой собственности в особо крупных размерах с применением технических средств. Будь «продавец» не земной корой, за подобные действия грозил бы немалый срок лишения свободы.

Современная экономика, равно как и экономические системы прошлого, основана на насилии над природой. Человек, изобретая все более совершенные средства насилия — орудия труда, отбирает у природы все то, что кажется ему необходимым. Однако ущербность существующей экономической системы заключается не в том, что ведущая роль в ней отводится человеку и его интересам, а в том, что при этом полностью игнорируются интересы природы.

В чем же заключаются потребности природы, а точнее, той ее части (биосферы), с которой непосредственно связано существование человека? Самый простой и самый очевидный ответ на этот вопрос состоит в утверждении, что биосфера нуждается прежде всего в сохранении устойчивости, потеря которой ведет к разрушению и гибели ее как определенной природной системы.

Все живые организмы являются сильно неравновесными

термодинамическими системами. Их существование поддерживается за счет поступления энергии извне, а переход к равновесию означает смерть. Устойчивость состояния живого организма определяется, говоря языком термодинамики, устойчивостью состояния «вдали от равновесия». То же самое справедливо в отношении устойчивости биосферы, существование которой возможно только при наличии сильной внутренней термодинамической неравновесности.

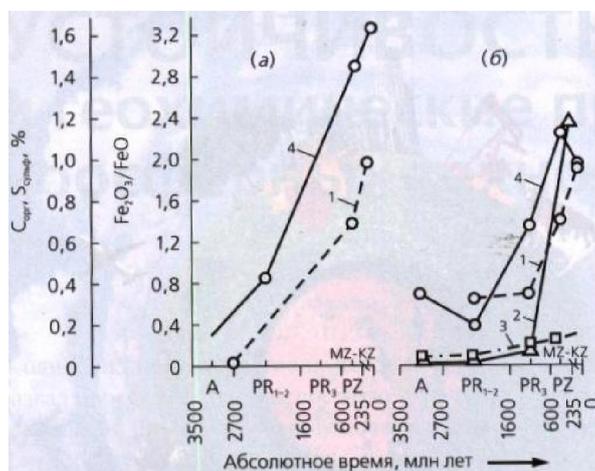


Рис. 1. Эволюция содержания органического углерода (1), сульфатной (2) и сульфидной (3) серы, а также величины отношения окисного железа к закисному (4) в осадочных породах Северо-Американской (а) и Русской (б) платформ. (Источник: Ронов А.Б. Осадочная оболочка Земли. — М.: Наука, 1980.)

Химическая не равновесность биосферы создается благодаря пространственному разделению продуктов фотосинтеза: газообразный кислород накапливается в атмосфере, тогда как органическое вещество концентрируется на поверхности и в самых верхних слоях литосферы (почвах и донных отложениях водоемов). Пока органическое вещество находится в биосфере, оно неустойчиво и быстро перерабатывается гетеротрофными организмами. Только выйдя за пределы биосферы в составе осадочных пород, органическое вещество утрачивает непосредственную связь с биотой и резко повышает свою устойчивость. Осадочные породы и вне биосферы содержат окислители органического вещества (сульфатную серу, оксигидроксиды железа (III), диоксид марганца), но без участия живых организмов окисление идет очень медленно, в силу чего концентрации компонентов главных окислительно-восстановительных систем в осадочных породах отражают синхронное с их

образованием окислительно-восстановительное состояние биосферы. Результаты изучения эволюции химического состава осадочных пород свидетельствуют о том, что с течением времени на фоне общего роста концентрации органического углерода (восстановителя) в главных окислительно-восстановительных системах наблюдается одновременное увеличение содержания окисленных компонентов: окисногозакисного железа и сульфатной-сульфидной серы (рис. 1). Эта закономерность не может быть обусловлена вторичными процессами за пределами биосферы, и отсюда следует вывод, что эволюция биосферы шла в направлении увеличения ее внутренней неравновесности.

Химическая неравновесность является необходимым, но еще не достаточным условием устойчивости биосферы. В закрытых сильно неравновесных системах, способных обмениваться с внешней средой энергией при пренебрежимо малой интенсивности обмена веществом, а к таким системам приближается биосфера, протекают макроскопические процессы массопереноса, организованные в форме замкнутых (квазизамкнутых) циклов. Устойчивость таких систем поддерживается посредством изменения скорости массопереноса и степени замкнутости циклов, причем чем выше скорость круговорота, тем больше устойчивость системы.

С геохимической точки зрения жизнь есть способ существования биокосных систем, состоящих из живых организмов и непосредственно с ними взаимодействующей абиотической среды. Этот способ — биотический круговорот — в наиболее упрощенном виде сводится к двум взаимосвязанным процессам, производимым живыми организмами: синтезу и минерализации органического вещества. В биосфере биотические круговороты отдельных биогеоценозов объединены в единый биогеоценотический покров планеты и образуют глобальный биосферный (климатический) круговорот вещества, связывающий атмосферу, гидросферу и верхнесплоилитосферы. Поэтому устойчивость биосферы в первом приближении может быть соотнесена с

устойчивостью процессов синтеза и минерализации органического вещества в планетарном масштабе.

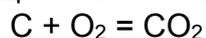
Благодаря высокой скорости продукционно-деструкционных процессов биота через изменение масс продуцентов, с одной стороны, и консументов-редуцентов — с другой, поддерживает примерно постоянное соотношение масс органического вещества и биодоступных форм минеральных компонентов на временных отрезках порядка 10^3 — 10^4 лет и более, обеспечивая тем самым устойчивость биосферы.

Говоря об устойчивости биосферы, нельзя, как это часто делается, забывать об участии процессов, протекающих в недрах Земли. Замкнутость биотического круговорота приближается к 100%, но все же их не достигает, и часть (до 0,1-0,2%) продуцируемого органического вещества, представленного трудноусвояемыми соединениями, выходит из биотического круговорота. В отсутствие других процессов минерализации накопление неразложившегося органического вещества в биосфере могло бы привести к катастрофическим последствиям в течение нескольких миллионов лет. Однако этого не происходило на протяжении более чем 3 млрд лет существования жизни на Земле вследствие работы другого стабилизатора устойчивости биосферы — большого геологического круговорота, в котором неразложившееся «биосферные метаболиты» в составе осадков морей и океанов переносятся в глубокие слои земной коры, где окончательно минерализуются под воздействием высоких температур, а затем в виде углеродсодержащих метаморфических флюидов (CO_2 , CH_4 , CO) возвращается в биосферу. Этот механизм обеспечивает ежегодное поступление в биосферу 160 млн т углерода, или -0,2% годовой продукции органического углерода, что компенсирует неполную замкнутость биосферного цикла углерода.

Согласно термодинамической теории Николиса— Пригожина, неравновесная система находится в пределах устойчивости при положительном значении суммы произведений вариаций потоков (J) и соответствующих термодинамических сил (A); $\sum \delta J \delta X > 0$, причем для некоторых

процессов, протекающих в стационарной неравновесной системе, произведения $\delta J\delta X$ могут быть меньше нуля, если сумма всех произведений остается положительной. По термодинамической классификации биосфера относится к нелинейным неравновесным системам, для которых теория Николиса — Пригожина позволяет достаточно строго подойти к анализу устойчивости. В современной геохимии количественное изучение потоков вещества представляет одно из наиболее успешно развивающихся направлений. Хотя имеющихся знаний, особенно в отношении механизмов сопряжения потоков, пока еще недостаточно для корректных выводов, теория Николиса — Пригожина может стать той основой, на которой методами геохимии будут решаться вопросы совместимости тех или иных технологий с условием сохранения устойчивого состояния биосферы.

Человек, сжигая уголь, нефть и газ, пользуется энергией самопроизвольно протекающей реакции окисления



и приводит неравновесные компоненты (C , O_2) в равновесие, уничтожая результаты работы биосферы по поддержанию и увеличению ее устойчивости. Многие другие виды хозяйственной деятельности, например сельскохозяйственное производство, действуют в том же направлении, и нет ничего, что делал бы человек для увеличения неравновесности биосферы и, следовательно, повышения ее устойчивости.

Современная цивилизация создала глобальную технологическую систему с незамкнутым циклом производственных процессов (рис. 2а) и тем самым нарушила условия устойчивости, видимым проявлением которых стали не утилизируемые отходы. Устойчивое неравновесное состояние экосферы может быть достигнуто только в том случае, если скорости образования отходов и потребления ресурсов будут меньше скоростей их разрушения и регенерации соответственно. Это означает, что при устойчивом стационарном (или квазистационарном) состоянии биосферы отходы глобальной технологической системы должны превращаться в ресурсы и

компенсировать тем самым их расходование (рис. 2б).

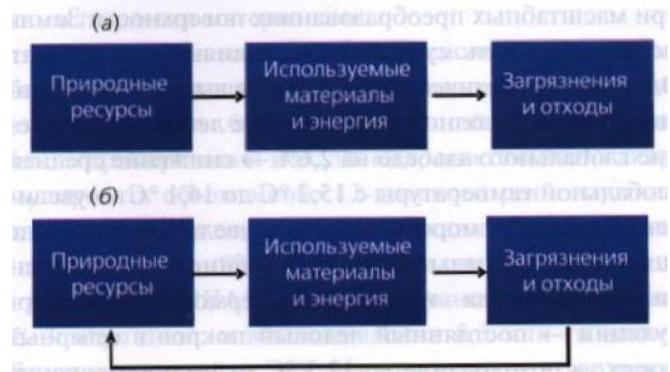


Рис. 2. Структурные схемы современных (а) и ноосферных (б) технологий

Очевидно, что современная глобальная система производственных технологий не позволяет сохранить биосферу в устойчивом состоянии и поэтому нуждается в изменении. Она должна смениться системой ноосферных технологий, не противоречащей трем основным геохимическим постулатам устойчивого коэволюционного развития человека и природы:

- в результате хозяйственной деятельности избыточная свободная энергия и степень неравновесности биосферы не должны уменьшаться;
- хозяйственная деятельность не должна сопровождаться снижением интенсивности потоков энергии и вещества (для каждой химической формы нахождения) в любой точке пространства биосферы;
- несбалансированность потоков энергии и вещества, вызванная хозяйственной деятельностью, не должна превышать пределов устойчивости текущего состояния биосферы.

Претворение в жизнь этих принципов требует от геохимии изучения пространственно-временной структуры сопряжения антропогенных, биотических и абиотических процессов в биосфере и ее окружении, т.е. прежде всего опережающего развития фундаментальных знаний. При этом не следует думать, что в стремлении к сохранению устойчивости интересы человека и биосферы полностью совпадают. Для биосферы достаточно устойчивости любого состояния, допускающего продолжение жизни на Земле. Для человека, если он желает выйти за пределы биологического существования,

приемлемы только такие состояния, при которых устойчивость биосферы сочетается с возможностью дальнейшего развития хозяйственной деятельности. Можно сказать, что пространство устойчивых эволюционных траекторий развития ноосферы уже, чем биосферы, но является частью последнего. Поэтому интересы человека и биосферы совпадают лишь частично, и главная задача современной цивилизации состоит в том, чтобы направить эволюционный процесс по нужной человеку траектории устойчивого развития. Интересы биосферы при этом будут соблюдены.

Это и есть истинная коэволюция человека и природы.

В.С. Савенко
Московский государственный
университет им М.В Ломоносова
Источник: Экология и
современность.-2012.-№8.-С.64-67.