

КОНЦЕПЦИЯ ЕЯР

И.Ф. Лукашин

Морской гидрофизический институт
НАН Украины

г. Севастополь, ул Капитанская, 2

E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

tel/fax 8-0692-54-26-94

В работе рассмотрены основные положения концепции ЕЯР (естественных ядерных реакторов) в земной коре, а также геохимические процессы образования критических композиций, их естественного очищения от нейтронных ядов и шлаков. Приведен перечень геофизических и геохимических параметров, изучение которых позволит подтвердить адекватность ЕЯР - концепции.

Введение. Во многих гипотезах тектоногенеза отражен процесс абстрактного познания противоречивых сторон предмета, рассмотренных без связи между собой, как нечто самостоятельное. Односторонность таких гипотез проявлялась, например, в том, что во многих из них отрицается роль астрономических факторов или же, наоборот, им придается решающее значение. То же самое можно отметить и в гипотезах термической истории планеты или истории формирования элементного и изотопного состава вещества, когда на первое место выдвигается или процесс гравитационной дифференциации или же тепловыделение естественных радиоэлементов.

В научной литературе по ядерной физике в начале 1939 года появились сообщения о том, что на основе опытных и расчетных данных можно допустить возможность деления ядер урана при попадании в них нейтронов. Эти результаты сразу привлекли к себе внимание и привели к формулировке гипотезы цепных реакций деления урана, при которых высвобождается энергия и генерируется громадное число нейтронов.

2 декабря 1942 г. цель, которую сами авторы считали выходящей за пределы человеческих возможностей [1], – цепная реакция деления на естественном уране, была достигнута. Графитовый реактор заработал.

Механизм ЕЯР. Уже в 1940 г, через год после того как идею цепной реакции сформулировал Ферми, Нетцлин [1,2,3] предположил, что именно цепные реакции деления с участием урана в земной коре могли

быть причинами вулканизма. Ограниченность знаний о параметрах цепных процессов в то время не позволила ему обосновать и развить это положение, в соответствии с которым энергетический механизм большого числа импульсных геологических явлений (землетрясений, вулканических извержений, внедрений магматических энтузий и др.) может быть связан с локальным тепловыделением природных ядерных реакторов (ПЯР). Тем более, что для перераспределения вещества Земли в условиях глубинного метаморфизма действует геохимический закон объёмов, на основании которого в глубинных слоях земной коры образуются минералы и их комбинации с меньшим молекулярным объемом (атомный вес/удельный вес), чем в верхних слоях.

Более обоснованным механизм возникновения ЕЯР выглядит в работах Куроды и группы исследователей Комиссии по атомной энергии Франции на примере урановых руд Саксонии и Габона с возрастом 1.7 – 2.5 млрд. лет [4,5]. Он основан на расчетах коэффициента размножения нейтронов k_{∞} для протяжённой среды. В модели использованы следующие параметры: химический состав минерала (урановой смолки):

1 моль UO_2 ; 0.5 моля H_2O ; 0.0n молей PbO , CaO , MgO , As_2O_3 , SiO_2 и 0.00n молей Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CuO , MnO , Bi_2O_3 , V_2O_5 , MoO_3 , WO_3 , K_2O , SO_3 , P_2O_5 ;

возраст руды 2.1 млрд. лет, соответственно, ретроспективная изотопная концентрация U^{235} - 4% (пояснение ниже), $\eta = 1.91$. При этом коэффициент размножения k_{∞} , полученный Куродой оказался больше единицы для концентрационного соотношения "вода/урановая смолка" ≥ 1 и достигал максимума – 1.43 для величины этого соотношения равного 5.

Возможность возникновения ЕЯР в древние геологические эпохи представляется ещё более вероятной в связи с тем обстоятельством, что концентрация U^{235} и U^{238} в результате альфа – распада уменьшается со временем с разной скоростью. У первого период полураспада составляет $7.1 \cdot 10^8$ лет, а у второго – $4.5 \cdot 10^9$ лет, соответственно, их соотношение меняется во времени как $\sim 0.30 \exp(-\Delta t)$. Это означает, что если в настоящее время содержание U^{235} в естественной смеси изотопов составляет 0.72 %,

то для минералов использовавшихся в модели Куроды (возраста 2.1 млрд. лет) ~ 4%, а в начале геологической истории Земли (~4.5 млрд. лет) могло достигать 23 %, соответственно. Именно в этом расчете в простой терминологии проясняется идея ЕЯР, поскольку, чем выше содержание U_{235} в природном уране, тем легче достигаются пороговые условия цепной реакции.

Реальные факты из области ядерных технологий подтверждают этот вывод. Они относятся к условиям ядерной безопасности химических технологий получения, переработки, хранения и утилизации компонент ядерного горючего, состоящим в том, что общее количество урана различных степеней обогащения в водных растворах не должно превышать критической массы. В противном случае в экстракционных колоннах, трубопроводах, резервуарах хранения возникнет самопроизвольная цепная реакция (СЦР), которая приведет к поражению персонала проникающей радиацией и взрывной волной, а также к рассеянию продуктов ядерного распада и заражению природной среды. Несмотря на наличие мощных служб ядерной безопасности во всех странах занимающихся ядерными технологиями, задача которых и состоит в устранении возможностей случайных и незапланированных ядерных цепных реакций, СЦР – аварии случались.

В США это авария в Ок-Ридже на заводе U-12, когда в водном растворе урана возникла СЦР в виде серии импульсов с постоянной времени ~2.8 мин при этом возник взрыв с энерговыделением $\sim 10^7$ дж [6].

В СССР – с 1949 г на заводе "Маяк" (Челябинск-40, Челябинск-65, Озёрск) произошло несколько СЦР – аварий, самая сильная – 1957 г, когда взорвалась емкость с радиоактивными отходами, в результате чего образовался р/а след длиной более 400 км от Челябинска до Тюмени (Кыштым). 10 августа 1985 г. возникла СЦР в результате грубого нарушения технологии перегрузки топлива реактора на АПЛ К-431 в бухте Чажма. 6 апреля 1993 г на Сибирском химкомбинате (Томск-7) в емкости с U – Pu водным раствором объемом 25 м^3 возникла СЦР в результате засорения линии подачи воздуха для перемешивания раствора и пр.

Все они (СЦР), в большей степени случайны (природны, правда сработал, в том числе, и человеческий фактор), чем целена-

правленно созданы, во всяком случае, не менее мощные службы государственной безопасности этих стран не зафиксировали ни одного случая злого умысла.

При разработке норм ядерной безопасности в различных отчетах Комиссии по атомной энергии США, описанных в монографии Ф. Паттона [6] получены следующие величины критических масс водных рассолов, основанные на расчетах коэффициента размножения и опытов в лабораториях критических экспериментов. Для смеси изотопов $U_{235}+U_{238}$ при 3% - обогащении по U_{235} (что, для природных условий, соответствует геологической эпохе ~ 2 млрд. лет назад или возрасту Земли 2.5 млрд. лет) критическая масса составляет ~ 100 кг, а критический водный объем раствора урана - ~ 80 – 100 л.

Это указывает на то, что в природных условиях в древние геологические эпохи вполне могли возникать ЕЯР гомогенного типа при затоплении водой урановых рудных тел. Просачиваясь и вымывая соли урана вода, например, атмосферных осадков, скапливалась в докритическом состоянии в полостях разломов, а затем при испарении или осаждении взвесей, достигался необходимый для СЦР критический объем раствора или суспензии при критической же концентрации делящихся изотопов.

В частности, Pu при изменении "pH" в пределах от 5 до 7, характерном для морских вод, претерпевает до 100 % - соосаждения с Mn, Fe, Zn. По-видимому, не следует исключать возможности существования ЕЯР на почти чистом U_{235} или Pu_{239} , поскольку при плутониевом бридинге возникают делящиеся элементы – уран и плутоний.

Другим важнейшим условием адекватности ЕЯР – концепции является условие поддержания системы в критическом состоянии. Баланс нейтронов в реакторе на природном уране [7] выглядит так:

– из 100 быстрых нейтронов деления в процессе замедления 5 уходят из системы, а 10 захватываются U^{238} резонансно;

– из оставшихся замедленных 85 нейтронов 5 уходят из системы, а остальные замедляющиеся до тепловых энергий 40 поглощаются U^{235} вызывая деление и создавая 100 новых быстрых нейтронов, 7 захватывается U^{235} без деления, а 33 поглощается U^{238} и другими включениями.

Этими другими включениями в ЕЯР – композициях могут быть ядра изотопов сильно поглощающих нейтроны и, соответственно, смещающими баланс нейтронов в подкритические условия. В то время, как эффективные сечения захвата тепловых нейтронов ядрами атомов не превышают 1 – 10 – 100 барн, некоторые из осколочных редкоземельных элементов, например Sm_{149} , Gd_{154} и др., имеют сечения захвата нейтронов $\sim 10^4 - 10^5$ барн, являясь тем самым мощными ловушками нейтронов и сильнейшими нейтронными ядами для ЕЯР – системы. Однако, их суммарный выход при спонтанном делении тем меньше, чем меньше геологический возраст урановой руды. В результате различных биогеохимических процессов (соосаждения из растворов, зонной выплавки субстрата земной коры, выщелачивания атмосферными осадками и грунтовыми водами) высока вероятность очищения от них докритической композиции [3].

Выводы. Уже перечисленные примеры показывают: самопроизвольные и, что более важно, природные механизмы миграции и изменения концентрационных соотношений и самоочищения, существуют и появление ЕЯР – зон, в принципе, возможно. Более того, при рассмотрении последствий адекватности ЕЯР – концепции, – проявлений воздействия ЕЯР на окружающую природную среду, представляется, что ЕЯР – процессы в геологической истории Земли являются не экзотическим феноменом, а широко и повсеместно распространенным явлением.

Заключение. Для установления адекватности ЕЯР – концепции представляется необходимым подробное рассмотрение отдельных ее аспектов:

- ядерно-физические процессы в размножающихся системах, реализация которых возможна в природных условиях, их параметры, ограничения; временные вариации значений фундаментальных констант;
- биогеохимические предпосылки адекватности ЕЯР – концепции, основные геохимические законы миграции, концентрирования и рассеяния химических элементов ЕЯР, порождающих до – и критические композиции (образование минералов, гравитационное, магнитное, флотационное, соосаждение, выщелачивание, зонная выплавка и др. биогеохимические способы обогащения

- их сверхтяжелыми элементами, а также более молодые и современные процессы дифференциации вещества, в том числе в океанах и морях, в иловых водах и донных осадках, образование композиций с критическими условиями, отравление, зашлаковывание);

- процессы и параметры – результата воздействия ЕЯР – процесса на окружающую природную среду и трансформация его (результата) со временем:

- изменение изотопного и элементного состава вещества Земли, в целом, и солевого состава океанических вод, в частности, под действием проникающего излучения сопровождающего ЕЯР – процесс;

- воздействие ударной волны для нестационарных процессов (пульсирующие и импульсные – взрывные геологические процессы);

- землетрясения, внедрения магматических энтузий, вулканические извержения, геологические кольцевые структуры;

- импульсные и распределенные, глобальные и локальные тепловые процессы разной мощности;

- идентификация ЕЯР – событий с помощью аппарата многомерного корреляционного анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Лэпп. Атомы и люди. М., ИЛ., 1959. – 287 с.
2. М. Noetzlin. Volkanizm et chimie nucleaire. « J.de Phys. et la Radium », 1940, N3. – P. 90–98; N4. – P. 124 – 132.
3. С.Р. Крайнов. Геохимия редких элементов в подземных водах. М., «Недра», 1973. – 295 с.
4. Р.К. Kuroda. On the Nuclear Physical Stability of the Uranium Minelarsals. «J. Chem. Phys.», 1956, 25, N4. – 781 p.
5. R. Bodu, H. Bouziques, N. Morin, J.Pfiffel-man. Sur l'existence d'ianomalies isotopiques rencontrees dans l'uranium du Gabon. «Compt. Rend. De l'Acad. Sri.», 1972, v.275, D-1731, Paris.
6. Ф.С. Паттон, Д.М. Гуджин, В.Л. Гриффитс. Ядерное горючее на основе обогащенного урана. М., «Атомиздат». 1966. – 291 с.
7. А.Д. Галанин. Теория ядерных реакторов на тепловых нейтронах. М., «Атомиздат», 1959. – 383 с.