

О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЙ, РАЗВИВАЮЩИХ ИДЕЮ В.И. ВЕРНАДСКОГО О «ГАЗОВОМ ДЫХАНИИ» ЗЕМЛИ

Статья 2. ГЛУБИННЫЕ ПРОЦЕССЫ ДЕГАЗАЦИИ НЕДР

В.М. Шестопапов¹, А.Н. Макаренко²

¹ *Отделение наук о Земле НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: vsh@hydrosafe.kiev.ua
Доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик НАН Украины, академик-секретарь Отделения наук о Земле.*

² *Научно-инженерный центр радиогидрогеоэкологических полигонных исследований НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: poshuk@mail.ru
Главный геофизик.*

Обсуждены проблемы и направления современного развития идеи В.И. Вернадского о «газовом дыхании» Земли в аспекте глубинных процессов дегазации: происхождение летучих в недрах Земли; влияние процесса выделения внутреннего тепла Земли на пространственно-временные особенности дегазации; поведение флюидов в земных недрах, процессы их миграции, взрывные явления, влияние на вулканизм и сейсмичность; взаимодействие их с окружающей средой земных глубин; влияние на процессы гранитизации; формирование атмосферы и гидросферы; роль флюидов в формировании месторождений углеводородов и рудных полезных ископаемых.

Ключевые слова: «газовое дыхание» Земли, геофлюиды и пути их миграции, приэкваториальный «горячий пояс» дегазации, формирование атмосферы и гидросферы, флюидогенные месторождения полезных ископаемых.

SOME RESULTS OF STUDIES DEVELOPING THE V.I. VERNADSKY'S IDEA ABOUT «GAS BREATHING» OF THE EARTH

Paper 2. DEPTH DEGASSING PROCESS IN THE EARTH INTERIOR

V.M. Shestopalov¹, A.N. Makarenko²

¹ *National Academy of Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: vsh@hydrosafe.kiev.ua
Academician-Secretary of Earth Sciences Division, NAS Ukraine.*

² *Radio-Environmental Center of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: poshuk@mail.ru
Chief Geophysicist.*

The problems and current lines of development are discussed, concerning the V.I. Vernadsky's idea about gas breathing of the Earth, in particular, deep gassing processes: the origin of volatiles in the Earth interior; impact of the Earth internal heat liberation on the spatio-temporal degassing features; behavior of fluids and their migration in the Earth interior, explosive phenomena, influence on volcanism and seismicity; their interaction with depth surrounding media; influence on granitization process; atmosphere and hydrosphere formation, role of fluids in hydrocarbon and ore deposits formation.

Key words: gas breathing of the Earth; geofluids and their migration pathways; near-equatorial «hot belt» of degassing; atmosphere and hydrosphere formation; fluidogenic mineral deposits.

ПРО ДЕЯКІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ, ЯКІ РОЗВИВАЮТЬ ІДЕЮ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО ПРО «ГАЗОВЕ ДИХАННЯ» ЗЕМЛІ

Стаття 2. ГЛИБИННІ ПРОЦЕСИ ДЕГАЗАЦІЇ НАДР

В.М. Шестопапов¹, О.М. Макаренко²

¹ Відділення наук про Землю НАН України, Київ, Україна, E-mail: vsh@hydrosafe.kiev.ua
Доктор геолого-мінералогічних наук, професор, академік НАН України, академік-секретар Відділення наук про Землю.

² Науково-інженерний центр радіогідроекологічних полігонних досліджень НАН України, Київ, E-mail: poshuk@mail.ru
Головний геофізик.

Обговорено проблеми і напрями сучасного розвитку ідеї В.І. Вернадського про «газове дихання» Землі в частині глибинних процесів дегазації: походження летючих у надрах Землі; вплив процесу виділення внутрішнього тепла Землі на просторово-часові особливості дегазації; поведінка флюїдів у земних надрах, процеси їх міграції, вибухові явища, вплив на вулканізм і сейсмічність; взаємодія їх з навколишнім середовищем земних глибин; вплив на процеси гранітизації; формування атмосфери та гідросфери; роль флюїдів у формуванні родовищ вуглеводнів і рудних корисних копалин.

Ключові слова: «газове дихання» Землі; геофлюїди та шляхи їх міграції; приєкваторіальний «гарячий пояс» дегазації; формування атмосфери та гідросфери; флюїдогенні родовища корисних копалин.

Введение

В предыдущей нашей статье [Шестопапов, Макаренко, 2013] были рассмотрены поверхностные проявления дегазации земных недр («газового дыхания» планеты), свидетельствующие о распространенности и грандиозных масштабах этого явления. В настоящей работе обсуждаются некоторые аспекты глубинных процессов дегазации, а именно: происхождение летучих в недрах Земли; влияние процесса выделения внутреннего тепла Земли на пространственно-временные особенности дегазации; поведение флюидов в земных недрах, процессы их миграции, взрывные явления, влияние на вулканизм и сейсмичность; взаимодействие их с окружающей средой земных глубин и влияние на нее; влияние на процессы гранитизации; формирование атмосферы и гидросферы; роль флюидов в формировании месторождений углеводородов (УВ) и рудных полезных ископаемых и др.

Прежде чем перейти к изложению указанных вопросов, рассмотрим начальные предпосылки формирования дегазации как одного из основных внутренних процессов планеты.

1. Происхождение летучих на Земле

Земля сформировалась в протопланетном облаке, состоявшем главным образом из водорода. Водород – самый распространенный элемент во Вселенной. Из него большей частью состоит Солнце, а также планеты-гиганты Юпитер и Сатурн, значительно его присутствие в недрах Урана и Нептуна, спутников планет-гигантов, планетоидов и кометных тел на окраинах Солнечной системы. Содержание водорода в недрах астероидов и планет земной группы значительно меньше, но и здесь он относится к относительно распространенным элементам, пребывая как в свободном виде, так и, большей частью, в форме воды и УВ.

Из соединений водорода вода – самое распространенное вещество во Вселенной. Она присутствует в значительных количествах в составе межзвездных газопылевых облаков, входила в состав протопланетного облака Солнечной системы, из нее в значительной мере состоят планеты-гиганты, в особенности водно-ледяные гиганты Уран и Нептун, многие спутники планет-гигантов, планетоиды и кометы на окраинах Солнечной системы, также она присутствует в веществе астероидов, на Земле и Марсе.

УВ – также весьма обычные вещества во Вселенной, широко распространены они и в Солнечной системе. Присутствуют также в больших количествах в атмосферах планет-гигантов, в особенности Урана и Нептуна, а на Титане – спутнике Сатурна – не только атмосфера содержит УВ, но и, как известно, обнаружены углеводородные реки и моря. УВ в значительной мере распространены на поверхности этого и некоторых других спутников планет-гигантов, а также планетоидов пояса Койпера, в частности Плутона. Анализ ряда марсианских метеоритов разного возраста показал наличие и в них органического вещества (УВ) предположительно вулканического происхождения [Schmitt-Kopplina et al., 2010]. Также следы метана найдены в атмосфере Марса.

Особенно значимым для понимания природы летучих веществ в недрах нашей планеты является присутствие воды и УВ в составе малых тел Солнечной системы – комет и, в особенности, астероидов (являющихся, как известно, родительскими телами большинства метеоритов), сложенных первичным недифференцированным веществом, сконденсировавшимся непосредственно из протопланетного облака, поскольку вещество астероидов близко по своему составу к тому веществу, из которого образовалась Земля и другие планеты земной группы.

Наиболее примитивное (и распространенное) вещество астероидов, насколько об этом можно судить из состава метеоритов (углистых хондритов), содержит около 1% (иногда и до 5%) органики, большей частью состоящей из смеси УВ – битумообразного вещества темного цвета с характерным запахом нефти. Для сравнения достаточно сказать, что при всей той активности, которую современная жизнь проявляет при производстве органических веществ, концентрация рассеянного органического вещества (ОВ) в широко распространенных на Земле осадочных горных породах обычно не превышает 1% (по массе). К примеру, в глинистых породах содержится ОВ в среднем 0,9%, в песчаных – 0,2% относительно массы породы-коллектора (сравним – вещество метеорита Мерчисон содержит 5% УВ). Состав этого веще-

ства крайне разнообразен. Так, в углистом хондрите Мерчисон найдено 14 тыс. различных органических соединений [Schmitt-Kopplina et al., 2010], а предполагается присутствие еще и миллионов других ОВ. Среди этих веществ, в частности, найдены такие компоненты нефтей, как пристан, фитан и др., считавшиеся сторонниками органического происхождения месторождений УВ биомаркерами, признаками присутствия биосферной органики.

В моделях валового состава Земли исследователями обычно предполагается, что в основу ее пошло вещество, представляющее собой смесь недифференцированного, примитивного вещества обыкновенных, энстатитовых и углистых хондритов в пропорциях, которые в разных моделях различны. Важными особенностями этого вещества является следующее. Для обыкновенных и энстатитовых хондритов характерно присутствие значительного количества (до 10% вес.) металлического никелистого железа. В то же время углистые хондриты содержат значительные количества летучих – воды (от 1 до 15%) в виде гидросиликатов (серпентин, хлорит, монтмориллонит и др.), а также около 1-3% УВ.

Попав в недра планеты, это вещество подвергалось высокому давлению, растущему разогреву под воздействием энергии аккреции, распада радиоактивных изотопов, энергии начавшейся гравитационной дифференциации и некоторых других тепловых источников. Это способствовало разложению гидросиликатов с образованием воды в свободном состоянии, а также частичному плавлению силикатных минералов.

Из химии известно о том, что при взаимодействии воды с раскаленным металлическим железом происходит ее разложение с образованием молекулярного водорода. Учитывая наличие свободного железа в недрах Протоземли, можно предположить, что неизбежный разогрев их сопровождался образованием свободного водорода и кислорода. Процесс имел эндотермический характер, происходило накопление химической энергии путем преобразования избыточной тепловой энергии окружающей среды. Учитывая наличие в среде значительных количеств двухвалентного железа и железа в форме с нулевой валентностью,

можно предположить, что избыточный кислород шел, хотя бы частично, на его доокисление.

Опыты по моделированию поведения водорода в условиях первичных земных недр [Ohtani et al., 2009] показали, что свободный молекулярный водород переходит большей частью в металлическую фракцию (многие металлы, в том числе железо и никель, как известно, способны поглощать водород в количествах, значительно превышающих собственный объем) и опускается вместе с ней на дно расплава, т. е. водород в присутствии металлического железа является сидерофильным элементом. Из этого можно предположить, что в условиях протопланетных недр обогащенное водородом металлическое железо в ходе гравитационной дифференциации также оседает к центру протопланеты и формирует там насыщенное водородом ядро.

Отмечают также высокую вероятность протекания реакции $Fe + H_2O \rightarrow FeO + FeH_x$ для условий недр первичной Земли с образованием гидридов железа [Stevenson, 1977].

Нельзя исключать, что значительные количества первичной воды и, может быть, молекулярного водорода сохраняются также изначально в мантийном веществе.

Термодинамические условия в самых глубоких земных недрах таковы, что, по-видимому, молекулярный водород в значительной мере диссоциирует в атомарную форму [Летников, 2001]. Этот процесс также идет с поглощением энергии из окружающей среды.

Таким образом, **в условиях ранней Земли в самых глубоких ее недрах сложилась восстановительная обстановка, сформировался значительный запас водно-водородно-углеводородных флюидов и химической энергии.**

С учетом происхождения летучих в земных недрах, у нас есть все основания предполагать восстановленные газы, прежде всего свободный водород и УВ, исходной формой летучих в недрах Земли. Широко представленные в вулканических эксгаляциях пары воды и углекислый газ являются, по-видимому, большей частью продуктами окисления восстановленных газов в верхних слоях земных недр (скорее всего, в магматических очагах).

Сера как элемент тоже может быть отнесена к достаточно распространенным летучим. В метеоритном веществе она присутствует почти исключительно в виде троилита (FeS). Наблюдается явный дефицит серы в каменных оболочках Земли. Также известно, что, судя по плотностным свойствам земного ядра, в нем должна присутствовать примесь какой-либо относительно легкой компоненты. Обычно такой компонентой считается сера.

2. Неравномерность дегазации недр Земли

Еще в XIX в. была замечена пространственная приуроченность проявлений вулканизма к низким широтам. К настоящему времени накоплен достаточно большой массив данных (пространственное распределение реологических свойств вещества земных недр, проявлений вулканической, сейсмической активности и т. п.), позволяющий некоторым исследователям говорить о существовании в недрах Земли особой зоны повышенной эндогенной активности, приуроченной к низким широтам, – приэкваториальном «горячем поясе» земных недр [Glukhovskiy, Moralev, 1994].

На рис. 1 показано, как проявлен этот пояс в реологических свойствах вещества нижней мантии и в пространственном распределении плюмов. Видно, что, помимо протяженной приэкваториальной зоны разогретого и разуплотненного вещества, пояс включает в себя также восходящие конвективные потоки – Африканский и Тихоокеанский суперплюмы. В районе развития суперплюмов расположены поля повышенной концентрации обычных «рядовых» плюмов.

На рис. 2 показаны широтные распределения проявлений вулканизма как наиболее яркого поверхностного свидетельства внутренней активности Земли. Вполне очевидна приуроченность этого явления к низким широтам. Как известно, извержения вулканов сопровождаются значительными масштабами дегазации земных недр. Масштабы эти таковы, что предполагаемая суммарная масса исторгнутых в ходе земной истории летучих сопоставима с массой внешних, сложенных летучими веществами, оболочек Земли (гидросферы, атмосферы, биосферы) [Мархинин, 1980].

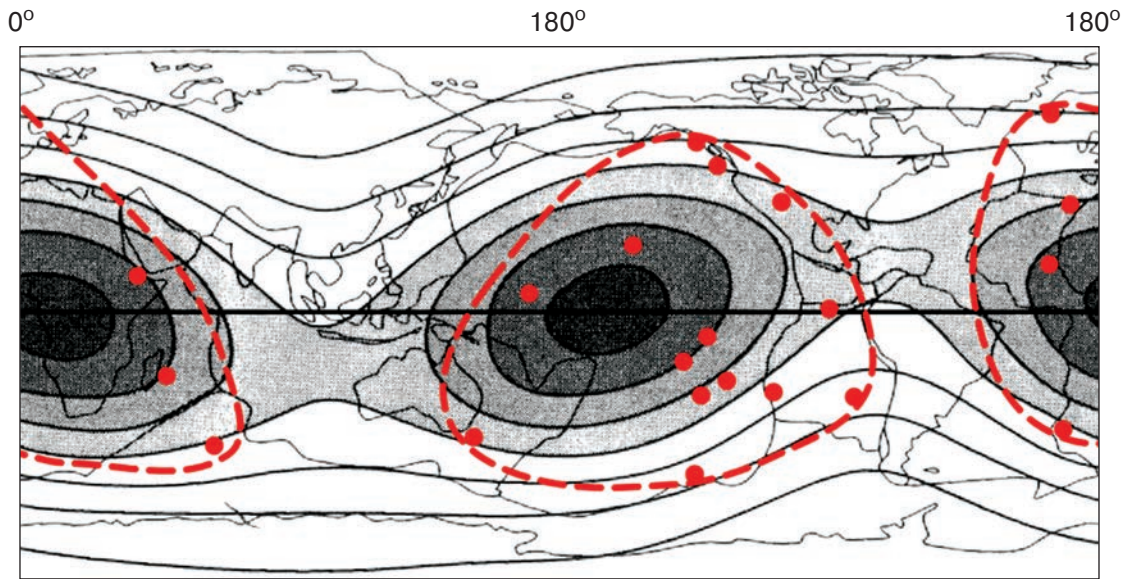


Рис. 1. Экваториальный «горячий пояс» Земли. К этому поясу приурочены восходящие конвективные потоки мантии – Тихоокеанский и Африканский суперплюмы. Заливкой на рисунке показаны области с пониженными скоростями сейсмических волн в нижней мантии [Seider et al., 1999]. Пониженные скорости свидетельствуют об размягченном, разогретом состоянии вещества на этих участках. Красное – горячие точки, образованные той частью плюмов, корни которых уходят глубоко в мантию [Courtillot et al., 2003] как поверхностное проявление разогретых участков мантийного вещества

Fig. 1. Equatorial “hot belt” of the Earth. The ascending convective streams of mantle – the Pacific and African superplumes are associated with this belt. In the Figure, contours filled with a solid color show areas with reduced velocity of seismic waves in the lower mantle [Seider et al., 1999]. Reduced velocity testifies to the softened, heated state of matter in given areas. Red color denotes hot spots formed by a part of plumes deeply rooted into the mantle [Courtillot et al., 2003], being a surface manifestation of heated portions of the mantle matter

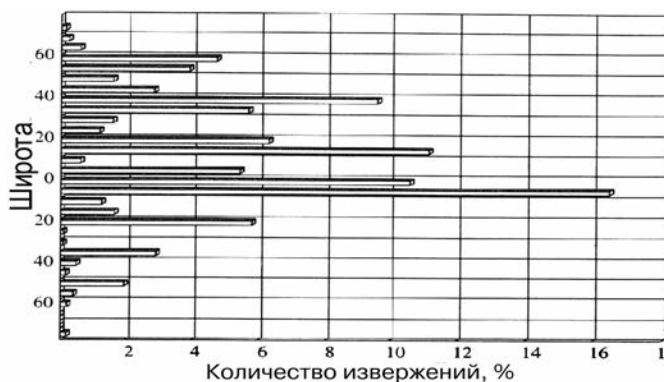


Рис. 2. Распределение извержений вулканов на Земле в зависимости от географической широты (период 1900-1977 гг.; 1030 извержений по 272 вулканам) [Федоров, 2002]

Fig. 2. Distribution of volcanic eruptions over the Earth, depending on geographical latitude (1030 eruptions from 272 volcanoes, over the period of 1900-1977) [Федоров, 2002]

Интересные, пусть хотя бы и косвенные данные по степени дегазированной отдельных областей земных недр могут быть получены из анализа электрической проводимости пород. Имеющаяся информация по проводимости мантийного вещества приведена на рис. 3. Принято считать, что значения электрической проводимости пород мантии определяются главным образом степенью присутствия в них летучих веществ – в первую очередь водного флюида,

во вторую – содержанием диоксида углерода. Добавление даже малого количества водорода также повышает электропроводность недр [Kareto, 1990]. Следовательно, по электропроводности мантийных пород можно составить некоторое представление о расположении в ней зон, подвергшихся усиленной дегазации.

Получение информации об электрических свойствах пород на больших глубинах сопряжено со значительными трудностями,

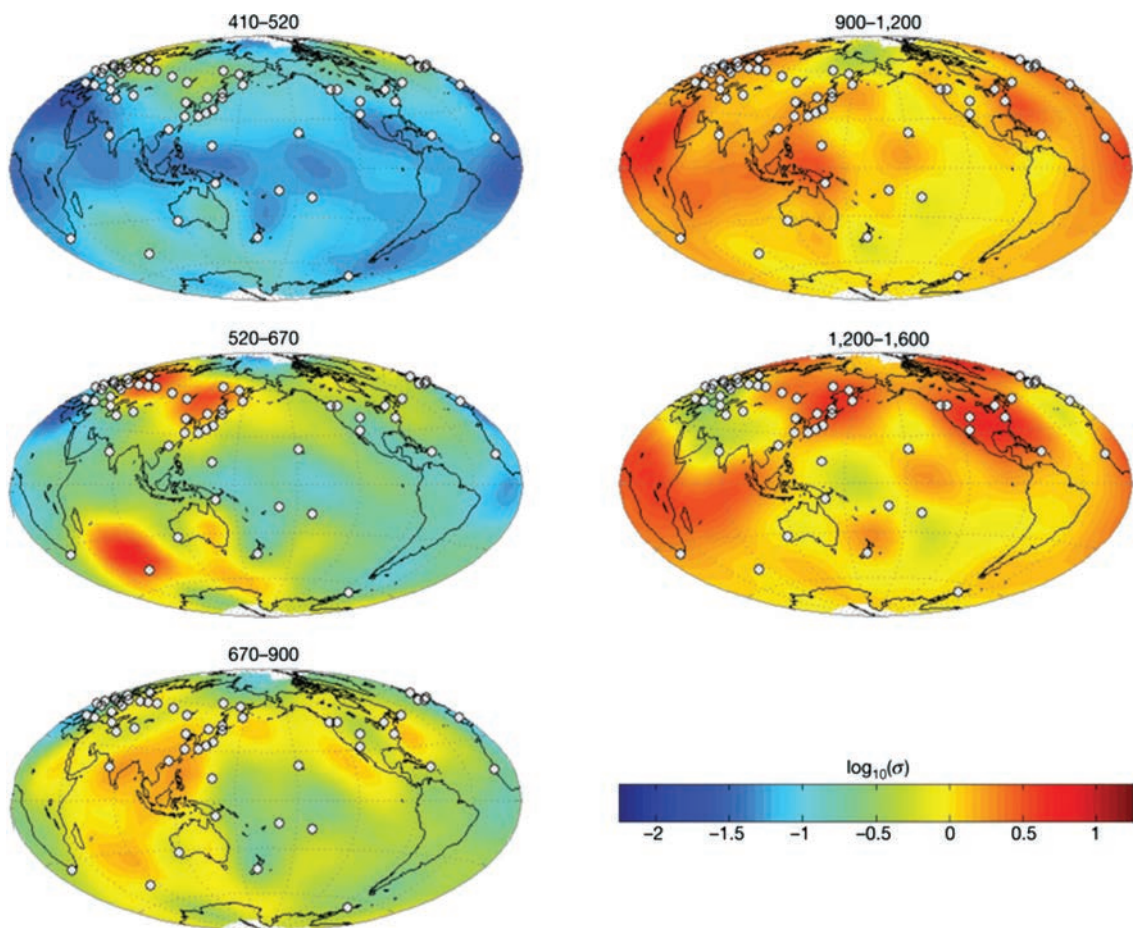


Рис. 3. Электрическая проводимость пород мантии на разных глубинах (синее – низкая, красное – высокая, кружками показаны точки измерений) (Kobbert et al.)

Fig. 3. Electrical conductivity of mantle rocks at different depths (blue color – low, red color – high, bubbles indicate measurement points) (Kobbert et al.)

поэтому данных не так много, но и из того, что отображено на рис. 3, можно сделать достаточно определенные выводы. В мантийном веществе, соответствующем глубинам верхней мантии, вдоль экватора проходит пояс пород, отличающихся низкой электрической проводимостью, из чего можно также заключить и об их относительной дегазированнойности, обедненности флюидами. Для верхов нижней мантии характерна приуроченность обедненных летучими зон к Африканскому и Тихоокеанскому суперплюмам (восходящим глобальным конвективным потокам мантийного вещества). Следовательно, вещество сложенных летучими компонентами оболочек Земли происходит в значительной мере из особой зоны повышенной дегазации – экваториального «горячего пояса» верхней мантии.

Заметим, что перемешивание вещества в ходе многочисленных циклов мантийной конвекции предполагает относительную молодость зоны повышенной дегазации. В то же время наличие следов существования экваториальных «горячих поясов» в недрах других планет, где внутренняя активность давно прекратилась [Макаренко, 2011б], позволяет предположить, что в недрах Земли такая зона существовала на протяжении всей ее истории.

Не только пространственно, но также и во времени процесс дегазации развивался неравномерно, будучи приуроченным к ритмам эндогенной активности Земли космической же природы.

Изменения содержания в атмосфере углекислого газа как одного из преобладающих газов в «газовом дыхании» планеты

происходили в истории Земли с определенной цикличностью, в целом соответствующей цикличности эндогенной активности земных недр. Насколько можно судить по данным работы [Будыко и др., 2012], наблюдается цикличность с периодами примерно 30 и 200 млн лет. Этой цикличности соответствуют основные геотектонические циклы – Штилле и Бертрана, которые, судя по всему, имеют космическую природу и вызваны модуляцией выделения энергии в недрах Земли движением ее в Галактике [Макаренко, 2011а].

Можно заключить следующее: **сложенные летучими внешние оболочки Земли возникли в результате дегазации преимущественно в особой области верхней мантии – ее поясе дегазации (экваториальном «горячем поясе») – под воздействием пульсационного выделения энергии источником космической природы.**

3. Глубинные процессы миграции флюидов

Сегодня прописной истиной является утверждение, что все эндогенные процессы, происходящие в земной коре, приводящие к изменению фазового состояния вещества горных пород и, следовательно, к их преобразованию, обусловлены воздействием флюидов с высокими значениями давления и температуры [Летников, 2006].

Роль флюидов многофункциональна. Они одновременно извлекают из матрицы и концентрируют в себе различные элементы, переносят их на большие расстояния из глубоких недр в сторону поверхности Земли, в процессе переноса в связи с изменением их параметров меняют условия и формы переноса на всем пути своей миграции, активно взаимодействуют с вмещающими породами, изменяют их и постепенно внедряют в них эти элементы в виде соответствующих соединений либо в самородном виде.

В глубинных частях планеты (внешнее ядро, нижняя мантия) параметры давления и температуры достигают высоких значений. Формирующиеся на границе ядра и мантии флюидные образования обладают колоссальной энергией: $P > 1300$ кбар, $t > 4000$ °С [Летников, 2001]. При таких параметрах флюид имеет значительную подъемную силу. В процессе его подъема про-

исходит взаимодействие силикатной матрицы вещества мантии и восстановленных газов – H_2 , CH_4 , CO , восстановленной серы, хлора, азота и др.

По эффекту такое воздействие напоминает прожигание вещества мантии с частичным переводом его в сверхсжатое газовое состояние (сублимацию). Этот процесс требует значительных затрат энергии и без энергетической подпитки может затухнуть. Но упомянутое выше взаимодействие начального восстановленного флюида с кислородсодержащим веществом мантии приводит к значительному выделению тепла и подпитке энергетического потенциала плюма, способствует его дальнейшему продвижению вверх. При этом происходит частичное окисление восстановленных газов. Выполненные эксперименты (Ю. Рябчиков, Н. Горбачев) показывают, что при больших давлениях (30 Кбар) в газовом флюиде на основе воды наблюдается высокая растворимость силикатных компонентов и дезинтеграция вещества матрицы, что приводит к существенному увеличению его массы.

Наряду с этим, сохранение части восстановленных газов в конце пути – в верхних частях земной коры и даже на поверхности – свидетельствует о колоссальной исходной массе и энергоемкости глубинного флюида.

Снижение давления по мере продвижения флюидов вверх до некоторой критической глубины создает условия, когда возможным становится плавление пород. Взаимодействие восстановленных газов и прежде всего водорода с окисленными породами литосферы приводит к образованию воды, CO_2 , SiO_2 , самородных металлов, УВ, хлоридных рассолов.

Таким образом, при температурах выше 400 °С можно выделить [Летников, 2006] две группы флюидов: 1) начальные восстановленные – H_2 , CO , CH_4 и другие УВ, H_2S , S^0 , восстановленные формы – C , N , H и 2) постепенно возрастающие по объему по мере подъема флюидов окисленные – H_2O , CO_2 , Cl_2 , O_2 , F_2 , HCl , HF , окисленный азот, оксихлориды, оксифториды.

При температуре $t < 400$ °С флюидные газовые системы переходят в водно-газовые, что обеспечивает гетерогенность, неравновесность и большую сложность процессов флюидного воздействия на породы.

В целом, преобразование вещества литосферы и, в частности, рудообразование связано через флюидные системы с двумя высокоэнергетическими источниками – жидким внешним ядром и примыкающим к нему нижним слоем мантии.

При этом накопленные данные позволяют выделить три сценария [Летников, 2006]:

1. Максимальный вынос флюидами гранитизирующих кислородсодержащих компонентов из верхней мантии в земную кору, активное образование гранито-гнейсовых массивов. Флюидные системы, обеспечивающие гранитизацию земной коры, способствуют накоплению рассеянной минерализации.

2. Активизация в постгранитизационную эпоху глубинных разломов, обеспечивающих внедрение и транспорт потенциально рудоносных флюидных систем. В результате в гранитоидной коре образуются интрузии с рудопроявлениями Sn, W, Ta, Nb, Zr, Li и др.

3. Воздействие высокоэнергетических флюидных систем из ядра обуславливает формирование в коре магм от основной до кислой и устойчивую обогащенность Ni, S, Co, Au, Ag, Cu, Mo, элементами платиновой группы и другими халькофильными элементами.

Следует отметить, что **для зон длительно существующих глубинных разломов бывает характерным наложение следов воздействия различных флюидных систем в виде отличающихся по набору нефте-, газо- и рудопроявлений.**

Безусловно, для формирования многих типов рудных месторождений очень важным является сохранение высокого восстановительного потенциала флюидов, несмотря на значительное его расходование в процессе переработки вещества во время их подъема вплоть до места конечной локализации. Подтверждением этого является обнаружение законсервированных газов H_2 , CH_4 , CO , 3He в богатых рудопроявлениях золота и других металлах [Нарсеев, 1996].

4. Дегазация недр и УВ

На основании изложенного затронем несколько подробнее проблему формирования скоплений УВ. Как известно, суще-

ствует две основные гипотезы происхождения УВ – органическая, настаивающая на том, что нефть, газ и битумы являются продуктами переработки отмерших остатков растений и животных, и неорганическая. Сторонниками последней были Г. Агрикола (XVI в.), А. Гумбольдт (начало XIX в.), химики М. Бертло (1866 г.), Г. Биассон (1871 г.), Д.И. Менделеев.

Геолог Н. Соколов еще в 1892 г. предположил, что УВ существовали изначально в первозданном веществе Земли. В.И. Вернадский, подчеркивая важность процессов глубинной дегазации, прежде всего гелия и водорода, не исключал и другие газы, в том числе и углеводородные. Н.П. Семенов полагал, что метан является наиболее глубинным компонентом восходящих из недр газов, являющимся начальным звеном в формировании разнообразных углеводородных веществ.

Идею абиогенного формирования УВ развивали многие исследователи Украины, России, дальнего зарубежья, среди которых отметим прежде всего П. Н. Кропоткина, Н. А. Кудрявцева, В. Б. Порфирьева, Г. Н. Доленко, Ф. Хойла, Т. Голда, В. А. Краюшкина, Б. М. Валяева, П.Ф. Гожица, А. Е. Лукина и др.

Не ставя задачу детального анализа двух упомянутых гипотез нефтегазообразования, все же обратим внимание на те факты, которые свидетельствуют о важной роли глубинной флюидодинамики (дегазации) в формировании углеводородных восходящих потоков и, в частном случае, их месторождений [Зубков и др., 2000]:

1. По данным R. Sugisaki и K. Mimuka, в мантийных ксенолитах (обломочных включениях) вулканических пород, предположительно выносимых с глубин около 100-200 км, в различных местах планеты выявлены включения УВ – алканов. При этом в самих вулканических породах УВ не обнаружены.

2. Полициклические ароматические УВ выявлены в минералах из кимберлитов Якутии и других регионов. Выделения метана также встречены в кимберлитовых трубках.

3. Тяжелые углеводороды и углеводородные газы обнаружены в ультраосновных массивах на Урале, северо-востоке России в щелочных породах Кольского полуострова и в других регионах планеты.

4. По данным [Шнюков, Краюшкин, 1999], на 1999 г. в породах кристаллического фундамента частично или полностью обнаружено 450 месторождений нефти.

5. Подтверждение поступления УВ из мантии получено на Западно-Сибирской платформе, где исследованиями Р. П. Готтиха, Б. И. Писоцкого, Ю. Н. Бурмистенко и других ученых показано этажное их залегание, начиная от кристаллического фундамента и выше по осадочному разрезу. При этом температура гомогенизации изменяющихся по составу углеводородно-водных включений, сосуществующих с тяжелыми УВ, убывает вверх по разрезу, отображая восходящую направленность потока глубинного флюида. Обнаружение глубинного углеводородгенерирующего Обского рифта мантийного заложения еще более усиливает позицию упомянутых выше исследователей. Аналогичные ситуации и во многих других нефтегазовых бассейнах.

Вторжение агрессивных флюидных смесей с УВ снизу иллюстрируется рядом характерных аномалий [Валяев, 1997]:

- температурные аномалии достигают нередко десятков градусов и более по сравнению с фоном;

- превышение давления над давлением поровых вод составляет десятки мегапаскалей;

- на глубинах более 3 км в составе газов, кроме УВ, встречаются глубинные, нередко восстановленные газы – H_2 , He, H_2S , CO и др.;

- целый набор благородных и редкоземельных металлов обогащает залежи УВ;

- с ростом глубины залегания УВ аномальность конденсационных вод в оторочках скоплений УВ возрастает, в контуре залежей появляются некоторые гидротермальные минералы, возникновение которых невозможно в фоновых термобарических условиях;

- на больших глубинах и в породах с низкими коллекторскими свойствами (это не только осадочные, но и кристаллические породы) агрессивные углеродсодержащие флюиды в условиях аномально высоких давлений и температур перерабатывают минеральную матрицу пород и образуют порово-трещинно-кавернозные вторичные резервуары с признаками постинтрузивного диапиризма.

В этом отношении показательны результаты исследований месторождения Белый Тигр, расположенного на южном шельфе Вьетнама [Лукин и др., 2007]. С гранитоидным фундаментом здесь связано до 90% разведанных запасов нефти. Вверх по разрезу установлено снижение коэффициента заполнения ловушек нефтью от 1 для кристаллических пород до 0,4-0,5 в верхнем олигоцене – нижнем миоцене.

Как отмечено выше, гранитоидный породный субстрат преобразован во вторичнопоровые кавернозные хорошо проницаемые метасоматиты с признаками полиминерального вещества.

Огромный набор минералов, образующихся при весьма отличающихся термодинамических условиях, наличие самородных металлов, карбидов и других свидетельствует о том, что воздействующий на гранитоидные породы флюид находился под сверхвысоким давлением, имел поликомпонентный состав, включая восстановленные газы H, C, S. Все это указывает на ядерные глубины источника газа. Наличие примесей привнесенных оксидов, силикатов, карбонатов, сульфатов, хлоридов и других компонентов свидетельствует о попутной ассимиляции вещества мантии, включая воду, при прохождении глубинных газов по проницаемым каналам дегазации.

Как отмечалось, в зонах подводных современных рифтов, где практически отсутствуют осадочные породы, а сами разломы имеют мантийные (и более глубокие) корни, отслежена система действующих подводных гидротерм с температурой до 700 °C и более, разгружающих в морскую среду природные гидротермальные нефти. Эти проявления зафиксированы в центральной рифтовой долине Восточно-Тихоокеанского поднятия, в осевой долине спрединга Срединно-Атлантического хребта, в Красноморском рифте, Калифорнийском заливе, тихоокеанской впадине Эсканоба [Шнюков, Краюшкин, 1999]. В отдельных местах здесь были обнаружены крупные промышленные залежи гидротермальной нефти, приуроченные к гидротермальным сульфидным образованиям. Известны гидротермальные образцы, образующие каверны, стенки которых покрыты друзами кварца и кальцита и заполнены флюидом,

состоящим из нефти, битума, соленой воды, природного газа. Подтверждают глубинное происхождение УВ и результаты бурения Кольской сверхглубокой скважины, расположенной на Балтийском щите. Скважина вскрыла лишь изверженные и метаморфические кристаллические породы. В интервале глубин 7-10 км она вошла в пласты изверженных пород, насыщенных нефтью.

Важным показателем несоответствия представлений об органическом происхождении нефти реалиям является сопоставление оценок ресурсов нефти согласно модели органического ее происхождения и фактическим определениям (J. H. Tatsch, C. Barker и др.). Так, на основе оценки биогенных веществ в нефтематеринских отложениях Саудовской Аравии запасы нефти должны составлять не более 7,5 млрд м³. В действительности же этот объем достигает менее 5% от известных запасов региона. При этом следует учитывать, что известные запасы – это далеко не все запасы.

М. Р. Ладыженский еще в 1955 г. подсчитал, что Бориславское месторождение в Предкарпатье может содержать 4,5 млн м³ добываемой нефти. Но уже тогда ее было добыто гораздо больше, а ее добыча к 2010 г. составила 33 млн т и эксплуатация продолжается. Аналогичная ситуация наблюдается на многих месторождениях Украины и мира.

Во многих месторождениях отмечен пульсационный режим нефтедобычи, обусловленный природными изменениями давления в пласте. Известны естественные высачивания нефти на поверхность морского дна. Они установлены у берегов Австралии, Аляски, Венесуэлы, Канады, Мексики, США, в Персидском заливе и др.

Все эти и многие другие примеры свидетельствуют о том, что процесс нефтегазообразования мог осуществляться не только в геологическом прошлом. Он также является современным, весьма активным, в ряде случаев пульсирующим. Его объемы во много раз больше, чем возможная переработка захороненной органики. При этом его основные закономерности согласуются с иными проявлениями процессов дегазации.

В этой связи, в соответствии с предложениями Б. А. Соколова, В. В. Трофимова и

других ученых, с учетом имеющихся новых знаний, нефтегазовое месторождение следует рассматривать как сложную длительно существующую систему. Она в основном состоит из очага генерации УВ, путей их восходящей миграции и попутного преобразования, а также замыкающей ловушки или ловушек, обеспечивающих их сохранение, дифференциацию, дальнейшее преобразование и пополнение. Чтобы эта трехчленная система состоялась, необходимо наличие бассейнов переслаивающихся проницаемых и слабопроницаемых пород, среди которых кристаллические породы могут выполнять роль нижнего коллектора-ловушки.

Наряду с упомянутыми системами, на планете Земля распространено огромное количество двухчленных систем, состоящих из очагов генерации УВ и путей их миграции. Это прежде всего зоны спрединга, не перекрытые мощными осадками, в основном молодые рифты, многочисленные раскрытые разломы. Из-за отсутствия надежных ловушек разгрузка жидких и газообразных УВ происходит здесь непосредственно в окружающую среду (прежде всего в океан). Объем этой разгрузки существенно превосходит пополнение систем с ловушками. В целом же, формирование и сохранение (в связи с трехчленным строением) крупнейших и большинства крупных месторождений и нефтегазоносных бассейнов приурочены к зонам сочленения тектонически разнородных образований (платформ, складчатых структур, океанических впадин и т.п.), т. е. в зонах крупнейших разломов глубинного заложения. Такие зоны обеспечивают активный прогрев мантийно-корового вещества и интенсивную восходящую миграцию флюидов с высокими термобарическими показателями.

По-видимому, под этим углом зрения следует посмотреть и на проблему нафтидогенеза в зонах субдукции. Эти зоны, обеспечивающие погружение значительных масс корового вещества в мантию, не могут формироваться вне районов развития текущих мантию крупнейших разломов, обеспечивающих восходящий мощный приток глубинных УВ. В тыловых поясах зон субдукции, где часто обнаруживаются крупные месторождения УВ, обычно фиксируются и высокие концентрации водорода, встреча-

ется в повышенных концентрациях также ^3He . Все это подтверждает наличие глубинных активных путей восходящей флюидной миграции. Приведенные выше соображения, а также сопоставление возможных объемов поступления глубинных абиотических УВ и продуктов переработки остатков захороненных организмов (не говоря уже о других доводах) показывают, что значение рециклинга УВ для таких областей весьма переоценено [Родкин, 2002].

Рассматривая возможные источники углерода в формировании УВ, нельзя не учитывать огромную его массу, вовлекаемую в карбонатный седиментогенез. Его пополнение, с учетом осадочного захоронения, возможно лишь из глубинных источников.

Впервые теоретическое обоснование поступления тяжелых УВ из мантии в земную кору выполнил украинский исследователь Э. Б. Чекалюк [Чекалюк, 1967]. Используя метод констант химических реакций, с позиций термодинамики он обосновал возможность существования тяжелых УВ в верхней мантии. В равновесных условиях при избытке углерода они могут сменяться метаном и ближайшими гомологами. Он также показал, что в верхней мантии тяжелые УВ могут соседствовать с неорганическими газами – CO_2 , CO , H_2O , H_2S , N и др.

Спустя почти 30 лет группа российских исследователей [Зубков и др., 2000; Карпов и др., 1998] с использованием достижений компьютерного моделирования физико-химических процессов перепроверила выводы Э. Б. Чекалюка. Не вдаваясь в детали исследований, отметим, что они не только получили подтверждение выводов Э. Б. Чекалюка, но и сформулировали ряд сценариев поведения УВ при их подъеме в земную кору.

Следует отметить, что один из сценариев – возникновение специфического режима подъема УВ, обеспечивающего возрастание энергетической их емкости до уровня взрывчатого вещества с последующей детонацией – подтвержден не только термодинамическими расчетами [Карпов и др., 1998], но и разнообразными геологическими исследованиями и гипотезами ряда исследователей [Вадковский, 2012; Семенов, 1990; Шаров, 1993].

В частности, в последней из перечисленных выше работ на основе анализа землетрясений в Японии, зафиксированных в каталоге землетрясений JMA, показано, что только высококомобильные углеводородные флюиды могут создавать вертикальную цепочку очагов детонаций – землетрясений в конкретных гипоцентрах в диапазоне глубин до 90 км. Однако динамика их проявления весьма хаотична и требует дальнейших исследований для выявления конкретных механизмов.

Родственным этим процессам является и образование кимберлитовых трубок (трубок взрыва). В некоторых из них, как известно, находятся скопления алмазов. В настоящее время наиболее обоснованной представляется «взрывная» гипотеза образования алмазов. А.М. Портнов [Портнов, 1982] сформулировал модель, согласно которой кимберлитовые трубки – это следы протыкания литосферы водородно-метановыми скоплениями, имеющими колоссальную подъемную силу в десятки тысяч атмосфер при их восходящем движении из мантии. По приближенным оценкам подъемная сила 1 км^3 газа, нагретого до $600\text{--}800^\circ\text{C}$, составляет 2,5 млрд т! Приложение этой силы к относительно небольшой площади приводит к пронизыванию части мантии и коры и образованию восходящего канала длиной до 100–150 км. Пронизывая массив пород, газовое скопление оставляет после себя зону относительно низкого давления. Измененные в результате взаимодействия с флюидом мантийные породы стенок канала дробятся, обрушаются и устремляются по разреженному от давления каналу вслед за поднимающимся скоплением газа.

Обломочный материал, заполняющий образовавшийся канал – трубку, весьма похож на речную гальку специфической окатанности, возникшую в результате волочения вверх по трубке в раскаленном газе. На заключительном этапе формирования трубки вещества падения давления активность кислорода газовой смеси существенно возрастает, он активно соединяется с выделением тепла с метаном и водородом. Если кислорода в смеси не слишком много, то он, соединяясь с водородом метана, образует воду, которая способствует

образованию серпентинита – типичного минерала кимберлита. Оставшийся углерод при давлении в тысячи атмосфер и температуре около 1000 °С образует молекулы чистого углерода под названием алмаз. Если кислорода слишком много, то образуются соответственно лишь пары воды и оксиды CO или CO₂. В этих случаях кимберлитовые трубки остаются без алмазов. И таких трубок насчитывается до 90-95%. По сути, кимберлитовые трубки – это не состоявшиеся вулканы. Они зарождаются лишь на платформах в условиях восстановительной среды, и порождающий их флюид не накопил достаточной мощности, чтобы пронзить всю достаточно мощную платформенную литосферу насквозь.

Как видим, **в соответствии с охарактеризованными версиями образование кимберлитов, возникновение части землетрясений, функционирование вулканов, формирование месторождений нефти и газа и точечная дегазация на поверхности суши или на дне моря обусловлены активной дегазацией глубинных флюидов, осуществляющейся благодаря функционированию газовых труб (точечных каналов) и линейных разломов.**

Наиболее важным для практики и до последнего времени не очевидным является выявление путей восходящего поступления в месторождения нефти и газа. В последние десятилетия благодаря совершенствованию методики обработки и проведения сейсмических и других видов геофизических работ появилась возможность массового выявления газовых труб или, иначе, труб дегазации (англ.: gas chimneys; синонимы: столбчатые аномалии скоростей и амплитуд – VAMP, слепые зоны или зоны отсутствия отражений, газовые окна и столбы, структуры прорыва флюидов, караванные тропы флюидов, вертикальные «сверхпроводящие» колонны и т. д.) – каналов, отличающихся своей проницаемостью от пород фона, с фиксацией в них углеводородных потоков. Известно, что практически каждое крупное месторождение УВ содержит в своей структуре газовую трубу. Трубы дегазации рассматриваются в настоящее время как питающий механизм месторождений УВ, не только приводящий к образованию месторождений, но и способствующий

щий возобновлению их запасов [Поликарпов, Ладнев, 2010]. Сами месторождения можно рассматривать как тупиковую ветвь углеводородной дегазации или, скорее, как временное хранилище на пути углеводородного флюида к земной поверхности.

Выявление этих каналов явилось еще одним убедительным подтверждением правомерности представлений об абиотическом происхождении нефти и газа и колоссальной роли дегазации Земли в ее эволюции в целом.

Как было сказано ранее в предыдущей нашей статье [Шестопалов, Макаренко, 2013], трубы дегазации в огромных количествах встречаются также и вне зон углеводородных месторождений. Фактически это «поры», через которые осуществляется «газовое дыхание» планеты.

5. Гидрогеологические аспекты формирования нефтегазоносных залежей

В последние годы в результате выполнения комплексных гидрогеологических исследований с привлечением обширных материалов нефтегазоносных изысканий были получены результаты, выбивающие опору из-под гипотезы органического происхождения нефтегазовых месторождений.

Дело в том, что эта гипотеза по существу базируется на классических представлениях об артезианских (и нефтегазоносных) бассейнах как структурах с региональными областями питания и стока. В пределах регионального замедленного на больших глубинах стока, по мнению сторонников этой гипотезы, создавались условия стягивания с обширных территорий захороненного рассредоточенного в осадочных отложениях ОВ в участки концентрации и образования месторождений УВ. Построенные ранее гидрогеологами мелкомасштабные карты параметров (изопьез, приведенных давлений и др.) в различных артезианских бассейнах в целом не противоречили этой концепции. Но ситуация коренным образом изменилась, когда на смену мелкомасштабным (в значительной мере умозрительным) построениям пришло более детальное комплексное исследование.

Прежде всего, еще в 60-80-х годах XX ст. на обширном гидрогеологическом мате-

риале было показано, что классические представления о существовании региональных (основных, главных) областей питания и стока в пределах зон интенсивного и значительного (по М.А. Гатальскому) водообмена являются ошибочными. В бассейнах платформенного типа на глубинах до 1000-1500 м и более установлена четкая зависимость динамики подземных вод от орогидрографических особенностей территории [Всеволожский, 1991; Шестопалов, 1981; Шестопалов, 1988]. В частности, выявлено, что питание системы этажно залегающих водоносных горизонтов осуществляется в результате вертикальной нисходящей фильтрации атмосферной влаги через проницаемые и слабопроницаемые слои с поверхности водоразделов и их склонов, основная разгрузка – в долинах рек разного порядка. Области стока без вертикального водообмена в большинстве случаев отсутствуют либо выделяются на весьма ограниченных участках, не имеющих регионального распространения. По существу этажная система водоносных горизонтов разделена на множество участков, конфигуративно в основном соответствующих орогидрографическим особенностям территории. В их пределах происходят и основная разгрузка, и питание подземных вод.

Латеральные пути и масштабы фильтрации подземных вод определяются размерами этих участков, интенсивностью питания, орогидрографическими и тектоно-литофациальными особенностями, а не региональным распространением водоносных пластов.

С глубиной орогидрографические факторы ослабевают и постепенно (за исключением основных рек) исчезают. Вместе с этим минимизируется и постепенно прекращается поступление инфильтрационных вод в глубинную флюидонапорную систему.

Конкретный гидрогеологический анализ и количественные оценки показали, что элизионные (каталитические) и дегидротационные процессы мобилизации воды в осадочных бассейнах не могут быть тем мощным источником питания и транспорта органики, который им приписывался. Их удельное питание, растянутое на геологическое время существования системы, крайне незначительно. Оно не может под-

держивать существование водонапорной системы с наблюдаемыми параметрами [Дюнин, Корзун, 2005] и ни в коем случае не может обеспечить транспорт ОВ. Тем более нельзя таким образом объяснить существование участков аномально высокого пластового давления (АВПД) со значениями выше геостатического.

Наряду с этим, было установлено, что с глубиной усиливается проявление разрывных тектонических нарушений. Это характерно не только для зон сочленения платформ с горными обрамлениями, краевых прогибов, платформенных авлакогенов, современных развивающихся геосинклиналей и т.п., где они особенно активны, но также и для относительно более спокойных платформ, где, тем не менее, выявляется мелкоблоковое строение фундамента и нижних частей осадочного чехла [Козин, 1978; Коробов, Малюшко, 2002].

Такие нарушения могут приводить к контакту по плоскостям смещения слабопроницаемых и флюидопроницаемых пластов и частичному запечатыванию последних. Кроме того, в зонах сжатия проницаемость пород вблизи разломов существенно уменьшается, что вызывает усиленное выпадение солей в осадок и дальнейшее уменьшение проницаемости вплоть до ее почти полного исчезновения.

Выявленный детальными исследованиями в пределах многих нефтегазовых бассейнов мира мозаичный разнонаправленный характер распределения пластовых давлений, наличие участков АВПД, локальных гидрохимических и тепловых аномалий свидетельствуют о том, что мозаичность соответствующих полей является отражением характера и структуры процессов, обеспечивающих их функционирование [Анников, 1980; Дюнин, 2000; Дюнин, Корзун, 2005]. Мозаичность и, следовательно, автономность отдельных частей таких полей подтверждается тем, что в пределах ряда нефтяных месторождений [Дюнин, Корзун, 2005] снятие напоров в результате откачки нефти и воды из скважин не приводит к изменению давлений и химического состава вод (рассолов) на относительно близких расстояниях, что было бы невозможным в случае сплошности трещинно-пористой проницаемости продуктивного

пласта. Эти результаты коррелируют также с данными о составе нефти. Нередко они отличаются даже на соседних участках одного месторождения [Дюнин, Корзун, 2005] и не смешиваются при эксплуатации месторождения.

Результаты опробования локальных гидрхимических аномалий свидетельствуют о наличии в их составе большого разнообразия элементов, не присущих вмещающим и смежным породам (Rb, Br, Sr, Ba, Mn, Pb, Sn, Ga, V, As, Cu, Zn, Ti, В и др.) и часто на порядок и более превышающих концентрации этих элементов в морской воде [Розин, 1977]. Для многих из них характерны многоэтажность расположения и близость химического состава, что свидетельствует об их родстве и связях, ограниченности размеров по латерали, нередкое совпадение их местоположения с тепловыми аномалиями, с локальными максимумами пластовых давлений. Все они, как правило, приурочены к выявленным или предполагаемым тектоническим нарушениям. Наличие H_2 и 3He в пластовых флюидах только усиливает доводы в пользу их генетической связи с глубинными источниками.

Направленность градиентов уменьшения пластовых давлений вверх и мозаичность их значений в этажно залегающих пластах также в большинстве случаев свидетельствуют об этом. Таким образом, весь комплекс отмеченных (и других) данных говорит об определяющей роли восходящего массопереноса в глубоких частях флюидонапорных систем и о подчиненной роли латерального переноса [Аникиев, 1980; Дельян и др., 1994; Дюнин, Корзун, 2005; Исаев, Рукавишников, 1977; Талиев, 1976].

Аномально высокие давление и температура глубинных флюидов, обусловленные их генезисом в нижних частях литосферы, мантии и, по-видимому, внешнем ядре, обеспечивают их активное проникновение, инжекцию по ослабленным зонам разломов и трубоподобным каналам в отложения земной коры. Имеются многочисленные доказательства неоднократного внедрения УВ и образования разновозрастных залежей в пределах одной территории, что свидетельствует об импульсности, периодичности процесса [Дмитриевский, Валяев, 2002; Дюнин, Корзун, 2005; Перчук, 2000; Шаров, 1993].

По мере прорыва флюидов через ослабленные зоны земной коры осуществляется их насыщение компонентами вмещающих пород с дополнительным раскрытием порово-трещинного пространства. Распространение флюидов под избыточным давлением происходит как вверх по ослабленным зонам, так и латерально по наиболее проницаемым литологическим разностям. Однако расстояния латерального продвижения сравнительно невелики, так как постепенное падение давления и температуры создает последовательно изменяющиеся термодинамические условия, обуславливающие выпадение в осадок солей. Образованные таким образом минералы заполняют трещинно-поровое пространство, образуя на периферии латеральных зон фильтрационные и геохимические барьеры. Эти барьеры вместе с упомянутыми выше тектоническими барьерами образуют сложную мозаику внутренних частично проницаемых и непроницаемых границ, обеспечивающую полную или частичную изоляцию образовавшихся ячеек друг от друга и от внешних латеральных продвижений вод из краевых частей бассейнов [Дюнин, 2000; Дюнин, Корзун, 2005; Коробов, Малюшко, 2002].

Периодический пульсационный режим активизации глубинных флюидов может способствовать разрушению части указанных барьеров. Но при этом неминуемо создаются новые границы, изменяющие конфигурацию ячеек, однако сохраняющие ячеистую структуру в целом. Наличие вторичных барьеров, установленное по перечисленному выше комплексу признаков, подтверждается также обнаружением секущих породы многочисленных кальциевых, халцедоновых жил, насыщенных сульфидными минералами.

Таким образом, ячеистая структура фильтрационного пространства глубинных частей водоносных (артезианских) и нефтегазоносных бассейнов исключает обширные латеральные перемещения воды, рассолов, а также УВ с последующим, предполагаемым сторонниками органической гипотезы, стягиванием их с больших территорий на участки будущих месторождений.

Доказанное незначительное влияние элизионных и дегидратационных процессов в питании и отсутствие их воздействия при

формировании динамики глубинных флюидонапорных систем лишает эту гипотезу реальных механизмов формирования месторождений.

Только периодически возникающие (в связи с глубинной активизацией) восходящие прорывы флюидов с высоким давлением и температурой обеспечивают поступление УВ, воды, рассолов в земную кору и дальнейшее их распространение по этажно залегающим коллекторам и на поверхность [Дюнин, Корзун, 2005; Саркисян, 1977]. УВ органического происхождения могут вовлекаться в мощный гидротермальный процесс, вызванный внедрением глубинных флюидов. Но роль их не может быть основной, ведущей или значимой.

6. Иные (дискуссионные) последствия дегазации

В конце XX ст. появились обобщающие работы [Карта..., 1997; Неотектоническая..., 1981; Макагов, 1995 и др.], свидетельствующие о том, что в последние 5-2 млн лет приблизительно на 90% площади современных континентов происходило поднятие земной коры, приведшее к подъему их поверхности приблизительно от 100 м на некоторых равнинах и до 2-4 км в ряде горных систем.

Член-кор. РАН Е.В. Артюшков [Артюшков, 2012а; Артюшков, 2012в] на основании анализа вероятных механизмов этого процесса пришел к выводу, что процесс стал возможным в результате почти повсеместного подъема флюидов в верхнюю мантию. Подтверждением существования этого процесса служат прежде всего результаты геофизических исследований и, в частности, данные сейсмической томографии. Важно отметить, что это более масштабный и динамичный процесс, чем воздействие отдельных, пусть и очень обширных плюмов. Плюмы, в отличие от материков, занимают устойчивое положение на планете и действуют длительное время. Они не связаны и тем более не зависят от современных материков.

В результате активизации упомянутого процесса под существующими материками произошло изменение свойств верхней мантии мощностью до 60-80 км. Это стало возможным при внедрении в литосферу флюидов, по объему сопоставимых с объемом метаморфизирующихся пород [Ferry, 1994].

Следует отметить, что еще в 1980 г. Б.Г. Лутц [Лутц, 1980] обосновал концепцию, согласно которой континентальная гранитизированная кора формировалась из мантийного вещества, перерабатываемого глубинными флюидами. Для глубокого преобразования мантийного материала в кислые породы необходимо было весьма активное повсеместное насыщение их флюидами. По-видимому, процесс гранитизации крупных массивов происходил под влиянием территориально более обширного восходящего переноса глубинных флюидов, чем при переносе их по отдельным трубам, при формировании месторождений УВ или кимберлитовых трубок.

В этой связи целесообразно обратиться внимание на оценку влияния процессов гранитизации на формирование кислородной атмосферы Земли, выполненную Ф.А. Летниковым [Летников, 2006] на основе данных, полученных в работах [Клауд, 1983; Пушкарёв, 1990]. Он обратил внимание на противоречие между господствующим представлением о биогенной природе кислорода в атмосфере Земли и фактическим изменением содержания кислорода в атмосфере в геологическом прошлом. Если 670 млн лет тому назад содержание O_2 в воздухе составляло 7% от современного, 550 млн лет тому назад, т.е. через 120 млн лет, оно увеличилось всего на 3% и равнялось 10% от современного уровня, то еще через 150 млн лет (400 млн лет тому назад) оно возросло в 10 раз и достигло современных значений. Но в это время только появились наземные растения и только начали выделять биогенный кислород.

Поэтому был сделан вывод о влиянии абиогенных процессов гранитизации базитового вещества на формирование кислородной атмосферы. В процессе метасоматического преобразования минералов меланократовых пород под воздействием флюидов происходило массовое образование новых минералов с большим молекулярным объемом (кварц, кислый плагиоклаз, калиевый полевой шпат) и меньшим удельным содержанием в них кислорода (рис. 4). Из 1 м³ преобразуемой породы выделяется, согласно Ф.А. Летникову [Летников, 2006], от 1993 до 6808 молей кислорода. Установленные в геологической истории Земли мегациклы грани-

тизации коры хорошо коррелируют со значениями и периодами возрастания содержания кислорода в атмосфере (рис. 4).

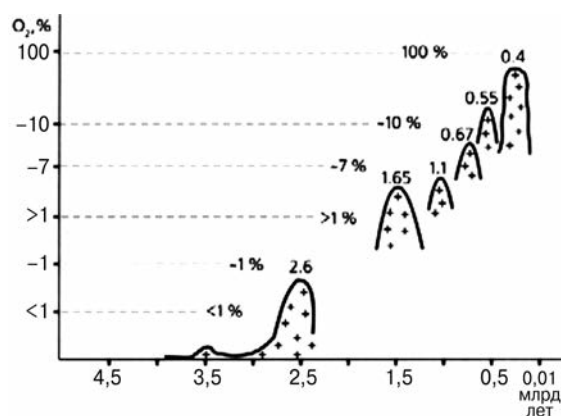


Рис. 4. Изменение содержания свободного кислорода в атмосфере Земли, % от современного уровня [Клауд, 1983], и мегациклы гранитизации и гранитообразования [Пушкарев, 1990] (взято из работы [Летников, 2006])

Fig. 4. Changing of free oxygen content in the Earth atmosphere, % of the current level [Клауд, 1983], and megacycles of granitization and granite formation [Пушкарев, 1990] (taken from [Летников, 2006])

Упомянутая гипотеза не только определяет более правдоподобную версию изменения содержания кислорода в атмосфере былых эпох, но и подтверждает нарастание объема гранитизированной облегченной коры и, следовательно, ее «всплывание», обуславливающее подъем ее поверхности, что наблюдается сейчас. Если современный подъем поверхности материков связан с мегагранитизацией, то должен через некоторое время наблюдаться и процесс дальнейшего увеличения кислорода в атмосфере, что подлежит проверке с учетом техногенного его поглощения и активизации выхода на поверхность восстановленных газов.

Кроме того, полученный вывод позволяет предполагать, что кислородсодержащие атмосферы могут возникать лишь на планетах земного типа, **где происходят процессы гранитизации коры**. Из этого следует, что периодичность, активность и причины мегагранитизации должны быть предметом более углубленного изучения, так как они являются следствием и индикаторами аномальной дегазации и флюидизации верхней мантии и коры. **На основании результатов исследований, полученных**

разными авторами, можно также заключить, что современная эпоха эволюции Земли длительностью до 5 млн лет обусловила активизацию дегазации Земли во всех ее проявлениях. Их комплексное изучение является важнейшей научной и прикладной задачей.

7. Выводы

1. Земля сформировалась в протопланетном газопылевом облаке, в состав которого входили водород, вода, УВ, железо, никель, силикаты.

2. В протопланетных недрах в результате гравитационной дифференциации железа и никель, насыщенные водородом, постепенно образовали ядро, обогащенное водородом.

3. Восстановленные газы (водород, УВ и др.) являются исходной и наиболее глубокой формой летучих в недрах Земли.

4. Многие разнообразные данные позволяют сделать вывод о том, что в пределах низких широт Земли функционирует зона повышенной эндогенной активности и усиленной (по отношению к другим широтам) дегазации.

5. К сожалению, глубинные флюиды недоступны для прямого изучения. Исследование продуктов их взаимодействия с вмещающими породами, изучение изменений газов на разных этапах их выделения, геофизические данные о свойствах и параметрах геосред, результаты термодинамического моделирования, отдельные эксперименты позволяют сделать выводы о том, что исходное состояние глубинных геосред, вытекающее из их генезиса и условий формирования, их высокие термобарические параметры предопределяют аномальные термодинамические условия миграции флюидов. Пути миграции углеводородпроизводящих и рудных флюидов нередко идентичны или достаточно близки.

6. **Газо-флюидоперенос в недрах Земли, как предвидел В.И. Вернадский, достигает таких масштабов, что формирование месторождений отдельных полезных ископаемых является незначительной относительно тупиковой (и потому сохранившейся) ветвью этого грандиозного процесса.** (Достаточно еще раз напомнить, что объем выброшенного

газа при взрыве вулкана Кракатау оценивается в 100 трлн м³, что в 50 раз больше, чем добывается газа ежегодно на всей нашей планете! Грязевые вулканы Восточного Азербайджана за миллион лет извергли на поверхность не менее 175 трлн м³ метана, в то время как разведанные запасы и прогнозные ресурсы газа этой территории составляют лишь доли процента от упомянутой выше естественной дегазации.)

7. Комплексными детальными гидрогеологическими исследованиями во многих артезианских (нефтегазоносных) бассейнах платформенного типа доказано, что в связи с отсутствием региональных областей стока в них нет условий для стягивания с больших по площади территорий рассеянного в осадочных отложениях УВ к участкам формирования нефтегазоносных месторождений. В этих бассейнах выделяется лишь два значимых источника водного (флюидного) питания: атмосферное (поверхностное) и глубинное, связанное с восходящей флюидной подпиткой водонапорных систем бассейнов. И то, и другое определяют существование ячеистых форм фильтрационного продуктивного пространства, преобладания вертикального переноса и соответствующего этому накопления вещества, включая УВ.

8. Идеи о «газово-тепловом дыхании» планеты, связанные с плюмовым режимом глубинных геосфер (жидкого внешнего ядра, мантии), находят многочисленные подтверждения. Однако анализ динамики развития орографии суши за последние 5 млн лет показывает, что есть и иные, более сложные, связи между континентальной корой и газотепловым режимом глубинных геосфер. Их влияние на развитие земной коры может быть весьма значительным и, следовательно, требует тщательного всестороннего изучения.

9. Заслуживает внимания и дальнейшей проверки гипотеза о влиянии абиогенных процессов гранитизации на обогащение атмосферы кислородом.

10. Многочисленные и разносторонние исследования дегазации Земли и прежде всего миграции и накопления углеводородного комплекса соединений, развивающие идею В.И. Вернадского о

«газовом дыхании» планеты, все более убедительно показывают, что углеводородные проявления на планете являются глубинной производной дегазации и что их ресурсный потенциал постоянно возобновляется и достигает колоссальных объемов. Он не сопоставим с объемом биотического органического материала, накопленного планетой за все время функционирования биосферы.

11. В этой связи попытки повысить значимость биотического углерода в формировании основных углеводородных ресурсов планеты путем привлечения глубинных термобарических и водородных факторов, в частности через рециклинг, использования «биологических меток» и «компонентов», изотопных показателей в нефтях (см. критику Т. Gold и др.) и т.п., со временем будут становиться все более сомнительными по мере роста понимания подавляющего превосходства глубинных источников УВ над их биотическими захороненными остатками, массового вовлечения углерода в карбонатный седиментогенез и все более глубокого изучения процессов восходящей миграции и преобразования глубинных флюидов.

12. В соответствии с новыми знаниями большинство нефтегазовых месторождений следует рассматривать как сложную длительно существующую трехчленную систему, состоящую из очага генерации УВ, путей их восходящей миграции и замыкающих ловушек (ловушки).

13. С учетом представлений о глубинном генезисе УВ в практику изучения нефтегазоносности необходимо внедрять выявление и оценку очагов нефтегазопоступления в земную кору, путей и активности миграции УВ в этажной системе коллекторов земной коры. Важной является оценка современной подпитки месторождений и отработки такого режима их эксплуатации, чтобы эффект подпитки использовался оптимально для эффективной и длительной эксплуатации месторождений. Этих целей нельзя добиться без создания грамотной системы флюидомониторинга, разработки на основе широкого применения современных методов геофизики и данных флюидодинамики флюидодинамических моделей и опытно-экспериментального управления

эксплуатацией месторождения. Переход от парадигмы конечных статичных запасов месторождений к месторождениям как открытым возобновляемым системам должен сопровождаться новой методологией оценки месторождений и внедрения соответствующей системы управления их эксплуатацией.

14. Наряду с интенсивным транспортом и преобразованием вещества, дегазация может приводить к таким эффектам, как землетрясения. И на стадии подготовки извержения вулканов (на примере вулканов Камчатки), и в зонах устойчивых очагов землетрясений (на примере Японии), транспорт водородного газа по каналам дегазации, его периодические скопления, термодинамическая неустойчивость, мощные взрывы образуют цепочку процессов, обеспечивающих сейсмическую активность ряда территорий.

15. Как отмечалось нами ранее (1-я статья [43]), создание технологии добычи газа в таких зонах может не только обеспечить значительное использование нового

энергосистемы, но и способствовать минимизации рисков от определенного класса землетрясений и газоактивного вулканизма. В этой связи следует вспомнить слова В.И. Вернадского, произнесенные им на 2-м Менделеевском съезде в 1911 г. Уже тогда он пророчески утверждал, что газы являются телами, с помощью которых можно прийти до представления о химии нашей планеты, а не только одной ее поверхностной пленки, изучить химию земного шара глубже его коры. И дело не только в одном научном интересе, а в том, что природный газ есть источник могучей энергии и эта энергия может быть разумно использована только тогда, когда будет научно изучена.

16. Проявления вулканизма, алмазобразования, определенного класса землетрясений, миграции и накопления УВ, некоторых видов рудообразования и холодной дегазации являются, при всем различии масштабов и эффектов, родственными процессами, преобразующими все геосферы и обусловленными дегазацией нашей планеты.

Список литературы / References

1. Аникиев К.А. Геодинамическая теория сверхвысокой пластовой энергии разбуриваемых нефтегазоносных недр Земли. В кн.: *Дегазация Земли и геотектоника*. Москва: Наука, 1980. С. 205-217.

Anikiev K.A., 1980. Geodynamic theory of super high energy of drilled beds of oil-gas Earth interiors. Earth degassing and Geotektonics. Moscow: Nauka, 1980, p. 205-217 (in Russian).

2. Артюшков Е.В. Вертикальные движения земной коры на континентах как отражение глубинных процессов в коре и мантии Земли: геологические следствия. *Вестн. РАН*. 2012а. Т. 82, № 12. С. 1075-1091.

Artyushkov E.V., 2012a. Vertical movements of earth's crust on continents as reflection of deep earth's crust and mantle processes: geological consequences. *Vestnik RAN*, vol. 82, № 12, p. 1075-1091 (in Russian).

3. Артюшков Е.В. Новейшие поднятия земной коры как следствие инфильтрации в литосферу мантийных флюидов. *Геология и геофизика*. 2012б. № 6. С. 738-760.

Artyushkov E.V., 2012b. Newest elevations of earth's crust as a consequence of infiltration of mantle fluids into the lithosphere. *Geologiya i geofizika*, № 6, p. 738-760 (in Russian).

4. Будыко М.И., Ронов А.Б., Яншин А.Л. История атмосферы. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1985. 208 с.

Budyko M.I., Ronov A.B., Yanshin A.L., 1985. History of the atmosphere. Leningrad: Gidrometeoizdat, 208 p. (in Russian).

5. Вадковский В.Н. Субвертикальные скопления гипоцентров землетрясений – «сейсмические гвозди». *Вестн. ОНЗ РАН*. 2012. Т. 4. NZ1001. Vadkovskiy V.N., 2012. Subvertical clusters of earthquake hypocenters – «seismic nails». *Vestnik ONZ RAN*, vol. 4, NZ1001 (in Russian).

6. Валяев Б.М. Углеводородная дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений. *Геология нефти и газа*. 1997. № 9. С. 30-37.

Valyaev B.M., 1997. Hydrocarbon degassing of the Earth and genesis of oil-gas deposits. *Geologiya nefiti i gaza*, № 9, p. 30-37 (in Russian).

7. Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии. Москва: Изд-во МГУ, 1991. 351 с.

Vsevologhskiy V.A., 1991. Fundamentals of Hydrogeology. Moscow: Izdatel'stvo MGU, 351 p. (in Russian).

8. Дмитриевский А.Н., Валяев Б.М. Локализованные потоки глубинных углеводородных флюидов. В кн.: *Дегазация Земли: геодинамика*,

геофлюиды, нефть и газ. Москва: ГЕОС, 2002. С. 319-322.

Dmitrievskiy A.N., Valyaev B.M., 2002. Localized fluxes of deep hydrocarbon fluids. In: *Earth's degassing: geodynamics, geofluids, oil and gas*. Moscow: GEOS, 2002, p. 319-322 (in Russian).

9. Дюнин В.И. Гидрогеодинамика глубоких горизонтов нефтегазоносных бассейнов. Москва: Научный мир, 2000. 471 с.

Dyunin V.I., 2000. Hydrogeodynamics of deep horizons of oil-gas basins. Moscow: Nauchnyy Mir, 471 p. (in Russian).

10. Дюнин В.И., Корзун В.И. Гидрогеодинамика нефтегазоносных бассейнов. Москва: Научный мир, 2005. 524 с.

Dyunin V.I., Korzun V.I., 2005. Hydrogeodynamics of oil-gas basins. Moscow: Nauchnyy Mir, 524 p. (in Russian).

11. Зубков В.С., Бычинский В.А., Карпов И.К., Степанов А.Н. Термодинамическая устойчивость мантийных углеводородов. *Геология нефти и газа*. 2000. № 2. С. 59-63.

Zubkov V.S., Bychinsky V.A., Karpov I.K., Stepanov A.N., 2000. Thermodynamical stability of mantle hydrocarbons. *Geologiya nefi i gaza*, № 2, p. 59-63 (in Russian).

12. Исаев В.П., Рукавишников И.И. О роли латеральной и вертикальной миграции при формировании залежей нефти и газа на юге Сибирской платформы. *Тр. ЗапСибНИГНИ*. 1977. Вып. 118. С. 8-15.

Isaev V.P., Rukavishnikov I.I., 1977. On the role of lateral and vertical migration in formation of oil and gas deposits in the south of Siberian Plate. *Trudy ZapSibNIGNI*, iss. 118, p. 8-15 (in Russian).

13. Карпов И.К., Зубков В.С., Бычинский В.А., Артеменко М.В. Детонация в мантийных потоках тяжелых углеводородов. *Геология и геофизика*. 1998. Т. 39, № 6. С. 754-762.

Karpov I.K., Zubkov V.S., Bychinsky V.A., Artemenko M.V., 1998. Detonation in mantle fluxes of heavy hydrocarbons. *Geologiya i geofizika*, vol. 39, № 6, p. 754-762 (in Russian).

14. Карта новейшей тектоники Северной Евразии. М-б 1:5 000 000 / гл. ред. Граков А.Ф. Москва: Мин-во природных ресурсов России, РАН, 1997.

Map of newest tectonics of North Eurasia. Scale 1:5 000 000 / Chief Ed: Grakov A.F. Moscow: Ministerstvo Prirodnich Resursov Rossii, RAN, 1997 (in Russian).

15. Клауд П. Биосфера. *В мире науки*. 1983. № 11. С. 102-113.

Klaud P., 1983. The Biosphere. *V mire nauki*, № 11, p. 102-113 (in Russian).

16. Козин А.Н. Влияние эндогенного фактора на формирование пластовых хлоридных вод. *Геология и геохимия горючих ископаемых*. 1978. Вып. 50. С. 16-22.

Kozin A.N., 1978. Influence of endogenic factor on the formation of chloride groundwater. *Geologiya i geochemiya goryuchich iskopaemych*, iss. 50, p. 16-22 (in Russian).

17. Коробов Ю.И., Малюшко Л.Д. Флюидодинамическая модель формирования залежей углеводородов. Теоретическая основа поисков месторождений нефти и газа. В кн.: *Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ*. Москва: ГЕОС, 2002. С. 360-362.

Korobov Yu.I., Malyushko L.D., 2002. Fluid-dynamical model of formation of hydrocarbon deposits. Theoretical base for gas and oil deposits exploration. In: *Earth's degassing: geodynamics, geofluids, oil and gas*. Moscow: GEOS, p. 360-362 (in Russian).

18. Летников Ф.А. Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза. *Геология руд. месторождений*. 2001. Т. 43, № 4. С. 291-307.

Letnikov F.A., 2001. Super-deep fluid systems of the Earth and problems of ore formation. *Geologiya rudnych mestorozhdeniy*, vol. 43, № 4, p. 291-307 (in Russian).

19. Летников Ф.А. Флюидный режим эндогенных процессов и проблемы рудогенеза. *Геология и геофизика*. 2006. Т. 47, № 12. С. 1296-1307.

Letnikov F.A., 2006. Fluid regime of endogenic processes and problems of ore formation. *Geologiya i geofizika*, vol. 47, № 12, p. 1296-1307 (in Russian).

20. Лукин А.Е., Савиных Ю., Донцов В. О самородных металлах в нефтегазоносных кристаллических породах месторождения Белый Тигр (Вьетнам). *Геолог України*. 2007. № 2. С. 30-42.

Lukin A.E., Savinykh Yu., Dontsov V., 2007. On the native metals in oil-gas bearing crystalline rock deposit White Tiger (Vietnam). *Geolog Ukrainy*, № 2, p. 30-42 (in Russian).

21. Лутц Б.Г. Геохимия океанического и континентального магматизма. Москва: Недра, 1980. 112 с.

Lutz B.G., 1980. Geochemistry of oceanic and continental magmatism. Moscow: Nedra, 112 p. (in Russian).

22. Макаренко А.Н. Космический фактор «избыточного» тепловыделения в недрах Земли и планет. Ст. 1. Космические ритмы в геологической летописи. *Геол. журн*. 2011а. № 3 (336). С. 116-130.

Makarenko A.N., 2011a. Cosmic factor of "excess" heat release in the Earth's and planets interiors. Paper 1. Cosmic rhythms in the geological

chronicle. *Geologichnyy zhurnal*, № 3 (336), p. 116-130 (in Russian).

23. Макаренко А.Н. Космический фактор «избыточного» тепловыделения в недрах Земли и планет. Ст. 2. Пространственно-временные закономерности распределения тепловыделяющих зон в недрах Земли. *Геол. журн.* 2011б. № 4 (337). С. 83-96.

Makarenko A.N., 2011b. Cosmic factor of "excess" heat release in the Earth's and planets interiors. Paper 2. Space-time regularities of heat-emission zones in the Earth's interiors. *Geologichnyy zhurnal*, № 4 (337), p. 83-96 (in Russian).

24. Мархинин Е.К. Вулканы и жизнь: проблемы биовулканологии. Москва: Мысль, 1980. 196 с.

Markhinin E.K., 1980. Volcanos and the life: problems of biovolcanology. Moscow: Mysl', 196 p. (in Russian).

25. Нарсеев В.А. Промышленная геология золота. Москва: Научный мир, 1996. 243 с.

Narseev V.A., 1996. Commercial geology of gold. Moscow: Nauchnyy mir, 243 p. (in Russian).

26. Неотектоническая карта мира. М-6 1:15 000 000 / ред. Николаев Н.И., Кузнецов Ю.А., Неймарк А.А. Москва: Мингео СССР, Министерство высшего и среднего специального образования СССР, 1981.

Neotectonic map of the world. Scale 1:15 000 000 / Eds.: Nikolaev N.I., Kuznetsov Yu. A., Neymark A.A. Moscow: Mingeo SSSR, Ministerstvo vysshego i srednego spetsial'nogo obrazovaniya SSSR, 1981 (in Russian).

27. Перчук Л.Л. Флюиды в нижней коре и верхней мантии. *Вестн. МГУ. Сер. Геология.* 2000. № 4. С. 25-45.

Perchuk L.L., 2000. Fluids in the lower crust and upper mantle. *Vestnik MGU. Seriya Geologiya*, № 4, p. 25-45 (in Russian).

28. Поликарпов В.К., Ладнер Г.А. «Трубы» углеводородной дегазации как механизм возобновления месторождений углеводородов и базисная посылка для прогноза нефтегазоперспективных зон. В кн.: *Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь. Материалы Всерос. конф. с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения академика П.Н. Кропоткина*, 18-22 октября 2010 г. Москва: ГЕОС, 2010. С. 419-421.

Polikarpov V.K., Ladner G.A., 2010. "Pipes" of hydrocarbon degassing as a mechanism of renovation of hydrocarbon deposits and the base premise for the forecast of oil-gas prospective zones. In: *Earth's degassing: geotectonics, geodynamics, geofluids; oil and gas; hydrocarbons and the life. Proceedings of All-Russian and International Confer-*

ence devoted to 100-anniversary of Academician P.N. Kropotkin, 18-22 October, 2010. Moscow: GEOS, 419-421 (in Russian).

29. Портнов А.М. Самоокисление мантийного флюида и генезис кимберлитовых алмазов. *Докл. АН СССР.* 1982. Т. 267. С. 166-168.

Portnov A.M., 1982. Self-oxidation of mantle fluids and genesis of kimberlite diamonds. *Doklady AN SSSR*, vol. 267, p. 166-168 (in Russian).

30. Пушкарев Ю.Д. Мегациклы в эволюции системы кора – мантия. Ленинград: Наука, 1990. 217 с.

Pushkaryov Yu.D., 1990. Megacycles in the evolution of the crust-mantle system. Leningrad: Nauka, 217 p. (in Russian).

31. Родкин М.В. Рециклинг углерода в зонах субдукции и роль процессов рециклинга в образовании месторождений углеводородов в преддуговых и задуговых бассейнах. В кн.: *Дегазация Земли и генезис углеводородных флюидов и месторождений.* М.: ГЕОС, 2002. С. 221-253.

Rodkin M.V., 2002. Carbon recycling in subduction zones and the role of recycling processes in formation of hydrocarbons in sub-arc and trans-arc basins. In: *Earth's degassing and genesis of hydrocarbon fluids and deposits.* Moscow: GEOS, p. 221-253 (in Russian).

32. Розин А.А. Подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна и их формирование. Новосибирск: Наука, 1977. 99 с.

Rozin A.A., 1977. Groundwaters of West-Siberian artesian basin and their formation. Novosibirsk: Nauka, 99 p. (in Russian).

33. Саркисян С.Г. Влияние флюидного и газового «дыхания» на постседиментационные преобразования осадочных толщ. *Тр. ВНИГРИ.* 1977. Вып. 21. С. 85-95.

Sarkisyan S.G., 1977. Influence of fluid and gas "breathing" on post-sedimentation transformations of sedimentary beds. *Trudy VNIGRI*, iss. 21, p. 85-95 (in Russian).

34. Семеновко Н.П. Кислородно-водородная модель Земли. Киев: Наук. думка, 1990. 248 с.

Semenenko N.P., 1990. Oxygen-hydrogen model of the Earth. Kiev: Naukova Dumka, 248 p. (in Russian).

35. Талиев С.Д. Пример влияния сейсмичности на вертикальную миграцию флюидов и размещение залежей углеводородов. *Тр. ВНИГРИ.* 1976. Вып. 387. С. 125-137.

Taliev S.D., 1976. Example of seismicity influence on the vertical migration of fluids and location of hydrocarbon deposits. *Trudy VNIGRI*, iss. 387, p. 125-137 (in Russian).

36. Федоров В.М. Особенности широтного распределения вулканических извержений. *Вулканология и сейсмология*. 2002. № 4. С. 39-43.

Fedorov V.M., 2002. Peculiarities of latitudinal distribution of volcanic eruptions. *Vulkanologiya i seismologiya*, № 4, p. 39-43 (in Russian).

37. Чекалюк Э.Б. Нефть в верхней мантии Земли. Киев: Наук. думка, 1967. 254 с.

Chekalyuk E.B., 1967. Oil in the upper mantle of the Earth. Kiev: Naukova Dumka, 254 p. (in Russian).

38. Чепиков К.Р., Ермолова Е.П., Медведева А.М. О миграции нефти в вендских и кембрийских отложениях Непско-Ботубобинской антеклизы. В кн: *Породы-коллекторы и миграция нефти*. Москва: Наука, 1980. С. 65-71.

Chepikov K.R., Yermolova E.P., Medvedeva A.M., 1980. On the migration of oil in the Vend and Cambrian deposits of Nepian-Botuobian anticline. In: *Rocks-collectors and oil migration*. Moscow: Nauka, p. 65-71 (in Russian).

39. Шаров В.И. Тектоническое землетрясение как неравновесный термодинамический процесс разрушения горных пород (к проблеме смены парадигмы сейсмологии). *Физика Земли*. 1993. № 5. С. 121-127.

Sharov V.I., 1993. Tectonic earthquake as a non-equilibrium thermodynamic process of rocks destruction (on the problem of changing the seismology paradigm). *Fizika Zemli*, № 5, p. 121-127 (in Russian).

40. Шестопалов В.М. Естественные ресурсы подземных вод платформенных артезианских бассейнов Украины. Киев: Наук. думка, 1981. 196 с.

Shestopalov V.M., 1981. Natural groundwater resources of platform artesian basins of Ukraine. Kiev: Naukova Dumka, 196 p. (in Russian).

41. Шестопалов В.М. Методы изучения естественных ресурсов подземных вод. Москва: Недра, 1988. 168 с.

Shestopalov V.M., 1988. Methods of studying groundwater natural resources. Moscow: Nedra, 168 p. (in Russian).

42. Шестопалов В.М., Макаренко А.Н. О некоторых результатах исследований, развивающих идею В.И. Вернадского о «газовом дыхании» Земли. Ст. 1. Поверхностные и приповерхностные проявления аномальной дегазации. *Геол. журн.* 2013. № 3 (344). С. 7-25.

Shestopalov V.M., Makarenko A.N., 2013. On some research results developing the idea of V.I. Vernadsky about the Earth's "gas breathing". *Geologichnyy zhurnal*, № 3 (344), p. 7-25 (in Russian).

43. Шнюков Е.Ф., Краюшкин В. А. О природе нефти. *Геол. журн.* 1999. № 1 (287). С. 109-119.

Shnyukov E.F., Krayushkin V.A., 1999. On the nature of oil. *Geologichnyy zhurnal*, № 1 (287), p. 109-119 (in Russian).

44. Courtillot V., Davaille A., Besse J., Stock J., 2003. Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 205, № 3-4, p. 295-308 (in English).

45. Ferry J.M., 1994. A historical review metametics fluid flow. *J. Geoph. Research*, vol. 99. p. 15487-15498 (in English).

46. Glukhovsky M.Z., Moralev V.M., 1994. Hot Belts of Venus and the Early Earth: Abstracts of the 25th Lunar and Planetary Science Conference, held in Houston, TX, 14-18 March 1994, p. 431-432 (in English).

47. Karato S., 1990. The role of hydrogen in the electrical conductivity of the upper mantle. *Nature*, vol. 347, p. 272-273 (in English).

48. Kelbert A., Schultz A., Egbert G., 2010. Global electromagnetic induction constraints on transition-zone water content variations. *Nature*, vol. 460, p. 1003-1006 (in English).

49. Makarov V.I., 1995. Neotectonics and geodynamics of mountain systems of Central Asia. *Quaternary Intern.*, vol., 25, p. 19-23 (in English).

50. Ohtani E., Shibazaki Y., Terasaki H.G, 2009. Distribution of Hydrogen in the Deep Earth and its Role in Earth's dynamics (Invited). American Geophysical Union, Fall Meeting 2009, San Francisco, USA / Eos Trans. AGU, 90(52), Fall Meet. Suppl., abstract № V14C-01 (in English).

51. Schmitt-Kopplina P., Gabelicab Z., Gougeonc R.D. et al., 2010. High molecular diversity of extraterrestrial organic matter in Murchison meteorite revealed 40 years after its fall: Proceeding. Natl. Acad. Sci. USA, vol. 107, № 7, p. 2763-2768 (in English).

52. Seidler E., Jacoby W.R., Cavsak H., 1999. Hotspot distribution, gravity, mantle tomography: evidence for plumes. *J. Geodynamics*, vol. 27, № 4-5, p. 585-608 (in English).

53. Steele A., McCubbin F.M., Fries M. et al., 2012. A reduced organic carbon component in martian basalts. *Science*, vol. 337, № 6091, p. 212-215 (in English).

54. Stevenson D.J., 1977. Hydrogen in the Earth's core. *Nature*, vol. 268, p. 130-131 (in English).

Статья поступила
30.07.2014