

СОВРЕМЕННЫЕ ЕЯР

И.Ф. Лукашин

Морской гидрофизический институт
НАН Украины

г. Севастополь, ул Капитанская, 2
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

В работе представлены результаты исследований природных радиоактивных аномалий и их проявлений. На основе анализа ядерно-физических критериев цепных реакций и данных наук о Земле обсуждается адекватность концепции естественных ядерных реакторов в части возможного их современного существования (СЕЯР).

Введение. Ввиду разной величины периодов полураспада U-235 ($7,1 \cdot 10^8$ лет) и U-238 – $4,5 \cdot 10^9$ лет, соотношение их концентраций в объектах окружающей среды меняется со временем. Ретроспекция современного значения отношения их концентраций (1 : 140 по количеству атомов на единицу массы естественной смеси изотопов) на момент образования Земли (4,5 млрд лет назад) позволяет предположить, что концентрация U-235 составляла 23 %, а в случае возраста Земли или вещества Праземли до 7 млрд лет (а такие свидетельства имеются) до 70 % и более. Это обстоятельство является важным свидетельством возможности реализации ЕЯР-процессов в древние геологические эпохи, т.к. чем выше концентрация делящегося материала, тем выше вероятность ЦР, несмотря на весь скептицизм физиков ядерщиков относительно СЦР-процессов на «загрязненных» материалах. Более того имеется значимая вероятность существования ЕЯР современности (СЕЯР) и в наши дни и в ближайшие геологические эпохи в будущем.

Ограничений на подобную гипотезу, преодоление которых в освоении атомной энергии человечеством было сопряжено со значительными трудностями, а Природе – запросто, не так уж и много. Их всего два: по критической массе, по количеству делящегося и, вообще, реакторного вещества (U, C, H, и Be) и, – достижение надкритичности коэффициента размножения нейтронов. Остановимся на некоторых опытных и расчет-

ных данных и общих физико-геологических соображениях, указывающих на то, что имеется некоторая вероятность существования СЕЯР и в наши дни. При этом важнейшим позитивным фактом, относительно задачи, является существование в природе технических атомных реакторов на природной смеси урана и замедлителя из графита, бериллия и тяжелой воды.

Коэффициент размножения нейтронов для упомянутых реакторов имеют значения 1.04 – 1.07 [1, 2, 3], т.е. запас по коэффициенту размножения для ядерночистых реакторных материалов в 0.4 – 0.7 позволяет допустить существование цепных реакций даже для концентраций делящегося U-235 меньших нынешних природных, что, в свою очередь, соответствует будущим геологическим эпохам, удаленным от современности на десятки миллионов лет.

Результаты натуральных исследований Чердынцева [4] указывают на то, что в природе встречаются и, относительно широко распространены, изотопные аномалии урана с более высоким, чем кларковое содержание U-235 до 1,5-кратного его обогащения (1,1 – 1,2 %). Это обстоятельство позволяет [2] включить в сферу рассмотрения по сверхкритичности на тепловых нейтронах гомогенные композиции с бериллием и графитом и, естественно, их гетерогенные аналоги.

Возможности реализации Природой СЕЯР, повидимому, возрастает если учесть, что помимо реакторов на тепловых нейтронах имеют право на существование реакторы на надтепловых (резонансных) нейтронах, например на нейтронах с энергиями в области порядка 0.3 эв, где расположен пик резонансного деления U-235. Причем в этой области [1] отношение сечений поглощения на U-238 и деления на U-235 выглядит как 0.78/200 в отличие от области теплового диапазона, где оно составляет 2.7/580, т.е. выигрыш по коэффициенту размножения ~ 5 %, т.е. оказывается, что вероятность существования СЕЯР резонансного типа даже выше, чем теплового.

Таким образом, сочетание в природе трех отмеченных факторов: возможности существования гетерогенных компо-

зиций, 1.5-кратного обогащения природного урана по изотопу ^{235}U и надтеплого режима в области резонанса ^{235}U для беспримесной активной зоны создают избыточность коэффициента размножения нейтронов величиной $\sim 0.1 - 0.15$, что, в определенной степени, снимает необходимость отсутствия нейтронных поглотителей в зоне. Причем этот запас (по коэффициенту размножения) по ядерной чистоте материалов оказывается для возможных природных реакторов даже больший, чем для технических, нагруженных конструкционными материалами (сталь, алюминий и пр.) и системами регулирования.

Необходимо также учитывать существование природных механизмов, приводящих к образованию химически чистых веществ. Хорошо известны самородные образования серы, благородных металлов, алмазов [5] и жидких углеводородов с высокой степенью чистоты, а для природных графитов отмечены образцы с макроскопическим сечением поглощения нейтронов лишь на $\sim 20\%$ превышающими сечения искусственных ядерночистых графитов [6, 7].

Критическая масса представляет собой массу активной зоны при которой коэффициент размножения становится большим единицы. По американским данным критическая масса для чистого ^{235}U составляет ~ 47 кг, а минимальная критическая масса составляет 242 г для чистого ^{235}U с прокладками из полиэтилена и отражателем из бериллия.

Для гомогенных ЕЯР на природной смеси изотопов урана и воде запрет по критической массе можно считать легко преодолимым, т.к. при обогащении по ^{235}U с величинами $0.8 - 1.1\%$ критическая масса обеспечивается объемами ~ 100 литров и линейными размерами активной зоны $\sim 1 - 2$ м [2]. Существование в недрах карстовых полостей и трещин указанного объема и линейных размеров известно. Заполнение этих природных полостей конденсатом глубинных водных паров высокой чистоты, селективное растворение и вымывание водой соединений урана из окружающих пород может привести к образованию СЕЯР на водных композитах. Шуколюковым [8 - 11] отмечено существова-

ние рудных тел урана и графита размером в несколько метров, в связи с чем возможно достижение критических масс гетерогенного типа. Кроме отмеченных ранее вероятных механизмов образования активных зон ЕЯР [12], обусловленных, например, избирательным накоплением отдельных элементов и их изотопов в биосистемах океана, для которых коэффициенты накопления составляют $10^3 - 10^4$, а иногда и более, а также известных механизмов образования химически чистых кристаллов и самородного металла, обнаружены выносы глубинного вещества, в котором относительная концентрация урана выше на несколько порядков урановых кларков. Можно отметить механизм насыщения графита ураном при контакте уранового рудного тела и графитовой линзы с образованием случайной, хаотичной гетерогенной решетки на температурных неоднородностях графита, механизм «амебы», когда уран мигрирует в зону более высоких температур в графите [6].

Приведенные соображения указывают, по нашему мнению, на возможность обхода главных принципов запрета Природы в создании ею СЕЯР.

Особый интерес в отношении природных СЦР по своим параметрам близким к термоядерным взрывам с интегральными потоками нейтронов до $10^{23} - 10^{25}$ нейтрон/см² представляют нефтяные пласты из химически чистых углеводородов, они могут быть, в принципе, не только хорошим замедлителем - теплоносителем, но и исходным материалом для осуществления природных термоядерных реакций. Представляется вероятной природная геологическая конфигурация, когда над нефтяным пластом находится пласт лития, который под действием нейтронных потоков ЕЯР по реакции $\text{Li}^6(n, \text{He}^4)\text{H}^3$ генерирует тритий - основное термоядерное горючее. А внутри находится, например, урановое тело с кристаллами типа UO_2 , UC и пр., которые вымываются грунтовыми и ювенильными водами и погружаются в нефть, образуя гетерогенный СЕЯР на комбинированном замедлителе-теплоносителе из водорода и углерода. Возникновение цепного деления в замкнутом пласте с большим количеством водорода и лития может явиться запалом для термоядерной реакции.

Таким образом, в принципах запрета отсутствует категорическое отрицание.

Целесообразно рассмотреть реликтовые свидетельства существования СЕЯР, связанные со специфическими проявлениями последствий работы природных ядерных реакторов (ПЯР) на разных этапах геологической истории Земли. Это – термические, тектонические, ядернофизические и пр. проявления ЦР разной физики и мощности. Прежде ими свидетельствами являются существование аномалий осколочной радиоактивности с периодом полураспада меньше 10^{10} лет.

Действительно, или она обусловлена планетарными ЕЯР-процессами, или же является реликтовой радиоактивностью, сохранившейся в земном веществе с периода космического нуклеосинтеза ядер. Для того, чтобы исключить из рассмотрения последнюю, реликтовую, ограничимся относительно короткоживущей компонентой – с периодом полураспада много меньшим геологического возраста Земли. Если природный радионуклид имеет период полураспада 10^8 лет, в соответствии с законом радиоактивного распада, его распространенность от начального значения уменьшится за время геологического возраста Земли на множитель $\exp(-0.69.t/T)$ т.е. $\exp(-0.69 \cdot 4.5 \cdot 10^9 / 10^8) \sim 10^{13}$. Для радиоактивности с периодами полураспада меньшими 10^8 лет уменьшение ее распространенности за время существования Земли будет еще более значительным и обнаружение реликтовой кларковой активности для них будет находиться далеко за пределами чувствительности современных методов измерения. Если же аномалии таких и еще более относительно короткоживущих излучателей существуют и надежно фиксируются, то следует заметить, что они (аномалии) являются смесью исчезающе малого количества реликта (десятки порядков величины) и поступлений от источника связанного с процессами ЦР, т.е. СЕЯР. При этом мы считаем, что в природных условиях не действуют какие-то неизвестные мощнейшие процессы избирательной концентрации таких реликтов типа перечисленных выше (биологических и геохимических) способных давать эффект в десять порядков величины.

Такие аномалии радиоактивности обнаружены по изотопам Np^{237} с периодом полураспада $2.1 \cdot 10^6$ лет, Pu^{239} , соответственно, $2.4 \cdot 10^4$ лет и Pu^{244} - $7.5 \cdot 10^7$ лет [13 – 15], а также U^{233} ($1.6 \cdot 10^5$ лет) и

его дочерний Th^{229} ($7.3 \cdot 10^3$ лет) [20]. Эти изотопы не могут быть реликтами космического нуклеосинтеза ввиду малости их периодов полураспада, не могут они также быть и техногенными продуктами, т.к. они обнаружены в глубинных минералах, а самое главное потому, что среди них наряду с Np^{237} и Pu^{244} , которые могут образовываться при термоядерных взрывах [20 – 22], (что само по себе свидетельствует об одном из механизмов СЕЯР), оказывается U^{233} , не возникающий в этих взрывах, если только запалом водородной бомбы не был сам U^{233} . Существование перечисленных радионуклидов в заметных количествах само по себе говорит в пользу СЕЯР-концепции.

Однако это не единственная группа аномалий, которые не укладываются в известные схемы реликтовых излучателей, в механизмы активации природным фоновым излучением, связанным с космическим излучением или природной радиоактивностью земного вещества (К, Th, U), существование которых невозможно также объяснить механизмом повышенной миграции отдельных материнских или дочерних изотопов. Имеется обширный натурный материал о содержании радона и гелия, дочерних продуктов распада урана в глубинных водах и газах районов активного вулканизма и тектоники (Камчатка, Япония, Новая Зеландия, Ташкент), где их содержание в 10^4 раз превышает кларковое [16, 17]. Это обстоятельство, а также зафиксированные повышенные содержания рассеянного урана для районов недавно угасшего и современного вулканизма, в 70 – 100 раз превышающие кларковые [14], говорят о его высокой концентрации в вулcano-тектонических очагах.

Эти выводы подтверждаются данными о радоновых аномалиях в газовых ореолах рассеяния в вулcano-гидротермальных газах практически во всех районах активного вулканизма [17 – 19]. Зафиксированы концентрации Rn^{222} превышающие фоновые значения в $\sim 10^2$ – 10^4 раз. Наиболее простым, но не единственным, объяснением этих аномалий радона является возможность его концентраций из больших объёмов газов вулканического магма выводящего канала, который в данном случае выполняет роль коллектора. Однако сопоставление данных по аномалиям легкомигрирующего радона и других осколочных ра-

дионуклидов не обладающих такой способностью, а тем более тройных аномалий, например, еще и по пику аннигиляционного излучения 0.511 мев, связанному с активацией водорастворимых солей натрия реакторным спектром нейтронов по схеме $\text{Na}^{23}(n,2n)\text{Na}^{22} - \text{Ne}^{22} + e^+$, не оставляют сомнений в СЕЯР-источнике аномалий радона для вулканотектонических районов.

Особо следует отметить обнаруженные аномалии в глубинных фумарольных газах по тритию и гелию-3 [14, 19, 23]. Они связаны реакцией $\text{H}^3 - \text{He}^3 + e^-$ с периодом полураспада 12.2 года. При делении урана помимо осколков с массами 80 – 160 появляются и лёгкие осколки с массами 2 – 10 и среди них H^3 , He^3 , Li , Be , и при наличии в магматическом очаге вулкана СЕЯР глубинные газы должны быть обогащены например тритием. При кларке трития (среднепланетарном фоне) 1 – 5 Т.Е., обнаруженные его аномалии для фумарол вулканов Италии и Курило-Камчатской области составляют до 20 и 500 Т.Е.

Заключение. Опытные данные наук о Земле о естественных радиоактивных аномалиях в природных средах в аспекте возможного существования естественных ядерных реакторов по специфическим проявлениям, свидетельствует о том, что ЕЯР-процессы в геологической истории Земли не были каким-то исключением, уникальностью, курьезом, являются не экзотическим феноменом, но широко и повсеместно распространенным явлением, определявшим и продолжающим определять геодинамические явления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев И.В., Кардашов Д.А. Ядерно-физические константы. – М.: «Атомиздат», 1963. – 507 с.
2. Кахан Т., Гози И. Физика и расчет ядерных реакторов. – М.: «Атомиздат», 1960. – 391 с.
3. Физика ядерных реакторов. – М.: «Атомиздат», 1964. – 384 с.
4. Чердынцев В.В. Избыток U-235 в магматите с повышенным содержанием актиния. «Геохимия», 1960. № 4. – С. 373 – 375.
5. Сергиев В. Океанические осадки – «колыбель» алмазов. – М.: «Наука в России», 2006. № 4. – С. 57 – 59.
6. *Материалы* и горючее для высоко температурных ядерных энергетических установок. – М.: «Атомиздат», 1966. – 331 с.
7. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. – М.: «Наука», 1973. – 206 с.
8. Домарев В.С. Геология месторождений U капиталистических стран. – М.: «Госгеолитиздат», 1956. – 272 с.
9. Константинов М.М., Куликова Е.Я. Урановые провинции. – М.: «Атомиздат», 1960. – 227 с.
10. Котляр В.Н. О состоянии сырьевой базы U в капиталистических странах и методика поисковых работ на уран. – М.: «Атомиздат», 1956. – 58 с.
11. Шуколюков Ю.А. Деление ядер урана. – М.: «Атомиздат», 1970. – 270 с.
12. Лукашин И.Ф. Общепланетарные свидетельства существования ЕЯР // Системы контроля окружающей среды / Средства, модели и мониторинг. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2011. – С. 311 – 313.
13. Михайлов В. Аналитическая химия нептуния. «Наука», 1971. – 262 с.
14. Чердынцев В.В. Ядерная вулканология. – М.: «Наука», 1973. – 208 с.
15. Hoffman D., Lawrence F., Mewherter J., Rourke F. Detection Pu-244 in Nature. «Nature», 1971. v. 243. – p. 19.
16. Султанходжаев А.Н и др. Естественная радиоактивность тяжелых элементов в активных зонах земной коры. «Узбекский геологический журнал», 1974. № 4. – С. 50 – 54.
17. Чирков А.М. Радон как индикатор современных гидротермальных и вулканических процессов. Автореферат диссертации. Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1973. – 25 с.
18. Новиков А.И., Старовойт И.А. Соосаждение плутония с гидратированными окислами циркония и актиния. – М.: «Атомная энергия», 1969. т.27, в.3, – С. 218 – 220.
19. Стыро Б.И. Самоочищение атмосферы от р/активных загрязнений. – Л.: «Гидрометиздат», 1968. – 287 с.
20. Горчев В.М., Замятин Ю.С., Лбов А.А. Основные характеристики изотопов тяжелых элементов. – М.: «Атомиздат», 1970. – 128 с.
21. Хайд Э., Перлман И., Сиборг Г. Трансурановые элементы. – М.: «Атомиздат», 1967. – 264 с.
22. Хайд Э., Перлман И., Сиборг Г. Методы синтеза тяжелых ядер, М., «Атомиздат», 1968. – 134 с.
23. *Очерки современной геохимии и аналитической химии.* М., «Наука», 1972. – 642 с.