

ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ В ЖИЗНИ ЗЕМЛИ И ЗЕМНЫХ ОРГАНИЗМОВ

Бяков В.М.^{1,3}, Степанов С.В.^{1,2,4}

¹ ФГБУ ГНЦ РФ «Институт Теоретической и Экспериментальной Физики»
НИИЦ «Курчатовский Институт», Большая Черемушкинская, 25, 117218, Москва

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Химфак,
ГСП-1, Ленинские горы, 1, стр. 3, 119991, Москва

³ Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,
Миусская пл., 9, 125047 Москва, e-mail: byakov@itep.ru

⁴ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Каширское шоссе, 31, 115409, Москва

Слова «ионизирующая радиация» и «опасность» в наши дни для большинства людей – синонимы. Лишь, немногие знают о созидательной роли радиации в некоторых современных производствах, и совсем незначительное число исследователей согласится с тем, что ионизирующие излучения решающим образом проявили себя в ряде важных природных процессов.

Влияние ионизирующих излучений, которое они оказывали и продолжают оказывать на жизнь неживой природы и живых организмов, до сих пор сильно недооценивается. Причина недооценки кроется в том, что в отличие от лабораторных условий, где то или иное явление, изучается максимально освобожденным от воздействия сторонних факторов, в природе оно маскируется другими, более привычными физическими и химическими факторами, такими, как температура, давление и т. п.

Цель настоящего сообщения состоит в демонстрации исключительной роли, которую ионизирующие излучения сыграли, во-первых, в формировании на Земле энергоносителей (угля, нефти и природного газа), во-вторых, в прерывистом характере эволюции живых организмов, десятки раз радикально меняя ее направление в ходе геологической истории Земли, в третьих, в усилении, а быть может, и возникновении оптической активности биологических веществ.

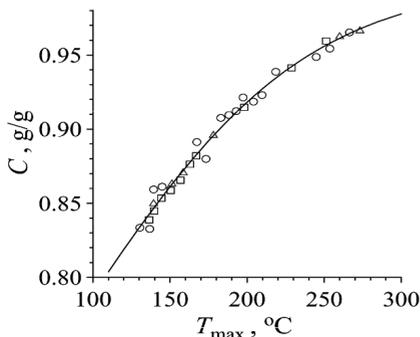
1. Роль ионизирующих излучений в формировании природных энергоносителей

Обычно полагают, что образование угля, нефти и газа является результатом длительного воздействия на природное органическое вещество (ОВ) потока тепла из глубин Земли. Влияние ионизирующих излучений, испускаемых радиоактивными нуклидами, в небольших количествах (несколько г/т) рассеянных в самом веществе, хотя и обсуждалось в литературе, но никогда не рассматривалось в качестве одного из основных факторов, обуславливающих преобразование природного ОВ [1]. Прделанное исследование продемонстрировало, что дело обстоит совсем не так, что образование угля и нефти на Земле, вопреки распространенному мнению, не есть, чисто термический процесс, а процесс, который наряду с температурой управляется вторым, ничуть не менее важным параметром – интенсивностью ионизирующего излучения от диспергированных в веществе радиоактивных элементов.

Лабораторные исследования, а также анализ некоторых природных явлений в происходящем повсеместно превращении (углефикации) ископаемого органического вещества (ОВ) дают впечатляющие примеры той преобразующей роли, на которую способны ионизирующие излучения [1]. Более того, нам удалось добиться количественного описания процесса углефикации природного ОВ. Установленное уравнение углефикации

$$\ln \frac{C_0^{-1} - 1}{C^{-1} - 1} = (1.85 \cdot U^{1/6} t^{1/2} + 8) \exp\left(-\frac{1400}{T_{\max}}\right) = \left(1.85 \cdot \frac{(Ut)^{1/2}}{U^{1/3}} + 8\right) \exp\left(-\frac{1400}{T_{\max}}\right) \quad (1)$$

показывает, что концентрация C (г/г) углерода в природном органическом веществе, являющаяся мерой его трансформации за геологическое время t (млн. лет), есть функция не только максимальной палеотемпературы T_{\max} (К), действие которой испытало органическое веществ-



во, но и концентрации U (г/г) рассеянного в нем урана (торий и калий-40 отсутствуют в растительных остатках). $C_0 = 0,6$ (г/г) означает минимальную концентрацию углерода в ОВ, по достижении которой биохимическая стадия его трансформации сменяется на физико-химическую (величина C_0 считается постоянной).

Рис. 1. Стадиальное состояние углей Рурского бассейна как функция максимальной палеотемпературы T_{max} . Кривая построена по уравнению (1) при $t = 320$ млн. лет и $U = 0,65$ з/м [1].

В качестве примеров достоверности уравнения углефикации приведем:

- количественное описание с его помощью стадийного состояния углей Рурского бассейна (рис. 1);
- совпадение вычисленных на основе уравнения (1) максимальных палеотемператур T_{max} угленосных отложений тюменской свиты со значениями, полученными геологами, исходя из совершенно иных предпосылок (рис. 2, [1]);
- объяснение с помощью уравнения (1) загадочного снижения температурного порога нефтеобразования, T_{oil} , для различных геологических эпох (от 20 до 500 млн. лет) с результатами замеров (рис. 3, [1]).

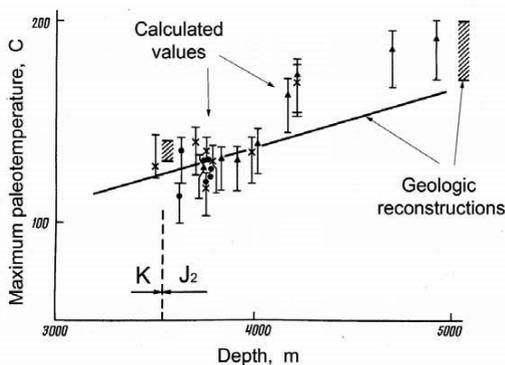


Рис. 2. Сопоставление расчетных значений максимальной палеотемпературы, полученных из уравнения (1) (показаны символами x , \blacktriangle , \bullet) с палеореконструкциями (сплошная кривая и заштрихованные зоны), проведенными геологами [1].

Изложенные материалы дают достаточные основания для признания ионизирующей радиации в качестве важнейшего геохимического фактора

в эволюции природного органического вещества. Это в корне меняет общепринятые взгляды на механизм протекания таких процессов, как образование энергоносителей. Вопреки распространенному мнению оказывается, что образование угля и нефти, не есть чисто термический процесс, а процесс, который наряду с температурой управляется вторым не менее важным параметром – интенсивностью ионизирующего излучения от рассеянных в веществе радиоактивных нуклидов, в первую очередь семейства урана.

II. Роль ионизирующих излучений в эволюции земных организмов

От исследований роли радиации земного происхождения в образовании энергоносителей - угля и нефти, - перейдем к обсуждению процессов под влиянием галактических космических лучей. Мы покажем, что их воздействие на протяжении геологической истории Земли десятки раз изменяло направление эволюции земных существ.

Мы приведем доводы в пользу того, что Солнечная система, всякий раз проходя сквозь Галактический диск в ходе своего колебательного движения относительно плоскости симметрии Галактики (с полупериодом $T_{1/2} \approx 31-33$ млн. лет), практически каждый раз попадала в концентрирующиеся в окрестности Галактического экватора газо-пылевые межзвезд-

ные облака, остатки от взрывов сверхновых звезд [3,4]. Эти остатки служат основным источником космических лучей.

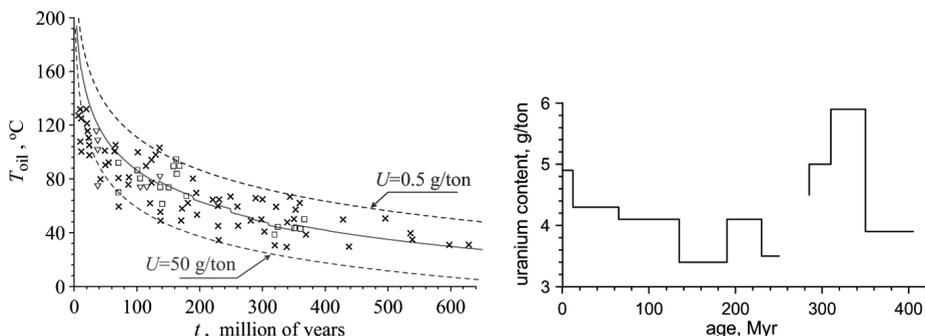


Рис. 3. Снижение температуры T_{oil} интенсивного нефтеобразования (температуры главной фазы нефтеобразования) с возрастом нефтепроизводящих пород Русской платформы. Сплошная кривая получена из уравнения (1) после подстановки в него значений средней ураноносности $U(t)$ пород [2], приведенной справа. Пунктирные кривые соответствуют экстремальным значениям ураноносности: $U = 0,5$ г/т и $U = 50$ г/т; x , o - результаты замеров (подробнее см. в [1]).

В молодом остатке сверхновой плотность энергии космических лучей на несколько порядков величин превышает плотность энергии в околосреднем пространстве. По мере расширения туманности плотность ионизирующей радиации падает, но по истечении нескольких десятков тысяч лет удерживается на минимальном уровне, 10 эВ/см^3 , еще опасном для выживания высших, наиболее радиационно-чувствительных организмов. Этот пороговый уровень радиации определяется тем, что число мутаций у высших организмов удваивается в сравнении с нынешним значением, а это приводит к непоправимым генетическим повреждениям. Поэтому пребывание Земли в остатках Сверхновых должно было приводить к вымиранию населявших ее высших живых существ. И в самом деле, среднее время $T_{ext} \approx 31\text{-}34$ млн. лет между ближайшими массовыми вымираниями совпадает с полупериодом $T_{1/2} \approx 31\text{-}33$ млн. лет солнечных осцилляций.

Неизбежным следствием пребывания Земли в газовых остатках сверхновых является аккреция вещества туманностей. Ясно, что это вещество обогащено элементами и изотопами, которые специфичны для остатков сверхновых. Считается, что сверхновые звезды являются единственными во Вселенной фабриками тяжелых элементов - от железа до трансуранов. В этой связи примечательно, что осадочные отложения, сформировавшиеся в эпохи массовых вымираний, очень сильно обогащены ураном и ОВ, сложным почти исключительно останками радиационно-стойких одноклеточных сине-зеленых водорослей. Высокая концентрация урана способствовала расцвету этих примитивных организмов. Из-за этого, эпохи биокатастроф известны в геологии как эпохи ураноаккумуляции.

Уместно отметить, что в костях динозавров, погибших в эпоху Великого мезозойского вымирания, обнаружены концентрации урана и тория, в сто раз выше, чем обычные. Поэтому естественно связать вымирание динозавров именно с попаданием Земли в остаток сверхновой.

Но тот же высокий уровень ионизирующей радиации в эпохи массовых вымираний весьма благотворно сказывался на развитии примитивных радиационно-стойких одноклеточных организмов типа сине-зеленых водорослей. Многократно имевший место расцвет низших форм жизни теперь проявляется в повсеместном наличии высокоураноносных отложений примитивного органического вещества в осадочных породах тех эпох (черные сланцы) [5]. Со временем эти отложения превращаются в нефтепроизводящие породы. По-

мимо повсеместных накоплений в осадочных породах слоев примитивного органического вещества с высоким содержанием урана и продуктов его деления (La - Yb), массовые вымирания сопровождались и другими общепланетарными явлениями. Изотопные аномалии ряда элементов (например, возросшее отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), резкие падения уровня мирового океана, и, наконец, аномально высокие содержания урана и тория в костях динозавров времен великой мезозойской катастрофы суть последствия квазирегулярных пребываний Земли в газовых остатках сверхновых.

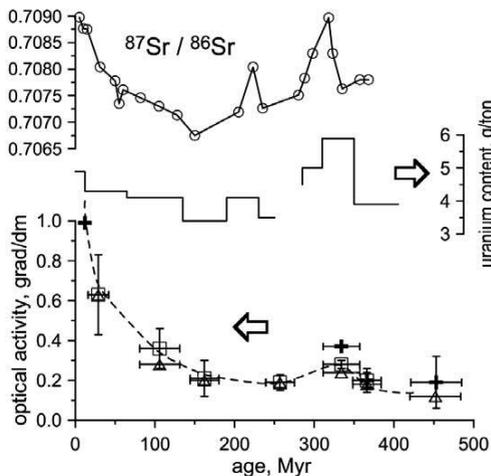


Рис. 4. Вариации отношения концентраций $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в морских осадках [6]. При инициированном нейтронами делении ядер ^{235}U выход ^{87}Sr в 300 000 раз больше выхода ^{86}Sr . Поэтому сильно возрастающая аккреция урана в периоды пребывания Земли в остатках сверхновых должна неизбежно сопровождаться увеличением отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в осадочных отложениях. Ниже показан спад оптической активности нефтя, $\alpha(t)$, по мере увеличения возраста t нефтепроизводящей породы [7,1].

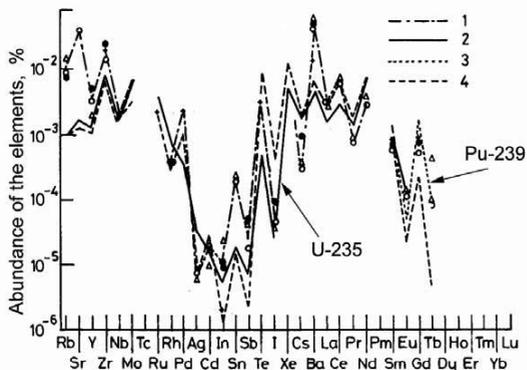


Рис. 5. Распространенность в земной коре умеренно-тяжелых элементов и их выходы при делении U-235 и Pu-239 в результате поглощения тепловых нейтронов: 1 - распространенность элементов $38 < Z < 71$ в земной коре; 2 - относительные выходы элементов при делении U-235; 3 - относительные выходы при делении Pu-239; 4 - относительные количества продуктов деления, накопившихся в ядерном реакторе на тепловых нейтронах за год работы (нейтронный поток 10^{15} н/(см²/с) после распада радиоактивных изотопов [8].

За последние 600 млн лет Солнечная система побывала около 20 раз внутри остатков «молодых» Сверхновых. Поэтому полупериод $T_{1/2} \approx 31\text{-}33$ млн. лет осцилляций Солнечной системы относительно Галактического экватора становится естественной единицей геологического времени для хронологизации глобальных процессов и событий естественной истории Земли. Это отчетливо проявляется в «квантовании» геологического времени. Все достаточно крупные временные подразделения, охватывающие несколько периодов, с хорошим приближением описываются формулой $T_{\text{geol}} \approx 31$ (млн лет) $\cdot n$, где n - число пересечений Галактической плоскости Солнечной системой. Так длительности Кайнозойской, Мезозойской и Палеозойской эр (65, 183, 342 млн. лет соответственно) могут быть представлены как $31 \cdot 2 = 62$, $31 \cdot 6 = 186$, $31 \cdot 11 = 341$ млн. лет [3].

Разумеется, моменты встреч с остатками сверхновых и моменты пересечений Галактической плоскости строго не совпадают друг с другом. Сверхновые II типа образуют хотя и плоскую подсистему, но конечной толщины (100 парсек). Найденная из дисперсии этих величин толщина слоя сверхновых – 96 пк – хорошо согласуется с астрономическими данными.

Итак, открытые Кювье глобальные биокатастрофы, десятки раз радикально изменявшие ход эволюции земных существ, вместе с сопутствовавшими им общепланетарными перестройками природной среды (изменениями химсостава атмосферы, уменьшениями уровня Мирового океана, эффектами «метеоритных дождей») вызывались, по-видимому, одной общей причиной - внезапными (по геологическим меркам) сильными увеличениями потока космических лучей, со всех сторон бомбардирующих земную атмосферу, сопровождаемыми интенсивными выпадениями ураноносного пылевого вещества с последующим интенсивным накоплением урана природным органическим веществом.

Согласно эволюционной теории одно из необходимых условий, обеспечивающих развитие простейших форм жизни в сложные, - это непрерывный интервал времени порядка одного млрд. лет, в течение которого физические условия на Земле должны были не слишком отличаться от современных. Осцилляции Солнечной системы относительно Галактического экватора ограничивают длительность временных интервалов, в течение которых на Земле сохранялись условия, пригодные для существования высших форм жизни, тремя десятками млн. лет. По-видимому, ионизирующая радиация была и остается одним из основных факторов, определяющих развитие жизни на Земле.

III. Ионизирующая радиация и появление хиральной чистоты земных организмов

Последний пример влияния ионизирующих излучений на земные процессы, который мы обсудим, касается возникновения так называемой хиральной чистоты биологических веществ. Зададимся вопросом: какова самая общая особенность веществ в живых организмах? Ответ на него был дан Л. Пастером: это оптическая активность, способность вращать плоскость поляризации проходящего через них света.

Напомним, что оптической активностью обладают только те химические соединения, молекулы которых хиральны – «рукоподобны», то есть существуют в двух разновидностях, как правая и левая и левая рука. Все наиболее важные вещества, которые входят в состав живых организмов, построены из хиральных молекул строго одной разновидности – левой (L) или правой (D). Так, нуклеиновые кислоты содержат только D-сахара, а белки - только L-аминокислоты.

Со времен Пастера оптическая активность рассматривается как печать, удостоверяющая биогенное происхождение данного материала. Считается, что еще в 1835 г. французский физик Био обнаружил оптическую активность нефти и тем самым получил веский довод в пользу биогенной гипотезы ее происхождения.

Позднейшие исследования [7] показали, что оптическая активность нефти убывает с возрастом нефтепроизводящей породы (рис 4). Причина снижения понятна. Она состоит в том, что правая и левая изомерные формы хиральных молекул, хотя и разделены потенциальным барьером, но со временем переходят друг в друга, образуя в конечном счете рацемат, смесь из равных количеств D, L-антиподов. Рацемат уже не вращает плоскость поляризации. Это состояние термодинамически равновесно. Поскольку факторы, обеспечивающие хиральную чистоту в живом организме, то есть удерживающие его вдали от равновесия, в отмершем веществе перестают действовать, снижение со временем оптической активности нефти естественно. Неестественным выглядит не вполне монотонный характер этой зависимости (рис 4): активность нефти из месторождений, имеющих возраст около 350 млн лет, в 1,5 раза выше активности как более молодой (пермской), так и более древней (девонской) нефти.

Опираясь на высказанные в литературе некоторые теоретические соображения, мы предположили, что отмеченная аномалия есть проявление действия продольно (лево)поляризованных электронов (с энергиями около 0,5 МэВ), испускаемых нуклидами се-

мейства урана, диспергированными в земном ОВ. В результате анализа данных было получено следующее соотношение, связывающее современную оптическую активность нефти, α (град/дм), с возрастом t (млн лет) пород, в которых эта нефть образовалась, и концентрацией урана, $[U]$ (г/т), в этих породах [9]:

$$\alpha = 0.85 \cdot [U] / t^{1/2} \quad (2)$$

Это уравнение хорошо описывает геологические данные, включая загадочный немонотонный ход активности с возрастом. Причина немонотонности - разные содержания урана в породах различных геологических периодов (рис. 4).

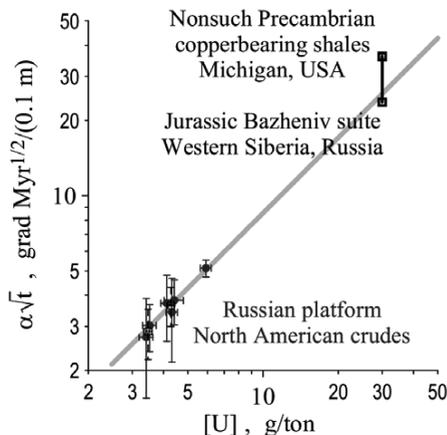


Рис. 6. Зависимость начальной оптической активности нефти, $\alpha t^{1/2}$, от концентрации $[U]$ урана в нефтепроизводящих породах Западной Сибири и Северной Америки [9].

Каким же образом на Земле стали появляться «первичные» оптически активные вещества? До сегодняшнего дня это остается загадкой. В этой связи обращает на себя внимание то, что согласно найденному нами уравнению (2) и данным замеров начальная оптическая активность формирующейся нефти, $\alpha t^{1/2}$, обязана воздействию на нефтепроизводящее вещество ионизирующих излучений от диспергированных в нем радиоактивных продуктов семейства урана. Начальная оптическая активность полностью определяется концентрацией урана в материнской породе: $\alpha t^{1/2} = 0.85 \cdot [U]$ (рис. 6). Она стремится к нулю с уменьшением концентрации урана. Это значит, что в отсутствие урана оптическая активность не могла появиться вообще, а, значит, не могла появиться и жизнь.

Литература

1. В.М. Бяков //Химия высоких энергий. Т. 25, No 5,- С. 396-408 (1991)
2. В.И. Баранов, А.Б. Ронов, К.Г. Кунашева //Геохимия, No 3, С. 3-8 (1956)
3. V.M. Byakov, S.V. Stepanov, O.P. Stepanova // Radiat. Phys. Chem., V. 60(4-5), 297-301 (2001)
4. V.M. Byakov, S.V. Stepanov, O.P. Stepanova // Radiat. Phys. Chem., V. 49(3), P. 299-305 (1997)
5. С.Г. Неручев. Уран и жизнь в истории Земли. – Л.: Недра, 1982
6. Z.E. Peterman, C.E. Hetteg, H.A. Tourtelot // Geochim. et Cosmochim. Acta, V. 34, P. 105 (1970)
7. Г.А. Амосов. Вопросы происхождения нефти: Тр. ВНИГРИ. Вып. 83. С. 196-230. Ленинград, 1955
8. V.M. Byakov // Radiochem. Radioanal. Letters. V. 57(4), P. 233-240 (1983)
9. В.М. Бяков, Г.Г. Пименов, О.П. Степанова //Химия высоких энергий, Т. 25, No 1, С. 22-26 (1991).