

О связи процессов нефтегазообразования и дегазации с разложением подземных вод

А.А. Баренбаум

Институт проблем нефти и газа РАН, Москва

E-mail: azary@mail.ru

Обсуждается важное следствие биосферной концепции нефтегазообразования, согласно которому процесс генерации углеводородов в недрах и дегазация Земли представляют собой единое природное явление. Главную роль в этом явлении играет геохимический круговорот углерода и воды через земную поверхность, в ходе которого происходит поликонденсационный синтез углеводородов по реакции $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Данная реакция сопровождается колоссальным разложением подземных вод на водород и кислород в осадочном чехле земной коры. Не прореагировавший CO_2 , а также возникшие в ходе реакции H_2 и большая часть метана дегазируют в атмосферу, а образовавшиеся углеводороды C_{5+} остаются под поверхностью заполняя в виде нефти и газа геологические ловушки. Изложены результаты экспериментов на моделях, позволяющие оценить скорость разложения подземных вод и на этой основе объяснить современный темп дегазации Земли, а также наблюдаемое соотношение в продуктах дегазации CO_2 , CH_4 и H_2 .

Ключевые слова: дегазация Земли, круговорот углерода и воды, биосферная концепция нефтегазообразования

Для цитирования: Баренбаум А.А. (2018). О связи процессов нефтегазообразования и дегазации с разложением подземных вод. *Георесурсы*, 20(4), Ч.1, с. 290-300. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2018.4.290-300>

Введение

Без воды, как известно, не обходится ни один химический процесс в земной коре (Вернадский, 1960). Химические реакции идут главным образом в водных растворах, жидких или паровых. Вместе с тем вода, как химическое соединение, очень устойчива и практически не способна к самопроизвольному распаду. Константа диссоциации H_2O при обычной температуре равна 10^{-14} , а константа разложения воды с выделением водорода и кислорода составляет $10^{-83.1}$ (Гаррельс, Крайст, 1968). Поэтому разложение воды на водород и кислород без значительной энергии извне крайне маловероятно. Тем не менее, с участием воды в земной коре протекают процессы литогенеза и метаморфизма (Страхов, 1960; Шварцев, 1975; Уолтер, Вуд, 1989), в которых за счет освобождения энергии химических реакций происходит разложение подземных вод с выделением водорода (Молчанов, 1981).

Разложение подземных вод при нефтегазообразовании никогда ранее не привлекало к себе внимания ни гидрогеологов, ни нефтяников, рассматривавших циркуляцию подземных вод и образование углеводородов (УВ) как независимые друг от друга природные явления. Гидрогеологи исходили из того, что разложение воды на водород и кислород столь мало, что при балансовых расчетах подземных вод его не учитывали (Львович, 1986; Зекцер, Джамалов, 1989; Шварцев, 1996; Зверев, 2007). Геологи-нефтяники, в свою очередь, полагали (Леворсен, 1970; Гаврилов, 1986; Карцев и др., 1992; Баталин, Вафина, 2008), что подземные воды если и участвуют в нефтегазообразовании, то лишь в качестве средства транспортировки УВ при формировании и разрушении залежей нефти и газа, или как фактор, влияющий на состав

и емкостные свойства пород-коллекторов. Многие геологи придерживаются таких взглядов и сегодня.

Образование нефти и газа, как и дегазацию недр, не без оснований относят к наиболее проблемным вопросам геологии. На протяжении последнего столетия эти проблемы пытались решить, но так и не решились, в спорах сторонников органической и минеральной гипотез генезиса УВ. Приверженцы последней гипотезы происхождения нефти и газа связывают с поступлением углеродсодержащих газов и флюидов из глубоких недр Земли (<http://journal.deeroil.ru>). Однако гипотеза глубинной дегазации вступает в противоречие с данными геофизики и космогонии относительно внутреннего строения Земли и механизма ее образования (Жарков, 1988; Браун, Массет, 1984; Витязев и др. 1990). К этому добавим, что при современной интенсивности дегазации CH_4 и CO_2 земная атмосфера была бы полностью заполнена углеродными газами за время ~100 лет (Баренбаум, 2004).

Новый подход к проблеме

Роль подземных вод в процессах нефтегазообразования и дегазации начала пересматриваться в середине 1990-х годов, когда в нашей стране было открыто явление пополнения залежей УВ на «старых» месторождениях, и выяснилось (Соколов, Гусева, 1993), что образование нефти и газа – это современный процесс, который зависит от режимов эксплуатации месторождений. К настоящему времени данное явление получило теоретическое обоснование и объяснение в биосферной концепции нефтегазообразования (Баренбаум, 2004, 2010, 2013, 2014, 2015, 2017). Привлекая учение В.И. Вернадского о биосфере (Вернадский, 2001), эта концепция вскрыла участие в нефтегазообразовании биосферного цикла круговорота углерода, который неразрывно связан с циркуляцией

через земную поверхность метеогенных вод. Поэтому этот цикл в основном носит региональный характер, а его характерное время близко к времени круговорота углерода в биосфере, составляющего ~30-40 лет (Кондратьев, Крапивин, 2004).

Согласно биосферной концепции, метеогенная вода, проникая достаточно глубоко в земную кору, переносит с собой значительное количество окисленного углерода (CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-}) и водорастворенного ОВ, которые участвуют в образовании газонефтяных УВ. Причем если углеродсодержащие вещества в УВ выступают донорами углерода, то сама вода, разлагаясь, служит донором водорода.

Сегодня имеются многочисленные факты, подтверждающие справедливость биосферной концепции. Один из наиболее важных ее выводов состоит в том, что УВ нефти и газа образуются в поликонденсационной реакции синтеза $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ при геохимическом круговороте углерода биосферы и воды через земную поверхность. Эта реакция сопровождается разложением в земной коре большой массы воды, что приводит к образованию и поступлению в атмосферу значительных количеств H_2 , CH_4 , CO_2 и N_2 (из растворенного в воде воздуха).

В данной статье развиваются представления, согласно которым генерация газонефтяных УВ и дегазация недр – это единое природное явление, обусловленное разложением в породах земной коры огромного количества воды, которая участвует вместе с углеродом в геохимическом круговороте через земную поверхность.

Ниже приводятся аргументы и факты, а также результаты экспериментов, которые позволяют обосновать это мнение и показать, что этот вывод является прямым следствием биосферной концепции нефтегазообразования.

Начальный этап исследований

На образование в земной коре водорода из воды одними из первых обратили внимание В.И. Вернадский и А.П. Виноградов (Молчанов, 1981). Позднее было установлено (Семенов, 1959), что протекание многих химических процессов, в частности реакций поликонденсации, определяют свободные радикалы, т.е. разорванные химические связи. Выяснилось, что свободные радикалы могут генерироваться внутрикристаллическими дефектами в минералах. Диффундируя к поверхности минеральных зерен, эти дефекты формируют здесь энергонасыщенный слой, снижающий энергию Гиббса химических реакций. В результате реакции, термодинамически возможные при температуре 500°C и более, в минеральной матрице пород могут идти и при «стандартных» условиях ($T = 25^\circ\text{C}$ и $P = 1$ атм.).

К таким реакциям, как показали В.И. Молчанов (Молчанов, 1981, Молчанов и др. 1988; Молчанов, Гонцов, 1992), Н.В. Черский и В.П. Царев (Черский, Царев, 1984; Черский и др., 1985), относится разложение H_2O с выделением водорода, который участвует в поликонденсационном синтезе УВ из CO_2 и H_2O . Указанные авторы экспериментально доказали, что требуемый для синтеза УВ энергонасыщенный слой можно создать искусственно при механической активации углеродсодержащих минеральных сред в присутствии воды. Этот слой также возникает на поверхности минеральной матрицы пород в условиях их естественного залегания под действием

приливного влияния Луны, а также тектонических, сейсмических и других природных процессов. Данный факт официально утвержден дипломом за научное открытие №326 (Трофимук и др., 1982).

Необходимым условием синтеза УВ является создание на контактируемой с водой поверхности минералов восстановительных условий, при которых вода способна генерировать «активный» атомарный водород, вступающий в реакции с окислами углерода. В работе (Черский, Царев, 1984) установлено, что при контакте морской воды с образцами углеродсодержащих пород, механически активированных трением, возникает широкий спектр УВ – предельных, непредельных и ароматических, как газообразных, так жидких и твердых.

Изучение сырых небодеградированных нефтей и природных битумов показало (Баренбаум, 2007; Баренбаум, Абля, 2009), что молекулярно-массовые распределения в них n-алканов практически идентичны полученным в синтезе Фишера-Тропша (Глебов, Клигер, 1994), а также тем, которые образовались в экспериментах Н.В. Черского и В.П. Царева при комнатной температуре и атмосферном давлении.

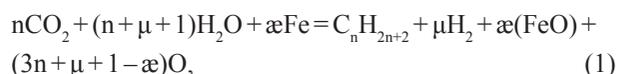
Забегая вперед, подчеркнем, что принципиально важным в этой связи является вывод биосферной концепции (Баренбаум, 2015; Баренбаум, Климов, 2015), что основная масса «абиогенных» УВ, извлекаемых из недр в виде нефти и газа, поступает не с больших глубин (<http://journal.deeroil.ru>), а непосредственно образуется в осадочном чехле земной коры в реакции поликонденсационного синтеза УВ из CO_2 и H_2O .

Экспериментальная часть работы

В последние годы реакция синтеза УВ из CO_2 и H_2O экспериментально и теоретически изучалась в Институте проблем нефти и газа РАН при фильтрации карбонизированной воды (вода с растворенным CO_2) через насыпную модельную среду, содержащую железную стружку, либо сланцевую породу (Barenbaum et al., 2012; Закиров и др., 2013; Семенов и др., 2014; Баренбаум, Климов, 2015). В отличие от экспериментов других авторов при моделировании процесса образования УВ из CO_2 и H_2O , специалистами Института проблем нефти и газа РАН использовалось известное свойство Fe разлагать воду, генерируя активный водород при комнатных термобарических условиях.

Основная часть экспериментальных исследований была проведена на авторской (Закиров и др., 2013; Barenbaum et al., 2012), а другая – на специализированной лабораторной установке (Семенов и др., 2014; Barenbaum et al., 2015) при комнатной температуре и близком к атмосферному давлении. Эксперименты позволили установить, что поликонденсационный синтез УВ из CO_2 и H_2O сопровождается образованием свободного молекулярного водорода.

Соответствующая химическая реакция применительно к синтезу n-алканов может быть представлена феноменологической формулой (Баренбаум, 2014):



где n – число атомов углерода в молекуле, μ и α – стехиометрические коэффициенты.

Термодинамические расчеты показывают, что синтез УВ по реакции (1) становится возможным в стандартных условиях ($T = 25^{\circ}C$ и $P = 1$ атм) лишь при достаточно полном удалении из системы кислорода. В наших экспериментах необходимым “поглотителем” кислорода служила железная стружка, которая также играла роль “катализатора”. В породах земной коры эти функции, очевидно, могут выполнять многие химические элементы и их соединения.

Эксперименты в целом подтвердили результаты В.И. Молчанова, Н.В. Черского и В.П. Царева. Они также показали, что если УВ отлагаются в виде битумов на железной стружке, а кислород окисляет ее поверхность, то водород в избытке поступает в газовую фазу (Табл. 1).

Данные табл. 1 свидетельствуют, что в газовой фазе присутствуют водород, метан и его гомологи, а также оксид углерода, которых изначально в системе не было. При этом газовая фаза почти всецело состоит из H_2 . Возникающий при разложении H_2O кислород практически полностью расходуется на окисление Fe, и его попадание в газовую фазу пренебрежимо мало. Наличие азота, а также некоторое количество кислорода определяются воздухом, который изначально был растворен в воде. Показательно, что превышение азота над кислородом гораздо выше, чем их соотношение в воздухе.

В наших экспериментах выход H_2 , а также CH_4 и его гомологов существенно зависел от содержания CO_2 в карбонизированной воде (Рис. 1). Каталитическая активность железной стружки в ходе экспериментов снижалась, и вода в реакторе прекращала разлагаться. Во всех экспериментах, выполненных при разных объемах реактора и разных давлениях CO_2 в воде, в реакторе максимально распадалось $\sim 0.1 \div 1$ г на литр H_2O .

В данной работе обсуждаются результаты эксперимента (Баренбаум, Климов, 2015), позволивших впервые поставить вопрос о темпе разложения при нефтегазообразовании подземных вод и масштабах этого явления.

Измерение темпа разложения воды

Схема использовавшейся экспериментальной установки показана на рис. 2.

Эксперимент состоял в измерении объема газа, образовавшегося в реакторе (3) через некоторое время после его заполнения карбонизированной водой. Реактором служил стакан из нержавеющей стали с внутренним объемом 45 мл, куда было насыпано 25 г мелкой стальной стружки, моделировавшей «активированную» породу. Под небольшим начальным давлением в стакан заливалось ~ 35 г карбонизированной («метеогенной») воды, которую имитировал раствор CO_2 в дистиллированной воде. Насыщение воды CO_2 производилось в 5 л емкости (2), куда из баллона (1) под давлением 2-5 атм подавался химически чистый CO_2 . Время насыщения воды CO_2 было принято равным 18 час. Отделение газа от жидкости и измерение его объема на выходе из реактора проводилось с использованием шприца (4). Погрешность измерения объема газа шприцем при атмосферном давлении составляла ~ 0.5 см³.

Эксперимент сводился к заполнению реактора (3) карбонизированной водой из смесителя (2), после чего вентили на входе и выходе реактора перекрывали, обеспечивая протекание в нем химических реакций. Наряду с другими возможными реакциями в реакторе происходило разложение воды с образованием H_2 , что вызывало рост давления, фиксировавшегося манометром (6). Состав новообразованных газов свидетельствует (Табл. 1), что прирост давления в реакторе главным образом создает H_2 , получающийся из H_2O . Тем самым, по объему возникшего H_2 , можно измерить массу разрушенной воды.

В ходе эксперимента было выполнено 5 циклов измерений объема газа, включавших от 4 до 6 последовательных опытов разной длительности. Продолжительность каждого цикла составляла от 3 до 6 суток. Измерения проводились при комнатной температуре.

При отработке методики учитывался ряд факторов, которые могли вносить в результаты эксперимента

Компонент	Водород	Азот	Кислород	Метан	Этан	Пропан	Бутан	CO ₂	CO
Содержание, %	95.562	3.688	0.657	0.039	0.018	0.0125	0.0049	0.002	0.017

Табл. 1. Химический состав газовой фазы после доочистки щелочью

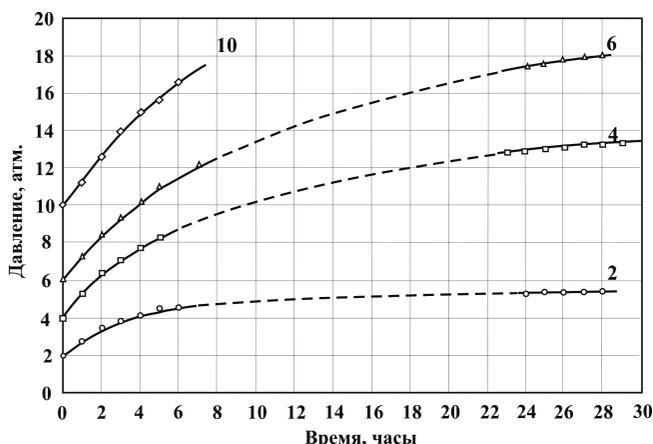


Рис. 1. Изменение во времени давления в реакторе: шифр кривых – насыщение воды CO_2 при его давлении в смесителе 2, 4, 6 и 10 атм

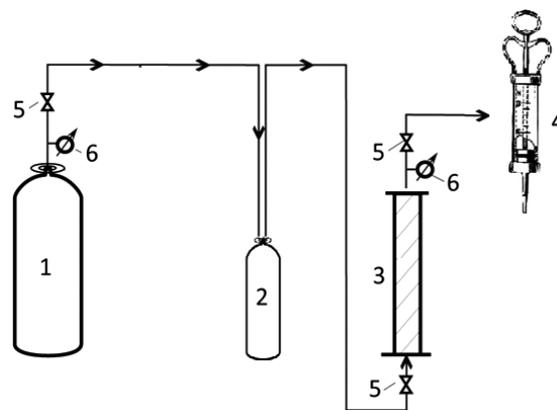


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 – Баллон с CO_2 ; 2 – смеситель для насыщения воды CO_2 ; 3 – реактор с активированной средой; 4 – шприц для отбора и измерения объема газовой фазы; 5 – вентили; 6 – манометры

погрешности. Первый фактор связан с возможным попаданием воздуха в измеренный объем газа при его отборе с помощью шприца. Второй – состоял в необходимости поддерживать постоянство насыщения воды CO_2 перед началом каждого опыта, которое технически сложно было контролировать, но требовалось обеспечить для воспроизводимости разных серий замеров. Третий источник погрешностей вызван тем, что после каждой серии опытов реактор приходилось промывать и перед новыми замерами снова герметизировать с удалением попавшего в него воздуха.

Влияние этих факторов удалось снизить с использованием методики, поясняемой с помощью рис. 3, где приведены результаты измерения объема газа на выходе из реактора после одной из серий опытов. Методика заключалась в том, что в процессе эксперимента реактор многократно заполнялся карбонизированной водой из смесителя, а объем газа измерялся после разных промежутков времени экспозиции (длительность нахождения воды в реакторе), рассматривавшихся как «фоновые» и «информативные» замеры. Замеры при времени экспозиции, равном 1 мин, считались фоновыми. Отобранный в них газ почти полностью состоял из CO_2 , а его объем соответствовал тому, который выделялся из воды при уменьшении давления от начального до атмосферного, при котором проводились замеры. Опыты при времени экспозиции, равном 21 час и более, считались информативными. В этом случае наряду с CO_2 в газе присутствовал H_2 , образовавшийся из воды. Разностный эффект между информативными и фоновыми замерами позволял измерить объем возникшего H_2 , и по нему найти количество распавшейся в реакторе воды. По мере увеличения в эксперименте числа замеров количество воды и давление CO_2 в смесителе со временем уменьшались. Снижались и объемы газа V , выделявшегося в реакторе (Рис. 3а). На рис. 3б те же объемы приведены в зависимости от начального давления газа P_0 в реакторе.

Поскольку растворимость газов связана с давлением линейно, зависимости $V(P_0)$ аппроксимировались прямыми линиями, проходящими через точку $P = 0$. Эти зависимости, найденные методом наименьших квадратов, имеют вид: $V = 34.7 P_0$ – для фона, и $V = 39.0 P_0$ – для информативных опытов. В последнем случае объем газа в опыте с экспозицией 71 час пересчитан на 21 час, как для всех других замеров.

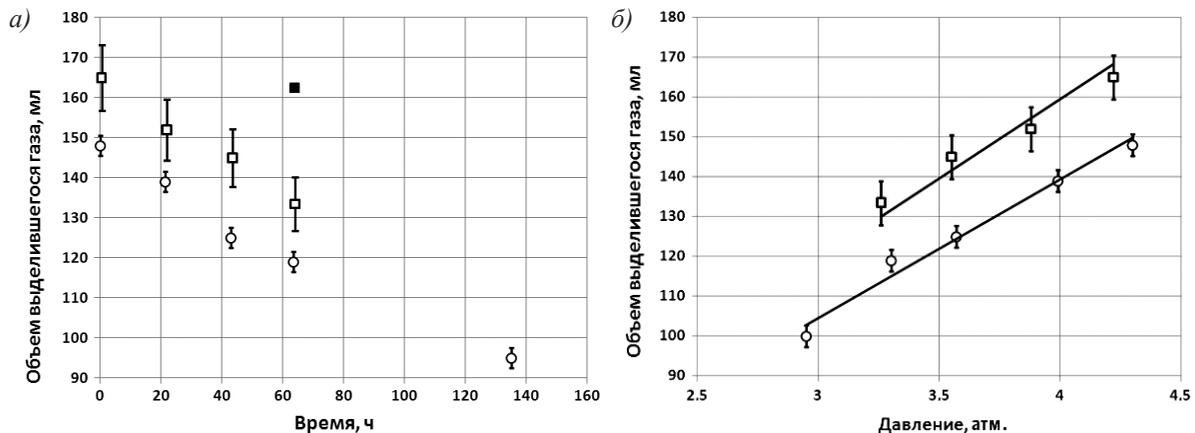


Рис. 3. Объемы выделившегося газа в зависимости от: а) времени, прошедшего с начала эксперимента, б) начального давления метеогенной воды в реакторе. Круги – замеры фона, квадраты – информативные измерения. Замер с экспозицией 71 час показан темным квадратом. Прямые линии – аппроксимирующие зависимости. Погрешности: фон – 2.4% отн., информативные измерения – 6.8% отн.

Анализ результатов экспериментов

Так как методика отбора газа стандартизировалась, то возможные систематические ошибки при переходе к разностному эффекту снижались. Эксперименты показали, что замена железной стружки, новое приготовление карбонизированной воды, а также последовательность фоновых и информативных замеров влияли на разностный эффект не очень сильно. После усреднения результатов серий экспериментов, выполненных при начальных давлениях $P_0 = 3.0 \div 4.3$ атм и времени экспозиции 21 час, разностный эффект составил $\Delta V = 22 \pm 6$ мл. В предположении, что эффект ΔV создает газообразный водород, который при атмосферном давлении имеет плотность $\rho_{\text{H}} = 1 \cdot 10^{-4}$ г/см³, масса образовавшегося водорода вычислена как $m_{\text{H}} = \Delta V \cdot \rho_{\text{H}} = (2.2 \pm 0.6) \cdot 10^{-3}$ г. Учитывая, что доля H_2 в воде равна 11.1%, масса разложившейся воды находилась как $M = m_{\text{H}} / 0.111 = 2.0 \cdot 10^{-2}$ г. Приняв во внимание, что масса воды в реакторе была ~ 35 г, ее разложившаяся часть составила $M/35 \sim 5.7 \cdot 10^{-4}$. Откуда темп разложения карбонизированной воды в реакторе получился равным $\sim 2.7 \cdot 10^{-3}$ г на 1 литр H_2O . Водород, вошедший в состав УВ, в расчет не принимался.

С учетом эффекта выколаживания (Рис. 1) в экспериментах разлагалось $\sim 0.1 \div 1$ г на литр карбонизированной воды. Приняв эти данные за основу, мы неизбежно приходим к выводу, что в земной коре, и прежде всего в ее осадочном чехле, ежегодно должна разлагаться значительная масса подземных вод (Баренбаум, 2017а).

Главный вопрос состоит в том, сколь велика эта масса воды и достаточна ли она, чтобы объяснить современный темп генерации УВ, а также интенсивность дегазации из недр основных газов CH_4 , CO_2 и H_2 .

Ответы на поставленные вопросы позволяет получить биосферная концепция нефтегазообразования (Баренбаум, 2014, 2015, 2017).

Биосферная концепция нефтегазообразования

Принципиальное отличие биосферной концепции от других теорий состоит в том, что она требует выполнения баланса между «нисходящим» и «восходящим» потоками углерода и воды при круговороте через земную поверхность.

При решении данной проблемы установлено (Баренбаум, 1998, 2010), что воды гидросферы, углерод биосферы и кислород атмосферы образуют на нашей планете единую геохимическую систему круговорота. Единство и устойчивость этой системы обеспечивает участие в круговороте живого вещества, которое приводит скорость круговорота кислорода и углерода в соответствие со скоростью круговорота вод подземной гидросферы.

В настоящее время геохимическая система биосферы пребывает в состоянии, близком к устойчивому динамическому равновесию, характеризующемуся скоростью круговорота в пересчете на CO_2 равной 2.7×10^{16} г/год. В этом состоянии основные водоемы Земли пополняются со скоростью $(2.0 \pm 0.5) \times 10^{19}$ г/год водами, участвующими в двух циклах круговорота (Рис. 4).

На 87-90% это «метеогенные» воды и на 10-13% – воды «морские». Первые имеют местное происхождение, они формируются в атмосфере и в виде дождя и снега инфильтруются через земную поверхность, поступая затем в области питания водоемов. Вторые – воды, относящиеся к общей системе глубинной циркуляции подземных вод через срединные океанские хребты. Название «морских» они получили из-за близости солевого состава водам Мирового океана. В подземных водах разных регионов земного шара, метеогенные воды существенно преобладают над морскими. Этот вывод получен как для вод рек,

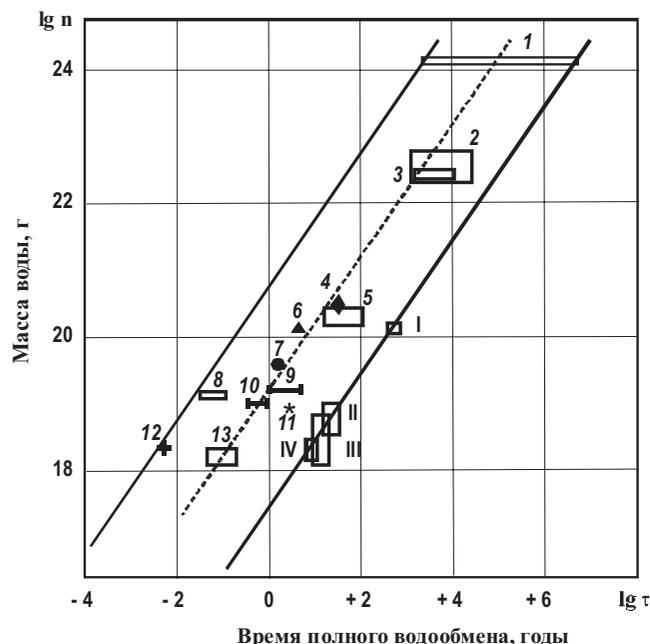


Рис. 4. Сопоставление количеств воды и времен водообмена для основных природных резервуаров Земли: 1 – Мировой океан; 2 – подземные воды; 3 – ледники и ледниковые покровы; 4 – озера, водохранилища и болота; 5 – озера; 6 – болота; 7 – морские льды; 8 – вода в атмосфере; 9 – почвенная влага; 10 – снежный покров; 11 – айсберги; 12 – атмосферные льды; 13 – реки; пунктирная линия характеризует среднюю скорость водообмена. Римскими цифрами обозначены данные по круговороту углерода биосферы в пересчете на CO_2 : I – Мировой океан; II – живое вещество; III – почвы-илы; IV – атмосфера. Верхняя наклонная прямая соответствует круговороту метеогенных вод со скоростью $C_1 = 5.2 \times 10^{20}$ г/год (Львович, 1986), а нижняя – круговороту морских вод через срединные океанические хребты со скоростью $C_2 = 2.7 \times 10^{17}$ г/год, совпадающей со скоростью циркуляции CO_2 в биосфере (Баренбаум, 2010)

озер и ледников, так и вод глубоких артезианских бассейнов, вулканических областей, а также вод, сопутствующих скоплениям нефти и газа (Ферронский, Поляков, 2009).

Баланс углерода при круговороте через земную поверхность обеспечивают 4 компоненты. На восходящей ветви круговорота ими являются естественный и антропогенный потоки. Первый обусловлен явлением дегазации недр (Табл. 2), при котором в атмосферу из недр поступают CH_4 и CO_2 примерно в равных количествах $(2.5 \pm 0.2) \times 10^{14}$ г/год (Войтов, 1986). По измерениям последних лет (Войтов, 1999; Сывороткин, 2002) эта компонента может быть на порядок больше.

Антропогенная компонента – это углерод, который человек ежегодно извлекает из недр как топливо в виде нефти, газа и угля. В частности, в 2017 году в мире было добыто 4.3 млрд т нефти, 3.8 трлн m^3 природного газа и 7.8 млрд т каменного угля, которые содержат ≈ 14 млрд т углерода. Тем самым можно считать, что в настоящее время на поверхность из недр ежегодно поступает $\sim 10^{16}$ г преимущественно восстановленного углерода.

Нисходящий поток углерода также представлен двумя компонентами. Одна связана с захоронением углерода (органического и неорганического) в процессах осадконакопления. По данным (Войтов, 1986) в земную кору ежегодно захоранивается $\sim 2 \times 10^{14}$ г углерода, состоящего на $\sim 2/3$ из карбонатов и на $\sim 1/3$ из отмершей органики. Вторая компонента – углерод, который переносят под земную поверхность метеогенные (поверхностные) воды. Поскольку большую часть извлекаемых из недр углеродных топлив человек сжигает, превращая примерно в три раза большее количество CO_2 , которое выбрасывается в атмосферу, то для обеспечения баланса между восходящим и нисходящим потоками углерода требуется, чтобы ежегодно в земную кору с водами поступало $\sim 3 \times 10^{16}$ г водорастворенного CO_2 . В этом случае его содержание в воде должно быть $\sim 3 \times 10^{16} / 2 \times 10^{19} \sim 10^{-3}$ г/г, что вполне удовлетворяет фактическим данным (Корж, 1991).

Под земной поверхностью водорастворенный CO_2 может принимать участие в разных химических реакциях, но, прежде всего он участвует в разложении H_2O с образованием УВ и H_2 по реакции (1). При этом если образующиеся УВ, заполняя геологические ловушки – месторождения, могут задерживаться там на длительное время, то легкий H_2 вместе с большей частью CH_4 , а также растворенным в подземных водах N_2 и не прореагировавшим CO_2 дегазирует в атмосферу (Табл. 2).

Процессы нефтегазообразования, как известно, наиболее интенсивно идут на глубинах «нефтяного окна» (Рис. 5), где фазовый состав УВ определяют термобарические условия (Баталин и др., 1992, Баталин, Вафина, 2008).

На рис. 5а (Баренбаум, Баталин, 2001) показаны результаты расчета фазовой РТ-диаграммы смеси УВ типичного газоконденсатного состава: CH_4 (70-85%), C_2H_6 - C_4H_{10} (5-10%), C_{5+} (10%). По расчетам, данная смесь УВ может существовать в гомогенном состоянии лишь с внешней стороны двухфазной области. Внутри этой области смесь распадается на две фазы: газообразную – «газ» и жидкую – «нефть». Изоплерами показан процент в смеси жидкой фазы. Прямая линия характеризует изменение РТ-условий с глубиной на континентах. Точки

Геоструктурные зоны	Площадь млн. км ²	CO ₂	УВ	H ₂	N ₂	He
<i>В активном вулканизме на поверхности Земли</i>						
Эксплозивная стадия		5.66	0.066	0.025	?	?
Фумарольная стадия		10.38	0.170	0.012	?	?
<i>В альпийских складчатых зонах</i>						
В грязевом вулканизме		3.95	10.68	0.0014	0.16	22 · 10 ⁻⁵
Площади альпийской складчатости	150	400/119	50/54	10/0.14	40/7.5	0.35/9.5 · 10 ⁻³
<i>Платформы и древние складчатые области</i>						
Щиты	29.4	22.5/1.21	30/0.063	4.2/0.012	4/0.147	0.2/0.001
Массивы щелочных пород	5.1	1.0/0.01	300/1.102	100/0.012	20/0.127	0.35/8 · 10 ⁻⁵
Платформы и складчатые области, экранированные осадочным чехлом	316	20/13	150/34.1	6.3/0.18	18./7.11	0.27/0.015
<i>Мировой океан</i>						
Подводные окраины	81.8	20/3.24	150/8.835	4/0.029	5/0.51	0.3/0.0044
Переходные зоны	30.8	500/30.49	650/14.5	12/0.033	8/0.31	0.6/0.0033
Ложе океана	193.9	50/19	300/70	75/1.3	8/1.938	0.15/0.005
Срединно-океанические хребты	55.4	600/67	750/30	900/4.48	100/6.93	0.25/0.0025
Всего газов		272.89	223.51	6.084	24.732	0.0405

Табл. 2. Плотность потока некоторых газов и величина их разгрузки в разных геоструктурных зонах по Г.И. Войтову (1986). Цифра в числителе – плотность потока газов (см³/м² в год), в знаменателе – их интегральная разгрузка (10¹² г/год)

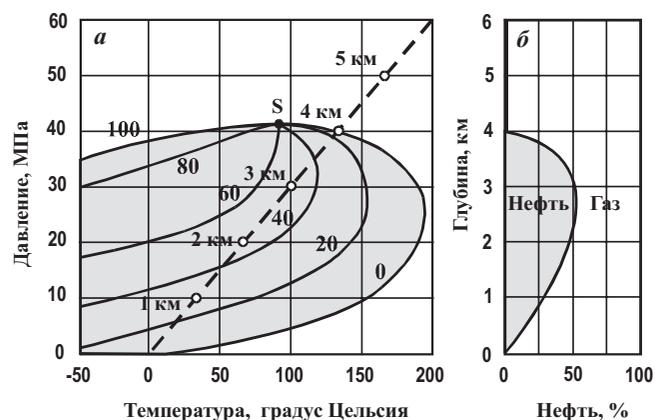


Рис. 5. Фазовая диаграмма углеводородной смеси с изоплерами (а) и соответствующая этой диаграмме кривая нефтенасыщения (б): наклонная пунктирная прямая – шкала глубин, соответствующая типичному для континентов гидростатическому градиенту; S – критическая точка смеси

пересечения прямой с изоплерами определяют процентное содержание «нефти» в исходной смеси на разных глубинах. На рис. 5б приведена кривая изменения с глубиной процентного содержания «нефти», согласно диаграмме рис. 5а. Расчет хорошо объясняет положение и форму нефтяного окна в крупнейших нефтегазоносных бассейнах мира (Соколов, Абля, 1999). При изменении состава смеси УВ и термобарических условий нефтяное окно может деформироваться и смещаться по оси глубин (Лапшин, 2000; Баталин, Вафина, 2008).

Нефтегазообразование вызывает и другие эффекты. Первый из них состоит в нарушении в нефтяном окне гидравлической связи подземных вод с поверхностью, свойственной сравнительно малым глубинам (Рис. 6).

В зоне I рост давлений с глубиной создают флюиды, заполняющие поры и трещины пород, которые образуют сообщающиеся между собой и с поверхностью каналы. В зоне III градиент давления определяется весом вышележащих пород. Породы этой зоны характеризуются низкой трещиноватостью и пористостью, а если и содержат воду, то в химически связанном состоянии.

Что касается зоны II – зоны так называемых аномально низких (АНПД) и аномально высоких (АВПД) пластовых давлений (Добрынин, Серебряков, 1989), то до недавнего времени она не получала однозначного объяснения. Преобладало мнение, что в нефтегазоносных бассейнах эта зона образуется вследствие неоднородного литологического преобразования и уплотнения осадочных пород при увеличении с глубиной давления и температуры.

Такое объяснение справедливо, но лишь отчасти. В биосферной концепции эта зона возникает, прежде всего, из-за разложения воды в очагах генерации УВ. Процесс столь интенсивен, что свободная вода на глубинах нефтяного окна физически прекращает существовать. Вследствие превращения H₂O в H₂ и CH₄, которые дегазируют в атмосферу, здесь возникает дефицит пластовых давлений (пьезоминимум), который служит своеобразным «насосом» (Баренбаум, 2015а), засасывающим воды из выше- и нижележащих горизонтов.

Другой эффект связан с тем, что воды, многократно участвовавшие в синтезе УВ, обогащаются тяжелым изотопом водорода – дейтерием. По данным (Зыкин, 2012), попутные воды месторождений, в составе газовых залежей которых присутствуют кислые компоненты, имеют аномально высокие содержания дейтерия, которые не встречаются ни в каких других природных объектах (Рис. 7).

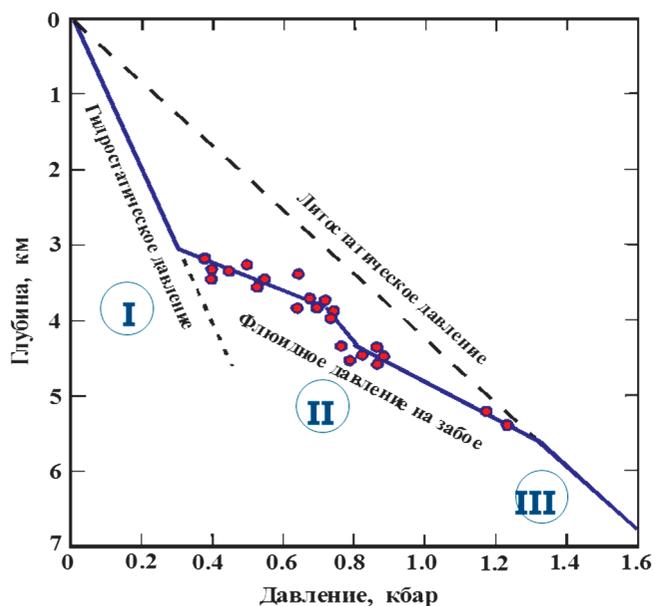


Рис. 6. Изменение пластовых давлений в осадочных бассейнах с глубиной, вызванное общей гидродинамической зональностью давлений в подземной коровой гидросфере (по Дж. Уолтеру и Б. Вуду (1989) с изменениями). Цифрами обозначены зоны гидростатического (I), переходного (II) и литостатического (III) градиентов давлений

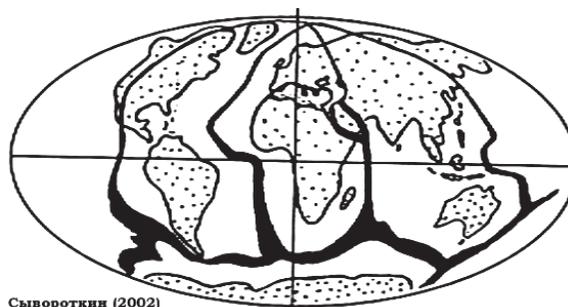
Масштабы разложения подземных вод в земной коре

При решении этой задачи будем исходить из того, что поликонденсационный синтез УВ и дегазация – это процессы, отражающие разные стороны одного и того же явления, вызванного циркуляцией вод гидросферы через поверхность Земли и их разложением в породах земной коры с образованием УВ и водорода.

Поэтому, будучи связанные формулой (1), дегазирующие в атмосферу CH_4 , CO_2 и H_2 характеризуют не только интенсивность современного образования УВ, но и позволяют судить о массе разлагающейся в земной коре воды.

Заметим, что процесс дегазации крайне неравномерен. По данным Г.И. Войтова (1986) дебит газов в океанах выше, чем на континентах. Основная масса газов поступает в атмосферу в зонах разломов земной коры, в первую очередь через срединные океанские хребты (Рис. 8).

Максимум дегазации приходится на южное полушарие



Сывороткин (2002)

Рис. 8. Главные каналы дегазации, связанные с мировой рифтовой системой по В.Л. Сывороткину (2002)

Земли (Сывороткин, 2002). Варьируют также состав газов и их интенсивность, проявляя цикличность от минут до нескольких лет (Войтов, 1991). В целом по земному шару из недр дегазируют близкие количества CH_4 и CO_2 на уровне $\sim 2.5 \times 10^{14}$ г/год (Табл. 2). В более поздних работах (Войтов, 1999; Сывороткин, 2002) эти оценки были увеличены примерно на порядок, так что можно принять их равными $\sim 10^{15}$ г/год. Намного большей, чем в табл. 2, следует считать и дегазацию водорода (Ларин и др., 2010).

Покажем, что результаты наших экспериментов по разложению воды вполне хорошо удовлетворяют фактическим данным. С этой целью примем, что ежегодно под поверхность поступает $\sim 2 \times 10^{19}$ г воды, которая переносит в породы земной коры $\sim 3 \times 10^{16}$ г/год CO_2 . Часть этого количества CO_2 , взаимодействуя в породах с H_2O , участвует в синтезе УВ по реакции (1), другая не прореагировавшая часть CO_2 , примерно на порядок меньшая, дегазирует в атмосферу.

Рассмотрим часть CO_2 , которая приняла участие в образовании УВ. Согласно формуле (1), чтобы образовать 1 г CH_4 требуется 2.75 г CO_2 и как минимум 2.2 г H_2O . Предположим, что весь образовавшийся метан дегазирует из недр. Тогда для объяснения его потока в атмосферу $\sim 10^{15}$ г/год ежегодно должно расходоваться $\sim 2.75 \times 10^{15}$ г CO_2 . Принимая во внимание, что CO_2 помимо метана участвует также в синтезе более тяжелых УВ, представленных нефтью и битумами, которые остаются в недрах, для массы CO_2 , ежегодно поступающей в земную кору в количестве $\sim 3 \times 10^{16}$ г, эта оценка выглядит вполне приемлемой.

Обратимся теперь к расходу воды. Из формулы (1) следует, что в этой реакции может участвовать неограниченное количество H_2O . Причем на синтез УВ расходуется

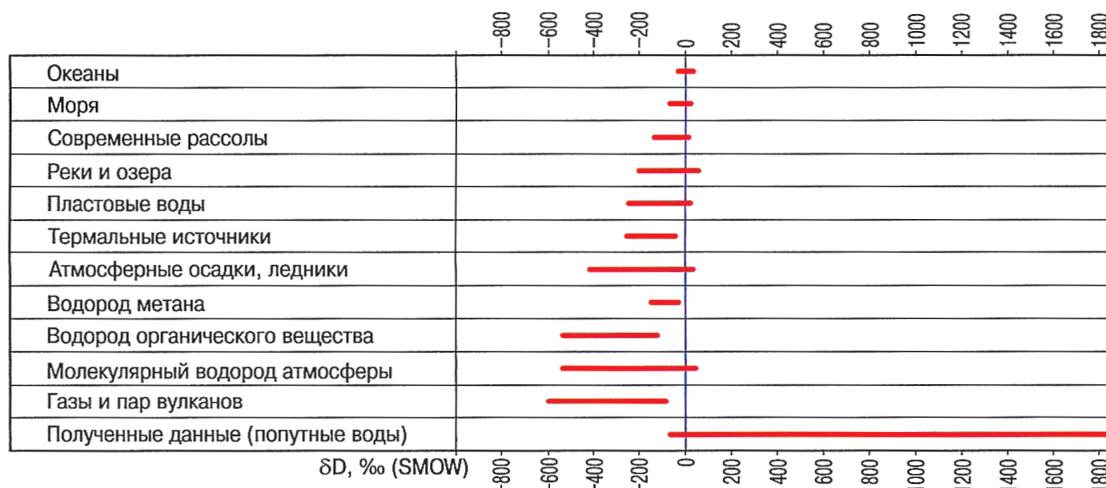


Рис. 7. Вариации изотопного состава водорода в природных водах и объектах (Зыкин, 2012)

масса H_2O примерно на 20% меньше, чем расходуется CO_2 , а весь избыток H_2O идет на образование H_2 . Поэтому, если в процессах нефтегазообразования ежегодно разлагается $\sim 10^{16}$ г подземных вод, этого их количества вполне достаточно, чтобы объяснить данные табл. 2 по метану и водороду.

В этой связи заметим, что в наших опытах максимально разлагалось $\sim 0.1 \div 1$ г на литр карбонизированной воды. Если исходить из этого результата, то при циркуляции воды через земную поверхность $\sim 2 \times 10^{19}$ г/год темп разложения H_2O составит $\sim 2 \times 10^{19} \times (10^{-4} \div 10^{-3}) \sim 10^{15} \div 10^{16}$ г/год. Что совпадает с нашей оценкой скорости разложения подземных вод по данным дегазации CH_4 и CO_2 .

Тем самым, темп разложения воды в наших экспериментах оказывается не столь уж далеким от скорости этого процесса в среднем по земному шару.

Заключение

Приведены результаты экспериментов, а также аргументы и факты, которые позволяют констатировать:

1. В земной коре в реакциях поликонденсационного синтеза УВ ежегодно разлагается $\sim 10^{16}$ г подземных вод, содержащих водорастворенный CO_2 . В этом процессе участвуют не только метеогенные (на материках), но и морские (через срединные океанические хребты и зоны глубинных разломов на континентах) воды.

2. Возникший при разложении воды водород, большая часть CH_4 и не прореагировавший CO_2 дегазируют в атмосферу, тогда как УВ и часть метана остаются в недрах, формируя в благоприятных условиях скопления нефти и газа. Разумеется, часть образовавшегося водорода, соединяясь с O_2 , снова превращается в H_2O .

3. Основная масса CH_4 , CO_2 и H_2 дегазирует в атмосферу не из глубоких недр Земли, а из пород земной коры и прежде всего ее осадочного чехла. Главную роль в процессах нефтегазообразования и дегазации играет разложение в земной коре воды, которая циркулирует через поверхность на континентах. Масса такой воды $\sim 10^{21}$ г, а ее время круговорота, как и у биосферного цикла углерода, составляет примерно 40 лет (Баренбаум, 2004).

4. Надо полагать, что разложение H_2O главным образом происходит в верхнем 5 километровом слое земной коры. При массе свободных вод в этом слое $\sim 6 \times 10^{22}$ г (Шварцев, 1996) и темпе разложения $\sim 10^{16}$ г/год время их жизни в подземной гидросфере составит $\sim 6 \times 10^{22}$ г / 10^{16} г/год ~ 6 млн лет.

5. Количество свободных вод на Земле 2.1×10^{24} г. Из них 1.37×10^{24} г находится в Мировом океане и 0.73×10^{24} г в подземной гидросфере. Большая часть вод подземной гидросферы представлена водами глубокого залегания, которые циркулируют под континентами по проницаемым горизонтам, обеспечивая геологический круговорот воды через срединные океанические хребты. По данным (Басков, Кирюхин, 1993), в рифтовых зонах осевых частей срединных океанических хребтов через каждые 8 млн лет проходит масса воды, равная объему Мирового океана. Отсюда, скорость геологического круговорота вод гидросферы найдем как: 2.1×10^{24} г / 8×10^6 лет = 2.63×10^{17} г/год.

Эта величина совпадает со скоростью круговорота на Земле кислорода атмосферы и углерода биосферы, которые вместе с круговоротом вод гидросферы

образуют на нашей планете единую геохимическую систему (Баренбаум, 1998).

Приведенные оценки скорости и масштабов разложения подземных вод в земной коре необходимо учитывать при оценках нефтегазоносности недр.

Благодарности

Автор благодарит А.Н. Павлова, В.И. Ферронского и С.Н. Закирова за поддержку и полезные обсуждения проблемы, способствовавшие улучшению работы.

Автор выражает признательность рецензенту за высказанные вопросы и полезное обсуждение проблемы, а также критические замечания, способствовавшие улучшению статьи.

Литература

- Баренбаум А.А. (1998). О поступлении космического углерода и его круговороте на Земле. *Экосистемные перестройки и эволюция биосферы*, 3, с. 15-29.
- Баренбаум А.А. (2004). Механизм формирования месторождений нефти и газа. *Доклады АН*, 399(6), с. 802-805.
- Баренбаум А.А. (2007). Изучение условий образования нефти с использованием теоретической модели Андерсона-Шульца-Флори. *Вестник ОНЗ РАН*, 1(25), с. 1-5.
- Баренбаум А.А. (2010). Галактоцентрическая парадигма в геологии и астрономии. Москва: ЛИБРОКОМ, 544 с.
- Баренбаум А.А. (2013). Решение проблемы происхождения нефти и газа на основе биосферной концепции нефтегазообразования. *Уральский геологический журнал*, 2(92), с. 3-27.
- Баренбаум А.А. (2014). Научная революция в проблеме происхождения нефти и газа. Новая нефтегазовая парадигма. *Георесурсы*, 4(59), с. 9-16. DOI: <http://dx.doi.org/10.18599/grs.59.4.2>
- Баренбаум А.А. (2015). Современное нефтегазообразование как следствие круговорота углерода в биосфере. *Георесурсы*, 1(60), с. 46-53. DOI: <http://dx.doi.org/10.18599/grs.60.1.9>
- Баренбаум А.А. (2015a). К вопросу нисходящей фильтрации в нефтегазоносных осадочных бассейнах. *Актуальные проблемы нефти и газа (Георесурсы, геоэнергетика, геополитика)*, 2(12). DOI: 10.29222/ипнг.2078-5712.2015-12.art22
- Баренбаум А.А. (2017). О возрасте нефти в залежах. *Георесурсы*, 19(1), с.30-37. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.1.6>
- Баренбаум А.А. (2017). Об участии в нефтегазообразовании подземных вод. *Новые идеи в геологии нефти и газа – 2017: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции*. Отв. Редактор А.В. Ступакова. Москва: Изд-во «Перо», с. 35-39.
- Баренбаум А.А., Абля Э.А. (2009). Молекулярно-массовое распределение нормальных алканов нефти как свидетельство их поликонденсационного синтеза. *Органическая минералогия: Матер. III Рос. совещ. Сыктывкар: Геопринт*, с. 74-77.
- Баренбаум А.А., Баталин О.Ю. (2001). О фазовых преобразованиях углеводородов в процессе глобального геохимического круговорота. *Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. Неттегазовая геология в XXI веке*. Москва: МГУ, Ч.1, с.40-42.
- Баренбаум А.А., Климов Д.С. (2015). Измерение скорости разрушения карбонизированной воды при геосинтезе. *Труды ВЕСЭМПП-2015*. Москва: ГЕОХИ РАН, Т.1, с. 347-351.
- Басков Е.А., Кирюхин В.А. (1993). Эволюция подземной гидросферы в истории Земли. *Эволюция геологических процессов в истории Земли*. Москва: Наука, с. 175-182.
- Баталин О.Ю., Брусилловский А.И., Захаров М.Ю. (1992). Фазовые равновесия в системах природных углеводородов. Москва: Недра, 272 с.
- Баталин О.Ю., Вафина Н.Г. (2008). Конденсационная модель образования залежей нефти и газа. Москва: Наука, 248 с.
- Браун Д., Массет А. (1984). Недоступная Земля. Москва: Мир, 263 с.
- Вернадский В.И. (1960). Избранные сочинения. Москва: Изд-во АН СССР, Т.1, 696 с.; Т.ИВ, книга 2, 652 с.
- Вернадский В.И. (2001). Химическое строение биосферы Земли и ее окружение. Москва: Наука, 376 с.
- Витязев А.В., Печерникова Г.В., Сафронов В.С. (1990). Планеты земной группы. Происхождение и ранняя эволюция. Москва: Наука, 295 с.
- Войтов Г.И. (1986). Химизм и масштабы современного потока

природных газов в различных геоструктурных зонах Земли. *Ж. Всес. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева*, 31(5), с. 533-539.

Войтов Г.И. (1991). О химической и изотопно-углеродной нестабильности свободных газов (газовых струй) в Хибилах. *Геохимия*, 6, с. 769-780.

Войтов Г.И. (1999). О холодной дегазации метана в тропосфере Земли. *Теоретические и региональные проблемы геодинамики: Тр. ГИН РАН*, 515, с. 242-251.

Гаврилов В.П. (1986). Происхождение нефти. Москва: Наука, 176 с.

Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. (1986). Растворы, минералы, равновесия. Москва: Мир.

Галкин А.А., Лунин В.В. (2005). Вода в суб- и сверхкритическом состояниях – универсальная среда для осуществления химических реакций. *Успехи химии*, 74(1), с. 24-40.

Глебов Л.С., Клигер Г.А. (1994). Молекулярно-массовое распределение продуктов синтеза Фишера-Тропша. *Успехи химии*, 63(2), с. 192-202.

Добрынин В.М., Серебряков В.А. (1989). Геолого-геофизические методы прогнозирования аномальных пластовых давлений. Москва: Недра, 287 с.

Жарков В.Н. (1983). Внутреннее строение Земли и планет. Москва: Наука, 416 с.

Закиров С.Н., Закиров Э.С., Баренбаум А.А. и др. (2013). Природный синтез углеводородов и его следствия. *Тр. IV Межд. научного симпозиума: Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов*. Москва: ВНИИнефть, Т.1. с. 130-135.

Зексер И.С., Джамалов Р.Г. (1989). Подземные воды в водном балансе крупных регионов. Москва: Наука, 125 с.

Зверев В.П. (2007). Подземные воды земной коры и геологические процессы. Москва: Научный мир, 256 с.

Зыкин Н.Н. (2012). Попутные воды нефтегазоконденсатных месторождений как нетрадиционное сырье для газохимического производства. *Газовая промышленность. Спец. выпуск. Нетрадиционные ресурсы нефти и газа*, с. 38-42.

Карцев А.А., Гаттенбергер Ю.П., Зорькин Л.М. (1992). Теоретические основы нефтегазовой гидрогеологии. Москва: Недра, 208 с.

Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф. (2004). Моделирование глобального круговорота углерода. Москва: Физматлит, 336 с.

Корж В.Д. (1991). Геохимия элементного состава гидросферы. Москва: Наука, 243 с.

Лапшин В.И. (2000). Фазовые превращения газожидкостных систем. *Газовая промышленность*, 2, с. 11-13.

Ларин Н.В., Ларин В.Н., Горбатиков А.В. (2010). Кольцевые структуры, обусловленные глубинными потоками водорода. *Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь: Матер. Всерос. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения акад. П.Н. Кропоткина*. Москва: ГЕОС, с. 284-288.

Леворсен А. (1970). Геология нефти и газа. Москва: Мир, 640 с.

Львович М.И. (1986). Вода и жизнь. Москва: Наука, 254 с.

Молчанов В.И. (1981). Генерация водорода в литогенезе. Новосибирск: Наука, 142 с.

Молчанов В.И., Селезнева О.Г., Жирнов Е.Н. (1988). Активация минералов при измельчении. Москва: Недра, 208 с.

Молчанов В.И., Гонцов А.А. (1992). Моделирование нефтегазообразования. Новосибирск: ОИ ГГМ, 246 с.

Семенов А.П., Закиров Э.С., Климов Д.С. (2014). Сравнительные лабораторные исследования процессов геосинтеза на модельных образцах геологических сред. *Технологии нефти и газа*, 4(93), с. 38-44.

Семенов Н.Н. (1959). Основные проблемы химической кинетики. Москва: Изд-во АН СССР.

Соколов Б.А., Абля Э.А. (1999). Флюидодинамическая модель нефтегазообразования. Москва: ГЕОС, 76 с.

Соколов Б.А., Гусева А.Н. (1993). О возможности быстрой современной генерации нефти и газа. *Вестник МГУ. Сер. геол.*, 3, с. 48-56.

Страхов Н.М. (1960, 1962). Основы теории литогенеза. Москва: Изд-во АН СССР, т. 1-3, 1962.

Сывороткин В.Л. (2002). Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. Москва: ООО «Геоинформцентр», 250 с.

Трофимук, А.А., Черский Н.В., Царев В.П., Сороко Т.И. (1982). Явление преобразования органического вещества осадочных пород под действием тектонических и сейсмических процессов земной коры. Диплом на открытие №326 от 21.04.1982.

Уолтер Дж., Вуд Б. (ред.) (1989). Взаимодействие флюид-порода при метаморфизме. Москва: Мир, 248 с.

Ферронский В.И., Поляков В.А. (2009). Изотопия гидросферы Земли. Москва: Научный мир, 632 с.

Черский Н.В., Царев В.П. (1984). Механизмы синтеза углеводородов из неорганических соединений в верхних горизонтах земной коры. *Доклады АН*, 279(3), с. 730-735.

Черский Н.В., Царев В.П., Сороко Т.И., Кузнецов О.Л. (1985). Влияние тектоно-сейсмических процессов на образование и накопление углеводородов. Новосибирск: Наука, 224 с.

Шварцев С.Л. (1975). Разложение и синтез воды в процессе литогенеза. *Геология и геофизика*, 5, с. 60-69.

Шварцев С.Л. (1996). Общая гидрогеология. Москва: Недра, 423 с.

Barenbaum A.A., Zakirov S.N., Zakirov E.S., Serebryakov V.A. (2012). Method of hydrocarbon and hydrogen production from water and carbon dioxide. U.S. Patent No 20,120,315,215. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Barenbaum A.A., Zakirov S.N., Zakirov E.S., Klimov D.S., Serebryakov V.A. (2015). Physical and Chemical Processes During the Carbonated Water Flooding in the Oilfields. *SPE Russian Petroleum Technology Conference*. Moscow, Russia, SPE-176729-RU

Сведения об авторе

Азарий Александрович Баренбаум – канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник

Институт проблем нефти и газа РАН

Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3

Статья поступила в редакцию 12.07.2018;

Принята к публикации 04.10.2018;

Опубликована 30.11.2018

IN ENGLISH

On the relationship of oil and gas formation and degassing processes with groundwater decomposition

A.A. Barenbaum

Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

E-mail: azary@mail.ru

Abstract. The article is referred to important consequence of the biosphere oil and gas formation concept, according to which the process of hydrocarbons generation in the subsoil and degassing of the Earth are a single natural phenomenon. The main role in this phenomenon is played by geochemical circulation of carbon and water through the Earth's surface accompanied by polycondensation synthesis of hydrocarbons by $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ reaction. This reaction is accompanied by a colossal decomposition of groundwater into hydrogen and oxygen

within the sedimentary cover of the earth's crust. Unreacted CO_2 , as well as H_2 and most of the methane produced during the reaction are degassed into the atmosphere, while resulting C_{5+} hydrocarbons remain under the surface filling geological traps in the form of oil and gas. The article presents the results of model experiments, which make it possible to estimate the rate of groundwater decomposition and on this basis explain the current rate of Earth's degassing, as well as the observed CO_2 , CH_4 and H_2 ratio in degassing products.

Keywords: Earth degassing, carbon and water cycle, biosphere concept of oil and gas formation

Recommended citation: Barenbaum A.A. (2018). On the relationship of oil and gas formation and degassing processes with groundwater decomposition. *Georesursy = Georesources*, 20(4), Part 1, pp. 290-300. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2018.4.290-300>

Acknowledgments

The author thanks A.N. Pavlov, V.I. Ferronsky and S.N. Zakirov for support and helpful discussions of the problems.

The author is grateful to the reviewer for the questions raised and for a useful discussion of the problems, as well as critical comments which have been very helpful in improving the manuscript.

References

- Barenbaum A.A. (1998). O postuplenii kosmicheskogo ugleroda i ego krugovorote na Zemle [On the income of cosmic carbon and its circulation on Earth]. *Ekosistemnye perestroiki i evolyutsiya biosfery* [Ecosystem restructuring and the evolution of the biosphere], 3, pp. 15-29. (In Russ.)
- Barenbaum A.A. (2007). Izuchenie uslovii obrazovaniya nefiti s ispol'zovaniem teoreticheskoi modeli Andersona-Shul'tsa-Flori [Study of oil formation conditions using the theoretical model of Anderson-Schulz-Flory]. *Vestnik Otdeleniya nauk o Zemle RAN*, 1(25). (In Russ.)
- Barenbaum A.A. (2017). On participation of underground waters in oil and gas formation. *Novye idei v geologii nefiti i gaza – 2017: sbornik nauchnykh trudov (po materialam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii)* [New ideas in geology of oil and gas – 2017: Coll. papers (based on the proc. of the International Scientific and Practical Conference)]. Ed. A.V. Stupakova. Moscow: Pero publ., pp. 35-39. (In Russ.)
- Barenbaum A.A. (2010). Galaktotsentricheskaya paradigma v geologii i astronomii [Galactocentric paradigm in geology and astronomy]. Moscow: LIBROKOM Publ., 544 p. (In Russ.)
- Barenbaum A.A. (2015). Modern oil and gas generation as a result of carbon cycle in the biosphere. *Georesursy = Georesources*, 1(60), pp. 46-53. (In Russ.)
- Barenbaum A.A. (2017). Oil Origin and Age. *Georesursy = Georesources*, 19(1), pp. 30-37. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.1.6>
- Barenbaum A.A. (2015a). On the Problem of the Water Downward Filtration in the Oil-and Gas Bearing Sedimentary Basins. *Georesursy. Geoenergetika. Geopolitika = Georesources, geoenergetics, geopolitics*, 2(12). (In Russ.)
- Barenbaum A.A. (2013). Reshenie problemy proiskhozhdeniya nefiti i gaza na osnove biosfernoy kontseptsii neftegazooobrazovaniya [Solving the problem of the origin of oil and gas on the basis of the biosphere concept of oil and gas formation]. *Ural'skiy geologicheskii zhurnal = Ural Geological Journal*, 2(92), pp. 3-27. (In Russ.)
- Barenbaum A.A. (2004). The Mechanism of Oil-Gas Traps Formation. *Doklady AN = Proc. of the Russian Academy of Sciences*, 399(6), pp. 802-805. (In Russ.)
- Barenbaum A.A. (2014). The Scientific Revolution in the Oil and Gas Origin Issue. New Oil and Gas Paradigm. *Georesursy = Georesources*, 4(59), pp. 9-16. (In Russ.)
- Barenbaum A.A., Ablyay E.A. (2009). The molecular mass distribution of normal alkanes of oil as evidence of their polycondensation synthesis. *Organicheskaya mineralogiya. Mater. III Ros. sovesch.* [Proc. III All Rus. Meet. «Organic Mineralogy»]. Syktyvkar, pp. 74-77. (In Russ.)
- Barenbaum A.A., Batalin O.Yu. (2001). Phase transformations of hydrocarbons during the global geochemical cycle. New ideas in the geology and geochemistry of oil and gas. *Neftegazovaya geologiya v XXI veke = Oil and gas geology in the XXI century*, Ch.I, pp. 40-42. (In Russ.)
- Barenbaum A.A., Klimov D.S. (2015). Experimental measurement of the rate of destruction of carbonized water during geosynthesis. *Trudy VESEMPG-2015*. Moscow: GEOKhI RAN, pp. 347-351. (In Russ.)
- Barenbaum A.A., Zakirov S.N., Zakirov E.S., Klimov D.S., Serebryakov V.A. (2015). Physical and Chemical Processes During the Carbonated Water Flooding in the Oilfields. *SPE Russian Petroleum Technology Conference*, Moscow, Russian Federation. SPE-176729-RU
- Barenbaum A.A., Zakirov S.N., Zakirov E.S., Serebryakov V.A. (2012). Method of hydrocarbon and hydrogen production from water and carbon dioxide. U.S. Patent No 20,120,315,215. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office
- Baskov E.A., Kiryukhin V.A. (1993). Evolyutsiya podzemnoi gidrosfery v istorii Zemli [Evolution of the underground hydrosphere in the history of the Earth]. *Evolyutsiya geologicheskikh protsessov v istorii Zemli* [The evolution of geological processes in the history of the Earth]. Moscow: Nauka Publ., pp. 175-182. (In Russ.)
- Batalin O.Yu., Brusilovskii A.I., Zakharov M.Yu. (1992). Fazovye ravnovesiya v sistemakh prirodnykh uglevodorodov [Phase equilibria in natural hydrocarbon systems]. Moscow: Nedra, 272 p. (In Russ.)
- Batalin O.Yu., Vafina N.G. (2008). Kondensatsionnaya model' obrazovaniya zalezhei nefiti i gaza [Condensation model of oil and gas deposits formation]. Moscow: Nauka, 248 p. (In Russ.)
- Braun D., Masset A. (1984). Nedostupnaya Zemlya [Inaccessible Earth]. Moscow: Mir, 263 p. (In Russ.)
- Cherskiy N.V., Tsarev V.P. (1984). Mechanisms of hydrocarbon synthesis from inorganic compounds in the upper layers of the crust. *Doklady AN = Proc. of the Russian Academy of Sciences*, 279(3), pp. 730-735. (In Russ.)
- Cherskiy N.V., Tsarev V.P., Soroko T.I., Kuznetsov O.L. (1985). Vliyaniye tektono-seysmicheskikh protsessov na obrazovanie i nakopleniye uglevodorodov [Influence of tectonic and seismic processes on the formation and accumulation of hydrocarbons]. Novosibirsk: Nauka Publ., 224 p. (In Russ.)
- Dobrynin V.M., Serebryakov V.A. (1989). Geologo-geofizicheskie metody prognozirovaniya anomal'nykh plastovykh davleniy [Geological and geophysical methods for predicting abnormal reservoir pressures]. Moscow: Nedra, 287 p. (In Russ.)
- Ferronskiy V.I., Polyakov V.A. (2009). Izotopiya gidrosfery Zemli [Isotopy of the Earth's hydrosphere]. Moscow: Nauchnyy mir Publ., 632 p. (In Russ.)
- Galkin A.A., Lunin V.V. (2005). Voda v sub- i sverkhkriticheskom sostoyaniyakh – universal'naya sreda dlya osuschestvleniya khimicheskikh reaktsiy [Subcritical and supercritical water: a universal medium for chemical reactions]. *Uspekhi khimii = Russian Chemical Reviews*, 74(1), pp. 24-40. (In Russ.)
- Garrels R.M., Krayst Ch.L. (1968). Rastvory, mineraly, ravnovesiya [Solutions, minerals, equilibria]. Moscow: Mir. (In Russ.)
- Gavrilov V.P. (1986). Proishozhdeniye nefiti [The origin of oil]. Moscow: Nauka, 176 p. (In Russ.)
- Glebov L.S., Kliger G.A. (1994). Molekulyarno-massovoe raspredeleniye produktov sinteza Fishera-Tropscha [The molecular mass distribution of the products of the Fischer-Tropsch process]. *Uspekhi khimii = Russian Chemical Reviews*, 63(2), pp. 192-202. (In Russ.)
- Karcev A.A., Gattenberger Yu.P., Zor'kin L.M. (1992). Teoreticheskie osnovy neftegazovoy gidrogeologii [Theoretical foundations of oil and gas hydrogeology]. Moscow: Nedra, 208 p. (In Russ.)
- Kondrat'ev K.Ya., Krapivin V.F. (2004). Modelirovaniye global'nogo krugovorota ugleroda [Modeling of the global carbon cycle]. Moscow: Fizmatlit Publ., 336 p. (In Russ.)
- Korz V.D. (2000). Geokhimiya elementnogo sostava gidrosfery [Geochemistry of the elemental composition of the hydrosphere]. Moscow: Nauka, 243 p. (In Russ.)
- Lapshin V.I. (2000). Fazovye prevrashcheniya gazozhidkostnykh sistem [Phase transformations of gas-liquid systems]. *Gazovaya promyshlennost' = Gas industry*, 2, pp. 11-13. (In Russ.)
- Larin N.V., Larin V.N., Gorbaticov A.V. (2010). Ring structures due to deep hydrogen flows. *Degazatsiya Zemli: geotektonika, geodinamika, geoflyuidy; nefit' i gaz; uglevodorody i zhizn': Mater. Vseros. konf.* [Earth degassing: geotectonics, geodynamics, geofluids; oil and gas; hydrocarbons and life. Proc. All-Russ. conf.]. Moscow: GEOS, pp. 284-288. (In Russ.)
- Levorsen A. (1970). Geologiya nefiti i gaza [Geology of oil and gas]. Moscow: Mir, 640 p. (In Russ.)
- L'vovich M.I. (1986). Voda i zhizn' [Water and life]. Moscow: Nauka, 254 p. (In Russ.)
- Molchanov V.I. (1981). Generatsiya vodoroda v litogeneze [Hydrogen generation in lithogenesis]. Novosibirsk: Nauka, 142 p. (In Russ.)
- Molchanov V.I., Gontsov A.A. (1981). Modelirovaniye neftegazooobrazovaniya [Modeling of oil and gas formation]. Novosibirsk: OIGGM Publ., 246 p. (In Russ.)
- Molchanov V.I., Selezneva O.G., Zhirmov E.N. (1988). Aktivatsiya mineralov pri izmel'chenii [Activation of minerals during grinding]. Moscow: Nedra Publ. (In Russ.)
- Semenov A.P., Zakirov Ye.S., Klimov D.S. (2014). Sravnitel'nye laboratornye issledovaniya protsessov geosintez na model'nykh obraztsakh geologicheskikh sred [Comparative laboratory studies of geosynthesis

processes on model samples of geological media]. *Tehnologii nefiti i gaza* [Oil and gas technologies], 4(93), pp. 38-44. (In Russ.)

Semenov N.N. (1959). Osnovnyye problemy khimicheskoy kinetiki [The main problems of chemical kinetics]. Moscow: Academy of Science USSR. (In Russ.)

Shvarcev S.L. (1996). Obshhaya gidrogeologiya [General hydrogeology]. Moscow: Nedra, 423 p. (In Russ.)

Shvarcev S.L. (1975). Razlozhenie i sintez vody v processe litogeneza [Decomposition and synthesis of water in the process of lithogenesis]. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 5, pp. 60-69. (In Russ.)

Sokolov B.A., Ablya E.A. (1999). Flyuidodinamicheskaya model' neftegazobrazovaniya [Fluid dynamic model of oil and gas formation]. Moscow: GEOS Publ., 76 p. (In Russ.)

Sokolov B.A., Guseva A.N. (1993). O vozmozhnosti bystroy sovremennoy generatsii nefiti i gaza [On the possibility of fast modern oil and gas generation]. *Vestnik MGU. Geol. Ser. = Moscow University Geology Bulletin*, 3, pp. 48-56. (In Russ.)

Sokolov V.A. (1971). Geokhimiya prirodnykh gazov [Geochemistry of natural gases]. Moscow: Nedra Publ., 336 p. (In Russ.)

Strahov N.M. (1960, 1962). Osnovy teorii litogeneza [Fundamentals of the theory of lithogenesis]. Moscow: AN SSSR, V.1, V.2, V.3 (In Russ.)

Syvorotkin V.L. (2002). Glubinnaya degazatsiya Zemli i global'nye katastrofy [Deep degassing of the Earth and global natural hazards]. Moscow: Geoinformtsentr Publ., 250 p. (In Russ.)

Trofimuk, A.A., Cherskiy N.V., Carev V.P., Soroko T.I. (1982). Yavlenie preobrazovaniya organicheskogo veshchestva osadochnykh porod pod deystviem tektonicheskikh i seismicheskikh processov zemnoy kory [The phenomenon of transformation of organic matter in sedimentary rocks under the influence of tectonic and seismic processes of the Earth's crust]. Invention Certificate No. 326. (In Russ.)

Uolter Dzh., Vud B. (1989). Vzaimodeystvie flyuid-poroda pri metamorfizme [Fluid rock interaction during metamorphism]. Moscow: Mir, 248 p. (In Russ.)

Vernadskiy V.I. (1960). Izbrannye sochineniya [Selected Works]. Moscow: AN SSSR Publ., vol. V (In Russ.)

Vernadskiy V.I. (2001). Khimicheskoe stroenie biosfery Zemli i ee okruzheniya [The chemical structure of the Earth's biosphere and environment]. Moscow: Nauka Publ., 376 p. (In Russ.)

Vityazev A.V., Pechernikova G.V., Safronov V.S. (1990). Planety zemnoy gruppy. Proiskhozhdenie i rannaya evolyutsiya [Planets of the Earth group Origin and early evolution]. Moscow: Nauka, 295 p. (In Russ.)

Voytov G.I. (1999). Cold methane drainage in Earth's troposphere. Theoretical and regional problems of geodynamics. *Tr. GIN RAN* [Proc. of the

Geological Institute of the Russian Academy of Sciences]. Moscow: Nauka Publ., vol. 515, pp. 242-251. (In Russ.)

Voytov G.I. (1986). Khimizm i masshtaby sovremennogo potoka prirodnykh gazov v razlichnykh geostrukturnykh zonakh Zemli [The chemistry and the magnitude of the modern flow of natural gas in various zones of the Earth geostructural zones]. *Zhurn. vsesoyuz. khim.* [Journal of the All-Union Chemical Society], 31(5), pp. 533-539. (In Russ.)

Voytov G.I. (1991). O khimicheskoy i izotopno-uglerodnoy nestabil'nosti svobodnykh gazov (gazovykh struy) v Khibinakh [On the chemical and isotopic-carbon instability of free gas (gas jets) in the Khibins]. *Geokhimiya = Geochemistry*, 6, pp. 769-780. (In Russ.)

Zakirov S.N., Zakirov Ye.S., Barenbaum A.A. et al. (2013). Natural Geosynthesis of Hydrocarbons and Consequences. *Tr. IV Mezhd. nauchnyy simpozium: Teoriya i praktika primeneniya metodov uvelicheniya nefteotdachi plastov* [Proc. IV Int. Scientific Symposium: Theory and practice of application of enhanced oil recovery methods]. Moscow: VNIIneft', v. I, pp. 130-135. (In Russ.)

Zekcer I.S., Dzhamalov R.G. (1989). Podzemnye vody v vodnom balanse krupnykh regionov [Groundwaters in the water balance of large regions]. Moscow: Nauka, 125 p. (In Russ.)

Zharkov V.N. (1983). Vnutrennee stroenie Zemli i planet [The internal structure of the Earth and planets]. Moscow: Nauka, 416 p. (In Russ.)

Zverev V.P. (2007). Podzemnye vody zemnoy kory i geologicheskie processy [Groundwaters of the Earth crust and geological processes]. Moscow: Nauchnyy mir, 256 p. (In Russ.)

Zykin N.N. (2012). Poputnye vody neftegazokondensatnykh mestorozhdeniy kak netraditsionnoe syr'e dlya gazokhimicheskogo proizvodstva [Passing water of oil and gas fields as unconventional raw material for gas and chemical production]. *Gazovaya promyshlennost'. Netraditsionnye resursy nefiti i gaza* [Gas industry. Spec. Is.: Unconventional oil and gas resources], pp. 38-42. (In Russ.)

About the Author

Azariy A. Barenbaum – PhD (Physics and Mathematics),
Leading Researcher

Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy
of Sciences

3, Gubkina st., Moscow, 119333, Russian Federation

Manuscript received 12 July 2018;

Accepted 4 October 2018;

Published 30 November 2018