

СКВОЗНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЭНЕРГОВЕЩЕСТВЕННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА ЗЕМЛЕ: ОТ ГАЗОВЫХ ВИХРЕЙ ДО ТЕХНОГЕННОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ

© 2015 г. Н.С. Печуркин, А.Н. Шуваев*

Институт биофизики СО РАН, 660036, Академгородок, 50/50

E-mail: nsla@akadem.ru

**Институт инженерной физики и радиоэлектроники, Сибирский федеральный Университет,
660041, Свободный пр., 79/10, Красноярск*

Поступила в редакцию 21.11.14 г.

После доработки 19.01.15 г.

Представлена идея сквозной эволюции длительной реакции планеты Земля на внешний поток лучистой энергии от Солнца. Показано, что из-за ограниченности вещества на Земле, как и на любой другой планете, непрерывная накачка потоком лучистой энергии приводит к циклизации трансформаций и переносов вещества по возникающим градиентам. Эволюция энерговещественных взаимодействий идет по пути захвата и переноса меньшим количеством вещества большего количества энергии, т.е. по пути роста количества энергии, используемого каждой единицей массы. По этому показателю наименее эффективным является простой перенос массы вещества, например вихрей газов, по градиентам температур и давлений, имевший место на первичной поверхности планеты. Особую роль в развитии взаимодействия энергии и вещества сыграл длительный естественный отбор на накопление воды на планете. Ее фазовые трансформации (лед, вода, пар) и механические переносы являются самым распространенным энерговещественным процессом. На основе водных циклов, циклических переносов и трансформаций оказалась возможной химическая трансформация веществ, развившаяся со временем в биологическую трансформацию. Этот вид взаимодействия энергии и вещества обладает наибольшей эффективностью. В частности, при фотосинтезе «захватывается и утилизируется» энергия нашей звезды в самой активной части спектра ее излучения. В процессе биологической эволюции гетеротрофов наиболее показателен, в сотни раз, рост коэффициента, характеризующего интенсивность энергообмена: от простейших микроорганизмов до млекопитающих. Удивительно, но вполне закономерно с энергетических позиций, развитие и нынешнее доминирование человечества как энергетически наиболее активного вида по захвату энергии и осмысленной организации ее новых потоков, в частности, на основе органических остатков былых биосфер. В процессе технологической эволюции человечества показатель, характеризующий интенсивность энергообмена, для гомойотермных (теплокровных) животных возрос еще в 20 раз в пересчете на технологическую энергию, используемую «средним» жителем планеты. Таким образом, победа нашего вида в планетарной эволюции легко укладывается в магистральное направление сквозной эволюции энерговещественных отношений: многократный рост энергии звезды, использованной для трансформации вещества на поверхности облучаемой планеты.

Ключевые слова: эволюция, перенос энергии, биосфера.

Эволюция одного из основных типов фундаментальных взаимодействий – взаимодействия энергии и вещества – может быть прослежена на примере развития нашей планеты, поверхность которой подвергается потокам энергии от Солнца в течение нескольких миллиардов лет. Важным свойством этого взаимодействия, вообще говоря, как и любой планеты со звездой, является непрерывный поток свободной энергии от звезды.

В условиях с конечным количеством вещества и бесконечным потоком энергии единст-

венным способом поглощения этого потока является организация циклических трансформаций и переносов вещества на планете. В настоящей работе перечислены возможные виды циклов с переносом энергии в виде: механического движения, фазового превращения веществ, химической и биологической трансформации. Обсуждается различие указанных видов переноса по показателю поглощения энергии на единицу массы E/m (удельная энергоемкость). Зная время появления на Земле того или иного вида переноса, а также его теплоемкости, мож-

но сделать вывод о направлении эволюции взаимодействия внешнего потока энергии и внутренней трансформации вещества на Земле.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕНОСЫ ВЕЩЕСТВА И ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

При развитии планеты, на первых этапах (для Земли – 4,4 млрд лет назад), имеют место простые механические переносы вещества типа газовых вихрей в атмосфере. Мы их привычно называем циклонами или антициклонами, автоматически используя корень слова – «цикл». Уже на этих этапах «работает» естественный отбор: в циклах остаются и доминируют вещества, наиболее активно взаимодействующие механически с потоками энергии. Менее активные, легкие, типа водорода или гелия, уходят из циклов в космос, а более тяжелые – способны накапливаться в литосфере и взаимодействовать с ее элементами. Пожалуй, самым идеальным для атмосферного механического зацикливания и накопления является химически инертный молекулярный азот, в избытке присутствующий на нашей планете.

В последующем, при появлении на Земле воды (4,0–4,4 млрд лет назад), возникают и течения, которые практически постоянно переносят громадные объемы воды. Например, Гольфстрим в десятки раз мощнее всех рек суши, вместе взятых, своим теплом греет Европу и даже влияет на климат Сибири. Менее известно антарктическое циркуляционное кольцо – главный переносчик вод из океана в океан (кроме «маленького» Северного Ледовитого океана).

Энергия может не только перемещать вещество, но и разрывать связи между молекулами. Если на планете имеется вещество, способное при накачке лучистой энергией изменять свое фазовое состояние, то его взаимодействие с потоками энергии становится гораздо более энергоемким. На нашей планете таким веществом, способным к фазовым переходам в потоках энергии, лед – жидкость – пар и обратно, является вода с ее высокими значениями теплоемкости и энергетических констант фазовых переходов. Ее химическая нейтральность весьма высока, что позволяет этому веществу накапливаться и сохраняться в циклах. Механические переносы воды с учетом ее фазовых трансформаций (испарение, осадки в виде дождя и снега, оледенение и таяние) являются основным энергозатратным процессом на нашей планете.

ХИМИЧЕСКАЯ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИИ ВЕЩЕСТВ

На основе водных циклических трансформаций оказалась возможной химическая трансформация веществ, еще более энергоемкая в удельном проявлении.

Неорганическая эволюция предшествовала органической и биологической [1]. Биотический круговорот естественным образом формировался из химического [2]. Например, при длительном стоянии в тепле раствора формалина в нем из шести молекул формальдегида образовывалась более сложная молекула сахара. Простейший моносахарид – гликоальдегид найден даже в межзвездном пространстве [3]. Предполагаемым механизмом образования является та же полимеризация формальдегида.

Цикл для переноса энергии может образовываться из-за временной смены температур. В условиях вакуума прямая реакция идет при 70 К, а реакция распада при 250 К [4]. Также изучено образование глико- и глицероальдегидов в водной среде [5], идущих при температурах порядка 300–340 К.

Отсюда можно заключить, что для образования цикла химического синтеза/распада гликоальдегида необходимо иметь чередование температурных и световых условий, которое, в свою очередь, может быть обеспечено вращением планеты, т.е. временным циклом.

«Венцом» химических преобразований на нашей планете стало возникновение и развитие биологических процессов. Достаточно напомнить о всепланетарном развитии фотосинтеза, способного «захватывать и утилизировать» энергию нашей звезды в самой активной части спектра ее излучения. Например, растительность суши образует ежегодно столько листьев, что ими можно было бы укрыть земной шар в несколько слоев. При этом, несмотря на то, что непосредственно на фотосинтез используется около 1% падающей энергии, для обеспечения взаимодействия кванта света с хлорофиллом нужно осуществить подвод воды и растворенных в ней минеральных веществ вверх по стволу к зеленому листу. Это перемещение идет за счет далеко не малой энергии транспирации – испарения воды с поверхности листа. Существующая реакция фотосинтеза на основе воды возникла около 2,0–2,3 миллиардов лет назад.

Для последующего замыкания биотических циклов и обеспечения минерального питания растений необходимо активизировать процессы отмирания и минерализации растений. Этим «занимаются» многочисленные виды грибов и бактерий – редуцентов-разлагателей отмираю-

шей органики. Важнейшим этапом на пути ускорения и упрочнения биотических циклов стало развитие звена хищников – прямых пожирателей живой биомассы. Сами хищники при этом становятся зависимыми от запасенной в связях энергии (не имея возможность получать ее напрямую от Солнца), начинают конкурировать. Система эволюционирует в сторону скорейшей диссипации запасенной энергии. С участием хищников биоциклы умножились и «завертелись» во много раз быстрее.

В разнообразнейшей эволюции структуры и функции звена хищников резко выделяется «магистральный» рост их энергоемкости [6]. Например, в процессе эволюции удельный коэффициент, характеризующий интенсивность энергообмена, для гомойотермных (теплокровных) животных вырос примерно в 30 раз по сравнению с холоднокровными животными и более чем в 200 раз по сравнению с простейшими одноклеточными организмами, с которых и начинались первые эволюционные шаги.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Для количественной оценки взаимодействия вещества и энергии в биосистемах используется универсальное и очень простое энерговещественное соотношение, широко распространенное для большинства групп животных от простейших до млекопитающих, включая человека:

$$E = aB^k,$$

где E – поток энергии, который способна захватить и использовать B – общая биомасса системы в степени, чуть меньшей единицы, коэффициент a – эффективность использования потока энергии биомассой системы. Величина коэффициента k , меньшая единицы, хорошо соответствует известному закону поверхностей Рубнера, так как метаболизм соответствует массе, общему объему функционирующих клеток, а теплоотдача идет с поверхности. Это означает, что с ростом размеров организма падает величина удельной теплопродукции, так как уменьшается отношение: поверхность – объем.

Показано, что в процессе эволюции коэффициент a , характеризующий интенсивность энергообмена, существенно возрастает. Согласно данным, суммированным для трех далеко отстоящих по организации групп организмов, константы уравнения равны в среднем: для одноклеточных организмов $a = 0,084$ кал/ч; для пойкилотермных (холоднокровных) животных $a = 0,69$ кал/ч; для гомойотермных (теплокровных) животных $a = 19,68$ кал/ч [7,8].

Дифференцирование по времени (при постоянстве коэффициента k , близком к единице) позволяет определить возможные стратегии развития системы.

$$\frac{dE}{dt} = a \left(\frac{dB}{dt} \right) + B \left(\frac{da}{dt} \right).$$

Таким образом, повышение энергетической активности системы можно обеспечить двумя способами:

1) $dB/dt > 0$ — простым увеличением общей биомассы системы, например увеличением численности популяции, это – экстенсивная стратегия;

2) $da/dt > 0$ — повышением эффективности использования свободной энергии (интенсивная стратегия).

При экстенсивной стратегии ($dB/dt > 0$) действует энергетический принцип экстенсивного развития, который характеризует возрастание потока энергии, используемого системой без качественного изменения структуры: увеличение общей биомассы при увеличении численности популяции – сообщества). (По Вернадскому, возрастает «всюдность жизни».)

При интенсивной стратегии ($da/dt > 0$) действует энергетический принцип интенсивного развития, он характеризует возрастание потока энергии, используемого системой за счет качественного изменения структуры – повышения удельной активности биомассы по захвату и использованию потоков энергии через изменение интенсивности энергообмена.

РОСТ ЗАХВАТА ЭНЕРГИИ ПРИ РАЗВИТИИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

С учетом роста технологической энергии, используемой «средним» жителем планеты, победителем в эволюции, показатель a для гомойотермных животных следует увеличить еще в 20 раз. В этом случае можно увидеть магистральное направление сквозной эволюции энерговещественных отношений, многократный рост энергии Звезды, использованной для трансформации вещества на поверхности Планеты.

Еще более удивительно, но закономерно с энергетических позиций, развитие и нынешнее доминирование человечества как энергетически наиболее активного вида по захвату энергии и даже осмысленной организации ее новых потоков, в частности, на основе органических остатков былых биосфер.

Приведем высказывание Вернадского о новой форме энергии, присущей в основном человечеству: «В ходе эволюции живого вещества

возникла, наряду с биогеохимической энергией, порождаемой размножением организмов и всюдностью жизни, культурная биогеохимическая энергия. Эта новая форма энергии, связанная с жизнедеятельностью человеческих обществ, рода *Homo* и близких к нему, сохраняя в себе проявления обычной биогеохимической энергии, вызывает в то же время нового рода миграции химических элементов, по разнообразию и мощности далеко оставляющие за собой обычную биогеохимическую энергию живого вещества планеты. Именно эта форма энергии создает в наше время ноосферу» [9].

Если удельный метаболический уровень по энергетике (примерно одинаковый для свиньи, медведя, человека) принять за условную единицу, то «культурная», по Вернадскому, биогеохимическая энергия, в наше время приходящаяся на «человеческую душу», в среднем по всему миру, превышает эту условную единицу более чем в 20 раз! Средний американец – житель США – потребляет технологической энергии в 100 раз больше, чем биогеохимическая энергия метаболического энергетического обмена, средний россиянин потребляет этой технологической энергии примерно в 50 раз больше, а средний африканец потребляет технологической энергии только в 1,2–1,5 раза больше. В глобальных масштабах этот тип энергии реально воздействует на биосферу, но не «создает ноосферу», как надеялся В.И. Вернадский, а пока ведет к разрушению основ ее устойчивого существования [10,11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Идея сквозной эволюции длительной реакции планеты на внешний поток лучистой энергии от ближайшей звезды может быть хорошо продемонстрирована на примере развития энергетических взаимодействий в системе Солнце–Земля.

1. По показателю удельной энергоэффективности (E/m) простые переносы массы вещества, например вихревые потоки газов, имевшие место в первичной атмосфере планеты, являются наименее эффективными.

2. Особую роль в развитии взаимодействия энергии и вещества сыграл длительный естественный отбор на накопление воды на планете, на ее массоперенос и испарение/конденсацию. Круговорот воды является основным механизмом утилизации энергии на планете. Однако удельная величина E/m при этом не максимальна.

3. Параллельно с фазовым переходом, особенно при условии смены дня/ночи, возможно возникновение циклической химической трансформации веществ. Типичным примером такой

реакции может служить синтез – распад простейшего сахара гликоальдегида из формальдегида. Можно считать, что синтезы простейших органических молекул послужили началом фотосинтеза и биологической эволюции.

4. Хлорофильный фотосинтез позволил активизировать захват и перенос лучистой энергии. В этом случае происходит захват энергии в самой активной области спектра (максимальная спектральная плотность приходится на длины волн 400–700 нм).

5. Однако синтезированные при фотосинтезе связи стойки, и для их расщепления, т.е. осуществления разнообразных циклов, возникла необходимость в активных «разлагателях» органических веществ. Это, в свою очередь, обеспечило возникновение трофических сетей, где энергия химических связей высокоэнергетических молекул (таких, как глюкоза) при расщеплении в конечном счете диссипируется в виде тепла.

6. В длительных процессах биологической эволюции в гетеротрофных звеньях в сотни раз возрос коэффициент, характеризующий удельную интенсивность энергообмена: от простейших микроорганизмов до млекопитающих.

7. Человек еще в десятки раз увеличил показатель E/m в процессе своего технологического развития за счет дополнительного использования энергии былых биосфер, кроме той, что поступает в настоящий момент от Солнца: угля, нефти, газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. García-Bellido, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **93** (25), 14229 (1996).
2. Н. С. Печуркин, *Энергетические аспекты развития надорганизменных систем* (Наука, СО, 1982).
3. J. M. Hollis, F. J. Lovas, and P. R. Jewell, *Astrophys. J. Lett.* **540** (2), L107 (2000).
4. Z. Li, et al., *J. Phys. Chem. C* **115** (19), 9692 (2011).
5. I. V. Delidovich, et al., *Kinetics and Catalysis* **50** (2), 297 (2009).
6. Н. Т. Odum and E. P. Odum, *Ecosystems* **3** (1), 21 (2000).
7. A. M. Hemmingsen, *Energy metabolism as related to body size and respiratory surfaces, and its evolution* (Copenhagen, 1960).
8. А. И. Зотин и А. А. Зотин, *Направление, скорость и механизмы прогрессивной эволюции: Термодинамические и экспериментальные основы* (М., 1999).
9. В. И. Вернадский, *Биосфера и ноосфера* (Наука, 1989).
10. Н. С. Печуркин и Л. А. Сомова, *Вестн. РАН* **84** (2), 61 (2014).
11. Н.С. Печуркин, *Энергетическая направленность развития жизни на Земле* (Изд-во Сибирского федерального университета, 2011).

Transparent Evolution of the Energy/Matter Interactions on Earth: from Gas Whirlwind to Technogenic Civilization

N.S. Pechurkin* and A.N. Shuvaev**

**Institute of Biophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Akademgorodok 50/50, Krasnoyarsk, 660036 Russia*

***Institute of Engineering Physics and Radio Electronics, Siberian Federal University,
Svobodnyj prosp. 79/10, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

The paper presents the idea of transparent evolution through the long-term reaction of the planet Earth on the external flow of radiant energy from the Sun. Due to limitations of matter on Earth, as well as on any other planet, the continuous pumping flow of radiant energy was shown to lead to cyclization and transport of substance on emerging gradients. The evolution of energy-matter interaction follows the path of capturing and transferring more energy by the fewer matter, i.e., the path of growth of the amount of energy used by each unit mass. For this indicator, the least effective mass transfer is a simple mass transfer as vortices of gases, in the gradients of temperature and pressure, which occurred on the primary surface of the planet. A long-term natural selection related to the accumulation of water on the planet has played a special role in developing the interaction of energy and matter. Phase transformations (ice, water, vapor) and mechanical transfers are the most common energy-matter processes. Based on water cycles, cyclic transports and transformations, chemical transformation of substances became possible developing over time into a biological transformation. This kind of the interaction of energy and matter is most efficient. In particular, during photosynthesis the energy of our star «is captured and utilized» in the most active part of the spectrum of its radiation. In the process of biological evolution of heterotrophs, a rise (by a factor of hundreds) in the coefficient that characterizes the intensity of energy exchange from protozoa to mammals is most illustratory. The development and the current dominance of humans as the most energy-using active species in capturing the energy and meaningful organization of its new flows especially on the basis of organic debris of former biospheres is admirable, but quite natural from the energy positions. In the course of technological evolution of humankind, the measure of the intensity of energy for homoeothermic (warm-blooded) animals has increased 20 times, based on the process energy used by the «average» inhabitant of the world. Thus, the victory of our species in planetary evolution is easy to fit into the mainstream of evolution through energy-matter interactions: multiple growth of star energy was used to transform the matter on the surface of the irradiated planet.

Key words: evolution, energy transfer, biosphere