



Устьянцев В.Н.

геолог
uvn_50@mail.ru

ГЕЛИЙ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА УГЛЕВОДОРОДОВ

В статье рассматривается парадигма формирования углеводородов в мантии и земной коре.

Ключевые слова: мантия системы Земли, хондриты, CNO цикл.

«Сведённые воедино основные мысли В.И. Вернадского о методологии естествознания, проходящие красной нитью через все его творчество, но не суммированных в едином произведении, даёт очень чёткую картину построения системы научного знания. От эмпирических фактов к их обобщению и далее к научному объяснению – плодотворно работает в своём единстве. Все попытки ускорить процесс, за счёт исключения сложной и трудоёмкой стадии формирования эмпирических обобщений, чреваты искажением общего процесса и созданием иллюзии знания» (из переписки автора данной работы с Г.Б. Наумовым, 2016).

Российские учёные установили, что гелии, которыми «пропитаны» породы земной коры и породы мантии, резко отличны по изотопному составу.

В коре, в различных регионах отношение гелия-3 к гелию-4 может меняться в десятки и сотни раз и это отношение крайне мало.

А в гелии мантии отношение лёгкого изотопа к тяжёлому оказалось очень стабильным и в тысячу раз больше, чем в гелии земной коры.

Это редчайший феномен природы, поскольку сдвиги в изотопном отношении для различных элементов на Земле не превышают обычно нескольких процентов. В результате изотопных анализов гелия из разнообразных природных объектов, был обнаружен (первоначально в газах термальных источников Южно-Курильских островов) гелий с аномально высоким изотопным отношением $\text{He3/He4} = \sim (3 \pm 1) 105$.

Дальнейшие исследования и анализ проб, отобранных из многих точек земного шара во всех океанах, на всех материках, на многочисленных островах показали, что этот факт носит глобальный характер, и в гелии, продуцируемом подкоровыми слоями Земли, отношение He3/He4 выше в сотни и тысячи раз, чем в гелии, генерируемом породами земной коры» (Б.А. Мамрыкин, 1982).

Глубинный газ деформирует горные породы со стороны мантии давлением в десятки тысяч атмосфер, передающимся из мантии в верхнюю часть земной коры. «Приуроченность кимберлитов именно к платформам объясняется тем, что они почти газонепроницаемы. Поэтому под ними скапливаются рассеянные в породах мельчайшие пузырьки газа, которые соединяются в крупные пузыри водородно-метанового состава. При определённом критическом объёме такой пузырь начинает постепенно «всплывать», то есть внедряться в структуру платформы и подниматься к поверхности планеты. Платформы похожи на блюдца, плавающие в аквариуме, со дна которого поднимаются пузырьки воздуха. Пузырьки обтекают «блюдце», но часть газа скапливается под его дном. Газ поднимается из мантии, об этом свидетельствует тот факт, что гелий здесь резко обогащён лёгким глубинным изотопом гелия. Но в подземных газах платформ такого гелия в тысячу раз меньше, чем в газах вулканов. Следовательно, платформы – плотная «заглушка» для газов мантии. В большие пузыри рассеянный мантийный газ собирается из-за мощного воздействия так называемых горячих точек (об их существовании геологи узнали сравнительно недавно). Когда под платформами сформируются крупные газовые пузыри, в силу вступает закон Архимеда. Плотность газовой смеси (водород-метан) даже при давлении мантии будет меньше плотности воды. А вот плотность самой мантии превышает плотность воды более чем в три раза. Значит, подъёмная сила пузыря объёмом в 1 кубический километр составит 2,5 миллиарда тонн! И к тому же этот газ раскалён до 600-8000 С. Тот факт, что кимберлитовые трубки на глубине сужены в тонкую ножку, говорит о том, что вся огромная подъёмная сила газа была приложена к очень малой площади» (А. Портнов, 1999).

«Валовый химический состав Земли очень близок к составу углистых хондритов – метеоритов, по составу близких первичному космическому веществу, из которого формировалась Земля и другие космические тела Солнечной системы. По валовому составу Земля на 92% состоит всего из пяти элементов (в порядке убывания содержания): кислорода, железа, кремния, магния и серы. На все остальные элементы приходится около 8%. Однако в составе геосфер Земли перечисленные элементы распределены неравномерно – состав любой оболочки резко отличается от валового химического состава планеты. Это связано с процессами дифференциации первичного хондритового вещества в процессе формирования и эволюции Земли. Основная часть железа в процессе дифференциации сконцентрировалась в ядре. Это хорошо согласуется и с данными о плотности

вещества ядра, и с наличием магнитного поля, с данными о характере дифференциации хондритового вещества, и с другими фактами. Эксперименты при сверхвысоких давлениях показали, что при давлениях, достигаемых на границе ядра и мантии, плотность чистого железа близко к 11 г/см³, что выше фактической плотности этой части планеты. Следовательно, во внешнем ядре присутствует некоторое количество лёгких компонентов. В качестве наиболее вероятных компонентов рассматриваются водород или сера. Так расчёты показывают, что смесь 86% железа + 12% серы + 2% никеля соответствует плотности внешнего ядра и должна находиться в расплавленном состоянии при P-T условиях этого участка планеты. Твёрдое внутреннее ядро представлено никелистым железом, вероятно, в соотношении 80% Fe + 20% Ni, что отвечает составу железных метеоритов» (Ю.В. Попов).

«Все основные нижне-мантийные минералы (бриджманит, CaSi-перовскит, ферропериклаз и стишовит) являются номинально безводными минералами (NAM), в которых водород составляет менее 1 мас. % и не входит в состав химической формулы. Наиболее надёжно определённые концентрации воды составляют 1400-1800 г/т в бриджманите, 10-80 г/т в ферропериклазе и 20-150 г/т в стишовите. Среднее содержание воды в нижней мантии оценивается ~1500 г/т. Несмотря на столь невысокие содержания, вода образует огромный резервуар в нижней мантии, масса которого должна составлять ~45.45 × 10²³ грамм H₂O, т.е. ~3.3 массы океанов. Главным источником воды в нижней мантии являлась первичная вода, сохранившаяся с ранних стадий эволюции Земли» (Ф.В. Каминский, 2018).

«Непрерывное увеличение давления по мере роста и уплотнения металлического ядра, а затем и силикатной мантии способствовало их стабильности. Разложение гидридов железа и никеля с образованием молекулярного водорода оказалось возможным, когда на границе раздела мантия – ядро, вследствие внешних силовых воздействий на Землю стали происходить срывы и смещения граничных слоёв, приводящие к снижению давления в системе. Трансформация водорода из гидридной формы в молекулярное состояние имеет важные петрологические, минералогические и геодинамические последствия. Молекулярный водород при высоких температурах принимает участие в окислительно-восстановительных реакциях с железосодержащими силикатами и углеродсодержащими газами (CO, CO₂), что определяет возможность синтеза воды во всём объёме мантии. Вода, как известно, существенно снижает температуру плавления пород, приводя к их частичному

плавлению (астеносфера, слой «D» в основании мантии, в котором зарождаются плюмы), и осуществляет гидролиз силикатов магния, переходя при этом в химически связанное состояние (в виде гидроксил-ионов). Гидроксилсодержащие силикаты магния обладают высокой пластичностью и также изменяют реологические свойства пород. Появление геологически ослабленных участков пород в мантии в сочетании с внешними космическими воздействиями оказывает существенное влияние на тектоническую активность и определяет возможность её проявления во всём объёме мантии» (В.Н. Румянцев, 2016).

«Свободный водород находится в магмах и в изверженных породах в большом количестве. При действии воды и угольной кислоты в глубинах земной коры могут образоваться значительные массы CO. CO, в атмосфере находится в ничтожном количестве, так или иначе, не накапливается.

Не надо забывать, что вода, выделяемая при плавлении и нагревании горных пород, и часть воды магмы происходят благодаря распадению соединений – алюмосиликатов и силикатов, тех же резорбируемых пород. Необходимо подчеркнуть, что нефти не могут быть рассматриваемы только как углеводороды. Углеводороды только преобладают в их составе. Они всегда содержат многие проценты, иногда десятки процентов соединений, заключающих O, N, S.» (В.И. Вернадский, 1934).

Химическая геодинамика (А.Ф. Грачев, ИФЗ РАН РФ).

Химическая геодинамика, как новый раздел наук о Земле, зародилась на стыке глубинной геофизики и геохимии мантии. Её объектом изучения являются базальты как прямые мантийные выплавки и глубинные ксенолиты, которые обычно присутствуют в щелочных оливиновых базальтах. Развитие химической геодинамики в последнее десятилетие привело к тому, что были установлены изотопно-геохимические показатели основных мантийных резервуаров.

Выделены резервуары:

PM – примитивная мантия (на время 4,5 млрд лет);

BSE – однородный хондритовый резервуар (современный);

PREMA – наиболее примитивный состав мантии, сохранившийся с самой ранней стадии развития Земли;

RHEM – примитивная гелиевая мантия;

FOZO – нижняя мантия, как результат дифференциации однородного хондритового вещества;

LM – нижняя мантия;

UM – верхняя мантия;

DM – деплетированная мантия (истощённая);

EM – обогащённая мантия;

NIMU – обогащённая ураном, торием, свинцом мантия, образовавшаяся в первые 1,5–2,0 млрд лет;

C – континентальная кора в целом;

A – атмосфера;

P – источник типа «плюм» (горячая точка) [А.Ф. Грачев].

После открытия в 1969 году первичного планетарного гелия [Мамырин 1969], появилось большое количество работ, подтверждающих данный факт. В результате изотопная система Ge-Ag оказалась достаточно хорошо изученной и основные мантийные резервуары для Земли, известные на сегодня, включая данные по Sr, Nd, Pb.

CNO цикл:

На Земле гелий образуется в результате альфа-распада тяжёлых элементов альфа-частицы, излучаемые при альфа-распаде, – это ядра гелия-4. Часть гелия, возникшего при альфа-распаде и просачивающегося сквозь породы земной коры, захватывается метаном, концентрация гелия в котором может достигать 7 % от объёма и выше.

В рамках восемнадцатой группы гелий по содержанию в земной коре занимает второе место (после аргона). Содержание гелия в атмосфере (образуется в результате распада тория, урана и их дочерних радионуклидов) – $5,27 \times 10^{-4}$ % по объёму, $7,24 \times 10^{-5}$ % по массе. Запасы гелия в атмосфере, гидросфере, литосфере оцениваются в 5×10^{14} м³. Гелиеносные природные газы содержат, как правило, до 2 % гелия по объёму. Исключительно редко встречаются скопления газов, гелиеносность которых достигает 8–16 %.

Среднее содержание гелия в земном веществе – 0,003 мг/кг, или 0,003 г/т. Наибольшая концентрация гелия наблюдается в минералах, содержащих уран, торий и самарий: левеите, фергюсоните, самарските, гадолините, монаците (монацитовые пески в Индии и Бразилии), торинаните. Содержание гелия в этих минералах составляет 0,8–3,5 л/кг, а в торинаните оно достигает 10,5 л/кг. Этот гелий является радиогенным и содержит лишь изотоп ⁴He.

Он образуется из альфа-частиц, излучаемых при альфа-распаде урана, тория и их дочерних радионуклидов, а также других природных альфа-активных элементов (самарий, гадолиний и т. д.).

В 2016 году норвежские и британские учёные обнаружили залежи гелия в районе озера Виктория в Танзании. По примерным оценкам экспертов, объём запасов – 1,5 млрд кубических метров. Значительные запасы гелия содержатся в восточносибирских газовых месторождениях в России. Запасы гелия в Ковыктинском месторождении оцениваются в 2,3 млрд кубометров, в Чаяндинском месторождении – в 1,4 млрд кубометров. Гелий – удобный индикатор. При помощи гелиевой съёмки можно определять на

поверхности Земли расположение глубинных разломов. Гелий как продукт распада радиоактивных элементов, насыщающих верхний слой земной коры, просачивается по трещинам, поднимается в атмосферу. Около таких трещин, и особенно в местах их пересечения, концентрация гелия более высокая. Это явление было впервые установлено советским геофизиком И.Н. Яницким во время поисков урановых руд. Эта закономерность используется для исследования глубинного строения Земли и поиска руд цветных и редких металлов. Также гелий может использоваться для выявления геотермальных источников. Согласно опубликованным исследованиям, концентрации гелия в почвенном газе над геотермальными источниками превышает фоновые значения в 20-200 раз. **Повышенные концентрации гелия в почвенном газе могут указывать на наличие залежей урана.**

Ковыктинское месторождение. Крупнейшее месторождение газа страны находится в Ангаро-Ленской ступени. Состав газового конденсата – метан, этан, бутан, и особо ценный гелий, запасы которого достигают 2,3 миллиарда метров кубических. Это огромный объём ценнейшего газа, который и стал причиной такой активной разработки на этом месторождении. Глубина залежей достигает 2,8-3,3 километра, что также утрудняет разработку этой местности. Высота пласта колеблется от 10 до 180 метров. Газ выходит на поверхность под давлением 150 атмосфер. Процентная составляющая гелия в добытом конденсате составляет 0,28%. Но даже тысячная доля процента считается рентабельным условием для начала разработки. Это делает Ковыктинское месторождение не только одним из самых крупных в России, но и уникальным, а его сырье имеет мировое значение. Особенность газа в низкой температуре кипения. К тому же его использование экологическое, поэтому его использование очень популярно. Медицина, ракетостроение, атомная и электронная промышленность – везде он очень востребован.

Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение с гелием. Газ месторождения имеет сложный компонентный состав, содержит значительные объёмы гелия. На Чаяндинском месторождении впервые в России в промышленном масштабе будет использована технология мембранного извлечения гелия из природного газа непосредственно на промысле.

Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение относится к «бедным» по содер-

жанию гелия месторождениям объёмная доля этого вещества в газе составляет до 0,055%. В «богатых» месторождениях содержится более 0,5% гелия, в рядовых – 0,1-0,5%. Все месторождения с содержанием гелия менее 0,1% причисляются к «бедным».

Запасы и производство. Мировые запасы гелия составляют порядка 41 млрд кубометров. Основные запасы сосредоточены в Катаре, Алжире, США и России. В мире производится около 175 млн кубометров гелия в год. Крупнейшим производителем этого продукта являются США. В России пока производится лишь около 5 млн кубометров гелия в год. Это связано с тем, что основные запасы этого вещества сосредоточены в месторождениях Восточной Сибири и Дальнего Востока, которые ещё довольно плохо освоены. Между тем содержание гелия в этих месторождениях очень высокое – 0,2-0,8%.

Углистые хондриты. С-хондриты содержат много железа, которое почти всё находится в соединениях силикатов. Благодаря магнетиту (Fe₃O₄), графиту саже и некоторым органическим соединениям углистые хондриты приобретают тёмную окраску. Также содержат значительное количество гидросиликатов (серпентин, хлорит, монтмориллонит). Гидросиликаты в составе хондритов существенно влияют на их плотность.

– Si-хондриты характеризуются обильным содержанием гидратированных силикатов. Преобладающим является септхлорит. Гидросиликаты обычно встречаются в форме стекла. В Si-метеоритах вообще нет хондр, что является исключением для хондритов.

– SM-хондриты состоят из 10-15 % связанной в составе гидросиликатов воды, и 10-30 % пироксена и оливина в хондрах.

– CO- и CV-хондриты содержат около 1 % связанной воды, и состоят в основном пироксена, оливина и других дегидратированных силикатов. В этих хондритах также встречается небольшое количество никелистого железа.

Е-хондриты (энстатитовы) состоят в основном из железа в его свободном состоянии, то есть при нулевой валентности, и силикатных соединений, в которых железо почти отсутствует. Пироксен в метеоритах этого типа содержится в виде энстатита, от которого и произошло название класса хондритов. Энстатитовые хондриты судя по их структурным и минералогическим особенностям были подвергнуты тепловому метаморфизму при максимальных для них температурах (600-1000°C), поэтому в них присутствует меньше всего летучих компонентов, а среди других классов хондритов энстатитовые признают самыми восстановленными. Хондры заполнены обломоч-

ным материалом, находятся в тёмной мелкодисперсной матрице, имеют неправильную форму.

«На основе цифровой базы данных автора (576 сланцевых толщ в 177 осадочных бассейнах 47 стран мира) впервые составлен Сводный стратиграфический разрез нефтегазоматеринских толщ планеты Земли, охватывающий временной диапазон в 2100 млн лет. Такой подход предоставляет возможность научного прогноза месторождений нефти и газа в широком стратиграфическом диапазоне от палеопротерозоя до квартера, что существенно расширяет перспективы роста ресурсной базы углеводородов России.

Древнейшие АУФ НГМТ палеопротерозоя, рифея и раннего венда ($\approx 2\ 100\text{-}570$ млн лет). Фиксируется: *Феномен природных ядерных реакторов (возраст $1,968 \pm 0,050$ млрд лет), определивших дополнительное преобразование нефтегазоматеринских пород серии Franceville в результате ионизирующего излучения урана и продуктов его распада*» (Н. Киселева, 2017).

Проявлена чёткая парагенетическая связь между концентрацией урана в углеводородах и запасами гелия в них. Концентрация урана в углеводородах и запасы гелия в них возрастают от квартера к палеопротерозою.

Для формирования минералогических ассоциаций системе требуется энергия, которую она получает от большей системы, в которой она находится, это система Земли. Автоколебательная система Земли как стационарный энергетический центр, располагается в ещё большей энергетической системе Солнца, система Солнца находится в одном из энергетических рукавов, галактики Млечный Путь. Все эти объекты космоса имеют ядерную область, которая является источником энергии первого рода и иерархию генераторов волн энергии второго рода.

«Самоорганизация неразрывно связана с волновыми процессами. В любых открытых, диссипативных и нелинейных системах неизбежно возникают автоколебательные процессы, поддерживаемые внешними источниками энергии, в результате которых протекает самоорганизация» (И.Р. Пригожин).

То есть, любые реальные системы следует рассматривать с позиций доказанной И.Р. Пригожиным (1947) теоремы термодинамики неравновесных процессов:

«при внешних условиях, препятствующих достижению системой равновесного состояния, стационарное состояние системы соответствует минимальному производству энтропии».

В подошве нижней мантии (2900 км), в оболочке D11, происходят активные процессы физико-химических деформаций, которые сопровождаются выделением энергии.

Исследования С.В. Старченко, позволяють установить причины и следствия структурно-вещественного преобразования системы Земли и концентрации минерального сырья под воздействием волны энергии мощностью 10-13 Твт.

В мантии при высоких значениях температуры и давления есть химические элементы C H N S O U Ge, что доказывает наличие в пределах мантии процессов синтеза углеводородов. **CNO-цикл** – термоядерная реакция превращения водорода в гелий, в которой углерод, кислород и азот выступают как катализаторы. Считается одним из основных процессов термоядерного синтеза в массивных звёздах главной последовательности.

CNO-цикл – это совокупность трёх сцепленных друг с другом или, точнее, частично перекрывающихся циклов. Самый простой из них – CN-цикл (цикл Бете, или углеродный цикл) – был предложен в 1938 году Хансоном Беке и независимо от него Вайцзеккером» (Википедия).

«Участники международной коллаборации Vogehino объявили о первом наблюдении нейтрино из реакций углеродно-азотного цикла в Солнце. Это экспериментально подтверждает второй механизм генерации энергии в звёздах. Ранее наблюдались нейтрино только из протон-протонного цикла. Открытие имеет первостепенное значение для астрофизики, так как в звёздах более массивных, чем Солнце, энергия выделяется в основном за счёт углеродно-азотного цикла. Результаты исследования опубликованы в Nature.

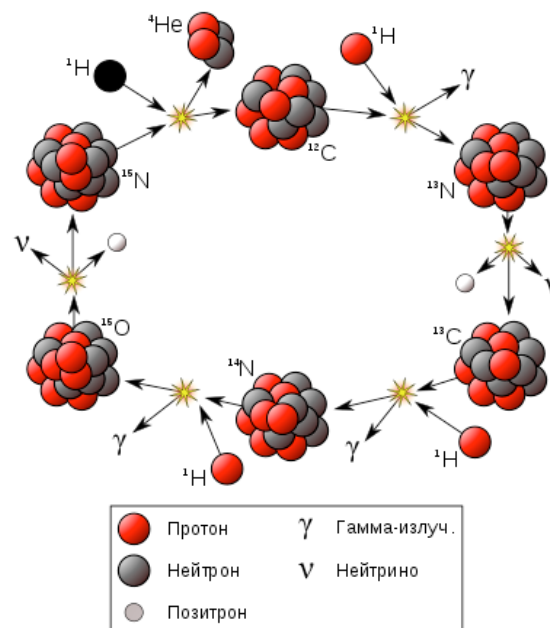


Рис. 1
Первое экспериментальное подтверждение теории о термоядерном синтезе в массивных звёздах. Новости, 26 ноября 2020

Ядро Солнца – гигантский термоядерный реактор. В процессе ядерных трансформаций при температуре около 15 миллионов градусов протоны сливаются друг с другом и образуют гелий. Гелий нарабатывается в двух многостадийных процессах: в протон-протонной (pp) цепочке и в углеродно-азотном (CNO) цикле. Часть ядерных реакций сопровождается испусканием нейтрино. Из-за чрезвычайно малой вероятности взаимодействия с обычным веществом нейтрино легко проходят сквозь толщу Солнца, сохраняя информацию как о ядерных процессах в глубинах Солнца, так и об условиях их протекания. Хотя поток солнечных нейтрино огромен и исчисляется миллиардами частиц на квадратный сантиметр в секунду, регистрация неуловимых нейтрино представляет собой чрезвычайно сложную экспериментальную задачу».

Доказательство прохождения реакций углеродно-азотного цикла в Солнце является важным научным достижением, шагом на пути к разрешению загадки его химического состава. Поскольку поток нейтрино, генерируемый в CNO-цикле, напрямую связан с концентрацией элементов C, N и O, участвующих в реакциях, то измерение потоков этих нейтрино напрямую связано с химическим составом Солнца.

Выводы:

Феномен природных ядерных реакторов (возраст $1,968 \pm 0,050$ млрд лет), определивших дополнительное преобразование нефтегазоматеринских пород серии Franceville в результате ионизирующего излучения урана и продуктов его распада.

Проявлена чёткая парагенетическая связь между концентрацией урана в углеводородах и запасами гелия в них. Концентрация урана в углеводородах и запасы гелия в них возрастают от квартера к палеопротерозою.

CNO цикл.

На Земле гелий образуется в результате альфа-распада тяжёлых элементов альфа-частицы, излучаемые при альфа-распаде, — это ядра гелия-4. Часть гелия, возникшего при альфа-распаде и просачивающегося сквозь породы земной коры, захватывается метаном, концентрация гелия в котором может достигать 7 % от объёма и выше.

Выделен резервуар:

RHEM – примитивная гелиевая мантия.

В мантии при высоких значениях температуры и давления есть химические элементы C H N S O U Ge, что доказывает наличие в пределах мантии процессов синтеза углеводородов. XXI

Литература

1. Вернадский В.И. Очерки геохимии. Государственное научно-техническое горно-геолого-нефтяное Издательство. Москва Ленинград Грозный Новосибирск 1934.
2. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. Н.Л. Киселева. Сводный стратиграфический разрез нефтегазоматеринских толщ мира. 2017.
3. Недропользование XXI века. 2117, № 3, В.Н. Устьянцев. О геотектомагматическом факторе генерации минерального сырья. Волновой механизм структурно-вещественного преобразования системы Земли с. 116.
4. Попов В.И. Минерально-сырьевые ресурсы Узбекистана АН Узбекистана Издательство ФАН», Ташкент 1976.
5. Устьянцев В.Н. Энергетика, дегазация автоколебательной системы Земли. О едином волновом механизме структурообразования и генерации минералогических ассоциаций в блоках земной коры. ISBN: 978-5-02-040199-0, Москва, Издательство Наука, 2019.
6. Никольский Б.П. Справочник химика 21 века, «Абиогенные соединения».
7. Устьянцев В.Н. Происхождение первичных углеводородов и нефти. GlobeEdit ISBN: 978-620-0-61141-3.
8. Устьянцев В.Н. Матрица автоколебательной системы Земли и происхождение нефти Год: 2021 Издательство: ФГУП «Издательство «Наука», объём страниц: 375, ISBN: 978-5-02-040821-0.

UDC 55

V.N. Ustyantsev, geologist, uvn_50@mail.ru

HELIUM AS AN INDICATOR OF THE HYDROCARBON SYNTHESIS PROCESS

Abstract: In the paradigm of the formation of carbohydrates in the mantle and zenocore is considered.

Keywords: mantle of the Earth's system, chondrites, CNO cycle.