

О современном нефтегазообразовании

А.А. Баренбаум*, А.П. Шиловский**

Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

E-mail: *azary@mail.ru, **ashilovsky08@gmail.com

Аннотация. Согласно органической теории происхождения углеводородов, нефтегазовый потенциал залежей является ограниченным, поэтому в ходе эксплуатации месторождений он обязан уменьшаться. Обнаружение феномена пополнения запасов нефти и газа на разрабатываемых месторождениях, а также экспериментально доказанная возможность перевода этих месторождений в режим «неиссякаемой» добычи углеводородов ставит перед разработчиками ряд новых задач. Главная из них – контроль углеводородного потенциала залежей нефти и газа месторождений и поддержания его на максимально высоком уровне. Привлечено внимание к фундаментальным достижениям российских ученых, которые позволили создать биосферную концепцию нефтегазообразования, на ее основе адекватно решить проблему происхождения нефти и газа, а также объяснить феномен пополнения запасов разрабатываемых месторождений. С позиций биосферной концепции обсуждается система мер, повышающих эффективность эксплуатации месторождений нефти и газа в условиях пополнения запасов углеводородов в залежах при разработке.

Ключевые слова: углеводородный потенциал, пополнение запасов месторождений, биосферная концепция нефтегазообразования, современное нефтегазообразование

Для цитирования: Баренбаум А.А., Шиловский А.П. О современном нефтегазообразовании // Актуальные проблемы нефти и газа. 2023. Вып. 3(42). С. 68–87. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2023-42.art5>

Введение

Происхождение нефти и газа – одна из наиболее значимых для человечества проблем геологии, которая на протяжении последних 150 лет остается нерешенной в многолетнем непримиримом споре сторонников органической и минеральной гипотез образования углеводородов. До недавнего времени обе эти гипотезы играли в нефтегазовой геологии роль самостоятельных научных парадигм. Согласно органической парадигме, углеводороды образуются в осадочном чехле земной коры в результате катагенеза отмершего органического вещества. Тогда как по парадигме минеральной углеводороды синтезируются из неорганического вещества в глубоких недрах Земли, откуда затем

поступают к поверхности, где накапливаются в виде нефти и газа в ловушках осадочного чехла. Обе эти гипотезы-парадигмы имеют серьезные недостатки, которые не позволяют научному геологическому сообществу отдать предпочтение ни одной из них.

В настоящее время это многолетнее противостояние сторонников разных парадигм лишилось научного смысла. Причиной тому стало открытие в России 30 лет назад феномена современного пополнения углеводородов в эксплуатируемых месторождениях [1–17]. Этот феномен никак не предполагался в нефтегазовой геологии, что обнаружило при его объяснении полную беспомощность приверженцев как органической, так и минеральной гипотез-парадигм.

Первыми поняли и правильно объяснили природу феномена сотрудники МГУ чл. корр. Б.А. Соколов и А.Н. Гусева [1], которые в 1993 г. заявили, что «нефть и газ являются возобновляемыми природными ископаемыми, освоение которых должно строиться, исходя из баланса объемов генерации углеводорода и возможностей их отбора в процессе эксплуатации месторождений».

Данный вывод позднее получил поддержку и развитие в Институте проблем нефти и газа (ИПНГ) РАН, благодаря разработке биосферной концепции нефтегазообразования [18–32]. Эта концепция начала разрабатываться в институте под руководством С.Н. Закирова, начиная с 2000-х годов. К настоящему времени построена теоретическая модель, которая подвела под вывод Б.А. Соколова и А.Н. Гусевой необходимое теоретическое обоснование [21–24]. Опираясь на учение В.И. Вернадского о биосфере [33, 34], биосферная концепция связала образование углеводородов в недрах с геохимическим круговоротом углерода и воды на Земле с участием в этом процессе живого вещества биосферы.

В результате проблема происхождения нефти и газа превратилась в более сложную междисциплинарную проблему, которая потребовала учета процессов не только в недрах, но и на земной поверхности, в том числе и с участием людей. Такой подход к решению проблемы нефтегазообразования выявил необходимость учета в этом процессе еще трех фундаментальных явлений природы, открытых российскими учеными на протяжении последних 40 лет.

Первое открытие (I) – астрофизическое, принципиально подтвердившее учение В.И. Вернадского (1926–1944)

о биосфере. Открытием установлено [19, 20], что воду, углерод и другие химические элементы, которыми богата земная кора, приносят на Землю галактические кометы. Эти кометы в больших количествах выпадают на все планеты Солнечной системы в сравнительно короткие ~2–5 млн лет эпохи кометных бомбардировок, которые повторяются через 19–37 млн лет. На Земле кометный материал включается в геохимический круговорот, который, согласно В.И. Вернадскому [33, 34], обязательно происходит с участием живого вещества биосферы, а в настоящее время также людей, как ее наиболее деятельного элемента.

Второе открытие (II) – гидрогеологическое. Установлено [19–21], что циркуляция вод на континентах происходит за счет двух основных циклов круговорота воды: надземного – климатического, и подземного – литосферного. При этом воды осадочного чехла на 90% состоят из поверхностных «метеогенных» вод и на 10% – из «морских» вод глубинной циркуляции. В итоге открыт ранее неизвестный «биосферный» цикл круговорота углерода через земную поверхность, который играет главную роль в процессах современного нефтегазообразования. Этот цикл вызван переносом водорастворенного углекислого газа (CO₂) в осадочный чехол метеогенными водами при их 40-летнем климатическом круговороте [18–22].

Третье открытие (III) – геохимическое, заключающееся в механохимическом механизме образования углеводородов под действием естественных сеймотектонических процессов [35–46]. В 1982 г. это явление зарегистрировано Государственным комитетом по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР как Научное открытие 326 [40].

Данный механизм сегодня получил название *геосинтеза* [23, 25, 26]. При геосинтезе донором водорода в углеводородах является вода, а донором углерода – органическое вещество (ОВ), водорастворенный CO_2 , а также легкорастворимые карбонатные породы [44].

Все три явления участвуют в образовании углеводородов совместно, и без учета любого из них решить проблему происхождения нефти и газа, а также объяснить современное пополнение их месторождений не представляется возможным.

Феномен современного нефтегазообразования

Данный феномен был обнаружен в нашей стране 30 лет назад, можно

сказать, случайно. При распаде СССР в начале 1990-х годов ряд старых месторождений в России, Азербайджане, Чечне, на Украине некоторое время не разрабатывали. Спустя 2–3 года, когда к их разработке вернулись, оказалось [1–17], что в этих старых обводнившихся месторождениях восстановились давления и месторождения снова начали давать промышленные притоки УВ.

Последующее изучение феномена показало [21], что восполнение УВ имеет место, как на нефтяных, так и газовых месторождениях, и происходит весьма быстро. При этом эффект наиболее значителен на месторождениях, находящихся в длительной эксплуатации (рис. 1).

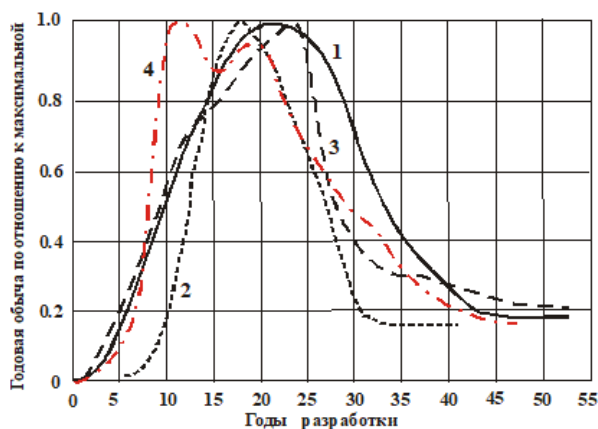


Рис. 1. Нормированные графики разработки месторождений [21]

Месторождения:

- 1 – Ромашкинское нефтяное
- 2 – Самотлорское нефтяное
- 3 – Туймазинское нефтяное
- 4 – Шебелинское газоконденсатное

После 30–40 лет эксплуатации, независимо от геологических условий, начальных запасов и схем разработки, добыча углеводородов на месторождениях выходит на асимптоту в ~20% от лет максимальной добычи. Феномен наблюдается как на крупных, так и на мелких месторождениях. Причем запасы пополняются легкими углеводородами – в первую очередь, метаном. Поэтому, если

извлекать углеводороды из залежей в количестве, не превышающем 20% от уровня их извлечения в годы с максимальной добычей, то месторождения могут быть переведены в режим «неиссякаемых» источников углеводородов. По рекомендации ученых ИПНГ РАН [23] такой режим эксплуатации успешно реализуется на Шебелинском газоконденсатном месторождении с начала 2000-х годов.

Два других важных эффекта установлены Р.Х. Муслимовым и др. [12] на Минабаевской площади нефтяного Ромашкинского месторождения, которое разрабатывается с 1943 г. Один из эффектов состоит в том, что пополнение углеводородов в месторождении обнаруживают не все добывающие скважины, а лишь скважины-«миллионеры», из которых уже извлечено более 1 млн т нефти. Состав газовой фазы в продукции скважин-«миллионеров» варьирует с периодом 5 лет, что свидетельствует об отсутствии подтоков в эту ловушку глубинных углеводородов (рис. 2). Авторами [12] установлено, что с периодом 5 лет варьируют на территории Татарстана также климатические осадки. Максимумы *i/n*-отношения бутана в нефтях и выпадения осадков совпадают по времени. Данный факт указывает на то, что в процессах современного нефтегазообразования обязательно участвуют метеогенные воды, которые могут быстро проникать на глубины 2 км (отложения девона на месторождении).



Рис. 2. Отношение содержаний *i*-бутана и *n*-бутана в газовой фракции нефти скважин-«миллионеров» [12]

Биосферная концепция

Модель геохимического круговорота углерода, построенная в соответствии со взглядами В.И. Вернадского на участие биосферы в круговороте вещества на Земле и учитывающая все три открытия российских ученых [18, 21], схематически приведена на рис. 3.

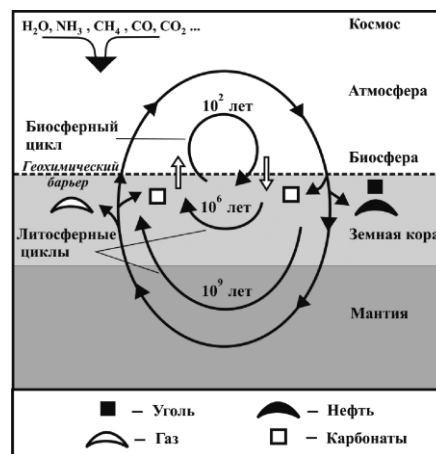


Рис. 3. Схема геохимического круговорота углерода на Земле [21]

В данной модели учтено [18–22], что при циклических бомбардировках Солнечной системы галактическими кометами на Землю поступает большое количество углерода и воды (Открытие I) – широкая стрелка на рис. 3 слева вверху. Поступивший космический углерод перераспределяется по трем основным циклам его круговорота через земную поверхность: биосферному (климатическому) со временем циркуляции $\tau_1 \sim 40$ лет (Открытие II) и двум геологическим: «быстрому» с $\tau_2 \sim 10^6$ лет и «медленному» с $\tau_3 \sim 10^9$ лет. Быстрый геологический цикл вызван захоронением отмершего органического вещества и отложением карбонатов при осадко-накоплении. Медленный геологический цикл обусловлен погружением углерод-содержащего вещества на большие глубины при субдукции литосферных плит.

Все три цикла связаны между собой и происходят таким образом, что над земной поверхностью, играющей роль геохимического барьера, углерод циркулирует в окисленном виде (CO_2), а под поверхностью – преобразуется

в УВ (Открытие III). Вследствие низкой растворимости в воде, образовавшиеся углеводороды заполняют ловушки-коллекторы, где в виде нефти и газа могут сохраняться достаточно длительное время.

Теоретическая модель, разработанная на основании схемы (см. рис. 3), представлена системой 3-х линейных дифференциальных уравнений, каждое из которых описывает свой цикл углерода:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dn_1}{dt} + \frac{n_1}{\tau_1} = \alpha_{12}n_2 + \alpha_{13}n_3 + Q(t); \\ \frac{dn_2}{dt} + \frac{n_2}{\tau_2} = \alpha_{21}n_1 + \alpha_{23}n_3; \\ \frac{dn_3}{dt} + \frac{n_3}{\tau_3} = \alpha_{31}n_1 + \alpha_{32}n_2, \end{array} \right. \quad (1)$$

где n_1 , n_2 , n_3 и τ_1 , τ_2 , τ_3 – соответственно, количество углерода и его время жизни в каждом из циклов круговорота;

$Q(t)$ – функция циклического поступления во времени t углерода на поверхность Земли;

α_{ij} – параметры обмена углеродом между циклами.

Модель (1) использовалась при изучении режимов круговорота углерода на Земле в докембрии, фанерозое и в современную эпоху [18, 19, 21]. Расчеты показали, что в состоянии динамического равновесия геохимической системы (при $t \rightarrow \infty$) количества углерода в двух первых циклах круговорота асимптотически стремятся к устойчивому соотношению: $n_1 = (\tau_1/\tau_2)n_2$. При этом для современной эпохи модель обеспечила баланс круговорота углерода через земную поверхность с учетом нефтегазообразования в недрах и современной хозяйственной деятельности людей.

Из модели следует, что при циклическом поступлении на Землю космического вещества устойчивое функционирование биосферы требует вывода

из активного обмена излишков подвижного углерода и их фиксацию на ограниченное время в природных «резервуарах». Такими резервуарами на земной поверхности являются Мировой океан, живое вещество, атмосфера и почвы-илы, а под поверхностью – залежи нефти и газа, газогидраты и подземные воды. Поскольку $\tau_1 \ll \tau_2$, почти весь подвижный углерод биосферы ($\sim 10^{17}$ т) сегодня находится под земной поверхностью. Над ней его в $\sim 10^4$ раз меньше, и он распределен между водами Мирового океана, живыми организмами и растительностью, воздухом атмосферы, а также почвенно-иловым слоем.

Современное распределение подвижного углерода (окисленного + восстановленного) по основным надземным резервуарам биосферного цикла приведено на рис. 4.

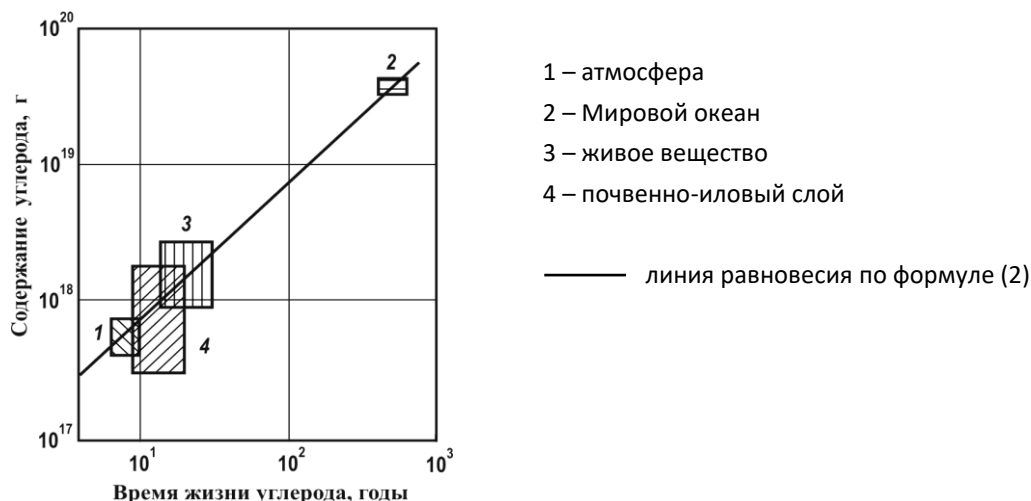


Рис. 4. Сопоставление содержания углерода n_i и его времени жизни τ_i . Прямоугольники показывают разброс оценок по данным литературы [21]

На рис. 4 видно, что в настоящее время геохимическая система круговорота углерода в биосфере находится в состоянии, при котором:

$$\frac{n_i}{\tau_i} = C = const, \quad (2)$$

где константа C имеет физический смысл скорости круговорота углерода.

Выполнение условия (2) означает, что биосфера находится в динамическом равновесии, и уход углерода из некоего i -резервуара восполняется его поступлением из других. Если это условие не выполняется, то в геохимической системе возникают перетоки вещества, которые стремятся вернуть ее в равновесие.

Величину константы C определяет подвижный углерод, который на протяжении фанерозоя поступал из космоса на Землю и длительно накапливался в круговороте. Стабилизация величины C обеспечивается изменением количеств биогенного и карбонатного углерода, которые переходят при круговороте из подвижного (биосферный цикл) в малоподвижное (геологические

циклы) состояние и наоборот. В современную эпоху при воздействиях на биосферу космических и эндогенных факторов, включая деятельность людей, блоки (см. рис. 4) перемещаются вдоль наклонной линии, положение которой остается неизменным.

Обратим внимание и на то, что блок «живое вещество» (см. рис. 4) участвует в круговоротах через поверхность Земли не только углерода, но также воды и кислорода. Найденные скорости круговоротов вод Мирового океана через срединные океанические хребты, кислорода атмосферы и углерода биосферы, пересчитанного на CO_2 , приведены в табл. 1. Из данных табл. 1 следует, что вода, кислород и углекислота (CO_2) образуют на нашей планете единую биогеохимическую систему. Ее объединяющим началом, как утверждал В.И. Вернадский, является живое вещество биосферы. Входя обязательным составным элементом в циклы воды, углерода и кислорода, живые организмы приводят скорость круговорота вещества биосферы в согласие с геологической циркуляцией вод гидросферы.

Таблица 1

Константы круговорота углекислоты, кислорода и воды [21]

Тип круговорота	Константа равновесия $C \times 10^{-11}$ т/год
Круговорот диоксида углерода в биосфере	2,56±0,50
Циркуляция кислорода в атмосфере	2,75±0,05
Круговорот вод Мирового океана через срединные океанические хребты	2,64±0,40

Обсуждение результатов

Биосферная концепция свидетельствует [47–49], что образование на нашей планете нефти и газа, а также современная дегазация из недр CH_4 , CO_2 , N_2 , H_2 и других газов – это не разные геологические процессы, а единое природное явление, вызванное циклическим поступлением на Землю космического вещества (открытие I) и его круговоротом на нашей планете при активном участии живого вещества биосферы [18, 21, 22]. При обосновании этого утверждения, наряду с учением В.И. Вернадского о биосфере, использованы три фундаментальных открытия российских ученых.

Причиной современного образования углеводородов и дегазации недр является ранее неизвестный цикл циркуляции углерода и воды через поверхность Земли с участием метеогенных вод климатического круговорота [20] (открытие II). Циркуляция сопровождается геосинтезом углеводородов из воды, CO_2 и других предельно окисленных соединений углерода (открытие III). Геосинтез интенсивно протекает на поверхности матрицы пород, механически активированной тектоно-сейсмическими процессами, приливным влиянием Луны, а также процессами, вызванными хозяйственной деятельностью людей.

В результате геосинтез углеводородов по реакции $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, термодинамически запрещенной в стандартных условиях, в водонасыщенных породах земной коры происходит при температурах менее 100 °С.

Этот процесс сопровождается колоссальным разложением подземных вод на H_2 и O_2 в осадочном чехле. Оценено [30], что при этом в верхних горизонтах земной коры (до глубины 5 км) ежегодно распадается 2×10^9 т/год подземных вод. На 90% эти воды являются метеогенными, которые ежегодно переносят под земную поверхность $\sim 10^9$ т водорастворенного CO_2 , участвующего в геосинтезе углеводородов. Этого CO_2 вполне достаточно, чтобы на схеме (см. рис. 3) обеспечить баланс углерода на восходящей и нисходящей ветвях круговорота углерода через земную поверхность [24, 27–31].

Расчеты также приводят к заключению, что современное образование углеводородов на нашей планете во многом связано с хозяйственной деятельностью людей. Дело в том, что в мире ежегодно в виде нефти, природного газа и угля человек потребляет такое количество углеродных топлив, что их сжигание приводит к образованию $\sim 2,5 \times 10^{10}$ т/год CO_2 . Эта масса CO_2 составляет 10% от константы круговорота углерода в биосферном цикле (см. табл. 1), что отнюдь не мало.

Извлекая нефть, газ и уголь из недр и сжигая их на поверхности, человек нарушает динамическое равновесие между циклами углерода, сложившееся на Земле за тысячи–миллионы лет. В результате большая масса углерода, участвовавшая ранее в геологических циклах со временами круговорота $\sim 10^6$ и $\sim 10^9$ лет, сегодня вовлекается в быстрый – 40-летний биосферный цикл.

Этот «добавочный» CO_2 поступает в атмосферу, откуда затем перераспределяется по другим надземным и подземным резервуарам биосферного цикла [21, 31]. Однако резервуаров CO_2 на поверхности оказывается недостаточно. Геохимическая система биосферы ищет им замену и находит ее под поверхностью, заполняя как освобожденные ловушки разрабатываемых месторождений углеводородов, так и отлагая аквамариновые газогидраты на шельфе океанов и морей [27, 48, 49].

Метаногидраты – это ловушки углеводородов, в которых молекулы CH_4 входят в решетку льда H_2O . Большинство метаногидратов (98%) отлагаются на шельфе Мирового океана в условиях, когда они могут сохраняться десятилетиями. Образуются метаногидраты из водорастворенного CO_2 , который с подземным стоком вод с континентов переносится на шельф, где CO_2 преобразуется в метан [48]. По оценкам, запасы метана в аквамариновых метаногидратах $\sim 10^{12}$ т, а скорость образования метаногидратов близка современному темпу добычи углеродных топлив [49].

Таким образом, современная хозяйственная деятельность людей, нарушающая глобальное и региональное динамическое равновесие в геохимической системе биосферы, действует не только на климат Земли, но и ощутимо влияет на региональные процессы нефтеобразования и в недрах.

Образование углеводородов в промышленных масштабах, в первую очередь, происходит в осадочном чехле крупных водосборных нефтегазоносных бассейнов, которые дренируют огромные по площади территории. В зоне нефтегазообразования этих бассейнов метеогенные воды интенсивно разлагаются, участвуя

вместе с CO_2 в геосинтезе углеводородов. При этом непрореагировавший CO_2 , азот из атмосферного воздуха, содержащийся в метеогенной воде, а также новообразованные водород и большая часть метана дегазируют в атмосферу, тогда как углеводороды C_{5+} остаются под поверхностью, заполняя геологические ловушки [28, 29].

Данным механизмом хорошо объясняются такие широко известные факты, как наличие над залежами углеводородов геохимических аномалий [50], восстановление на эксплуатируемых месторождениях дебитов «ликвидированных» и «брошенных» скважин [51], а также выход на постоянный дебит (см. рис. 1) старых и, казалось бы, давно выработанных месторождений.

В нефтегазоносных осадочных бассейнах к этим фактам также относится приуроченность главной зоны нефтегазообразования к зоне перехода от гидростатического к литостатическому градиенту давления [30]. За счет интенсивного разрушения в этой зоне подземных вод и дегазации из нее H_2 , CH_4 , N_2 и CO_2 , здесь возникает пьезоминимум гидростатических давлений, который превращает эту зону в эффективный насос [28], который за время одного-двух лет «засасывает» на эти глубины как метеогенные воды с поверхности, так и воды из более глубоких участков разреза.

Эти факты свидетельствуют, что главную роль в современном образовании углеводородов играет 40-летний биосферный цикл, вызванный циркуляцией метеогенных вод. Геологические циклы углерода с периодами $\sim 10^6$ и $\sim 10^9$ лет в пополнении эксплуатируемых месторождений практически не участвуют, поскольку их вклад в этот процесс соответственно в $\sim 10^4$ и $\sim 10^7$ раз меньше [47].

Таким образом, за время освоения нефтегазовых месторождений, порядка нескольких десятков лет, нефтегазовый потенциал залежей углеводородов восстанавливается исключительно за счет биосферного цикла. Согласно биосферной концепции величина этого потенциала зависит от темпа извлечения углеводородов из недр, сохранности ловушек на месторождениях, объемов добычи и логистики перемещения углеводородов на поверхности при использовании людьми [15, 52].

Вопросы практической реализации

Остановимся на ряде практически важных следствий и рекомендаций биосферной концепции, которые остаются пока без должного внимания и обсуждения научной общественности.

Современная практика освоения нефтегазовых месторождений, как известно, руководствуется оценками начальных, оперативных и/или остаточных запасов углеводородов в залежах. Эта практика исходит из органической гипотезы-парадигмы, согласно которой нефтегазовый потенциал залежей конечен и при эксплуатации месторождений только уменьшается. Поэтому с целью сокращения времени возврата вложенных в разработку месторождений денежных средств, освоение месторождений стремятся проводить как можно быстрее и до максимального извлечения из них углеводородов. В свете вышесказанного, эта практика разработки нефтегазовых месторождений неприемлема, поскольку обычно приводит к необратимой ликвидации ловушек углеводородов, да и самих месторождений.

Новые взгляды на нефтегазообразование, очевидно, требуют серьезного анализа и пересмотра сложившейся сегодня в мире системы хозяйствования [53, 54].

Очевидно, что вследствие восполнения углеводородов на эксплуатируемых месторождениях стратегический подход к их разработке, а также критерии его эффективности нуждаются в пересмотре. На передний план в стратегии эксплуатации месторождений может быть вынесен контроль текущего состояния нефтегазового потенциала продуктивных залежей месторождения и поддержания его на максимально высоком уровне. Эта задача требует детального геологического изучения месторождений и непрерывного мониторинга продукции добывающих скважин.

Возраст вмещающих пород никоим образом не определяет возраст углеводородов в геологических ловушках месторождений [29, 51]. Если нефтегазовая геологическая ловушка при стабильных тектонических условиях может существовать достаточно длительное время (миллионы лет), то из-за отсутствия над ловушками идеальных покрышек, удерживающих нефть и газ в ловушках неограниченное время, углеводороды в ловушках непрерывно обновляются. Так что после 40 лет эксплуатации месторождений (см. рис. 1) возраст добываемых нефти и газа не превышает этого времени. Поскольку любая ловушка является «открытой» гидрологической системой, в ней непрерывно распадается вода, и генерируются углеводороды и водород, которые заполняют свободный объем ловушки. Только битумы и тяжелые смолы могут иметь возраст, соизмеримый с возрастом пород, слагающих ловушку. В этом случае возможна ситуация, когда тяжелые фракции УВ заполняют весь геометрический объем ловушки, а генерируемые легкие фракции пластовыми водами будут транспортироваться в иные ловушки и/или поступят к поверхности и дегазируют в атмосферу, участвуя в образовании над месторождениями геохимических аномалий [50].

В работах [15, 54] обсуждается система мер, способствующих сохранению нефтегазового потенциала эксплуатируемых месторождений. Эти меры позволяют реализовать режим разработки, при котором добыча углеводородов компенсируется их естественным восполнением в залежах. В этом случае, на практике подтвердившемся, удается эксплуатировать месторождения на протяжении многих десятков лет как «неиссякаемые» источники углеводородного сырья.

Другим следствием биосферной концепции является возможность добычи на нефтегазовых месторождениях наряду с углеводородами также водорода, который в больших количествах образуется из воды при геосинтезе. Поскольку любая ловушка является «открытой» гидрологической системой, в ней непрерывно распадается вода, и генерируются углеводороды и H_2 , которые заполняют свободный объем ловушки.

Имеются многочисленные примеры поступления на поверхность из недр вместе с метаном больших количеств водорода [55–59]. Наиболее известен в литературе выход газа, на 96% состоящего из водорода, из скважины, пробуренной на воду, – в Республике Мали [60].

Вместе с тем наличие водорода в продукции добывающих скважин нефтегазовых месторождений до недавнего времени мало интересовало разработчиков, и потому они не уделяли водороду большого внимания. Все усилия разработчиков были исключительно направлены на повышение добычи нефти и газа. Теперь ситуация принципиально изменилась.

В связи с планами устойчивого развития и перехода мировой экономики на использование водородной энергетики большое значение приобретает добыча наряду с нефтью и газом также ископаемого

водорода, который образуется в едином цикле с этими углеводородами. Поэтому первым шагом в переводе нефтегазовых месторождений на одновременную добычу водорода, на взгляд авторов, может стать мониторинг H_2 в продукции скважин. Детальный анализ этой информации позволит оценить объем и скорость образования как водорода, так и углеводородов на разных площадях месторождения. Не исключено, что при правильной системе улавливания водорода, по крайней мере, в продукции некоторых скважин, как и в Мали [60], он может преобладать.

К поиску и разведке нефтегазовых месторождений, где можно рассчитывать на попутную добычу ископаемого водорода, должны предъявляться особые требования. Эти требования, прежде всего, касаются наличия над ловушками надежных непроницаемых экранирующих покрышек, способных обеспечить накопление и удержание ископаемого водорода достаточно длительное время.

Практика показывает, что к подобным «экранам» можно отнести породы трапповых формаций [54, 61, 62], отложения которых широко развиты на территории нашей страны. В частности, породы трапповых формаций пермо-триасового возраста установлены и на Западно-Сибирской и на Восточно-Сибирской платформе. На Русской платформе трапповые формации имеют венд-нижнедевонский возраст (рис. 5), образуя в осадочном чехле, имеющем толщину 3–5 км, огромные по площади территории, ошибочно принимаемые за своды кристаллического фундамента. Эти территории характеризуются наличием в разрезе осадочного чехла на глубинах около 2 км надежной региональной покрышки для углеводородов и ископаемого водорода, экранирующей осадочные отложения, содержащие проницаемые коллекторы [63].



Рис. 5. Распространения пород трапповых формаций в пределах Русской плиты [63]

Выводы

1. Новые взгляды на происхождение углеводородов и их месторождений как возобновляемых источников нефти, газа и ископаемого водорода, да и сам процесс их образования, являющийся в промышленном отношении не геологическим, а современным биосферным процессом, требуют серьезного анализа и пересмотра всей сложившейся сегодня в мире системы хозяйствования. Тем более, что человеческий фактор играет в процессах современного нефтегазообразования и климата, а также оптимального природопользования, исключительно важную роль.

2. Нуждается в пересмотре и существующая практика разработки нефтегазовых месторождений. На первый план при их эксплуатации должна выходить задача поддержания на максимальном уровне и как можно более длительное время нефтегазового потенциала разрабатываемых залежей, обеспечивающего высокий выход нефти, газа и ископаемого водорода. Очевидно, что решение этой задачи невозможно без надлежащего научного обоснования, требующего основательного геологического изучения месторождения и всестороннего контроля продукции добывающих скважин.

Статья написана в рамках выполнения государственного задания ИПНГ РАН (тема «Фундаментальный базис энергоэффективных, ресурсосберегающих и экологически безопасных, инновационных и цифровых технологий поиска, разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений, исследование, добыча и освоение традиционных и нетрадиционных запасов и ресурсов нефти и газа; разработка рекомендаций по реализации продукции нефтегазового комплекса в условиях энергоперехода и политики ЕС по декарбонизации энергетики (фундаментальные, поисковые, прикладные, экономические и междисциплинарные исследования)», № 122022800270-0; тема «Совершенствование методов моделирования,

лабораторных и промысловых исследований для создания новых технологий эффективного экологически чистого извлечения углеводородов в сложных горно-геологических условиях», № 122022800272-4).

Литература

1. Соколов Б.А., Гусева А.Н. О возможности быстрой современной генерации нефти и газа // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 1993. № 3. С. 48–56.
2. Соколов Б.А., Абя Э.А. Флюидодинамическая модель нефтегазообразования. М.: ГЕОС, 1999. 76 с.
3. Смирнова М.Н. Возможность современного формирования залежей нефти и газа // Новые идеи в науках о Земле: Тез. докл. IV Международной конференции. М.: МГГА, 1999. Т. 1. С. 272.
4. Муслимов Р.Х., Изотов В.Г., Ситдикова Л.М. Влияние флюидного режима кристаллического фундамента Татарского свода на регенерацию запасов Ромашкинского месторождения // Новые идеи в науках о Земле: Тез. докл. IV Международной конференции. М.: МГГА, 1999. Т. 1. С. 264.
5. Аширов К.Б., Боргест Т.М., Карев А.Л. Обоснование причин многократной восполнимости запасов нефти и газа на разрабатываемых месторождениях Самарской области // Известия Самарского научного центра РАН. 2000. Т. 2, № 1. С. 166–173.
6. Запывалов Н.П. Флюидодинамические основы реабилитации нефтегазовых месторождений, оценка и возможность увеличения активных остаточных запасов // Георесурсы. 2000. № 3(4). С. 11–13.
7. Корчагин В.И. Нефтеносность фундамента // Прогноз нефтегазоносности фундамента молодых и древних платформ: Тез. докл. Международной конференции. Казань: КГУ, 2001. С. 39–42.
8. Дмитриевский А.Н., Баренбаум А.А., Баталин О.Ю. К вопросу о биогенном и абиогенном генезисе нефти // Прогноз нефтегазоносности фундамента молодых и древних платформ: Тез. докл. Международной конференции. Казань: КГУ, 2001. С. 99–100.
9. Дмитриевский А.Н., Валяев Б.М., Смирнова М.Н. Механизмы, масштабы и темпы восполнения нефтегазовых залежей в процессе их разработки // Генезис нефти и газа: Сб. ст. / Отв. ред. А.Н. Дмитриевский, А.Э. Конторович. М.: ГЕОС, 2003. С. 106–109.
10. Гаврилов В.П. Микстгенетическая концепция образования углеводородов: теория и практика // Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. К созданию общей теории нефтегазоносности недр: Материалы VI Международной конференции. М.: ГЕОС, 2002. Кн. 1. С. 120–122.
11. Запывалов Н.П., Попов И.П. Флюидодинамические модели залежей нефти и газа. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 198 с.
12. Муслимов Р.Х., Глумов Н.Ф., Плотникова И.Н. и др. Нефтегазовые месторождения – саморазвивающиеся и постоянно возобновляемые объекты // Геология нефти и газа. 2004. № 5. С. 43–49.
13. Дюнин В.И., Корзун А.В. Движение флюидов: происхождение нефти и формирование месторождений углеводородов. Обзорная информация. М.: Научный мир, 2003. 98 с.
14. Гаврилов В.П., Скарятин В.Д. Геофлюидодинамика углеводородов и восполнение их запасов // Геодинамика нефтегазоносных бассейнов: Тез. докл. II Международной конференции. М.: РГУНГ, 2004. С. 31–34.
15. Баренбаум А.А., Шиловская Т.И., Шиловский А.П. Современное нефтегазообразование // Углеводородный потенциал фундамента молодых и древних платформ: Материалы Международной научной конференции. Казань: Изд-во КГУ, 2006. С. 34–38.
16. Гаврилов В.П. Возможные механизмы естественного восполнения запасов на нефтяных и газовых месторождениях // Геология нефти и газа. 2008. № 1. С. 56–64.

17. *Дмитриевский А.Н.* Полигенез нефти и газа // Доклады Академии наук. 2008. Т. 419, № 3. С. 373–377.
18. *Баренбаум А.А.* О поступлении космического углерода и его круговороте на Земле // Экосистемные перестройки и эволюция биосферы / Отв. ред. А.Г. Пономаренко, А.Ю. Розанов, М.А. Федонкин. М.: ПИН РАН, 1998. Вып. 3. С. 15–29.
19. *Баренбаум А.А.* Галактика, Солнечная система, Земля. Соподчиненные процессы и эволюция. М.: ГЕОС, 2002. 393 с.
20. *Баренбаум А.А.* Механизм формирования скоплений нефти и газа // Доклады Академии наук. 2004. Т. 399, № 6. С. 802–805.
21. *Баренбаум А.А.* Галактоцентрическая парадигма в геологии и астрономии. М.: ЛИБРОКОМ, 2010. 544 с.
22. *Баренбаум А.А.* Решение проблемы нефти и газа на основе биосферной концепции нефтегазообразования // Уральский геологический журнал. 2013. № 2(92). С. 3–27.
23. *Закиров С.Н., Закиров Э.С., Баренбаум А.А.* и др. Природный геосинтез углеводородов и его следствия // Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов: Материалы IV Международного научного симпозиума. М.: ВНИИнефть, 2013. Т. 1. С. 130–135.
24. *Баренбаум А.А.* Научная революция в проблеме происхождения нефти и газа. Новая нефтегазовая парадигма // Георесурсы. 2014. № 4(59). С. 9–15. <https://doi.org/10.18599/grs.59.4.2>
25. *Баренбаум А.А., Климов Д.С.* Экспериментальное измерение скорости разрушения карбонизированной воды при геосинтезе // Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии (ВЕСЭМПГ-2015). М.: ГЕОХИ РАН, 2015. С. 347–351.
26. *Климов Д.С.* Экспериментальные исследования физико-химических явлений при участии CO₂ в фильтрационных и обменных процессах: Автореф. дис. канд. тех. наук. М., 2015. 25 с.
27. *Баренбаум А.А.* Современное нефтегазообразование как следствие круговорота углерода в биосфере // Георесурсы. 2015. № 1(60). С.46–53. <https://doi.org/10.18599/grs.60.1.9>
28. *Баренбаум А.А.* К вопросу нисходящей фильтрации воды в нефтегазоносных осадочных бассейнах // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. 2015. Вып. 2(12). С. 22. http://oilgasjournal.ru/vol_12/barenbaum.html (Дата обращения 05.08.2023).
29. *Баренбаум А.А.* О возрасте нефти в залежах // Георесурсы. 2017. Т. 19, № 1. С. 30–37. <https://doi.org/10.18599/grs.19.1.6>
30. *Баренбаум А.А.* О связи процессов нефтегазообразования и дегазации с разложением подземных вод // Георесурсы. 2018. Т. 20, № 4. С. 290–300. <https://doi.org/10.18599/grs.2018.4.290-300>
31. *Баренбаум А.А.* Новые представления о происхождении нефти и газа в связи с открытием явления пополнения запасов эксплуатируемых месторождений // Георесурсы. 2019. Т. 21, № 4. С. 34–39. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.4.34-39>
32. *Barenbaum A.A., Klimov D.S.* Theoretical model Anderson-Schulz-Flory within the framework of studying the mechanism of polycondensation synthesis // Inorganic Chemistry Communications. 2020. Vol. 112. P. 107664. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2019.107664>
33. *Вернадский В.И.* Избранные сочинения: В 5 т. Т. 5. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 422 с.
34. *Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружение. М.: Наука, 2001. 376 с.
35. *Молчанов В.И.* Опыты по синтезу углеводородов при тонком измельчении минеральных веществ в воде // Доклады АН СССР. 1967. Т. 174, № 5. С. 1185–1187.
36. *Молчанов В.И., Павлов А.Л., Гонцов А.А.* Экспериментальные исследования образования углеводородов из твердого органического вещества // Доклады АН СССР. 1969. Т. 189, № 2. С. 397–399.

37. Молчанов В.И. Генерация водорода в литогенезе. Новосибирск: Наука, 1981. 142 с.
38. Трофимук А.А., Черский Н.В., Царев В.П., Сороко Т.И. Новые данные по экспериментальному изучению преобразования ископаемого органического вещества с использованием механических полей // Доклады АН СССР. 1981. Т. 257, № 1. С. 207–211.
39. Трофимук А.А., Черский Н.В., Галимов Э.М. и др. Природный фактор, вызывающий преобразование ископаемого органического вещества // Геология и геофизика. 1982. № 6. С. 72–77.
40. Трофимук А.А., Черский Н.В., Царев В.П., Сороко Т.И. Явление преобразования органического вещества осадочных пород под действием тектонических и сейсмических процессов земной коры: Диплом на открытие № 326. Приоритет открытия – 21 апреля 1982 г. Заявка № ОТ-10572 от 21.04.1982 // Открытия, изобретения. 1987. Бюл. № 35. С. 3.
41. Черский Н.В., Царев В.П. Механизмы синтеза углеводородов из неорганических соединений в верхних горизонтах земной коры // Доклады АН СССР. 1984. Т. 279, №3. С. 730–735.
42. Черский Н.В., Царев В.П., Сороко Т.И., Кузнецов О.Л. Влияние тектоно-сейсмических процессов на образование и накопление углеводородов. Новосибирск: Наука, 1985. 224 с.
43. Черский Н.В., Мельников В.П., Царев В.П. Явление генерации углеводородов из предельно окисленных соединений углерода и воды // Доклады АН СССР. 1986. Т. 288, № 1. С. 201–204.
44. Царев В.П. Особенности нефтегазообразования в зонах тектоносейсмической активации. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1988. 186 с.
45. Молчанов В.И., Селезнева О.Г., Журнов Е.Н. Активация минералов при измельчении. М: Недра, 1988. 208 с.
46. Молчанов В.И., Гонцов А.А. Моделирование нефтегазообразования. Новосибирск: ИГГМ СО РАН, 1992. 246 с.
47. Баренбаум А.А. О непригодности органической и минеральной гипотез для объяснения явления современного восполнения разрабатываемых месторождений нефти и газа // О новой парадигме развития нефтегазовой геологии: Материалы Международной научно-практической конференции. Казань: Ихлас, 2020. С. 57–62.
48. Баренбаум А.А. О возможной связи газогидратов с субмаринными подземными водами // Водные ресурсы. 2007. Т. 34, № 5. С. 620–625
49. Баренбаум А.А. Балансовая оценка скорости образования аквамариновых метаногидратов // Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ИО РАН, 2017. Т. 2. С.135–139.
50. Барташевич О.В., Зорькин Л.М., Зубайраев С.Л. и др. Геохимические методы поисков нефтяных и газовых месторождений. М.: Недра, 1980. 300 с.
51. Запывалов Н.П. Сколько лет жить нефтяному месторождению // Георесурсы. 2012. №1(43). С. 2–5.
52. Мартынов В., Кучеров В., Бессель В., Лопатин А. Неорганический синтез нефти как фактор устойчивого развития глобальной энергетики // Энергетическая политика. 2022. № 1(167). С. 20–29. https://doi.org/10.46920/2409-5516_2022_1167_20
53. Сланцевая революция и глобальный энергетический переход / Под ред. Н.А. Иванова. М.; СПб.: Нестор-История, 2019. 540 с.
54. Шиловский А.П., Шиловская Т.И., Баренбаум А.А. Новые подходы к стратегии поисков нефтегазовых месторождений // Дегазация Земли: геофлюиды, нефть и газ, парагенезис в системе горючих ископаемых: Тез. докл. Международной конференции. М.: ГЕОС, 2006. С.285–288.
55. Etiöpe G., Schoell M., Hosgörmez H. Abiotic methane flux from the Chimaera seep and Tekirova ophiolites (Turkey): Understanding gas exhalation from low temperature serpentinization and implications for

Mars // Earth and Planetary Science Letters. 2011. Vol. 310, No. 1–2. P. 96–104. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.08.001>

56. *Beaumont V., Vacquand C., Deville E., Prinzhofer A.* Hydrogen generation during serpentinisation in ophiolite complexes: A comparison of H₂-rich gases from Oman, Philippines and Turkey // EGU General Assembly 2013, Vienna, Austria, 2–12 April 2013. Paper EGU2013-5553. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/EGU2013-5553.pdf> (Accessed on 29.08.2023).

57. *Sano Y., Urabe A., Wakita H., Wushiki H.* Origin of hydrogen-nitrogen gas seeps, Oman // Applied Geochemistry. 1993. Vol. 8, No. 1. P. 1–8. [https://doi.org/10.1016/0883-2927\(93\)90053-J](https://doi.org/10.1016/0883-2927(93)90053-J)

58. *Konn C., Charlou J.L., Holm N.G., Mousis O.* The production of methane, hydrogen, and organic compounds in ultramafic-hosted hydrothermal vents of the Mid-Atlantic Ridge // Astrobiology. 2015. Vol. 15, No. 5. P. 381–399. <https://doi.org/10.1089/ast.2014.1198>

59. *Zgonnik V., Beaumont V., Deville E.* et al. Evidence for natural molecular hydrogen seepage associated with Carolina bays (surficial, ovoid depressions on the Atlantic Coastal Plain, Province of the USA) // Progress in Earth and Planetary Science. 2015. Vol. 2, No. 1. P. 31. <https://doi.org/10.1186/s40645-015-0062-5>

60. *Prinzhofer A., Tahara Cissé C.S., Diallo A.B.* Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali) // International Journal of Hydrogen Energy. Vol. 43, No. 42. P. 19315–19326. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.08.193>

61. *Шиловский А.П.* Пат. RU 2784209 С1. Способ поиска ископаемого водорода в осадочной толще. № 2022118258; Заявл. 05.07.2022; Оpubл. 23.11.2022 // Изобретения. Полезные модели. 2022. Бюл. № 33. 4 с. <http://www1.fips.ru>

62. *Шиловский А.П.* Тектоническое строение Московского осадочного бассейна – определяющий фактор нефтегазоносности региона // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики: Материалы ЛП Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2020. Т. 2. С. 423–427.

63. *Шиловский А.П.* Неразведанные запасы углеводородов в недрах Московского осадочного бассейна // Недропользование XXI век. № 3(40). 2013. С.66–69.

Информация об авторах

Азарий Александрович Баренбаум – к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия, azary@mail.ru

Андрей Павлович Шиловский – к.г.-м.н., заведующий центром, ведущий научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия, ashilovsky08@gmail.com

Поступила в редакцию 26.05.2023

On modern oil and gas formation

A.A. Barenbaum*, A.P. Shilovsky**

Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

E-mail: *azary@mail.ru, **ashilovsky08@gmail.com

Abstract. According to the organic theory of oil and gas origin, hydrocarbon potential of their deposits is limited. Therefore, during the exploitation of deposits, this potential must decrease. The discovery of the phenomenon of oil and gas reserves replenishment in developed fields, as well as the experimentally proven possibility of transferring these fields to “inexhaustible” hydrocarbon production mode, poses a number of new tasks for developers. The main one is controlling the hydrocarbon potential of oil and gas deposits and maintaining it at highest possible level. In the article we draw attention to a number of fundamental achievements of domestic scientists, which made it possible to create a biosphere concept of oil and gas formation, on its basis to adequately solve the problem of the origin of oil and gas, and also to explain the modern replenishment of hydrocarbon reserves in developed fields. From the standpoint of biosphere concept, a system of measures is considered that increases the efficiency of developing oil and gas fields in conditions of replenishment of hydrocarbon reserves.

Keywords: hydrocarbon potential, deposit replenishment, biosphere concept of oil and gas formation, modern oil and gas formation

Citation: *Barenbaum A.A., Shilovsky A.P. On modern oil and gas formation // Actual Problems of Oil and Gas. 2023. Iss. 3(42). P. 68–87. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2023-42.art5> (In Russ.).*

References

1. *Sokolov B.A., Guseva A.N. On the possibility of fast modern oil and gas generation // Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 4: Geologiya. 1993. No. 3. P. 48–56. (In Russ.).*
2. *Sokolov B.A., Ablya E.A. Fluidodynamic model of oil and gas formation. Moscow: GEOS, 1999. 76 p. (In Russ.).*
3. *Smirnova M.N. Possibility of modern formation of oil and gas deposits // New Ideas in Earth Sciences: Abstracts of the 4th International Conference. Moscow: MSGPA, 1999. Vol. 1. P. 272. (In Russ.).*
4. *Muslimov R.Kh., Izotov V.G., Sitdikova L.M. Influence of the fluid regime of the crystalline basement of the Tatar fold on the recovery of reserves of the Romashkinskoye field // New Ideas in Earth Sciences: Abstracts of the 4th International Conference. Moscow: MSGPA, 1999. Vol. 1. P. 264. (In Russ.).*
5. *Ashirov K.B., Borgest T.M., Karev A.L. The reasons of repeated many times gas and oil restocking at the fields being exploited in the Samara region // Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2000. Vol. 2, No. 1. P. 166–173. (In Russ.).*
6. *Zapivalov N.P. Fluid dynamic basis for rehabilitation of oil and gas fields, evaluation and possibility to increase active residual reserves // Georesursy. 2000. No. 3(4). P. 11–13. (In Russ.).*
7. *Korchagin V.I. Oil potential of the basement // Forecast of Oil and Gas Potential of the Basement of Young and Ancient Platforms: Abstracts of the International Conference. Kazan: KSU, 2001. P. 39–42. (In Russ.).*

8. *Dmitrievsky A.N., Barenbaum A.A., Batalin O.Yu.* On the issue of biogenic and abiogenic genesis of oil // Forecast of Oil and Gas Potential of the Basement of Young and Ancient Platforms: Abstracts of the International Conference. Kazan: KSU, 2001. P. 99–100. (In Russ.).
9. *Dmitrievsky A.N., Valyaev B.M., Smirnova M.N.* Mechanisms, scales and rates of replenishment of oil and gas deposits in the process of their development // Oil and gas genesis: Collected papers / Ed. by A.N. Dmitrievsky, A.E. Kontorovich. Moscow: GEOS, 2003. P.106–109. (In Russ.).
10. *Gavrilov V.P.* Mixtgenetic concept of hydrocarbon formation: theory and practice // New Ideas in Geology and Geochemistry of Oil and Gas. Toward the Creation of a General Theory of Oil and Gas Carrying Capacity of the Subsoil: Proceedings of the 6th International Conference. Moscow: GEOS, 2002. Book 1. P. 120–122. (In Russ.).
11. *Zapivalov N.P., Popov I.P.* Fluid dynamic models of oil and gas deposits. Novosibirsk: SB RAS, 2003. 198 p. (In Russ.).
12. *Muslimov R.Kh., Glumov N.F., Plotnikova I.N.* et. al. Oil and gas fields - selfdeveloping and constantly renewable facilities // Geologiya Nefti i Gaza. 2004. № S. P. 43–49. (In Russ.).
13. *Dunin V.I., Korzun A.V.* Fluid movement: origin of oil and formation of hydrocarbon deposits. A review information. Moscow: Nauchnyi Mir, 2003. 98 p. (In Russ.).
14. *Gavrilov V.P., Skaryatin V.D.* Geofluid dynamics of hydrocarbons and replenishment of their reserves // Geodynamics of Oil and Gas Basins: Abstracts of the 2nd International Conference. Moscow: Gubkin University, 2004. P. 31–34. (In Russ.).
15. *Barenbaum A.A., Shilovskaya T.I., Shilovsky A.P.* Modern oil and gas formation // Hydrocarbon Potential of the Basement of Young and Ancient Platforms: Proceedings of the International Scientific Conference. Kazan: KSU, 2006. P. 34–38. (In Russ.).
16. *Gavrilov V.P.* On possible mechanisms of natural resources renewability in oil and gas fields // Geologiya Nefti i Gaza. 2008. No. 1. P. 56–64. (In Russ.).
17. *Dmitrievskii A.N.* Polygenesis of oil and gas // Doklady Earth Sciences. 2008. Vol. 419, No. 2. P. 373–377. <https://doi.org/10.1134/S1028334X08030033>
18. *Barenbaum A.A.* About cosmic carbon input and its cycling on the Earth // Ecosystem restructures and the evolution of biosphere / Ed. by A.G. Ponomarenko, A.Yu. Rozanov, M.A. Fedonkin. Moscow: PIN RAN, 1998. Iss. 3. P. 15–29. (In Russ.).
19. *Barenbaum A.A.* Galaxy, Solar System, Earth. Subordinate processes and evolution. Moscow: GEOS, 2002. 393 p. (In Russ.).
20. *Barenbaum A.A.* Mechanism of the formation of oil and gas pools // Doklady Earth Sciences. 2004. Vol. 399, No. 9. P. 1218–1221.
21. *Barenbaum A.A.* Galactocentric paradigm in geology and astronomy. Moscow: LIBROCOM, 2010. 544 p. (In Russ.).
22. *Barenbaum A.A.* Decision problem origin of oil and gas on basis the biospheric concept of oil-and-gas formation // Uralian Geological Journal. 2013. No. 2(92). P. 3–27. (In Russ.).
23. *Zakirov S.N., Zakirov E.S., Barenbaum A.A.* et al. Natural geosynthesis of hydrocarbons and its implications // Theory and Practice of Applying Enhanced Oil Recovery Methods: Proceedings of the 4th International Scientific Symposium. Moscow: VNIineft, 2013. Vol. 1. P. 130–135. (In Russ.).
24. *Barenbaum A.A.* The scientific revolution in the oil and gas origin issue. new oil and gas paradigm // Georesursy. 2014. No. 4(59). P. 9–15. <https://doi.org/10.18599/grs.59.4.2> (In Russ.).

25. *Barenbaum A.A., Klimov D.S.* Experimental measurement speed destruction of carbonated water at geosynthesis // Proceedings of Russian Annual Seminar on Experimental Mineralogy, Petrology and Geochemistry (RASEMPG–2015). Moscow: GEOKHI RAS, 2015. P. 347–351. (In Russ.).
26. *Klimov D.S.* Experimental studies of physico-chemical phenomena with the participation of CO₂ in filtration and exchange processes: Cand. Sci. diss. abstr. Moscow, 2015. 25 p. (In Russ.).
27. *Barenbaum A.A.* Modern oil and gas generation as a result of carbon cycle in the biosphere // Georesursy. 2015. No. 1(60). P. 46–53. <https://doi.org/10.18599/grs.60.1.9> (In Russ.).
28. *Barenbaum A.A.* On the problem of the water downward filtration in the oil-and-gas bearing sedimentary basins // Georesources, Geoenergetics, Geopolitics. 2015. Iss. 2(12). P. 22. http://oilgasjournal.ru/vol_12/barenbaum.html (Accessed on 29.08.2023). (In Russ.).
29. *Barenbaum A.A.* Oil origin and age // Georesursy. 2017. Vol. 19, No. 1. P. 30–37. <https://doi.org/10.18599/grs.19.1.6>
30. *Barenbaum A.A.* On the relationship of oil and gas formation and degassing processes with groundwater decomposition // Georesursy. 2018. Vol. 20, No. 4. P. 290–300. <https://doi.org/10.18599/grs.2018.4.290-300>
31. *Barenbaum A.A.* New representations on oil and gas origin in connection with the opening of the phenomenon of reserves replenishment in exploited oil fields // Georesursy. 2019. Vol. 21, No. 4. P. 34–39. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.4.34-39>
32. *Barenbaum A.A., Klimov D.S.* Theoretical model Anderson-Schulz-Flory within the framework of studying the mechanism of polycondensation synthesis // Inorganic Chemistry Communications. 2020. Vol. 112. P. 107664. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2019.107664>
33. *Vernadsky V.I.* Selected works: In 5 vols. Vol. 5. Moscow: Academy of Sciences of the USSR, 1960. 422 p. (In Russ.).
34. *Vernadsky V.I.* Chemical structure of the Earth's biosphere and its environment. Moscow: Nauka, 2001. 376 p. (In Russ.).
35. *Molchanov V.I.* Experiments on synthesis of hydrocarbons at fine grinding of mineral substances in water // Doklady AN SSSR. 1967. Vol. 174, No. 5. P. 1185–1187. (In Russ.).
36. *Molchanov V.I., Pavlov A.L., Gontsov A.A.* Experimental studies of hydrocarbon formation from solid organic matter // Doklady AN SSSR. 1969. Vol. 189, No. 2. P. 397–399. (In Russ.).
37. *Molchanov V.I.* Hydrogen generation in lithogenesis. Novosibirsk: Nauka, 1981. 142 p. (In Russ.).
38. *Trofimuk A.A., Cherskii N.V., Tsarev V.P., Soroko T.I.* New data on the experimental study of the transformation of fossil organic matter using mechanical fields // Doklady AN SSSR. 1981. Vol. 257, No. 1. P. 207–211. (In Russ.).
39. *Trofimuk A.A., Cherskii N.V., Galimov E.M.* et al. Natural factor causing transformation of fossil organic matter // Gelologiya i Geofizika. 1982. No. 6. P. 72–77. (In Russ.).
40. *Trofimuk A.A., Chersky N.V., Tsarev V.P., Soroko T.I.* The phenomenon of transformation of organic matter of sedimentary rocks under the action of tectonic and seismic processes of the Earth's crust: Discovery diploma No. 326. Priority of discovery – 21 April 1982. Application No. OT-10572 of 21.04.1982 // Discoveries, Inventions. 1987. Bull. No. 35. P. 3. (In Russ.).
41. *Cherskii N.V., Tsarev V.P.* Mechanisms of synthesis of hydrocarbons from inorganic compounds in the upper horizons of the Earth's crust // Doklady AN SSSR. 1984. Vol. 279, No. 3. P. 730–735. (In Russ.).

42. *Cherskii N.V., Tsarev V.P., Soroko T.I., Kuznetsov O.L.* Influence of tectono-seismic processes on formation and accumulation of hydrocarbons. Novosibirsk: Nauka, 1985. 224 p. (In Russ.).
43. *Cherskii N.V., Melnikov V.P., Tsarev V.P.* The phenomenon of hydrocarbon generation from extremely oxidized compounds of carbon and water // *Doklady AN SSSR*. 1986. Vol. 288, No. 1. P. 201–204. (In Russ.).
44. *Tsarev V.P.* Features of oil and gas formation in zones of tectonoseismic activation. Novosibirsk: Nauka, Sib. Br., 1988. 186 p. (In Russ.).
45. *Molchanov V.I., Selezneva O.G., Zhirnov E.N.* Activation of minerals during grinding. Moscow: Nedra, 1988. 208 p. (In Russ.).
46. *Molchanov V.I., Gontsov A.A.* Modelling of oil and gas formation. Novosibirsk: IGGM SB RAS, 1992. 246 p. (In Russ.).
47. *Barenbaum A.A.* On the unsuitability of organic and mineral hypotheses to explain the phenomenon of modern replenishment of developed oil and gas fields // *On the New Development Paradigm of Oil and Gas Geology: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Kazan: Ikhlas, 2020. P. 57–62. (In Russ.).
48. *Barenbaum A.A.* On possible relationship between gas-hydrates and submarine groundwater // *Water Resources*. 2007. Vol. 34, No. 5. P. 587–592. <https://doi.org/10.1134/S0097807807050132>
49. *Barenbaum A.A.* Balance estimation of rate formation of marine methanohydrates // *Geology of Seas and Oceans: Proceedings of the 22nd International Conference on Marine Geology*. Moscow: IO RAS, 2017. Vol. 2. P. 135–139. (In Russ.).
50. *Bartashevich O.V., Zorkin L.M., Zubairaev S.L.* et al. Geochemical methods of oil and gas fields prospecting. Moscow: Nedra. 1980. 300 p.
51. *Zapivalov N.P.* Dynamics of oilfield activity // *Georesursy*. 2012. No. 1(43). P. 2–5. (In Russ.).
52. *Martynov V., Kucherov V., Bessel V., Lopatin A.* On the issue of sustainable development of the global energy // *Energeticheskaya Politika*. 2022. No. 1. P. 20–29. https://doi.org/10.46920/2409-5516_2022_1167_20 (In Russ.).
53. *Shale revolution and global energy transition / Ed. by N.A. Ivanov*. Moscow; St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2019. 540 p. (In Russ.).
54. *Shilovskiy A.P., Shilovskaya T.I., Barenbaum A.A.* New approaches to the strategy of oil and gas fields prospecting // *Earth Degassing: Geofluids, Oil and Gas, Paragenesis in the System of Combustible Fossils: Abstracts of the International Conference*. Moscow: GEOS, 2006. P. 285–288. (In Russ.).
55. *Etioppe G., Schoell M., Hosgörmez H.* Abiotic methane flux from the Chimaera seep and Tekirova ophiolites (Turkey): Understanding gas exhalation from low temperature serpentinization and implications for Mars // *Earth and Planetary Science Letters*. 2011. Vol. 310, No. 1–2. P. 96–104. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.08.001>
56. *Baumont V., Vacquand C., Deville E., Prinzhofer A.* Hydrogen generation during serpentinisation in ophiolite complexes: A comparison of H₂-rich gases from Oman, Philippines and Turkey// *EGU General Assembly 2013, Vienna, Austria, 2–12 April 2013*. Paper EGU2013-5553. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/EGU2013-5553.pdf> (Accessed on 29.08.2023).
57. *Sano Y., Urabe A., Wakita H., Wushiki H.* Origin of hydrogen-nitrogen gas seeps, Oman // *Applied Geochemistry*. 1993. Vol. 8, No. 1. P. 1–8. [https://doi.org/10.1016/0883-2927\(93\)90053-J](https://doi.org/10.1016/0883-2927(93)90053-J)

58. *Konn C., Charlou J.L., Holm N.G., Mousis O.* The production of methane, hydrogen, and organic compounds in ultramafic-hosted hydrothermal vents of the Mid-Atlantic Ridge // *Astrobiology*. 2015. Vol. 15, No. 5. P. 381–399. <https://doi.org/10.1089/ast.2014.1198>

59. *Zgonnik V., Beaumont V., Deville E.* et al. Evidence for natural molecular hydrogen seepage associated with Carolina bays (surficial, ovoid depressions on the Atlantic Coastal Plain, Province of the USA) // *Progress in Earth and Planetary Science*. 2015. Vol. 2, No. 1. P. 31. <https://doi.org/10.1186/s40645-015-0062-5>

60. *Prinzhofer A., Tahara Cissé C.S., Diallo A.B.* Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali) // *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 43, No. 42. P. 19315–19326. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.08.193>

61. *Shilovskij A.P.* Pat. RU 2784209 C1. Method for searching for fossil hydrogen in the sedimentary stratum. No. 2022118258; Appl. 05.07.2022; Publ. 23.11.2022 // *Inventions. Utility models*. 2022. Bull. No. 33. 4 p. <http://www1.fips.ru> (In Russ).

62. *Shilovsky A.P.* Tectonic structure of the Moscow sedimentary basin - a determining factor of oil and gas bearing capacity of the region // *Fundamental Problems of Tectonics and Geodynamics: Proceedings of the 52nd Tectonic Meeting*. Moscow: GEOS, 2020. Vol. 2. P. 423–427. (In Russ).

63. *Shilovsky A.P.* Undiscovered hydrocarbon reserves in the depths of the Moscow sedimentary basin // *21st Century Subsoil Use*. No. 3(40). 2013. P.66–69. (In Russ).

Information about the authors

Azary A. Barenbaum – Cand. Sci. (Phys.-Math.), Leading Researcher, Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, azary@mail.ru

Andrey P. Shilovsky – Cand. Sci. (Geol.-Min.), Head of Center, Leading Researcher, Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, ashilovsky08@gmail.com

Received 26.05.2023