



## ВОДОРОДНОЕ ДЫХАНИЕ ЗЕМЛИ — ЕГО ПРОИСХОЖДЕНИЕ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ

*Маракушев А. А., Маракушев С. А.\**

Институт Экспериментальной Минералогии РАН  
Институтский пр., 4, г. Черноголовка, Московская область, 142432  
E-mail: belova@iem.ac.ru

\* Институт проблем химической физики РАН  
пр-т. Академика Семенова, 1, г. Черноголовка, Московская область, 142432  
E-mail: marak@cat.icp.ac.ru



Маракушев Алексей  
Александрович

**Сведения об авторе:** академик РАН, доктор геолого-минералогических наук, зав. лаборатории Термодинамики минералов Института экспериментальной минералогии (ИЭМ) РАН, профессор МГУ, зав. каф. петрологии МГУ.

Лауреат Государственной Премии СССР, Лауреат Премии ак. Д. С. Коржинского, награжден Орденом Дружбы.

**Область научных интересов:** связь магматизма и рудообразования, происхождение Земли и Солнечной системы.

**Публикации:** более 500 научных трудов, в том числе 25 монографий и 10 учебников.



Маракушев Сергей  
Алексеевич

**Сведения об авторе:** доктор биологических наук, с. н. с. Института проблем химической физики РАН.

**Образование:** Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, специальность — биохимия (1975 г.).

**Публикации:** около 100 научных трудов, в том числе 1 монография.

Article represents the scientific review of the publications covering models of a geogenesis, providing enormous concentration of hydrogen in its liquid nickel-iron core, and consequences of impulsive decontamination the core generating glacial ages and biotic crises on a surface of the Earth and formation of oil and gas deposits in its subsurface. Some attention in this review is given hypotheses of hydrogen-hydrocarbon-organic evolution of the Earth fluid mode, mentioning an origin of biosphere

### Введение

Водородным дыханием Земли было названо украинским академиком Н. П. Семененко [31] грандиозное поступление водорода на ее поверхность вдоль структур глубинного заложения в океанах и на континентах. Ритмичность этого поступления и разнообразное его следствия прослежены в многочисленных работах В. Л. Сы-

вороткина, подчеркнувшего наличие у Земли в космосе водородного шлейфа, который создают флюидные потоки, поступающие из ее недр и определяющие тектоно-магматическую эндогенную активность Земли и геохимические процессы в ее оболочках, достигающие озоносферы, которая подвергается разрушениям под воздействием водорода [32, 33, 34]. С водородной де-

газацией Земли связаны проявления ее эндогенной активности, которые развиваются на протяжении уже 4,6 млрд. лет [16]. Это свидетельствует о колоссальных запасах водорода в ее недрах, проблема происхождения которых является центральной в науках о Земле. Решение этой проблемы невозможно на основе широко распространенных гипотез образования Земли и планет «из холодного космического материала», обзор которых приводится в монографии [39, С. 552]. Для ее решения требуется понимание сложных генетических взаимоотношений в Солнечной системе между планетами-гигантами, их спутниками и планетами земной группы.

### **Происхождение водородного никель-железного земного ядра**

Высокая концентрация водорода в жидком никель-железном земном ядре является прямым свидетельством расслоения Земли на никель-железное ядро и силикатные оболочки в условиях огромного флюидного (в основном водородного) давления. В Солнечной системе такие условия достигаются только в недрах гигантских планет (Сатурна, Юпитера), в которых в настоящее время формируются железо-силикатные массы, расслаивающиеся на силикатные оболочки и никель-железные ядра под огромным давлением их водородных оболочек. Свидетельством такого расслоения служат собственные магнитные поля этих планет-гигантов, сходных с магнитным полем Земли, генерируемым его жидким железным ядром. Согласно модели [15, 16, 53] аналогичные Юпитеру планеты-гиганты были материнскими для Земли, железо-каменных планет ее группы (Меркурия, Венеры, Марса) и хондритовых планет, подвергавшихся взрывному распаду в поясе астероидов (на переходе от планет земной группы к планетам группы Юпитера). Все они зародились в виде расплавных железо-силикатных ядер околосолнечных планет-гигантов. Планеты-гиганты формировались совместно с солнечной массой из ледяных планетезималей, образовавшихся в результате прямой конденсации и затвердевания субстрата газового облака, возникшего в результате взрыва гигантской звезды — предшественницы Солнечной системы. От нее Солнечная система унаследовала наблюдаемые химические элементы вплоть до самых тяжелых (U, Th и др.), образующихся в результате финальных взрывов гигантских звезд [35]. В самом же Солнце (желтом карлике) синтезируются относительно легкие элементы, недоступные для наблюдения. Околосолнечные планеты-гиганты до Сатурна включительно формировались из водородных планетезималей, а более удаленные от Солнца (Уран, Нептун) — из водного ледяного вещества.

В настоящее время ледяное вещество сохранилось только в обрамлении Солнечной системы, где оно образует самое удаленное облако Оорта, пояса Хиллса и Койпера, порождающие кометы. Кометы состоят в основном из водного льда с вмороженной в него железо-силикатной пылью и содержат множество углеродных соединений.

Околосолнечные планеты-гиганты (материнские для Земли и планет ее группы, Юпитер и Сатурн) аналогичны Солнцу по их водородному составу, а самые внешние (Уран и Нептун) сходны по их водному составу с кометами в окружении Солнечной системы. Ледяное состояние существенно водородных планетезималей, формировавшихся как Солнечную массу, так и околосолнечные планеты-гиганты, характеризуется диаграммой состояния водорода (рис. 1) в сопоставлении с состоянием водородной оболочки Юпитера, которая благодаря гравитационному сжатию приобрела громадную температуру, хотя и недостаточную для развития термоядерных реакций. В Юпитере и околосолнечных материнских планетах-гигантах (материнских для планет земной группы) развивалась жидкостная несмешиваемость, ведущая к разделению вещества планет на железо-силикатные (хондритовые) ядра и гигантские флюидные оболочки. Благодаря быстрому вращению от планет-гигантов отделялись расплавные массы спутников и сосредотачивались в их экваториальных плоскостях. Соотношением гравитационных и центробежных сил определялось распределение компонентов между хондритовыми ядрами и ахондритовыми спутниками. Железо концентрировалось больше в хондритовых ядрах, в которых на следующей ступени эволюции планет-гигантов выделялись флюидные жидкие железные субъядра, генерировавшие сильные магнитные поля планет-гигантов. В спутники же отходило значительно меньше железа, которое тем не менее формировало в массивных спутниках небольшие жидкие ядра, генерировавшие их собственные магнитные поля, сохранявшиеся до их полной консолидации. Поэтому наличие магнитных полей у спутников свидетельствует о флюидном (водородом) составе их жидких ядер и коррелирует с их эндогенной активностью. Это прослеживается у спутников Юпитера — Ио, Европы, Ганимеда, тогда как более удаленный его спутник Каллисто утратил эндогенную активность и магнитное поле вследствие полной консолидации. Луна (древнейший аналог Ио) утратила вулканическую активность около 3,2 млрд. лет назад вместе с потерей магнитного поля, бывшее наличие которого устанавливается по остаточной намагниченности лунных пород. Спутники несопоставимо малы по сравнению с их материнскими планетами, и при-

обрести стремительное орбитальное движение они могли исключительно благодаря быстрому вращению гигантских планет, от которых они отделялись.

С переходом от периферийных планет (Нептуна, Урана), сходных по составу с кометным окружением Солнечной системы, к планетам ее внутренней области происходило увеличение размеров планет, а состав их сближался с составом Солнца в результате приобретения ледяными планетезималиями преимущественно водородного состава (рис. 1) вследствие падения температуры к центру протосолнечного диска. На примере Юпитера на диаграмме наглядно показано громадное увеличение температуры в результате гравитационного сжатия при образовании планет-гигантов, что создавало их тепловое излучение и придавало им внешнее сходство со звездами («блуждающие звезды»). Аналогичным образом из ледяного водородного вещества формировалось и Солнце, которое в отличие от планет-гигантов благодаря огромной массе достигло звездного состояния и активно воздействовало на свое окружение, вызывая прежде всего миграцию в космическое пространство плотного вещества протосолнечного диска, определившего быстрое взаимосогласованное движение гигантских планет, несопостави-

мое с медленным вращением самого Солнца. С диссипацией диска под воздействием солнечного ветра как само Солнце, так и окружающие его планеты-гиганты и кометное окружение оказались в вакууме космического пространства.

Аналогия строения Солнечной системы на этой стадии развития усматривается в современном строении множества обнаруженных астрономами [44, 55, 63] звездно-планетных систем, аналогичных Солнечной, звезды которых непосредственно окружены околосолнечными планетами-гигантами и коричневыми карликами (рис. 2). В настоящее время они находятся в вакууме космического пространства, но само окружение звезд динамичными планетными системами является свидетельством огромных плотных небулярных дисков, окружавших звезды в прошлом. С приближением к звездам в них прослеживается указанное стрелкой на рис. 2 первичное увеличение массивности планет-гигантов, сменяющихся около звезд коричневыми карликами, так и отображенное коннодами уменьшение массивности гигантских планет, происходящее в результате их поверхностной дегазации под влиянием звездного ветра. Этим отображается прогрессивное (в ходе формирования) и регрессивное развитие планетных систем. Прогрессивное развитие планетных систем завершается образованием центральных звезд (Солнца), после чего начинается противоположное регрессивное разрушение планет-гигантов (поверхностная дегазация) при воздействии на них звездного (солнечного) ветра.

Расчетная продолжительность жизни Солнца близка к 10 млрд. лет, причем половину этого срока Солнце активно воздействовало на его стремительное окружение, вызвав не только диссипацию небулярной матрицы кометных и планетных тел, но и поверхностную дегазацию околосолнечных планет-гигантов. В настоящее время во внутренней зоне первозданное состояние сохранил только Сатурн — самая легкая планета Солнечной системы, тогда как планеты-гиганты, расположенные ближе к Солнцу, претерпели регрессивные изменения. В звездных аналогах Солнечной системы астрономическими наблюдениями [45, 63] непосредственно прослеживается дегазация планет-гигантов, сопровождающаяся потерей ими массы в результате поверхностной миграции водорода, как показано на примере околосолнечной планеты HD209458b на рис. 3 и 4. По соотношениям, показанным на этих рисунках, можно полагать, что при полной потере гигантской флюидной оболочки плотное ядро этой планеты-гиганта превратится в самостоятельную железо-каменную планету, находящуюся относительно своей материнской звезды (HD 209458) в позиции, сходной с позицией Меркурия относительно Солнца в Солнечной системе. Околосолнечные планеты-гиган-

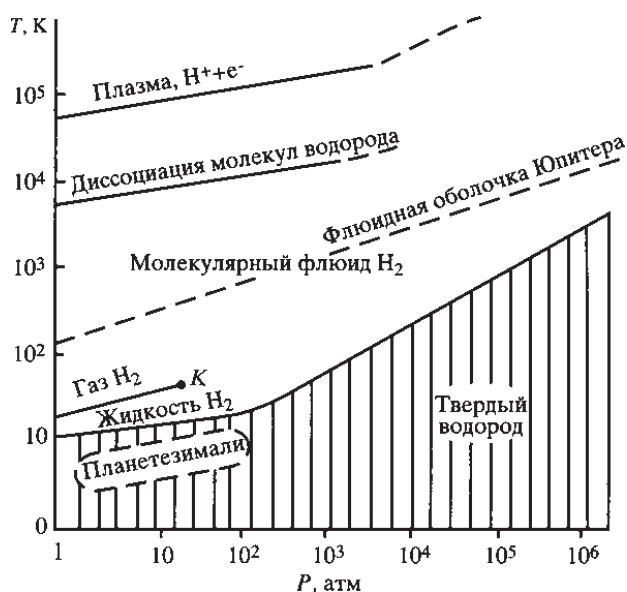
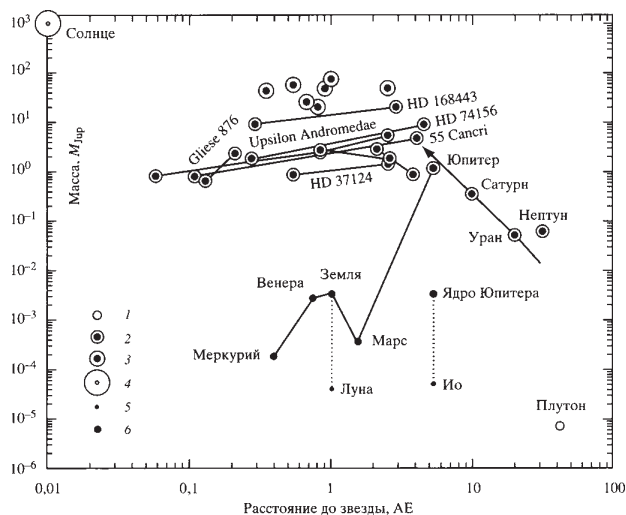


Рис. 1. Диаграмма P–T состояния водорода (K — критическая точка). Оконтурина область формирования ледяных водородных планетезималей, в результате аккреции которых аккумулировались массы Солнца и околосолнечных планет (Сатурн, Юпитер, протопланеты Земной группы), и показано современное состояние гигантской флюидной оболочки Юпитера

Fig. 1. Diagram of a P–T hydrogen condition (K — a critical point). Delineated area of ice hydrogen planetesimals formation, as a result accretion of which the mass of Sun and circumsolar planets were accumulated (Saturn, Jupiter, protoplanets of Terrestrial group), also the modern condition of a huge fluid shell of the Jupiter is shown



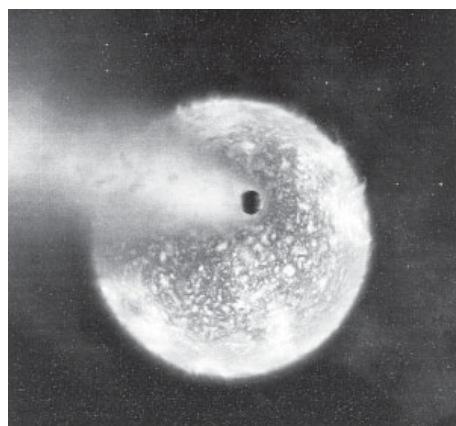


**Рис. 2.** Солнечная и аналогичные звездно-планетные системы: 1 — ледяные планетезимали, 2 — планеты-гиганты, 3 — коричневые карлики, 4 — звезды, увеличение массивности планет-гигантов обозначено стрелкой, 5 — спутники, 6 — планеты Земной группы, сопоставимые с железо-силикатным ядром Юпитера

**Fig. 2.** Solar and similar star-planetary systems: 1 — ice planetesimals, 2 — planets-giants, 3 — brown dwarfs, 4 — stars, the increase in massiveness of planets-giants is designated by an arrow, 5 — satellites, 6 — the planets of Terrestrial group comparable with iron-silicate Jupiter core

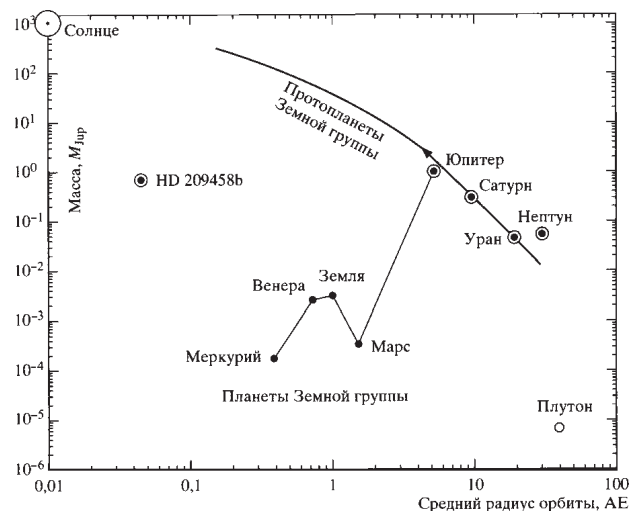
ты в ней в их регрессивном развитии полностью потеряли флюидные оболочки, а их плотные ядра превратились в самостоятельные железо-каменные планеты земной группы.

Их аналоги в последние годы стали также выявляться в окружениях небольших звезд [48]. На основе этих открытий возникает надежда на нахождение среди них аналогов Земли, причем не только по размеру, но и по орбитальной позиции относительно звезды, обеспечивающей наличие у нее гидросферы, необходимой для зарождения и развития жизни.



**Рис. 4.** Гигантская флюидная планета HD 209458b на фоне звезды HD 209458, двигаясь по орбите, оставляет за собой водородный хвост

**Fig. 4.** Huge fluid planet HD 209458b on a background of star HD 209458, moving on an orbit, reserves a hydrogen tail



**Рис. 3.** Модель образования планет Земной группы в результате потери гелий-водородных оболочек их материнскими гигантскими протопланетами под влиянием Солнца. Для сравнения показано положение планеты-гиганта HD 209458b, в настоящее время теряющей водородную оболочку под воздействием звезды HD 209458

**Fig. 3.** Model of planets of Terrestrial group formation, as a result of loss helium-hydrogen envelopes of their parent huge protoplanets under influence of the Sun. For comparison the position of planet-giant HD 209458b, now losing a hydrogen envelope under influence of star HD 209458 is shown

Важнейшей характеристикой планет земной группы является продолжительность их эндогенной активности, которая определяется историей их протопланетного развития в недрах материнских планет-гигантов. Земля в этом отношении — уникальная планета, полностью расслоившаяся под огромным давлением флюидной оболочки ее материнской планеты-гиганта (Протоземли), в результате чего в ее расплавленном никель-железном ядре сосредоточился огромный запас водорода и других флюидных компонентов, определяющий ее эндогенное развитие на протяжении уже 4,6 млрд. лет [17, 53]. В отличие от нее все другие планеты земной группы расслаивались на переходе от протопланетной к планетной стадии развития, что определило более ограниченный запас флюидных компонентов в их ядрах и соответственно более короткую эндогенную активность (около 2–3 млрд. лет). Последняя утрачивалась при консолидации планет, сопровождавшейся потерей ими собственных магнитных полей.

Еще короче было активное развитие массивных спутниковых планет, которые отделялись от их материнских планет-гигантов в виде флюидно-силикатных (ахондритовых) масс, расслаивались и консолидировались уже в вакууме космического пространства. Соответственно в их небольших жидких никель-железных ядрах сосредоточивался более ограниченный флюидный запас, определявший короткий период их вулканической активности, не превышавший 1,4 млрд. лет (интервал 4,6–3,2 млрд. лет на Луне).



Указанный механизм отделения спутников от гигантских оболочек быстро вращающихся планет-гигантов доказывается астрономическими наблюдениями. Ближайший к Юпитеру вулканически активный спутник Ио обращается вокруг него на расстоянии 422 км совместно с огромным вытянутым облаком водорода и горячей плазмы [11]. Они сопровождали выброс этой спутниковой планеты из раскаленной оболочки Юпитера и еще не успели рассеяться.

Активное воздействие Солнца на окружающие его гигантские планеты проявляется в ускорении их вращения и связанной с ним эволюции, что наглядно проявляется снижением по мере удаления от него возраста спутниковых систем. Самым же грандиозным результатом этого воздействия была полная потеря около-солнечными планетами-гигантами флюидных оболочек, обусловившая появление на свет планет земной группы и хондритовых планет, подвергавшихся затем взрывному распаду с образованием пояса астероидов. Это служит прямым свидетельством несравнимо более высокого энергетического уровня молодого Солнца по сравнению с его современным состоянием.

Таким образом, первичное расслоение Земли, создавшее огромный запас водорода в ее жидком никель-железном ядре, обусловлен ее происхождением и ранним развитием в недрах материнской планеты-гиганта (Протоземли), сходной с Юпитером, под громадным давлением ее водородной оболочки. С ее потерей под воздействием молодого Солнца Земля, как и другие расслоившиеся планеты ее группы (Меркурий, Венера, Марс), приобрела напряженное (активное) состояние и стала развиваться под воздействием водородных струй, исходящих из ее ядра. Планеты же не успевшие расслоиться (на орбитах между Марсом и Юпитером) с потерей их гигантских водородных оболочек подверглись взрывному распаду и их обломки образовали пояс астероидов — источник гелеоцентрических метеоритов (в основном хондритов). Они характеризуют вещество железо-каменных планет до их расслоения на железное ядро и силикатные оболочки, определяя так называемую хондритовую модель происхождения Земли и планет ее группы. В хондритах только намечилось железо-силикатное расщепление разделением их вещества на силикатные капельки (хондры) и богатую железом матрицу, в которой содержатся мельчайшие зародыши алмаза. В работе [54] они рассмотрены в общей системе образования минералов высокого давления в метеоритах.

Алмазные зерна в хондритах переполнены включениями водорода настолько, что его объемная плотность снижается до  $2,2 \text{ г/см}^3$  (при плотности самого алмаза до  $3,5 \text{ г/см}^3$ ). Это являет-

ся надежным подтверждением зарождения первичных (хондритовых) железо-каменных планет в недрах их материнских планет-гигантов, сходных с Юпитером. В 1996 г. американский космический аппарат Galileo space probe проник в водородную оболочку Юпитера, в результате чего было установлено ксеноновое отношение в ней ( $^{136}\text{Xe}/^{134}\text{Xe}$ ), равное 1,04, равное атому отношения в алмазе углистых хондритов, что находится в контрасте с более низким ксеноновым отношением в солнечном ветре (0,80). Это служит еще одним подтверждением происхождения первично хондритовых планет земной группы в недрах их сходных с Юпитером материнских планет-гигантов, под огромным давлением водородных оболочек которых происходило и их железо-силикатное расслоение, сопровождаемое высокой концентрацией водорода в их жидких никель-железных ядрах. В Земле эта концентрация была значительно более высокой, чем в планетах ее группы. В ряду этих планет Земля отличается особой продолжительностью эндогенной активности, которую другие планеты ее группы давно утратили вследствие их полной консолидации одновременно с потерей магнитных полей, порождаемых расплавленными ядрами планет. Магнитное поле Земли отражает ее эндогенную активность. Эндогенная активность проявляется импульсивно с характерной геодинамической последовательностью развития каждого импульса, который начинается с режима растяжения земной коры и мантии и заканчивается режимом их сжатия. Е. Е. Милановским была прослежена связь этой последовательности с соответствующим замедлением и ускорением учащением инверсии магнитного поля Земли, генерируемого ее расплавленным ядром. В фазы замедления инверсии «происходил рост мантийных плюмажей, служивших главными каналами подъема глубинного тепла» [25].

Понимание вовлеченности ядра в процессы, происходящие в земной коре, изменяют представления о тектоносфере: «тектоносферой следует считать всю область Земли от коры до ядра, находящегося на глубине 2900 км» [29].

Импульсивная дегазация земного ядра определяет тектоническое и магматическое развитие земной коры и мантии и существенно влияет на осадочный процесс в аспекте его геохимической и металлогенической специализации. На протяжении всей истории развития концентрация водорода в жидком земном ядре неуклонно возрастала вследствие кристаллизации в нем центрального никель-железного твердого субъядра, в состав которого свободный водород практически не входит, как и в консолидированные силикатные оболочки Земли. Такая кристаллизационная дифференциация ядра, сопровождавшаяся накоплением водорода в жидком

земном ядре, усиливала его воздействие на консолидированную мантию, которое прерывалось импульсами дегазации ядра. Эта последовательность ритмично повторялась на протяжении геологической истории, создавая чередование режимов растяжения и сжатия земной коры и мантии. Растяжение соответствует импульсам усиления дегазации ядра, способствуя в то же время селективной миграции водорода из восходящих флюидных потоков и образованию кислотных флюидов, создающих депрессии земной коры путем ее выщелачивания. Режим сжатия наоборот затрудняет селективную миграцию водорода из флюидов, повышает флюидное давление и ведет к развитию в коровых депрессиях всевозможных дислокаций, в том числе взрывного характера. Соответственно ритмика тектоно-магматической активности Земли создается потоками водородных флюидов, периодически исходящих из ее жидкого (расплавленного) ядра (Маракушев, 1988 г.) на всем протяжении геологической истории. Особый аспект активности Земли обусловлен поступлением водорода на поверхность и в стратосферу.

#### Катастрофические следствия поступления эндогенного водорода на поверхность Земли и в ее стратосферу

К числу важных особенностей водородной дегазации относится ее направленность на южное полушарие Земли в большей мере, чем на северное. Это было наглядно показано В. Л. Сывороткиным, составивший схему интенсивности водородной дегазации Земли (рис. 5). По этой схеме глобальная система срединно-океанических хребтов рифтогенной природы служит главным направлением водородной дегазации земли, существенно усиливающейся в южном направлении. В окружении Антарктиды сформировались рифтовые структуры максимального проявления дегазации земли, создающие громадные поступления в стратосферу водорода, разрушающего озоновый слой (с образованием так называемой озоновой дыры) [32, 34]. Вместо него возникают стратосферные облака, состоящие из кристалликов водяного льда ( $3\text{H}_2 + \text{O}_3 = 3\text{H}_2\text{O}$ ) с замороженными в них азотными ( $\text{HNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) и хлорными ( $\text{ClO}$ ) соединениями. Доказательством участия хлора служит установление в антарктической озоновой дыре высокого содержания

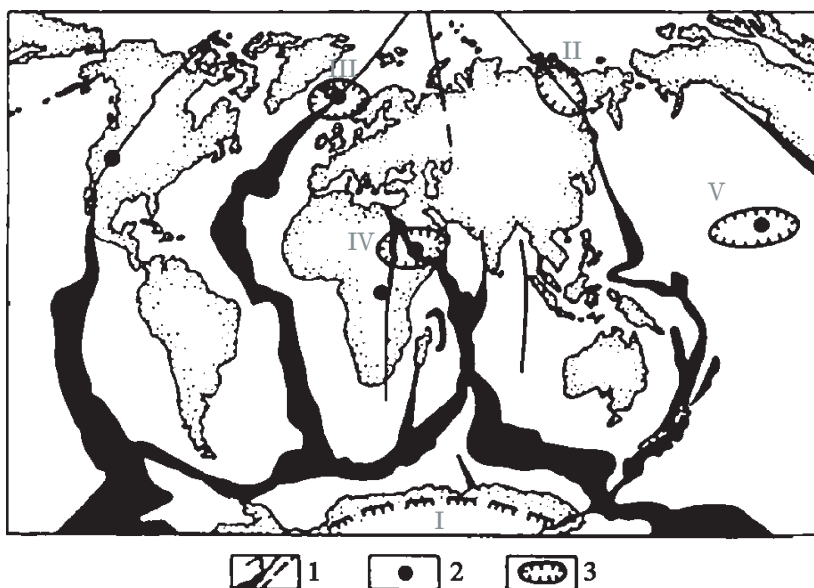


Рис. 5. Структуры интенсивной дегазации Земли в сопоставлении с областями стабильного разрушения ее озонового слоя [32]: 1 — мировая система рифтовых структур, интенсивность дегазации вдоль которых отражена толщиной линий; 2 — центры дегазации Земли с соотношением содержаний изотопов гелия  $^3\text{He}/^4\text{He}$  выше  $10^{-5}$ ; 3 — области разрушения озонового слоя Земли (озоновые дыры): I — Антарктическая, II — Индигирская, III — Исландская, IV — Красноморская, V — Гавайская

Fig. 5. Structures of intense degassing of the Earth compared with the areas of stable destruction of ozone layer [32]: 1 — world system of rift structures, intensity of degassing is indicated by line thickness; 2 — degassing centers of the Earth with  $^3\text{He}/^4\text{He} > 10^{-5}$ ; 3 — areas of ozone layer destruction (ozone hole): I — Antarctic, II — Indigirka, III — Iceland, IV — Red Sea, V — Hawaii

оксида хлора, в сотни раз превышающего норму [37]. Облака, изученные на Южном и Северном полюсах, получили название полярных стратосферных облаков, они обладают высокой отражательной способностью, благодаря которой светятся, переливаясь, как морские раковины, поэтому их называют еще перламутровыми. «Стратосферные облака отвечают за истощение озона в арктической стратосфере, в антарктической же стратосфере они прямо способствуют созданию озоновой дыры» [37, С. 34].

Благодаря высокой отражательной способности перламутровые облака эффективно изолируют Землю от Солнца, и как было показано в работе [16], в импульсы интенсивной водородной дегазации Земли они получали глобальное распространение и служили причиной распространения на ней ледниковых периодов. Ледниковые периоды сопровождали эволюцию Земли с древнейших времен, нередко охватывая оба полушария Земли. Они фиксируются по тиллитам, вариациям изотопного состава элементов осадочных пород, распространению фауны и флоры, фиксирующему биотические катастрофы, неизменно следующие за каждым ледниковым периодом. Эта последовательность объясняется тем, что каждый импульс водородной дегазации Земли, порождавший глобальное распрост-



ранение перламутровых облаков и связанное с этим похолодание, сопровождался разрушением озонового слоя, защищавшего все живое на Земле от губительного излучения Солнца. После рассеяния перламутровых облаков (глобальных или региональных) и восстановления нормальной климатической обстановки оставалась разрушенность озонового слоя, как бы «в наследство» от ледникового периода. Требовалось определенное время для его восстановления, на протяжении которого на Земле гибло все живое под воздействием коротковолнового солнечного излучения. Этим и объясняется закономерность развития на Земле биотических катастроф, неизменно следующих за ледниковыми периодами.

Из числа катастроф близкого нам времени отметим начало голоцена, около 10 тыс. лет назад, когда завершилось вюрмское оледенение. С этим периодом связано вымирание на Земле мамонтов. Для объяснения их вымирания высказывались невероятные предположения, например, «снижение экстремальности климата, его потепление, обрекло мамонтов на исчезновение с лица Земли» [41, С. 77]. По нашему мнению улучшение климата не могло служить причиной вымирания этих животных. Они погибли под губительными лучами Солнца вследствие разрушенности озоновой защиты Земли, не успевшей восстановиться после вюрмского оледенения.

Внезапные вымирания одних животных и растений, уступающих место большому разнообразию других, стали выявляться в геологической истории с верхнего протерозоя, в осадочных породах которого появилось достаточное для обобщений количество ископаемой фауны и флоры. Протерозойская эпоха завершалась катастрофическими оледенениями, которых в интервале 850–600 млн. лет было по крайней мере четыре. Варангерская ледниковая эпоха (600 млн. лет назад) была одной из наиболее суровых в истории Земли. Ее окончание устанавливается на основе изучения эдиакарской фауны, найденной в Эдиакаре на юге Австралии, а затем и во многих других местах. Эти первые мягкотелые животные исчезли на границе протерозоя и палеозоя около 570 млн. лет назад так же внезапно, как и появились, уступив место великому разнообразию животных (ракушек, археоциат, трилобитов и др.), свойственных кембрию (500–570 млн. лет).

Законы эволюции животного мира были открыты Ч. Дарвином (1859 г.), проследившим в нем таксономическую иерархию, согласно которой типы животных представляют собой таксоны (подразделения), определяемые особыми планами строения своих предшественников. Катастрофические периоды характеризуются нарушением эволюционной последовательности. С этой точки зрения на протерозойско-палеозойской границе четко устанавливается биотичес-

кая катастрофа, определяемая несоответствием иерархических систем животного мира. Эдиакарская фауна представляет собой эволюционный тупик: ее трудно связать с кембрийскими ископаемыми [12]. За внезапной гибелью эдиакарской фауны последовало появление множества различных животных, определившее уникальность кембрийского периода по масштабам и разнообразию эволюционной биологической продуктивности. Биотическая катастрофа на границе протерозоя и палеозоя синхронизируется с описанными в Китае глинистыми отложениями, богатыми иридием (до 2,6 мг/г), медью и халькофильными металлами.

Трансформация животного мира на границе протерозоя и палеозоя относится к наиболее крупным биотическим катастрофам Земли, свойственным также границам палеозоя и мезозоя (230 млн. лет), мезозоя и кайнозоя (65 млн. лет). На границе между палеозоем и мезозоем, в конце пермского периода (около 230 млн. лет назад), исчезло 96 % всех морских видов [12].

Катастрофический пермо-триасовый рубеж коррелируется с аномальным стратиграфическим горизонтом, описанным в Италии (Сан-Антонио), в котором повышение содержания иридия в прослоях глин сопровождается концентрациями Cr, Ni, Co, Sc, Ti и в ряде случаев — меди и халькофильных металлов [26].

На границе триаса и юры массовое вымирание животных сопряжено с образованием глинистых осадков, обогащенных иридием, фосфором и редкоземельными элементами. Здесь же совместно с иридием и редкими землями прослеживается накопление V, Cr, Ti, Ni, Zn, As и в меньшей мере — K, Rb, Co, Cu

Геохимическая специфика ледниковых периодов и сопряженных с ним массовых вымираний животных и растений служит прямым доказательством их эндогенной природы, обусловленности водородными флюидами, поступающими из глубины. К этой системе доказательств относится и связь их с магматизмом, что рассмотрим на примере мел-палеогеновой катастрофы, которая поразила исследователей глобальным вымиранием динозавров и аммонитов, иридиевыми и другими геохимическими аномалиями, широко-масштабным распространением черносланцевых формаций. Она наглядно коррелируется по возрасту с необычайно широким развитием на Земле базальтовых покровов.

Интересны в этом отношении данные изучения грандиозных платформенных базальтовых излияний (траппов) Декана в Индии, отвечающих возрастному интервалу 68–64 млн. лет. В осадках, переслаивающихся с базальтовыми лавами в основании траппов, содержатся зубы и скорлупа яиц динозавров, а в верхней части трапповой формации остатков этих животных уже нет. Их гибель произошла около 65 млн.

лет назад. На этом рубеже геологической истории внезапно вымерло около 70 % всех видов животных, в том числе динозавры и аммониты, исчезло 90 % простейших организмов и водорослей. Так катастрофически закончилась мезозойская эра, в которой господствовали рептилии, внезапно уступившие место млекопитающим, получившим преобладание в кайнозое.

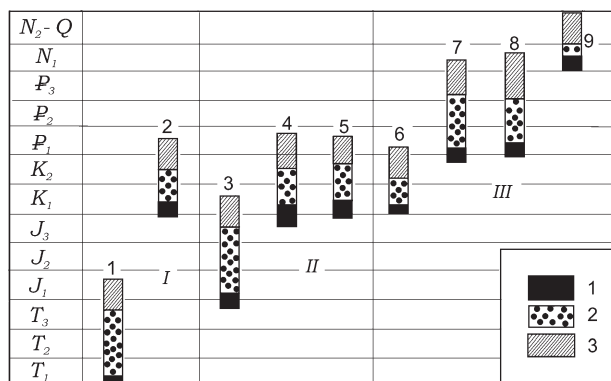
Трапповые формации играют роль своеобразных индикаторов геодинамического режима водородной дегазации жидкого земного ядра, флюидное давление в котором непрерывно возрастает в результате кристаллизации твердого субъядра, в состав которого водород и другие летучие компоненты практически не входят. Возрастание флюидного давления в жидком ядре создает напряженность в коре и мантии Земли, которая разрешается развитием в них рифтовых структур растяжения, способствующих дегазации ядра и миграции водорода из восходящих из него флюидов благоприятствующих базальтовому магматизму. Импульсы растяжения сменяются сжатием коры и мантии, препятствующим селективной миграции водорода из восходящих флюидных потоков, что создает их углеводородную специализацию и развитие в магматизме трапповых формаций щелочного уклона.

#### Импульсы водород-углеродной эволюции Земли

Генерация углеводородов закономерно вписывается в общие процессы петрогенезиса и прослеживается на всем протяжении геологической истории от глубокого архея. Древнейшие из известных базальтов на Земле, входящие в комплекс архейских пород Юго-Западной Гренландии, имеют возраст 3,8 млрд. лет, и содержат метановые миндалины [62]. Древнейшее из датированных месторождений нефти имеет возраст 1,4 млрд. лет, а самое молодое из известных — всего 4240 лет [30]. Отмечаются случаи частичной компенсации залежей нефти, истощаемой при эксплуатации за счет эндогенного ее притока, а также современный привнос углеводородов в кимберлитовые трубки и многие другие структуры, связанные с глубинами Земли [40].

Нефтеобразование в геологической истории характеризуется его неравномерностью с максимумами интенсивности [8]. Наибольший максимум приходится на меловое время. В России к меловому периоду относится 71,2 % запасов углеводородного сырья [27]. Характерно, что эта эпоха коррелируется с максимальным замедлением инверсии мантийного поля Земли, отвечающим эпохе его наиболее интенсивной дегазации.

Такая последовательность наглядно представлена типичными разрезами траппов континентального обрамления Атлантического океана., коррелирующихся по возрасту с осадочными породами его центральной (самой древней),



**Рис. 6.** Возраст и геологическое строение трапповых формаций в континентальном обрамлении центральной (I), южной (II) и северной (III) Атлантического океана [13]: 1 — толеитовые базальты; 2 — осадочные и прорывающие их интрузивные породы; 3 — щелочные породы. Трапповые формации: 1 — Аппалачская, 2 — Зеленого мыса, 3 — Кару, 4 — Паранская, 5 — Каоковельд, 6 — Лабрадорская, 7 — Гренландская, 8 — Брито-Арктическая, 9 — Исландская

**Fig. 6.** Age and a geological structure of trap formations in a continental frame central (I), southern (II) and northern (III) Atlantic ocean [13]: 1 — toleitic basalts; 2 — sedimentary and breaking through them intrusive rocks; 3 — alkaline rocks. Trap formations: 1 — Appalachia, 2 — cape Verde, 3 — the Penalty, 4 — Paranskes, 5 — Koakoveld, 6 — Labrador, 7 — Greenland, 8 — Brito-Arctic, 9 — Icelandic

южной и северной (самой молодой), (рис. 6). Развитие этой океанической структуры охватывает огромный диапазон геологического времени (от триаса до неогена). Строение трапповых формаций на всем его протяжении оставалось неизменным. Их развитие начиналось с режима растяжения коры и образования обширных депрессии, обусловленных деструкцией гранитного слоя земной коры, подвергающегося флюидному выщелачиванию.

Эволюция флюидного режима в ходе развития трапповых формаций обусловлена преобразованиями водородных флюидов, исходящих из земного ядра. Первоначально они имеют водородный состав, тогда как кислородные компоненты в них играют второстепенную роль. Однако растяжение силикатных оболочек Земли с увеличением их флюидной проницаемости способствует селективной миграции из них водорода, как наиболее подвижного компонента, поступающего на поверхность Земли и уходящего в стратосферу, формируя в ней перламутровые облака, способствующие развитию ледниковых периодов. Этим можно объяснить потерю водородом лидирующего положения в глубинных флюидах, так что диспропорционирование их компонентов приводит к образованию углекислых водных растворов (первая стадия — I):  $H_2 + 2CO = H_2O + 0,5CO_2 + 1,5C$ , повсеместно распространенных во флюидных включениях минералов всех изверженных пород низкой и нормальной щелочности. Наличие во флюидах ок-



сидов азота, галогенов и других компонентов способствует образованию не только угольной, но и других более сильных кислот, повышает агрессивность флюидов по отношению к породам гранитного слоя континентальной коры, что является главным фактором образования в ней депрессий, заполняемых осадочными и вулканогенными отложениями [18]. В результате за этапом базальтовых излияний, сопровождавшихся водно-углекислыми флюидами, следовал этап длительного прекращения вулканизма и формирования осадочных толщ, во время которого, однако же продолжалась магматическая деятельность в мантийных очагах, при этом щелочность магм постепенно возрастала. Прекращение вулканизма отражает развитие обстановки сжатия земной коры (I → II) с нарастанием в них флюидного давления и температуры. Состав магм при этом изменялся под воздействием фильтрующихся через них флюидов, недосыщенных кремнеземом, привносящих в магмы щелочные металлы, фосфор, уран, торий, редкие земли и другие компоненты, создававшие специфику щелочного магматизма.

Дислокации пород отражают режим сжатия, препятствующему миграции из флюидов водорода, что способствует генерации в них углеводородов (вторая стадия — II):  $3\text{H}_2 + \text{CO} = \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4$ ,  $5\text{H}_2 + 2\text{CO} = 2\text{H}_2\text{O} + \text{C}_2\text{H}_6$  и др.). Под воздействием водорода происходит разложение кислотных компонентов флюидов ( $4\text{H}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3 = 3\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4$ ), чем и определяет развитие щелочного магматизма.

Образование молекулярно тяжелых углеводородов происходит в результате эндотермических реакций дегидратации и окисления ( $3\text{C}_2\text{H}_6 + 0,5\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} + 2\text{C}_3\text{H}_8$  [23]. В наиболее восстановительных условиях происходит образование метана в ювенильных водородных флюидах, содержащих CO, изотопный состав углерода которого соответствует таковому для метана ( $\delta^{13}\text{C} \approx -50\text{‰}$ ). Окисление CO до  $\text{CO}_2$  приводит к изменению процесса генерации углеводородов, при этом метан вытесняется этаном, с соответствующим  $\text{CO}_2$  изотопным составом углерода ( $\delta^{13}\text{C} \approx -20\text{‰}$ ):  $7\text{H}_2 + 2\text{CO}_2 = \text{C}_2\text{H}_6 + 4\text{H}_2\text{O}$  ( $3,5\text{H}_2 + \text{CO}_2 = \text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$ ). Дальнейшее повышение окислительного потенциала сопровождается последовательным дегидрированием углеводородов в результате окислительных реакций генерации воды:  $4\text{CH}_3 + \text{O}_2 = 4\text{CH}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  и т. д.

Таким образом, в породах низкой и нормальной щелочности включения имеют водно-углекислый состав, а с увеличением щелочности во флюидах неизменно появляются углеводородные компоненты. Например, в Ловозерском щелочном массиве на Кольском полуострове во включениях в минералах содержатся углеводороды:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ,  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ , на-

ходящиеся в них совместно с водородом, гелием и аргоном [57].

Эта эволюция (I → II) прослеживается по составу флюидных включений в минералах магматических пород трапповых формаций —  $(\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2) \rightarrow (\text{H}_2\text{O} - \text{CH}_4)$ , отражающая повышение роли углеводородов в составе включений при нарастании щелочности пород. Аналогичные тенденции прослеживаются и в интрузивных породах трапповых депрессий, представляющих звено связи поверхностных проявлений водородной дегазации земного ядра, имеющих экологические следствия, с глубинным развитием магматизма и генерации углеводородов, ведущей к формированию нефтяных и газовых месторождений.

Углеводородная генерация и различные степени разложения углеводородов происходят в широком диапазоне окислительно-восстановительных условий, как подкоровых, в которых генерируется в основном метан и этан, так и коровых, где образуются молекулярно более тяжелые углеводороды — производные этана, соответствующие ему по изотопному составу углерода. Это соответствие наглядно отражено на диаграмме (рис. 7), на которой данные по углеводородам заведомо эндогенного происхождения

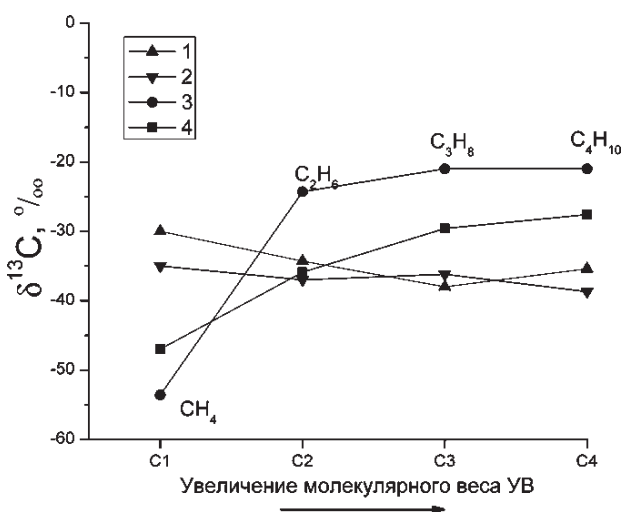


Рис. 7. Диаграмма изотопного состава n-алканов относительно их углеродных чисел ( $\text{C}_{1-4}$ ): 1 — метеориты (хондрит Мurchison); 2 — сульфидное месторождение Kidd Creek в древнем (2,7 млрд. лет) зеленокаменном поясе Абитиби в Канаде (газы из пород, полученных бурением с глубины 2,1 км состоящие из водорода, гелия, метана, этана, пропана, бутана); 3 — углеводороды гидротерм хребта Хуан де Фука; 4 — осадочные породы. Диаграмма построена по данным из работ 1, 2 — [60], 3 — [47], 4 — [5]

Fig. 7. The diagram of isotope composition of n-alkanes concerning their carbon numbers ( $\text{C}_{1-4}$ ): 1 — meteorites (chondrite Murchison); 2 — sulphidic deposit Kidd Creek in ancient (2,7 billion years) greenstone belt Abitibi in Canada (gases from the rocks received by drilling from depth of 2,1 km. Consisting of hydrogen, helium, methane, ethane, propane, butane), 3 — hydrocarbons in hydrothermal fluids from Juan de Fuca Ridge, 4 — sedimentary rocks. The diagram is constructed according to of works 1, 2 — [60], 3 — [47], 4 — [5]

в метеоритах (хондрит Murchison) и в полях колчеданных месторождений, как древнейших (архейская формация Абитибии в Канаде), так и современных (океанические хребты), сопоставляются с данными по углеводородам в осадочных породах. В пределах гидротермального поля Рейнбоу Срединно-Атлантического хребта, тяжелые насыщенные углеводороды  $C_{16}H_{34}$ – $C_{29}H_{60}$  ( $CH_{2,125}$ – $CH_{2,069}$ ) описаны в работах [49, 46]. В гидротермальном поле хребта Хуан де Фука на северо-востоке Тихого океана, по данным [47], углеводороды в парагенезисе с метаном представлены газообразными алканами: этаном ( $C_2H_6$ ), пропаном ( $C_3H_8$ ), бутаном ( $C_4H_{10}$ ), и алкенами: этиленом ( $C_2H_4$ ), пропиленом ( $C_3H_6$ ), а также бензолом ( $C_6H_6$ ) и толуолом ( $C_7H_8$ ). По изотопным характеристикам ( $\delta^{13}C$ , ‰), приводимым в цитируемой работе, можно судить о резком отличии этих углеводородов по значительнее более тяжелому углероду ( $\delta^{13}C$ , ‰ колеблются от –20,0 до –25,3) от метана (–50,8 до –54,3).

Эндогенные углеводороды по изотопному составу углерода коррелируются не с метаном, а с этаном ( $C_2 = C_n$ ) (рис. 7), поэтому этан и следует рассматривать в качестве их предшественника. Инертность метана в углеводородных проявлениях объясняется более прочными связями углерода с водородом (энергия связи  $425,0 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ ), чем в других углеводородах, благодаря чему он ведет себя в природных процессах подобно молекулярному водороду (энергия связи  $431,9 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ ). На диаграмме (рис. 7) видно, что этан и его молекулярно более тяжелые производные отличаются от углеводородов осадочных пород, углерод которых монотонно утяжеляется с увеличением молекулярного веса ( $C_1 < C_n$ ). По этому утяжелению углеводороды осадочных пород отличаются от эндогенных углеводородов с довольно постоянным изотопным составом углерода в пределах ( $C_2 = C_n$ ). По изотопной вариации углерода углеводороды осадочных пород аналогичны так называемым термогенным углеводородам [60], возникающим при повышении температуры в условиях термических аномалий за счет погребенной биомассы (растений и микроорганизмов), содержащейся в осадочных породах. Сочетанием этих типов углеводородов различающихся по изотопной вариации, определяется гетерогенность углеводородных залежей в осадочных толщах. В работе [61] различие термогенных и эндогенных углеводородов объясняется образованием их соответственно в закрытых и открытых термодинамических системах. В работе [60] на основе данных по изотопам углерода ( $C_1$ – $C_4$ ) предполагается термогенная природа углеводородов газовых полей юго-западного Онтарио, но допускается смешение их с эндогенным углеводородом. При этом делается вывод о второстепенной роли эндогенных углеводородов в формировании

углеводородных залежей в толще осадочных пород. Противоположное мнение высказано в работе [58]: «нефть образуется главным образом в результате абиогенных процессов».

Тренды изотопной вариации разных типов углеводородов в работе [60] используются в качестве основы генетической классификации нефтяных и газовых залежей. Однако термогенный тренд изотопного состава углерода может возникать и в эндогенной нефти при замещении ею осадочных пород, богатых микроорганизмами.

Весомыми аргументами в пользу эндогенного происхождения нефти служат обильные поступления углеводородов на океаническое дно вдоль глобальной системы рифтовых зон мирового океана, причем вне какой-либо связи с осадочными отложениями. Показательно также нахождение нефтяных проявлений в кимберлитовых алмазоносных трубках.

Геохимическая специфика газгидратов, нефти и газа, усиливающаяся в твердых битумах [22], относится к прямым свидетельствам их эндогенной природы. Особенно показательна в этом отношении обогащенность их ртутью, приобретающая металлогеническое значение [28]. Ртуть среди множества токсичных веществ занимает одно из первых мест.

К признакам эндогенной природы нефти относится ее металлоносность, иногда приобретающая практическое значение. Особенно продуктивны в этом отношении нефти ванадиевого типа: «в США 2/3 производства ванадия связано с его получением из нефти» [1, С. 87]. В процессах дегазации нефти образуются твердые битумы (асфальтиты, асфальты и др.), в которых существенно возрастает содержание ванадия (до  $4500 \text{ г/т}$ ) и никеля (до  $520 \text{ г/т}$ ). Повышение в нефти содержания этих металлов связано с обогащением ее серой: в тяжелых сернистых нефтях и малых концентрация ванадия составляет  $550$ – $1400 \text{ г/т}$ , а никеля —  $120$ – $195 \text{ г/т}$  [27]. С сернистой нефтью связано уникальное месторождение ванадия Минас Рагра в Перу, представленное в меловых отложениях жилиобразной залежью асфальтита протяженностью  $1 \text{ км}$  при мощности  $8$ – $12 \text{ м}$  с содержанием ванадия около  $6 \%$ .

В составе нефти обычно доминируют ванадий, никель и цинк, образующие специфический («нефтяной») парагенезис. По преобладанию в нем одного из перечисленных металлов различаются геохимические типы нефти (ванадиевый, никелевый и цинковый), причем не только в месторождениях, но и в целых нефтяных провинциях [27]. Парагенезис этих металлов обнаружен в битумах алмазоносных кимберлитовых трубок на платформах, образующих в них жеоды, друзы и прожилки. В жеодах алмазоносной трубки Удачная на Сибирской платформе, по данным [6], они представлены асфальтитом, характеризующимся легким («нефтя-



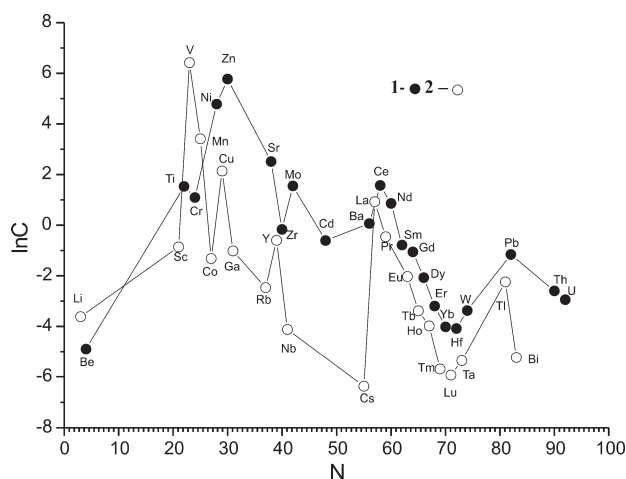


Рис. 8. Геохимический спектр асфальтита кимберлитовой трубки Удачная на Сибирской платформе: N — порядковые номера элементов, lnC — логарифмы содержания микроэлементов (г/т) по данным [6]. Элементы: 1 — четные, 2 — нечетные

Fig. 8. A geochemical spectrum of a pyrobitumen of kimberlite pipe Udachnaya on the Siberian platform: N — serial numbers of elements, lnC — logarithms of the contents of trace elements (g/t) according [6]. Elements: 1 — even, 2 — odd

ным») изотопным составом углерода ( $\delta^{13}\text{C} = -34,6 \text{ ‰}$ ), контрастным по отношению к тяжелому углероду развитого там же кальцита ( $\delta^{13}\text{C} = +24,5 \text{ ‰}$ ). По данным [6], составлена диаграмма логарифмов содержания в асфальтите элементов-примесей в зависимости от их порядковых номеров и с разделением их на четные и нечетные (рис. 85). На диаграмме отчетливо выражен рассмотренный выше «нефтяной» парагенезис металлов V+Ni+Zn, фиксируемый высокими максимумами их содержаний в асфальтите, значительно превышающими содержания всех других элементов-примесей.

Ванадиевый тип нефти коррелируется в геохимическом и металлогеническом аспектах с черными сланцами, среднее содержание ванадия в которых (205 г/т) почти вдвое выше, чем в бедных углеродом осадочных породах (110 г/т). Иногда оно возрастает аномально до нескольких килограмм на тонну, придавая черным сланцам металлогеническое значение. «Концентрационная функция живого вещества в отношении ванадия не могла создать его аномалии в черных сланцах» [42, С. 76]. Эти аномалии определяются привнесом ванадия из глубины, свидетельствуя о прямой связи образования черных сланцев с генерацией нефти, что подчеркивается наличием так называемых «нефтяных сланцев».

Удивительное геохимическое сходство черных сланцев и нефти ванадиевого типа, богатых многими рудными металлами, прослеживается даже в историческом аспекте: в геологической истории самое эффективное накопление ванадия происходило в черных сланцах мела, в которых среднее его содержание равно 590 г/т

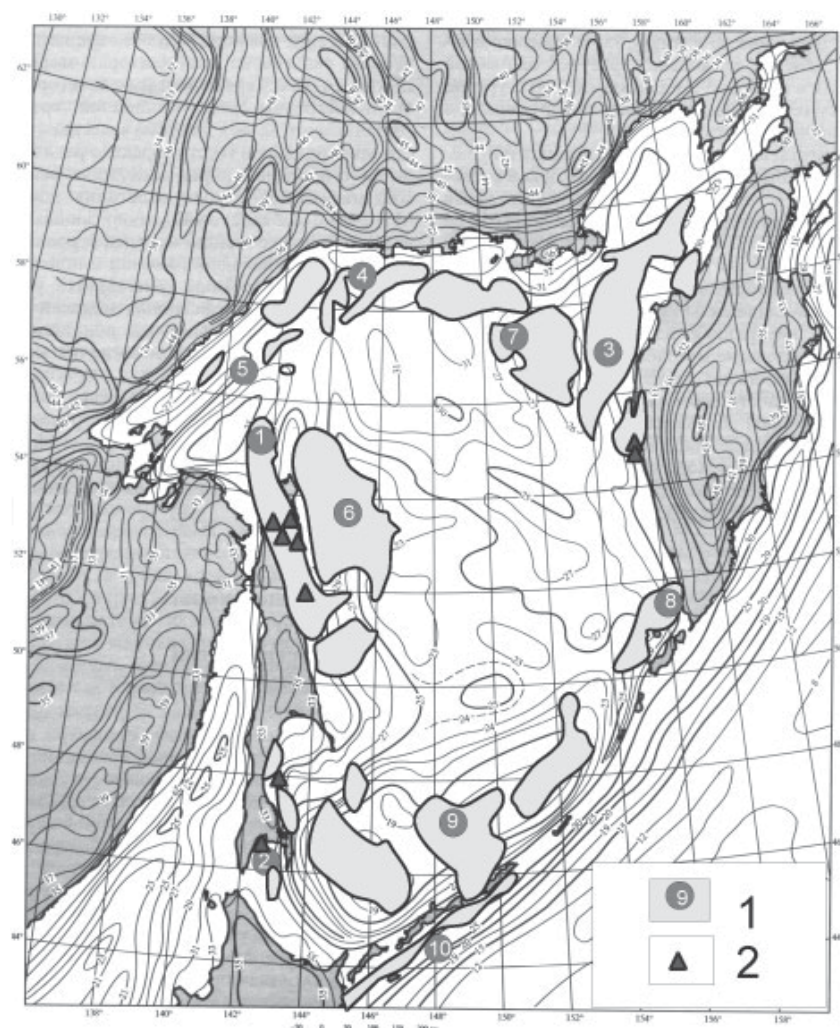
[42]. Это коррелируется по времени с отмечавшимся выше максимумом нефтеобразования: в России 71 % запасов составляет нефть мелового возраста [27].

В отличие от осадочно-вулканогенных (трапповых), относительно стремительно развивавшихся депрессий, осадочные бассейны формируются медленно в течение значительных интервалов геологического времени. В осадочных прогибах на подводных окраинах континентов большей частью и формируются нефтяные и газовые месторождения [38]. Наиболее продуктивными являются прогибы быстрого погружения, в которых вверх по разрезу мелководные отложения сменяются глубоководными [3].

Выщелачивание гранито-гнейсового слоя земной коры восходящими потоками глубинных флюидов, а не прогибание земной коры, играло главную роль в образовании осадочных и вулканогенно-осадочных (трапповых) платформенных и шельфовых депрессий [18]. Это доказывается так называемой обращенностью рельефа депрессий, образование которых сопровождается встречным воздыманием мантийного субстрата, обусловленного ультраосновными интрузивами, замещающими базальтовый слой коры вплоть до полного его замещения, как в грандиозной впадине на юге Каспийского моря глубиной более 20 км. Сопровождающее этот процесс выщелачивание гранитного слоя, создающее депрессию, обусловлено воздействием агрессивных трансмагматических флюидов, фильтрующихся через гипербазитовые магмы, замещающие на глубине базальтовый слой земной коры. Этот механизм образования депрессий континентальной коры является универсальным, определяющим образование как региональных депрессиоидных структур, например, впадин окраинных морей, так и локальных вулканогенно-осадочных и осадочных депрессий в их обрамлениях, как показано на примере Охотского моря (рис. 9).

Депрессия Охотского моря образовалась в результате утонения континентальной коры и одновременного воздымания мантийного субстрата, сопровождаемого его уплотнением, которое прослеживается до глубины 4–5 км, фиксируемой так называемой «свободной» поверхностью мантии [36]. На этой глубине располагаются и очаги глубоководных землетрясений Охотского моря. Воздымание мантийного субстрата сопровождалось конвекцией, создававшей центробежно распространяющиеся напряжения и режим сжатия по периферии Охотского моря. В результате в периферийных локальных депрессиях и сопряженных с ними магматических очагах создавалась обстановка, благоприятная для развития углеводородной специализации, возникали блоковые перемещения и складчатость, контролировавшие размещение в депрессиях нефтяных и газовых залежей. Таким образом,





**Рис. 9.** Изолинии глубины залегания поверхности Мохоровича ( $v_p = 7,6\text{--}8,2$  км/с) Охотского моря и его нефтегазоносность: 1 — нефтегазоносные осадочные бассейны; 2 — наиболее крупные месторождения нефти и газа. Нефтегазоносные бассейны (в скобках их прогнозные ресурсы в млрд. т. нефти): 1 — Северо-Сахалинский (12,4), 2 — Южно-Сахалинский (1,4), 3 — Западно-Камчатский (8,2), 4 — Магаданский (8,0), 5 — Шантарский (1,0), 6 — Дерюгинский (6,2), 7 — Тинровский (6,6), 8 — Голыгинский (1,0), 9 — Южно-Охотский (4,0), 10 — Срединно-Курильский (1,2). Схема составлена по данным [36]

**Fig. 9.** Contour lines of Mohorovich surfaces bedding depths ( $v_p = 7,6\text{--}8,2$  km/s) of Okhotsk sea and its oil-and-gas content: 1 — oil-and-gas sedimentary pools; 2 — largest oil-and-gas deposits. Oil-and-gas pools (in the brackets predictive resources in billion tons of the oil): 1 — North-Sakhalin (12,4), 2 — Southern-Sakhalin (1,4), 3 — West-Kamchatka (8,2), 4 — Magadan (8,0), 5 — Shantar (1,0), 6 — Deriuginskii (6,2), 7 — Tinrovskii (6,6), 8 — Golyginskii (1,0), 9 — Southern-Okhotskii (4,0), 10 — Median-Kuril (1,2). The scheme is made according to [36]

участие мантийных воздыманий в общем процессе разрушения и океанизации континентальной коры играло ключевую роль в создании и реализации углеводородного потенциала окраинных морей. В развитии структуры окраинных морей они создавали так называемую центробежную тектонику [43], препятствующую потере водорода глубинными магматическими очагами, связанными с периферийными депрессиями, что и создавало их углеводородную специализацию ( $3\text{H}_2 + \text{CO} = \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4$ ). В резуль-

тате возникала система размещения нефтеносных структур по периферии окраинных морей, которая последовательно разрушалась дальнейшей океанизацией континентальной коры с образованием пассивных континентальных окраин, в которых сохраняются только фрагменты островодужного обрамления окраинных морей.

Восходящая миграция по существу и определяющая размещение нефтяных и газовых месторождений в осадочных прогибах, подчеркивалась Н. А. Кудрявцевым и П. Н. Кропоткиным, распространявших ее «вверх до неглубоко залегающих горизонтов» [10, С. 540]. В океанических хребтах она достигает поверхности, фиксируясь выходами углеводородных гидротерм и просачиваниями жидких углеводородов. На хребте Хуан де Фука поступление разнообразных углеводородов сопровождается образованием простирающейся вдоль него осадочной депрессии, моделируя, таким образом, начало формирования черносланцевых формаций. Судя по наличию в гидротермах хребта Хуан де Фука углеводородов нефтяного профиля (алканов, алкилбензолов), в его пределах возможно и нефтеобразование, но только во впадине. В глубоких частях осадочной толщи под флюидным давлением, препятствующим потере водорода. В этом отношении окраинно-океанические хребты типа Хуан де Фука занимают как бы промежуточное положение между срединно-океаническими

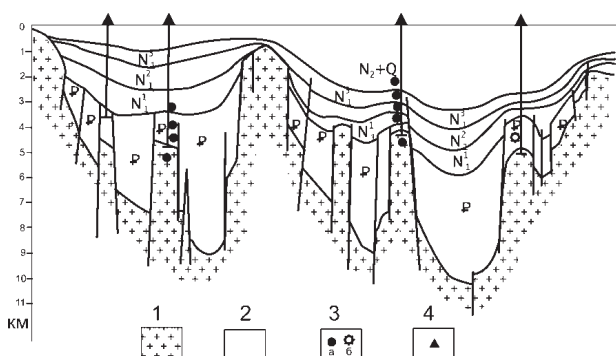
хребтами, не сопровождающимися образованием депрессий, и шельфовыми и континентальными окраинами океанов и морей, осадочные толщи которых служат главными местами хранения нефти [38].

С давних времен локализация нефтяных и газовых залежей в осадочных депрессиях связывается со всякого рода структурными и литологическими ловушками. Однако значение этих представлений померкло с обнаружением таких гигантских нефтяных залежей, которые требу-

ют решения «проблемы пространства» при их образовании. Она сходна с аналогичной проблемой необходимого пространства для интрузивов, которая нашла разрешение при выявлении магматического замещения интрузируемых пород, сопровождаемого широкомасштабным флюидным выносом корового вещества. Выше было показано, что вынос корового вещества определяет и образование депрессий, возникавших под воздействием флюидов, выщелачивающих породы гранитного слоя земной коры с замещением их осадочными породами. Выщелачивание распространяется затем и на осадочные породы депрессий и их фундамент, коррелируясь с развитием в них всякого рода дислокаций. В продуктивных на нефть депрессиях концентрации в них углеводородов предшествует гидротермальное кислотное выщелачивание, создающее разуплотнение пород, обеспечивающее последующую локализацию в них нефти. В результате растворения зерна кварца приобретают округлую форму, порождающую иллюзию их окатанности. С этим процессом связано и образование грязевых вулканов, распространение которых в дислоцированных осадочных депрессиях связано с нефтяными залежами, залегающими на глубине.

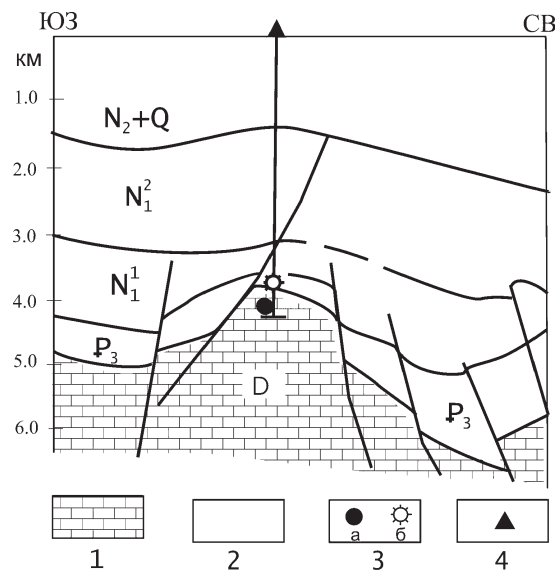
По нашим представлениям, деятельность грязевых вулканов наиболее наглядно отражает флюидный вынос из глубины недорастворенного материала осадочных пород, способствующего локализации нефтяных залежей. Глубинное выщелачивание по существу и определяет размещение нефтяных залежей во «взброшенных» частях фундамента осадочных депрессий [2], что показано ниже на примере месторождений шельфа Южного Вьетнама.

В олигоцен-плейстоценовой впадине Хуэ в бассейне Кыулунг, южный Коншон, кристалли-



**Рис. 10.** Геологический разрез через нефтегазоносные бассейны Кыулунг и Южный Коншон на южном шельфе Вьетнама [2]: 1 — гранитный фундамент, 2 — палеогеновые (P), неогеновые (N<sub>2</sub> и N<sub>1</sub>) и четвертичные (Q) отложения, 3 — проявления нефти (a) и газа (b), 4 — скважины

**Fig. 10.** A geological cross-section through oil-and-gas bearing pools Kyulung and Southern Konshon on a southern shelf of Vietnam [2]: 1 — the granite base, 2 — palaeogenics (P), neogenics (N<sub>2</sub> and N<sub>1</sub>) and overburden (Q) measure, 3 — displays of oil (a) and gas (b), 4 — oil wells



**Рис. 11.** Разрез через центральную часть впадины Хуэ [2]: 1 — девонские известняки фундамента (D); 2 — осадочные отложения олигоцена (P) и неогена (N<sub>1</sub> и N<sub>2</sub>); 3 — проявления нефти (a), газа (b); 4 — скважина

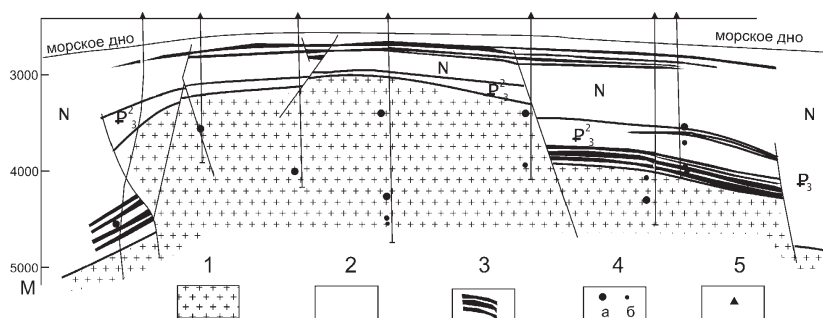
**Fig. 11.** A cross-section through the central part of Hue surface valley [2]: 1 — devonian limestones of the base (D); 2 — sedimentary measure of Oligocene (and Neogen (N<sub>1</sub> and N<sub>2</sub>), 3 — displays of oil (a), gas (b), 4 — oil wells

ческий фундамент представлен гранитами, «взбросами» которых контролируется размещение залежей нефти и газа. Они залегают в основном в осадочных породах, гораздо реже встречаются на глубине во «взброшенных» гранитах.

Фундамент олигоцен-плейстоценовой впадины Хуэ на шельфе представлен девонскими известняками, в которых локализовано месторождение нефти Белый Фазан, отделяющийся от нефти газ мигрировал при его образовании в перекрывающие олигоценные глины.

Нефтеобразование во взброшенном фундаменте депрессий может достигать огромного размаха, несопоставимого с его ограниченными размерами в осадочных породах. Уникальным в этом отношении является месторождение Белый Тигр на шельфе Южного Вьетнама, гигантские залежи нефти которого в основном приурочены к ступенчато расположенным гранитам, прослеживаясь в них на глубину 1,5 км, и только отчасти распространяясь в окружающие и перекрывающие их слоистые толщи (рис. 12). Причем и в осадочных породах нефтеобразование контролировалась взбросом фундамента, почти не распространяясь в горизонтальном направлении. Главные запасы нефти месторождения Белый Тигр сосредоточены не в осадочной толще, а во «взброшенном» гранитном фундаменте. «Эксплуатационные скважины нижнего миоцена и олигоцена работают с дебитами от единиц до 300 т в сутки, в то время как большинство скважин фундамента фонтанируют с





**Рис. 12.** Поперечный разрез через сводовую часть месторождения Белый Тигр [2]: 1 — гранитный фундамент; 2 — палеогеновые (P) и неогеновые (N) отложения; 3 — нефтеносные горизонты; 4 — месторождения (а) и проявления (б) нефти, 5 — скважины

**Fig. 12.** A cross-section through roof part of the White Tiger deposit [2]: 1 — the granite basement; 2 — palaeogenics (P) and neogenics (N) deposits; 3 — petroliferous horizons; 4 — deposits (a) and displays (b) of the oil; 5 — oil wells

дебитом 1000 т и более» [2]. Запасы нефти в нем оцениваются в 659 млн. т. Обстоятельная аргументация эндогенного происхождения нефтяных и газовых месторождений в связи с водородной дегазацией земного ядра приводится в работе [24].

#### Углеводородно-органическая эволюция Земли

Импульсы водород-углеводородного развития Земли, сопряженные с магматизмом [21, 22, 23] относятся к прогрессивным процессам, связанным с дегидратацией и восстановлением флюидов, обусловленным повышением температуры. Их продолжением служат регрессивные процессы гидратации и окисления, связанные с охлаждением, ведущие к абиогенному образованию органических веществ. К ним относятся и органические вещества, образующие сложные молекулы нуклеиновых кислот, которые парагенетически разделяются на рибонуклеиновые (РНК) и дезоксирибонуклеиновые (ДНК). Системы их образования различаются по типу компонентов, воздействующих на углеводородные соединения: кислородные (C–H–O), азотные (C–H–N), кислородно-азотные (C–H–O–N), водные и фосфорные (C–H–N–H<sub>2</sub>O–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). В каждой из перечисленных систем возникают органические вещества, подразделяющиеся на четыре генетические группы (таблица 1). В таблице 1 приводятся термодинамические свойства веществ применительно к водным растворам [52].

Простейшими в ряду перечисленных веществ являются моносахариды и аденин, относящиеся к углеводород-кислородной и углеводород-азотной системам соответственно. Все остальные вещества относятся к более сложным углеводород-кислород-азотным и углеводород-кислород-азот-фосфорным системам.

Моносахариды, входящие в состав нуклеиновых кислот относятся к C–H–O системе, охватывающей множество углеводород-кислород-

ных (органических) веществ. Они образуются в результате реакций между простыми веществами и углеводородами, причем реакции могут дублировать составы органических веществ с последовательным их присоединением к ранее образованным веществам. В результате образуются все более массивные вещества (полимеры), образующие полимерные ряды. Наиболее интересен для настоящей работы ряд формальдегида (H<sub>2</sub>CO)<sub>n</sub>, формирующийся в результате следующих реакций присоединения: H<sub>2</sub> + CO = H<sub>2</sub>CO (формальдегид, n = 1), 0,5CH<sub>4</sub> + 0,5CO<sub>2</sub>

(уксусная кислота, n = 2), CH<sub>2</sub> + 0,5O<sub>2</sub> (молочная кислота и гликольальдегид, n = 3), 0,67CH<sub>2</sub> + 0,33H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (тетрозы, n = 4) и C + H<sub>2</sub>O (пентозы, n = 5, в том числе сахар рибоза), и др. В этом увеличении молекулярного веса веществ состоит смысл C–H–O системы, главной функцией которой служит накопление абиогенного органического вещества. Оно вносит вклад в массу живого вещества, средний состав которого, рассчитанный А. П. Виноградовым [9]: C = 18,0 масс. %, H = 10,5 масс. %, O = 70,0 масс. %, N = 0,3 масс. %, определенно указывает на принадлежность его к рассматриваемой системе C–H–O. Из органических веществ этой системы в состав нуклеиновых кислот входят только моносахариды Р и ДР, различающиеся по содержанию реакцией 2Р = 2ДР + O<sub>2</sub>, которая в сопоставлении с реакциями азотистых оснований нуклеиновых кислот (А, Г и Ц) приводятся в таблице. Реакциями определяется приблизительная схема окислительно-восстановительных фаций на диаграмме μ<sub>O2</sub>–Т, рис. 13. Равновесие Р = ДР разделяет на ней поля устойчивости (фации) веществ, относящихся к РНК и ДНК, в состав которых входят различные моносахариды. ДНК относится к более восстановительной фации (содержит ДР), отвечая в ней аденин-гуаниновому равновесию 2А + O<sub>2</sub> = 2Г, которое при стандартных условиях, соответствует низкому химическому потенциалу кислорода (ниже показанного на диаграмме пирит – пирротин – магнетитового равновесия). В отличие от ДНК РНК относится к относительно окислительной фации (в состав его входит моносахарид Р, более богатый кислородом) и тем не менее она как и ДНК, отвечает равновесию 2А + O<sub>2</sub> = 2Г (содержит в своем составе парагенезис А + Г). Из этого следует вывод о принадлежности аденин-гуанинового равновесия к двум окислительно-восстановительным фациям ДР и Р, как показано на диаграмме пересечением его линий с линией моносахаридного равновесия с повышением тем-



Таблица 1

Стандартные моляльные термодинамические свойства при 298 К и 1 бар водных растворов моносахаридов (I), азотистых оснований (II), нуклеозидов (III), нуклеозидфосфатов (IV) [52] и минералов окислительно-восстановительного буфера (V)

Группы	Соединения и их символы	Формула	$\Delta G^\circ$ , кДж·моль <sup>-1</sup>	$\Delta H^\circ$ , кДж·моль <sup>-1</sup>
I	Рибоза (Р)	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	-752,03	-1034,0
	Дезоксирибоза (ДР)	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	-604,32	-857,87
II	Аденин (А)	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N <sub>5</sub>	312,84	130,69
	Гуанин (Г)	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N <sub>5</sub> O	69,88	-145,62
	Цитозин (Ц)	C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> N <sub>3</sub> O	-35,19	-196,29
	Тимин (Т)	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-256,54	-439,19
	Урацил (У)	C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-249,93	-395,76
III	Аденозин (АЗ)	C <sub>10</sub> H <sub>13</sub> N <sub>5</sub> O <sub>4</sub>	-194,56	-621,28
	Цитидин (ЦД)	C <sub>9</sub> H <sub>13</sub> N <sub>3</sub> O <sub>5</sub>	-544,67	-948,26
IV	Аденозинмонофосфат (АМФ)	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> N <sub>5</sub> O <sub>7</sub> P	-1091,26	-1642,67
	Цитидинмонофосфат (ЦМФ)	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> N <sub>3</sub> O <sub>8</sub> P	-1444,89	-1968,19
	Аденозиндифосфат (АДФ)	C <sub>10</sub> H <sub>15</sub> N <sub>5</sub> O <sub>10</sub> P <sub>2</sub>	-1969,61	-2615,44
	Цитидиндифосфат (ЦДФ)	C <sub>9</sub> H <sub>15</sub> N <sub>3</sub> O <sub>11</sub> P <sub>2</sub>	-2319,27	-2940,67
	Аденозинтрифосфат (АТФ)	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> N <sub>5</sub> O <sub>13</sub> P <sub>3</sub>	-2838,84	-3592,19
	Цитидинтрифосфат (ЦТФ)	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> N <sub>3</sub> O <sub>14</sub> P <sub>3</sub>	-3188,58	-3917,54
V	Пирит	FeS <sub>2</sub>	-160,22	—
	Пирротин	FeS	-100,77	—
	Магнетит	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	-1014,93	—

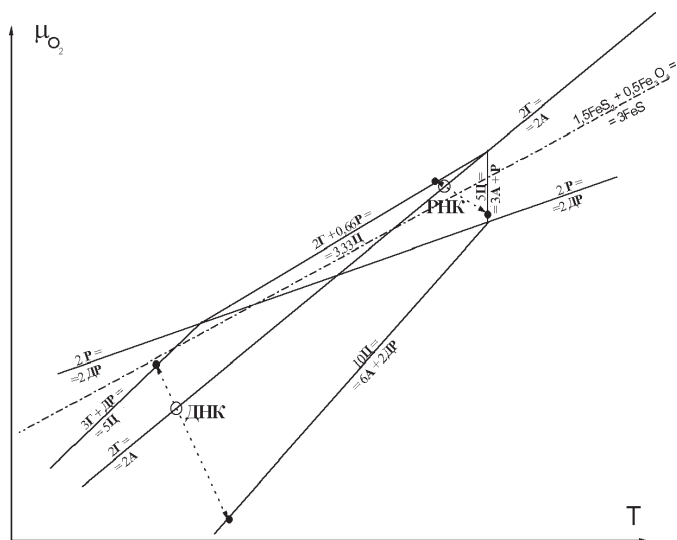
пературы. РНК согласно этому построению отличается от ДНК не только более окислительными условиями образования, но и более высокой температурой.

Неодинаковый температурный режим формирования ДНК и РНК определяется разделением их обширной фазией цитозина. В общем же температура образования нуклеиновых кислот существенно не поднимается за предел 120 °С, ограничивающий область существования живого вещества [51].

На диаграмме, рис. 13, отражена закономерность формирования нуклеиновых кислот, обусловленная реакцией их оснований (А и Г) с моносахаридами Р (в РНК) и ДР (в ДНК). В результате парагенезис А + Г распадается на парагенезисы А + Р и Г + Р (в РНК) и А + ДР и Г + ДР (в ДНК), отвечающие при каждой температуре существенно различным значениям химического потенциала кислорода. Это обусловлено образованием цитозина, вытесняющего аденин – гуаниновое равновесие с последующим образованием низкопотенциальных и высокопотенциальных парагенезисов: А + ДР (Р) и Г + ДР (Р) соответственно (пунктирные стрелки). Этим определяются последовательности образования нуклеотидов, отвечающие понижению химического потенциала кислорода Г + ДР (Р) → Ц → А + ДР (Р) и его возрастанию А + ДР (Р) → Ц → Г + ДР (Р). Их повторяемость создает своеобразное «дыхание» при формировании нуклеиновых

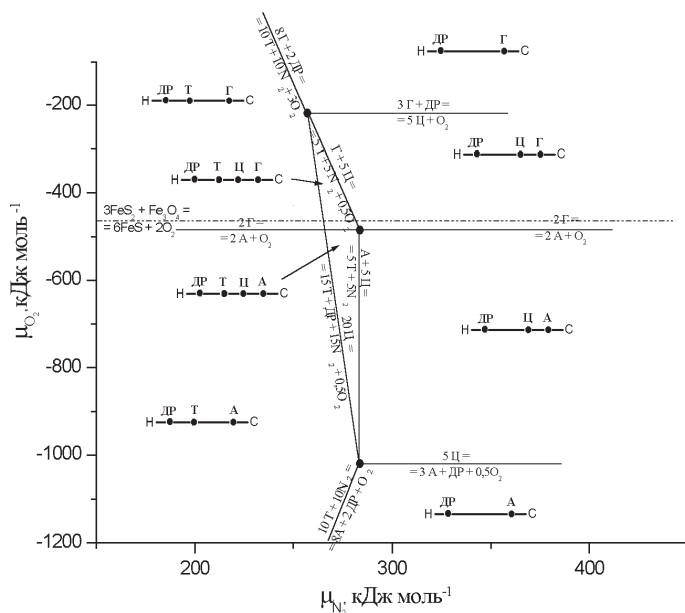
кислот. Оно обусловлено систематическим падением химического потенциала кислорода во флюидах вследствие его поглощения кислородоемкими парагенезисами, 3Г + ДР (Р), с последующим восстановлением его стационарного уровня, определяемого флюидной инфильтрацией. Таким образом, система нуклеиновых кислот развивается в своеобразных автоколебательных процессах (концентрационных автоколебаниях (Жаботинский, 1974)), характеризующихся повторяющимися комбинациями нуклеотидов, отвечающих различным значениям химических потенциалов кислорода.

Обрисованные соотношения еще нагляднее выражаются на диаграммах химических потенциалов кислорода и азота, характеризующих вариации парагенезисов веществ в системах нуклеиновых кислот, развивающихся в условиях свободного привноса – выноса этих компонентов. Их построение (для ДНК и РНК) раскрывает, помимо рассмотренной кислородной вариации парагенезисов, их изменение под влиянием непостоянства потенциала азота. Цитозин, согласно их построению, показанному на рис. 14 применительно к ДНК, отвечает высокому потенциалу азота, противопоставляясь в этом отношении азотистым основаниям, бедным азотом — тимину (в ДНК) или урацилу (в РНК). Из этого следует, что образование цитозина сопровождается эффектом понижения азотного потенциала, способствующего образованию тими-



**Рис. 13.** Схема окислительно-восстановительных и температурных фаций нуклеиновых кислот с разделением их на РНК и ДНК. Штриховыми расходующимися стрелками обозначены распады изопотенциального парагенезиса  $A + G$  на парагенезисы  $A + P$  ( $DP$ ) +  $+ C - G + P$  ( $DP$ ) +  $C$ , отвечающих различным потенциалам кислорода. Штрих-пунктирной линией обозначено буферное равновесие пирит ( $FeS_2$ ) – пирротин ( $FeS$ ) – магнетит ( $Fe_3O_4$ )

**Fig. 13.** The scheme of redox and temperature facies of nucleic acids with their division on RNA and DNA. Shaped missing arrows designate disintegrations isopotential paragenesis A + G on parageneses A + R (DR) + Cy - G + R (DR) + Cy, adequating to various potentials of oxygen. A stroke-dashed line buffer equilibrium pyrite (FeS<sub>2</sub>) - pyrrhotite (FeS) - magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) is designated



**Рис. 14.** Диаграмма химических потенциалов кислорода и азота бинарной Н-С системы применительно к ДНК. Принципиальное различие по химическому потенциалу кислорода паразитизисов  $\Gamma + \text{ДР}$  и  $\text{А} + \text{ДР}$  характеризуется его колебаниями при их чередовании в ходе образования. Чередование цитозина (Ц) и тимина (Т) отражает вариации химического потенциала азота. Штрих-пунктирная линия отвечает пирит – пирротин – магнетитовому буферу согласно рис. 13

**Fig. 14.** The diagram of chemical potentials of oxygen and nitrogen binary (C-H) systems with reference to DNA. Basic distinction on chemical potential of oxygen parageneses  $G+DR$  and  $A+DR$  is characterized by its fluctuations at their alternation during formation. Alternation cytosine (Cy) and thymine (T) reflects variations of chemical potential of nitrogen. The stroke-dashed line answers to the pyrite – pyrrhotite – magnetite buffer according to fig. 13

на или урацила. Сами по себе тимин и урацил различаются только по углеводородной составляющей  $Y + CH_2 = T$ .

Усложнение паразенезисов пуринов, пиримидинов и моносахаридов с образованием нуклеозидов, нуклеозид-фосфатов и полинуклеотидов обусловлено развитием их дегидратации:  $C_5H_5N_5(A) + (H_2CO)_5(P) = C_{10}H_{13}N_5O_4(A3) + H_2O$  и  $C_4H_5N_3O(I) + (H_2CO)_5(P) = C_9H_{13}N_3O_5(II) + H_2O$ . Дальнейшая их дегидратация создает структурную упорядоченность трехкомпонентной углеводород-азотной системы, в которой выделяется бинарная двухкомпонентная подсистема C-(HN) в которую входят аденин  $C_5(HN)_5$ , цитозин  $C_4(HN)_3 + H_2O$ , рибоза  $C + 5H_2O$ , аденозин  $C_{10}(HN)_5 + 4H_2O$  и цитидин  $C_9(HN)_3 + 5H_2O$ . Вхождение в их состав фосфатов приводит к образованию нуклеозид-фосфатов, относящихся в своей основе к той же подсистеме:  $C_{10}H_{14}N_5O_7P(AMФ) = C_{10}(HN)_5 + 4,5H_2O + 0,5P_2O_5$ ,  $C_9H_{14}N_3O_8P(ЦМФ) = C_9(HN)_3 + 5,5H_2O + 0,5P_2O_5$ ,  $C_{10}H_{15}N_5O_{10}P_2(АДФ) = C_{10}(HN)_5 + 5H_2O + P_2O_5$  и др. Принадлежность веществ к этой подсистеме определяет устойчивость их паразенезисов с нуклеозид-фосфатами, к факторам образования которых помимо  $P$ ,  $T$  — параметров относятся химические потенциалы воды и фосфора ( $P_2O_5$ ).

Своеобразный венец рассматриваемой системы представляет фация АТФ в парагенезисе с ЦТФ, отвечающая самым высоким значениям химических потенциалов фосфора и воды. Согласно [4, С. 88] АТФ представляет «ключевую молекулу (№ 1) на пути эволюции жизни», первичный фосфорилирующий агент в живых клетках, сопряженный с синтезом пептидных и нуклеотидных цепей (образованием белков, РНК, ДНК). Абиотический синтез АТФ исследовался в ряде экспериментальных работ [напр. 64, 50].

Сочетание азотно-углеводородной и фосфорной специфики геологически осуществляется в фосфоритовых отложениях, периодически возникавших в осадочной оболочке Земли на протяжении всей геологической истории в связи с импульсами развития щелочного магматизма. Фосфорные формации, развивавшиеся в океанах в сопряжении с углеводородными источниками, были, по-видимому, единственными структурами зарождения жизни, так как фосфаты являются необходимыми веществами в сложных процессах образования АТФ, РНК и ДНК.

В работе далеко не полно рассмотрены вещества, непосредственно связанные

с проблемой происхождения жизни. Остались практически не затронутыми аминокислоты, представляющие мономеры белка. Рассмотрены только вещества, входящие в состав нуклеиновых кислот. И тем не менее, поражает их разнообразие по составу и происхождению, определяемому принадлежностью к различным углеводородным системам: кислородным С–Н–О, азотным С–Н–N, фосфорным С–Н–P. Это разнообразие давно обратило на себя внимание исследователей и породило скептическое отношение к самой возможности самопроизвольного происхождения жизни. Известна, например, приводимая аналогия со сложным часовым механизмом, который самопроизвольно не может возникнуть из множества деталей, входящих в его состав. Однако в отличие от этих деталей вещества, входящие в состав нуклеиновых кислот и белков, обладают сильным взаимным химическим сродством, благодаря которому происходил их естественный отбор из громадного разнообразия абиогенных органических веществ. Так, например, из большого ряда полимеров формальдегида  $(H_2CO)_n$  формирующаяся структура РНК, моделирующая состав вирусов, извлекала только один полимер  $(H_2CO)_5$  – сахар рибоза (Р) благодаря его сильному химическому сродству к урацилу (У). При формировании ДНК из безазотных органических веществ извлекался другой более бедный кислородом сахар – дезоксирибоза (ДР) на основе его сильного химического сродства к тимину (Т). Аналогично подбирались и основания нуклеотидов по их взаимному химическому сродству, которое регулировалось их углеводородной основой. Самый устойчивый парагенезис аденина с гуанином и урацилом при формировании РНК определялся их одинаковой углеводородной основой (СН). Водородно-азотная основа (НН) определила устойчивые парагенезисы азотистых оснований и нуклеозидов с фосфатами.

Естественный отбор, определяющий эволюцию живых организмов, эффективно проявляется и в предбиологическом формировании органических веществ, подбирающихся на основе их взаимного химического сродства, создающего энергетически выгодные парагенезисы в различных комбинациях на основе автоколебательных изменений химических потенциалов. Возникающая в результате биологическая активность РНК и ДНК создает их химическое сродство к аминокислотам, взаимодействие с которыми по существу и порождает жизнь, возникающую на основе парагенезиса нуклеотидов и пептидов. Сродство нуклеиновых кислот к белкам проявляется селективно: известно около 100 аминокислот, из них только 20 входят в живые организмы, причем большинство свойств нуклеиновые кислоты проявляют только в комплексе с белками, основные закономерности селекции и

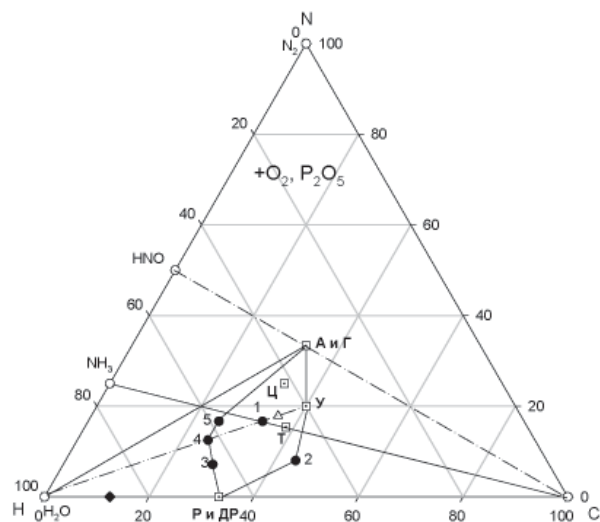


Рис. 15. «Комплекс жизни», объединяющий вещества нуклеиновых кислот (квадратные знаки: А – аденин, Г – гуанин, Ц – цитозин, У – урацил, Т – тимин, Р – рибоза, ДР – дезоксирибоза), АТФ (треугольный знак) и аминокислоты (черные кружки: 1 – гистидин, 2 – триптофан, 3 – треонин, 4 – аргинин, 5 – глицин). Черным ромбом обозначен средний состав живого вещества (по А. П. Виноградову)

Fig. 15. "A complex of a life", uniting substances of nucleic acids (square signs: A – adenine, G – guanine, Cy – cytosine, U – uracil, T – thymine, R – ribose, DR – deoxyribose), ATP (a triangular sign) and amino acids (black mugs: 1 – histidine, 2 – tryptophan, 3 – threonine, 4 – arginine, 5 – glycine). The black rhombus designates average structure of alive substance (on A. P. Vinogradov)

эволюции которого лежат в основе молекулярной генетики [напр. 59]. Одновременно развиваются представления о предбиологических пептидных нуклеиновых кислотах [56]. Из этого следует вывод о возникновении качественно новых «комплексов жизни» при объединении и взаимодействии абиогенных органических нуклеиновых кислот и пептидов (нуклеотидов и аминокислот), как показано на схеме, рис. 15. Важная роль в этом объединении принадлежит фосфатам [4], хотя его механизм во многом неясен и требует дальнейших разработок.

### Заключение

Представленный научный обзор охватывает большое число публикаций, посвященных экологии и энергетике земли, обусловленной развитием ее углеводородного потенциала, рассматривающих эти фундаментальные проблемы в альтернативном аспекте, отличном от их традиционной трактовки. Основу такого рассмотрения представляют открытия последних десятилетий, касающиеся происхождения Земли, определившего колоссальные запасы в ее жидком никель-железном ядре водорода и создающего ее специфическую водород-органическую эндогенную эволюцию. Обобщение рассмотренных работ позволяет по-новому осветить происхождение нефтяных и газовых месторождений,



непосредственно связанных с геодинамикой развития и мантии земли и занимающих определенное место в развитии ее магматизма. В этом состоит практическое значение выполненной работы, раскрывающей их новые поисковые критерии.

Изложенная в обзоре концепция водородного дыхания Земли в качестве основы ее генетического и биологического развития позволяет согласовать казавшиеся с давних времен несовместимыми фундаментальные гипотезы расширения Земли (экспансии) и ее сокращения (контракции). Повышение концентрации водорода в жидком земном ядре, обусловленное кристаллизацией центрального субъядра, создает возрастание в нем флюидного давления, сопровождаемое расширением силикатных оболочек Земли и развитием в них рифтогенных структур с характерным для них базальтовым магматизмом. Импульсы дегазации ядра с соответствующим падением в нем флюидного давления и сокращением объема сопровождаются контракцией силикатных оболочек Земли. Это приводит к развитию дислокаций в рифтогенных структурах земной коры, магматизм которых приобретает щелочной уклон, и развивается их углеводородная специализация. В режиме сжатия силикатных оболочек Земли возникают сложные дислокации, связанные с мантийным и коровым диапиризмом в депрессиях различного масштаба, сопровождаемым развитием так называемой центробежной тектоники, создающей особенно благоприятные условия генерации углеводородов в магматических очагах, ведущей к образованию нефтяных и газовых месторождений.

#### Список литературы

1. Авдонин В. В., Бойцов В. Е., Григорьев В. М. и др. Месторождения металлических полезных ископаемых. М.: ТРИПСТА, 2005.
2. Арешев Е. Г. Нефтегазоносные бассейны тихоокеанского подвижного пояса. М.: АБАНТИ. 2004.
3. Артюшков Е. Е. Физическая тектоника. М.: Наука. 1993.
4. Галимов Э. М. Феномен жизни. Между равновесием и нелинейностью М.: УрСС, 2001.
5. Галимов Э. М. Органическая геохимия изотопов // Вестник РАН. 2006. Т. 76. № 11. С. 978–988.
6. Готтих Р. П., Писоцкий Б. И., Журавлев Д. З. Распределение микроэлементов в системах кимберлит-битум и базальт-битум в дятремах Сибирской платформы // ДАН. 2004. Т. 399. № 3. С. 373–377.
7. Жаботинский А. М. Концентрационные автоколебания. 1974, М.: Наука.
8. Конторович А. Э., Вышемирский В. С. Неравномерность нефтеобразования в истории Земли как результат циклического развития земной коры // ДАН. 1997. Т. 356. № 6. С. 794–797.
9. Краткий справочник по геохимии. М.: Недра, 1977.
10. Кропоткин П. Н. Дегазация земли и генезис углеводородов // Ж. Всес. Химического о-ва. 1986. Т. 31. № 5. С. 540–547.
11. Ксанфомалити Л. В. Парад планет. М.: Наука, 1997.
12. Левинтон Д. С. Большой взрыв эволюции животных // В мире науки. 1993. № 1. С. 42–50.
13. Макаренко Г. Ф. Периодичность базальтов, биокризисы, структурная симметрия Земли. М.: Геоинформмарк. 1997.
14. Маракушев А. А. Петрология. М.: Изво Московского Университета. 1988.
15. Маракушев А. А. Происхождение и эволюция Земли и других планет Солнечной системы. М.: Наука, 1992.
16. Маракушев А. А. Происхождение Земли и природа ее эндогенной активности. М.: Наука, 1999.
17. Маракушев А. А. Роль магматического замещения в процессах формирования и деструкции земной коры / В сб. Проблемы глобальной геодинамики. М.: ОГТТН РАН. 2003. С. 214–228.
18. Маракушев А. А. Новая модель формирования платформенных депрессий и подчиненных им стратиформных рудных месторождений. Проблемы рудной геологии. М.: Наука., 2004. С. 11–25.
19. Маракушев А. А. Космическая петрология и эволюция планет Солнечной системы // Вестник МГУ, Геология. 2007. С. 3–11.
20. Маракушев А. А., Грановский Л. Б., Зиновьева Н. Г. и др. Космическая петрология М.: Наука, 2003.
21. Маракушев А. А., Маракушев С. А. Природа геохимической специфики нефти // ДАН. 2006. Т. 411. № 1. С. 111–117.
22. Маракушев А. А., Маракушев С. А. РТ-фации простых, углеводородных и органических веществ системы C–H–O // ДАН. 2006. Т. 406. № 4. С. 521–527.
23. Маракушев А. А., Маракушев С. А. Окислительно-восстановительные фации углеводородов и образование нефти // ДАН. 2007. Т. 414. № 1. С. 1–7.
24. Маракушев А. А., Маракушев С. А. Происхождение нефтяных и газовых месторождений // Литология и полезные ископаемые. 2008. № 3.
25. Милановский Е. Е. Геопульсация в эволюции Земли // Планета Земля. Энциклопедический справочник Тектоника и геодинамика» Под ред. Красного Л. И., Петрова О. В., Блюмана Б. Л. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004.
26. Назаров И. В. Геохимические свидетельства крупных событий в геологической истории Земли: Автотреф. Дисс. ... д-ра г.-м.н. М., 1995.
27. Недра России. Вып. 2, Т. 1. Полезные ископаемые / Под ред. Межеловского Н. В., Смирнова А. А. СПб., М.: Наука. 2001.



28. Озерова Н. А., Пиковский Ю. И. О новом типе ртутных месторождений: ртутно-углеводородном / В сб. Система планета Земля (нетрадиционные вопросы геологии). М.: ЛКИ, 2007. С. 31–33.
29. Пушаровский Ю. М. Строение, энергетика и тектоника мантии Земли // Вестник РАН. 2005. Т. 75. № 12. С. 1115–1122.
30. Самонейт К. Самая молодая нефть // Природа. 1991. № 12. С. 110.
31. Семенов Н. П. Метаморфизм подвижных зон. Изв. Науки Думка. Киев. 1966.
32. Сывороткин В. Л. Дегазация земли и разрушение озонового слоя // Природа. 1993. № 9. С. 36–45.
33. Сывороткин В. Л. Рифтогенез и озоновый слой. М: Геоинформмарк, 1996.
34. Сывороткин В. Л. Дегазация Земли разрушает озоносферу // Земля и Вселенная. 1998. № 1. С. 21–27.
35. Тейлер Р. Дж. Происхождение химических элементов. М.: Мир. 1975.
36. Тектоническое районирование и углеводородный потенциал Охотского моря. М.: Наука, 2006.
37. Тун О. Б., Турко Р. П. Полярные стратосферные облака и разрушением озонового слоя // В мире науки. 1991. № 8. С. 34–40.
38. Хаин В. Е., Полякова Д. Ресурсы нефти и газа в глубоких подводных зонах континентальных окраин // Литология и полез. ископаемые. 2004. № 6. С. 610–621.
39. Холодов В. Н. Геохимия осадочного процесса. М.: ГЕОС. 2006.
40. Шахновский И. М. Происхождение нефтяных углеводородов. 2-изд. М.: ОАО ВНИИОЭНГ. 2004.
41. Шило Н. А. Четыре космопланетарные проблемы: от Солнечной системы до Каспия. М.: Фонд «Новое тысячелетие». 1997.
42. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Элементы-примеси в черных сланцах. Екатеринбург: Наука, 1994.
43. Baundemont D., Fedorovich J. Structural control of uranium mineralization at the Dominique-Peter deposit, Saskatchewan, Canada // *Ecofl. Geol.* 1996. Vol. 91. № 5. P. 855–974.
44. Butler P. Upsilon Andromedae multiple-plateau systems // Wash. (D.C.): Carnegie Inst., 1999. P. 110–112.
45. Charbonneau D. Atmosphere out of that word // *Nature*. 2003. Vol. 422. P. 124–125.
46. Charlou J. L., Donval J. P., Fouquet Y. et al. Geochemistry of high  $H_2$  and  $CH_4$  vent fluids issuing from ultramafic rocks at the Rainbow hydrothermal field (36°14'N, MAR) // *Chem. Geol.* 2002. Vol. 191. P. 345–359.
47. Cruse A. M., Seewald J. S. Chemistry of low-molecular weight hydrocarbons in hydrothermal fluids from Middle Valley. Northern Juan de Fuca Ridge // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 2006. Vol. 70. P. 2073–2092.
48. Doyle L. R., Deeg H. J., Brown T. M. Searching for shadows of other Earths // *Sci. Amer.* 2000. No. 9. P. 38–15.
49. Holm N. G., Charlou J. L. Initial indication of abiotic formation of hydrocarbons in Rainbow ultramafic hydrothermal system. Mid-Atlantic Ridge // *Earth Planet Sci.* 2001. Vol. 191. P. 1–8.
50. Julian R. R., Beauchamp J. L. // *Intern. J. Mass Spectrometry*. 2003. Vol. 227. P. 147–159.
51. Kashefi K., Lovley D. R. // *Science*. 2003. Vol. 301. P. 934.
52. LaRowe D. E., Helgeson H. C. // *Geochim. et cosmochim. acta*. 2006. Vol. 70. P. 4680–4724.
53. Marakushev A. A. Cosmic petrology and the planetary evolution of the Solar System // *Astron. and Astrophys. Transactions*. 2005. Vol. 24, No. 6. P. 507–519.
54. Marakushev A. A., Zinovieva N. G., Granovsky L. B. Three Genetic Types of Ultrahigh-Pressure Minerals in Meteorites // *Antarctic Meteorites XXXI*, National Institute of polar Research. 2007. Tokyo. P. 45–46.
55. Marcy G. W., Butler R. P. Detection of extra-solar giant planet // *Ann. Rev. Astron. and Astrophysics*. 1998. Vol. 36. P. 57–98.
56. Nielsen P. E. // *Orig. Life Evol. Biosph.* 2007. Vol. 37. P. 323–328.
57. Potter J., Rankin A. H., Treloar P. J. // Abiogenic Fischer-Tropsch synthesis of hydrocarbons in alkaline igneous rocks; fluid inclusions, textural and isotopic evidence from Lovozero complex, N.W. Russia. *Litos*. 2004. Vol. 75. P. 311–330.
58. Scott H. P., Hemley R. J., Mao H. et al. Generation of methane in the Earth's mantle // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2004. Vol. 101. No. 39. P. 14023–14026.
59. Seelig B., Szostak J. W. // *Nature*. 2007. Vol. 448. P. 828–831.
60. Sherwood Lollar B., Wastgate T. D., Ward J. A. et al. Abiogenic formation of alkanes in the Earth's crust as a minor source for global hydrocarbon reservoirs // *Nature*. 2002. Vol. 416. P. 522–524.
61. Taran Y. A., Klinger G. A., Sevastianov V. S. Carbon isotope effects in the open-system Fischer-Tropsch synthesis // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 2007. Vol. 71. P. 4474–4487.
62. Touret J. L. R. Remnants of early Archean hydrothermal methane and brines in pillow-breccia from the Isua-Greenshield Belt, West Greenland // *Precamb. Res.* 2003. Vol. 126. P. 219–233.
63. Vidal-Madjar A., Lecavelier des Etangs A., Desert J. M. et al. An extended upper atmosphere around the extrasolar planet HD209458b // *Nature*. 2003. Vol. 422. P. 143–146.
64. Yamagata Y. // *Orig. Life Evol. Biosph.* 1999. Vol. 29. P. 511–520.

