

Современное нефтегазообразование как следствие круговорота углерода в биосфере

С позиций новой нефтегазовой парадигмы обсуждается полигенный механизм образования углеводородов нефти и газа. Процесс нефтегазообразования рассматривается в тесной связи с геохимическим круговоротом подвижного углерода через земную поверхность с участием биосферы, при котором важную роль играет деятельность человека. Показано, что благодаря динамической устойчивости системы круговорота углерода на нашей планете, любое региональное нарушение этого равновесия, в том числе вызванное добычей нефти и газа, устраняется системой с характерным временем биосферного цикла, которое на континентах составляет 40 лет. Поэтому образование углеводородов – это современное биосферное явление антропогенной природы, а извлекаемые из недр нефть и газ – его обязательные продукты. Процессы современного нефтегазообразования обсуждаются на примере пополнения запасов эксплуатируемых нефтяных месторождений, добычи сланцевого газа, образования аквамариновых газогидратов, а также резкого усиления в последние годы дегазации недр в европейской части России. Получен принципиальный вывод, согласно которому промышленные месторождения нефти и газа представляют собой крупные ловушки подвижного углерода, циркулирующего через земную поверхность в биосферном цикле круговорота. Предложен комплекс мер, позволяющий эффективно использовать данное обстоятельство и разрабатывать месторождения нефти и газа как источники углеводородного сырья, пополняемые за времена порядка первых десятков лет.

Ключевые слова: нефть и газ, углеводороды, биосферный круговорот углерода, нефтегазообразование.

Введение

Сегодня имеются все основания утверждать, что в настоящее время в проблеме образования нефти и газа завершается куновская научная революция (Баренбаум, 2013; 2014). На смену почти два столетия конкурировавшим между собой органической и минеральной теориям нефтегазообразования пришла новая нефтегазовая парадигма, родившаяся в нашей стране. Первыми ее сформулировали Б.А. Соколов и А.Н. Гусева (1993). Нефть и газ – заявили они – представляют собой возобновляемые природные ископаемые, и их освоение должно строиться, исходя из научно обоснованного баланса объемов генерации углеводородов и возможностей отбора в процессе эксплуатации месторождений. Новая парадигма вызвала к жизни и новый подход к объяснению механизма образования нефти и газа, основанный на идее полигенеза УВ. Данный подход, развиваемый А.Н. Дмитриевским (Дмитриевский, 2008), предполагает участие в образовании УВ всех возможных механизмов их генезиса, что позволяет совместить лучшие стороны органической и минеральной теорий.

К настоящему времени автором разработана биосферная концепция нефтегазообразования (Баренбаум, 2004; 2010), которая подводит под новую парадигму и полигенный генезис УВ необходимое теоретическое обоснование. Опираясь на представления В.И. Вернадского (Вернадский, 2001) о механизме функционирования биосферы, эта концепция относит нефть и газ к продуктам современного геохимического круговорота углерода через земную поверхность с участием биосферы. В результате, образование извлекаемых сегодня из недр УВ оказывается не продолжительным геологическим процессом, а современным полигенным явлением антропогенной природы, зависящим от деятельности людей как важной составной части биосферы.

В статье кратко излагаются положения биосферной концепции, приводящей к такому заключению. А также

обращается внимание на некоторые аспекты влияния человека на нефтегазообразование в недрах.

Участие биосферы в нефтегазообразовании

В отличие от широко известных теорий органического и минерального происхождения нефти и газа, биосферная концепция связывает образование УВ с геохимическим круговоротом на Земле углерода и воды, в котором активное участие принимает биосфера. В соответствии с биосферной концепцией, углерод биосферы циркулирует через земную поверхность в трех основных циклах круговорота. Первый цикл с характерным временем ~ 10 -100 лет вызван круговоротом углерода в биосфере, включая ее подземную часть. Вторым циклом с периодом $\sim 10^6$ - 10^7 лет обусловлен преобразованием в земной коре захороненной органики (а также карбонатов) при осадконакоплении. И третий цикл продолжительностью $\sim 10^8$ - 10^9 лет может быть связан с погружением углеродсодержащих пород в мантию при субдукции литосферных плит.

Все три цикла взаимодействуют между собой и происходят таким образом, что над земной поверхностью, играющей роль геохимического барьера, подвижный углерод циркулирует преимущественно в окисленном виде (CO_2), а под поверхностью восстанавливается до УВ. Пересекая поверхность Земли в разных циклах круговорота и входя в состав то живых существ, то минеральных агрегатов, углерод многократно участвует в процессах окисления-восстановления, меняя химическую форму и изотопный состав. Превращаясь под поверхностью в УВ, последние из-за плохой растворимости в воде заполняют геологические структуры-ловушки. Большая часть УВ и в первую очередь метан дегазирует в атмосферу, но меньшая часть, попадая в ловушки, формирует собственные залежи. Будет ли это газ или нефть зависит от типа ловушек и термобарических условий накопления УВ. В слу-

чае хорошей изоляционной способности покрышки накапливается газ, а при худшей – нефть.

Тем самым, биосферная концепция считает месторождения нефти и газа ловушками углерода, который, участвуя во всех трех циклах круговорота, восстанавливается до УВ в земной коре. Решающий вклад в процесс образование УВ на континентах дает наиболее быстрый биосферный цикл, осуществляемый с участием местных метеогенных вод (Рис. 1).

Известно, что подземные воды на континентах, как инфильтрационные, так и воды затрудненного водообмена (поровые, трещинные, седиментационные, метаморфические), а также попутные воды нефтяных и газовых месторождений в генетическом отношении являются местными метеогенными водами (Ферронский, Поляков, 2009). Изотопия водорода и кислорода этих вод меняется при их изотопном обмене с вмещающими породами и водоразтворенными газами (Селецкий и др., 1973), а сами они могут за время ~1-100 лет проникать в породы земной коры на глубины порядка нескольких километров, транспортируя ~10¹⁵–10¹⁶ г углерода в год (Баренбаум, 2004).

По имеющимся оценкам, под поверхностью Земли (в литосфере) сосредоточено ~10²³ г углеродсодержащих газов (Соколов, 1971; Корценштейн, 1984). Эта масса углерода в ~10⁴ раз превышает его количество в наземной биосфере (над поверхностью Земли). Между всеми частями геохимической системы происходит постоянный интенсивный обмен подвижным углеродом.

В соответствии с принципом Ле Шателье, этот обмен носит самоорганизующийся характер, при котором геохимическая система стремится к устойчивому соотношению:

$$\frac{n_i}{\tau_i} = C = const, \quad (1)$$

где C – константа, характеризующая скорость круговорота углерода в системе; n_i и τ_i – соответственно общее количество и среднее время пребывания подвижного углерода (во всех формах) в i -м резервуаре системы.

Над поверхностью основными резервуарами подвижного углерода являются Мировой океан, живое вещество, атмосфера и почвы-илы, а под ней – разуплотненные участки пород литосферы и в первую очередь ловушки осадочного чехла земной коры. Если условие (1) выполняется, то уход углерода из одного какого-либо резервуара системы за счет круговорота пополняется его поступлением из других резервуаров; если не выполняется, то в системе возникают перетоки вещества, которые возвращают ее к равновесию.

Факты свидетельствуют, что в настоящее время система круговорота углерода на планете находится в динамическом равновесии, характеризующимся в пересчете на CO₂ скоростью $C = 2.7 \times 10^{17}$ г/год. Поэтому возникающее по разным причинам нарушение равновесия в системе она ликвидирует перетоками углерода с этой скоростью между разными резервуарами. Время восстановления равновесия системы определяет биосферный цикл углерода, который на континентах составляет ~40 лет (Кондратьев, Крапивин, 2004).

Отметим, что условие (1) выполняется не только для биосферы в целом, но и регионально. Тем самым любое региональное нарушение равновесия, в том числе за счет интенсивной добычи УВ, устраняется системой при кру-

говороте углерода примерно за время биосферного цикла. При возврате системы в равновесие происходит пополнение ловушек-месторождений новыми порциями УВ. Насколько быстрым и полным будет это пополнение, зависит от многих факторов и, в первую очередь, технологий и объемов добычи нефти и газа, а также уровня потребления УВ в данном регионе.

В таблице 1 приведены данные по нефтяным месторождениям Самарской области (Аширов и др., 2000; Горюнов и др., 2014) с пополняемыми запасами. На ряде месторождений (Верхне-Ветлянское, Белозерско-Чубовское, Софинско-Дзержинское и др.) коэффициент извлечения нефти (КИН) уже превысил 0.59 (Горюнов и др., 2014). В Самарской области пополняются также месторождения, давно выведенные из эксплуатации. Так, после 30 летнего перерыва введены в повторную разработку Карлинское, Малышевское, Цветаевское и Салиховское месторождения, ранее считавшиеся выработанными.

Прирост запасов происходит за счет более легких и низковязких нефтей. Добыча таких нефтей, как это, например, имеет место на Ромашкинском месторождении, обнаруживает циклические колебания продолжительностью 3-5 лет (Муслимов и др., 2004), которые могут быть связаны с вариациями количества выпадающих осадков на территории Татарстана.

Согласно биосферной концепции в заполнении ловушек эксплуатируемых месторождений могут участвовать все три цикла круговорота углерода. Однако их вклад в образование УВ обратно пропорционален периоду соответствующего цикла. Поскольку период биосферного цикла в ~10⁴ раз короче цикла, связанного с захоронением и преобразованием ОВ, и в ~10⁷ раз короче цикла с периодом ~10⁸-10⁹ лет, то прирост запасов УВ на месторождениях исключительно вызван биосферным циклом углерода. В этой связи следует сказать, что пополнение залежей УВ может быть замечено лишь на поздних стадиях разработки и только тех месторождений, где ловушки не уничтожены современными технологиями интенсификации добычи УВ.

Полигенный механизм нефтегазообразования

Не подлежит сомнению (Гусева, Климушина, 2001), что нефти представляют собой сложные растворы УВ полигенного генезиса, которые составляют взаимосвязанную систему с вмещающей их матрицей пород и контактирующими водами-флюидами. В биосферной концепции, подтверждающей этот вывод, образование нефти обьязано двум основным процессам: 1) экстракции водами-флюидами преобразованного в катагенезе и диагенезе ОВ осадочных пород; 2) реакциям синтеза УВ из окислов углерода и водорода. Оба эти процесса не конкурируют между собой, а дополняют друг друга, восстанавливая циркулирующий через поверхность углерод до УВ в верхних этажах земной коры, куда он поступает в трех циклах круговорота.

Первый процесс надежно диагностируется по наличию в нефти сложных УВ (в частности, биомаркеров), родственных ОВ, из которого они произошли, а второй – нормальных алканов и других алифатических УВ, молекулярно-массовое распределение которых отвечает уравнению Андерсона-Шульца-Флори и его модификациям (Баренбаум, 2010). Состав нефтей также формируют подземная

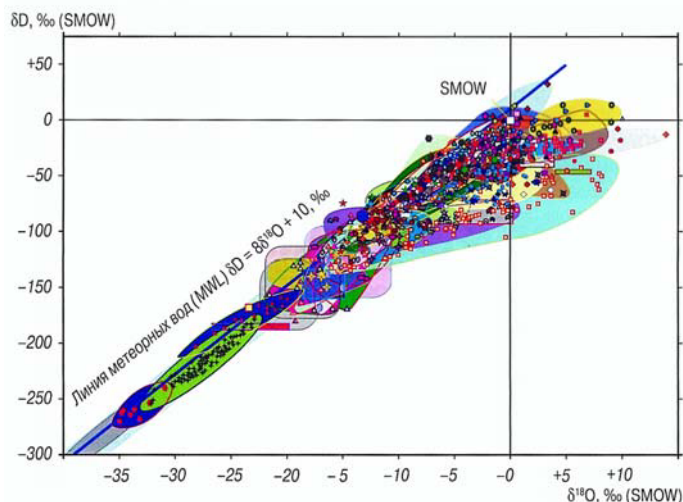


Рис. 1. Связь δD и δO^{18} в погребенных, талассогенных и «формационных» водах, древних льдах и водах нефтяных и газовых месторождений различных областей мира (Зыкин, 2012).

микробиота и термобарические условия. Под влиянием бактерий он может меняться как при подземной миграции УВ флюидов и газов к ловушкам, так непосредственно в залежах. А изменение термобарических условий к тому же меняет агрегатное состояние УВ.

Принципиально важным является вывод биосферной концепции, что основная масса УВ, извлекаемых сегодня из недр в виде нефти и газа, поступает в ловушки 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 (Баренбаум, 2014).

Реальность синтеза УВ в земной коре, к сожалению, отвергается сторонниками как органической, так и минеральной теорий нефтегазообразования, и потому его механизм сегодня остается крайне слабо изученным вопросом.

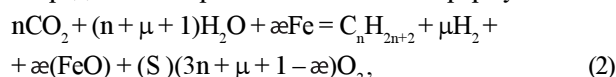
Вместе с тем, более двух десятков лет назад теоретически показано и доказано экспериментами (Черский Царев, 1984; Молчанов, Гонцов, 1992), что синтез УВ из окислов углерода (CO , CO_2) с участием воды в механически активированных минеральных средах – породах, с высокой внутренней поверхностью происходит уже при комнатной температуре. Этому способствуют разорванные химические связи – радикалы, на поверхности минералов, обладающие избыточной энергией и тем самым снижающие порог реакций. Под действием механических сил, создаваемых в естественных условиях приливным влиянием Луны, сейсмическими волнами, тектоническими подвижками, искусственным воздействием и т. п., в минералах пород возникают внутрикристаллические дефекты, которые диффундируют к поверхности минеральных зерен, вызывая их значительную энергетическую активацию.

В экспериментах, выполненных указанными исследователями, механическая активация достигалась либо дроблением и истиранием углеродсодержащих минеральных веществ (Молчанов и др., 1988), либо трением и/или пропусканием через образцы пород морской воды (Черский и др., 1985).

В последние годы реакция синтеза УВ из CO_2 и H_2O экспериментально изучалась

в ИПНГ РАН при фильтрации карбонизированной воды (вода с растворенным CO_2) через железосодержащие насыпные среды. Эксперименты проводились при комнатной температуре и близком к атмосферному давлению на специальной лабораторной установке (Закиров и др., 2013).

Эксперименты показали, что «низкотемпературный» синтез УВ из CO_2 и H_2O сопровождается образованием большого количества свободного водорода. Эта химическая реакция применительно к синтезу n -алканов может быть представлена феноменологической формулой:



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

Реакция синтеза УВ из CO_2 и H_2O , по-видимому, происходит с участием «активного» водорода (Молчанов и др., 1988) и становится энергетически возможной лишь при достаточно полном удалении из системы кислорода. В наших экспериментах «поглотителем» кислорода служило железо, которое в синтезе УВ выступало также катализатором. В породах земной коры эти функции могут выполнять разные химические элементы и их соединения.

Реакция (2) идет в тонком слое порядка нескольких ангстрем на поверхности минеральной матрицы пород. При этом возникает широкий спектр газообразных, жидких и твердых УВ – предельных, непредельных и ароматических (Черский, Царев, 1984). Газообразные и жидкие УВ, вероятно, сразу же переходят в водный поровый флюид, тогда как отлагающиеся на поверхности матрицы битумоиды экстрагируются самим флюидом.

Следует сказать, что при высоких температурах, которые развиваются на активированной поверхности минералов пород, вода способна перейти в суб- и сверхкритическое состояния, при которых ее свойства резко меняются. Плотность воды существенно снижается, а ее растворяющая и экстрагирующая способности возрастают на два и более порядка величины. При этом сама вода начинает действовать не только как растворитель, но и как реагент и как катализатор (Галкин, Лунин, 2005).

Очевидно также, что вода, участвующая в синтезе УВ, меняет изотопный состав. Тяжелый изотоп водорода – дейтерий в большем количестве остается в воде, чем переходит в УВ. В связи с этим, обратим внимание на тот эмпирический факт (Зыкин, 2012), что попутные воды месторождений, в составе газовых залежей которых в заметных количествах присутствуют кислые компоненты, по сравнению с

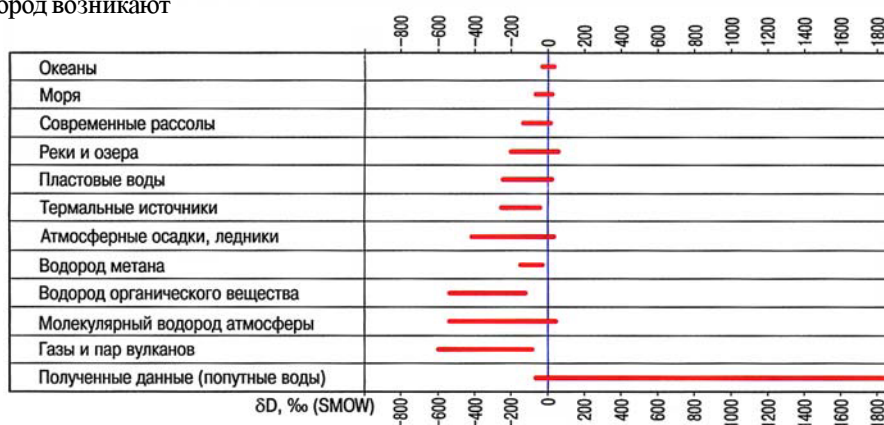


Рис. 2. Вариации изотопного состава водорода в природных объектах (Зыкин, 2012).

фоновыми пластовыми водами обеднены тяжелым изотопом O^{18} и обогащены дейтерием (Рис. 2). По данным Н.Н. Зыкина, столь высокие содержания дейтерия не встречаются ни в каких других природных объектах.

Изотопные смещения возникают и в синтезируемых углеводородах. Э.М. Галимов (1973) нашел, что наблюдаемый изотопный сдвиг по δC^{13} в низших нормальных алканах CH_4 (1.022), C_2H_6 (1.013), C_3H_8 (1.006), C_4H_{10} (1.004) нельзя теоретически объяснить мономолекулярным распадом крупных молекул ОВ по схеме $C_nH_{2n+2} \rightarrow C_{n-1}H_{2n-1} + CH_3$, а можно получить последовательным присоединением к УВ активного радикала H' . Причем радикал H' зарождается вне рассматриваемой системы.

Основные факторы современного образования УВ

Принципиальное отличие биосферной концепции от органической и минеральной теорий состоит еще и в том, что процессы генерации УВ и формирования их скоплений определяются не только механизмами образования УВ в недрах, но и циркуляцией подвижного углерода над поверхностью планеты. В числе факторов, отвечающих за перераспределение углерода над (и под) поверхностью, наиболее важную роль играют два процесса регионального масштаба: 1) перенос окисленного углерода (CO_2 и водорастворенное ОВ) в земную кору метеогенными водами; 2) хозяйственная деятельность людей.

Благодаря первому процессу промышленные месторождения нефти и газа размещаются, во-первых, в пределах крупных осадочных бассейнов, дренирующих территории огромной площади и, во-вторых, тяготеют к зонам разломов земной коры. Разломы, с одной стороны облегчают проникновение метеогенных вод под земную поверхность, а с другой – способствуют разгрузке этих вод от транспортируемого ими углерода.

Вследствие активного участия в нефтегазообразовании вод климатического круговорота, заметное пополнение месторождений УВ происходит не за сотни тысяч – миллионы лет, а за десятилетия (Табл. 1). Малое время попол-

нение залежей УВ вызвано тремя процессами: 1) высоким темпом переноса метеогенными водами углерода под земную поверхность; 2) поликонденсационным синтезом УВ из CO_2 и H_2O в биосферном цикле круговорота; 3) экстракцией УВ из пород при интенсивной циркуляции подземных флюидов.

Все эти процессы изучены пока недостаточно (Кондратьев, Крапивин, 2004; Бурков и др., 2012). Вместе с тем известно, что основная масса углерода опускается «вниз», в земную кору, в основном в пределах континентов. А поступает «наверх» на их окраинах, в зонах срединных океанических хребтов, по разломам на континентах, а также при вулканических извержениях на дне океанов и в сейсмически активных районах.

Второй фактор нефтегазообразования, требующий обязательного учета – антропогенный. Сегодня в мире в виде нефти, природного газа и угля ежегодно добывают около 1.2×10^4 млн. т углерода, что в 2.4 раза превышает его количество $\sim 5 \times 10^{15}$ г/год (Войтов, 1999; Сывороткин, 2002), поступающее на поверхность при естественной дегазации. Сжигание этих топлив приводит к выбросу в атмосферу в 3 раза большей массы CO_2 , которая дает $\sim 19\%$ вклад в скорость круговорота углерода биосферы, составляющую 2.7×10^{17} г/год.

Поэтому хозяйственная деятельность, связанная с современными объемами добычи и потребления УВ, способна не только воздействовать на изменение климата Земли (Кондратьев, Крапивин, 2004), но и ощутимо влиять на региональные процессы генерации и регенерации нефти и газа в недрах.

Современное нефтегазообразование

Приведем ряд примеров образования УВ, вызванного вмешательством человека в естественные процессы круговорота углерода в биосфере.

Прирост запасов УВ месторождений с длительной эксплуатацией. Месторождения Самарской области (Табл. 1) в этом отношении не уникальны. Пополнение месторождений УВ наблюдается в регионах, характеризу-

Месторождения	Запасы нефти категории АВС, тыс. т						
	По первоначальному подсчету		Пересчет		Дополнительный пересчет		Запасы на 01.01.2013г. Геолог / извлек Тыс. т
	Геол / извлек	Год утверждения в ГКЗ	Тыс. т	Год утверждения в ГКЗ	Геол / извлек	Год утверждения в ГКЗ	
Ново-Ключевское	10365 / 5730	1961	22323 / 9965	1992			25172 / 12190
Южно-Неприховское	4500 / 1590	1980 ЦНИЛ	19327 / 6277	1987	36349 / 14230	1998	62754 / 30545
Никольско-Спиридоновское	4073 / 1804	1974	6504 / 3055	1982	7841 / 3262	1993	12113 / 6406
Софинско-Держинское	4670 / 1670	1980	13343 / 5310	1982	19183 / 7103	1994	26108 / 8533
Подъем-Михайловское	2265 / 1133	1971	4136 / 2309	1993			8611 / 4969
Радаевское	64751 / 30595	1967	78227 / 35085	1994			107612 / 41206
Яблоневское	36408 / 13794	1954	56608 / 17321	1995			57778 / 17516
Верхне-Ветлянское	20645 / 9808	1980	28498 / 11466	1996			49246 / 25355
Винно-Банновское	14230 / 5739	1968	17089 / 5841	1996			19385 / 9117
Зольненское	1483 / 446	1959	1823 / 547	1997			35952 / 23598
Евгеньевское	2819 / 1099		4619 / 2091	1991			15912 / 7476
Утевское	13617 / 4942	1979	16904 / 5969	1995			19991 / 7302
Белозерско-Чубовское	26650 / 18650	1959	72207 / 38304	1986			81245 / 44067
НовоЗапрудненское	60607 / 34217	1962	82372 / 46543	1986			86394 / 49825
Кудиновское	1090 / 550	1980	13905 / 8225	1982	26623 / 16821	1998	28306 / 17189
Красноярское	4000 / 3000	1956	34900 / 23203	1958	56351 / 32596	ЦКЗ, 1990	56082 / 35211
Козловское	41180 / 20716	1966	43092 / 23408	1991			44448 / 27478
Сологаевское	4572 / 1574	1992	11448 / 5431	1992			16208 / 8551

Табл. 1. Нефтяные месторождения Самарской области с пополняемыми запасами (Горюнов и др., 2014).

ющихся не только высокой собственной добычей нефти и газа, но и относительно интенсивным их потреблением на протяжении многих десятилетий. К ним в первую очередь относятся Татарстан и Чечня в России, Украина, Азербайджан, а за океаном, в частности, штаты Техас и Оклахома в США и Мексика.

С учетом всех факторов можно ожидать (Баренбаум и др., 2006), что умеренное по темпам извлечение УВ из залежей (без нарушения подземной циркуляции вод за счет их дополнительной закачки с поверхности или применения иных методов интенсификации добычи) не должно сильно влиять на потенциальную нефтегазоносность региона и скорость восстановления их месторождений. Но произойдет это в условиях, когда извлекаемые УВ будут потребляться в пределах того же гидрогеологического бассейна, что и их добыча. В противном случае будет наблюдаться прогрессирующий спад добычи в нефтегазодобывающих регионах и их возрастание в потребляющих.

С этой проблемой, как мы полагаем, отдельные регионы и страны могут вскоре столкнуться. Современная практика транспортировки нефти и газа на многие тысячи километров от мест добычи может привести к перераспределению мировых ресурсов УВ, причем за несколько десятилетий. Страны – доноры, специализирующиеся на добыче и экспорте нефти и газа, могут быстро свои ресурсы исчерпать. Тогда как интенсивно потребляющие УВ промышленно-развитые страны будут аккумулировать их на своей территории.

Смещение месторождений в акватории Мирового океана. Поскольку на окраинах континентов, где проживает значительная часть населения мира, необходимых геологических условий для накопления УВ, как правило, нет, подвижный углерод с подземным стоком вод поступает в океан, где на шельфе и материковом склоне образуются новые скопления УВ. Примерами в этом отношении могут служить западноевропейские страны и Мексика.

Формирующиеся сегодня на континентальном шельфе скопления УВ наряду с обычной нефтью и газом представлены также аквамаринными газогидратами. Отложения аквамаринных газогидратов (Баренбаум, 2007) в биосферном цикле играют роль таких же ловушек подвижного углерода, как и месторождения УВ на континентах, но не «геологического», а «химического» типа, в которых метан входит в структуру молекул воды.

Центральный экономический район (ЦЭР). ЦЭР, включающий Московскую, Белгородскую, Брянскую, Владимирскую, Ивановскую, Костромскую, Смоленскую, Тверскую, Тульскую и Ярославскую области, – это регион, в котором сегодня идут процессы антропогенного образования УВ. В геологическом отношении ЦЭР располагается в пределах крупного гидрогеологического района: Московской синеклизы площадью в один миллион км². В 1971 году здесь в скважине Даниловской площади при вскрытии было получено 200 л нефти. Позднее приток нефти с водой зафиксирован на Нейской площади. Признаки нефтегазоносности в виде битума, капельной нефти, нефтяного запаха и т.п. установлены на Любимской, Дьяконовской, Бутовской и других площадях ЦЭР (Шиловский, Шиловская, 2012).

Эти факты трудно объяснить. Нефтематеринские породы, к которым относят глины редкинкой свиты, стра-

тиграфически залегают выше песчаников рифея, с которыми связывают породы-коллекторы. К тому же глины обладают низким потенциалом генерации УВ.

Произведем оценочный расчет для настоящего времени. Россия в 2013 году добыла 531 млн. т нефти и 668 млрд. м³ природного газа. Из них на энергетическое обеспечение страны, за вычетом поставок в другие страны, было израсходовано 290 млн. т нефти и 438 млрд. м³ газа, что суммарно равно 660 млн. т в нефтяном эквиваленте. Доля ЦЭР в промышленном производстве России достигает ~20%. В такой же пропорции, надо полагать, находится и потребление в регионе УВ. Это значит, что ЦЭР в прошлом году израсходовал ~130 млн. т н.э., что равносильно сжиганию здесь количества углерода, равного запасам достаточно крупного нефтяного месторождения.

Анализ показывает, что большая часть возникшего при сжигании этих топлив CO₂ для системы регионального круговорота углерода в ЦЭР является избыточной. Поэтому CO₂ должен поступать с метеогенными водами в осадочный чехол, где его заметная часть трансформируется в УВ. Образовавшиеся CH₄ и H₂ дегазируют в атмосферу, а нефтяные УВ могут остаться в пределах Московской синеклизы. Однако ловушки пригодные для накопления УВ имеются здесь лишь в додевонском комплексе пород. Причем требуемыми коллекторами и наличием региональных покровов обладают лишь два этажа разреза: песчаники рифея-нижнего венда и рифогенная фация ордовика, к которым и относятся все случаи нефтегазоносности в ЦЭР.

Другим следствием данного процесса являются участвовавшие случаи образования в центре европейской части России, включая ЦЭР, специфических воронок диаметром от 50 до 300 метров, через которые наряду с метаном дегазирует водород. Образование воронок заметили в начале 1990-х годов, так что за последние 15 лет их возникло не менее 20-ти (Ларин, Ларин, 2007). Появление и рост числа воронок, дегазирующих метаном и водородом, объяснить иначе, кроме как протеканием в породах осадочного чехла реакции (2), на наш взгляд, чрезвычайно трудно, если вообще возможно.

Сланцевый газ и нефть. С позиций биосферной концепции добыча газа и нефти из сланцевых пород – это прямое вмешательство человека в процессы генерации УВ в недрах. Главную роль в образовании УВ в сланцах играет известный механизм механической активации пород, основанный на измельчении (диспергировании) углеродсодержащих минералов в присутствии воды.

Более 25 лет назад В.И. Молчанов экспериментально показал, что источниками углерода при механохимическом синтезе УВ могут быть как фоссилизированные остатки растительного или животного происхождения и водорастворимое ОВ, так карбонаты и уголекислота. Поставщиком же водорода является вода, которая, взаимодействуя с окисляющимся минеральным веществом, генерирует активно участвующий в синтезе УВ атомарный водород.

Современные технологии добычи газа и нефти из сланцев, основанные на гидроразрывах пластов, фактически переносят механохимический способ образования УВ в естественные условия. Механизм этот полигенный, где основным источником углерода является ОВ, а УВ генерируются главным образом в реакции синтеза, которая обобщенно представлена формулой (2).

Обычные сланцевые породы содержат 0.1-1.0 % ОВ. Из этого количества ОВ на образование УВ идет, вряд ли больше ~1%, причем из объема пород, раздробленных гидроразрывами. Поэтому добывающие скважины на месторождениях сланцев за первые 1-2 года резко снижают свою производительность. С целью поддержания добычи УВ из сланцев приходится постоянно бурить новые скважины и устраивать гидроразрывы. Период рентабельной эксплуатации месторождений, как правило, непродолжителен, и после ~10 лет работы их вынуждены закрывать.

Заключение

Показано, что современное образование УВ в недрах – это антропогенное биосферное явление, неразрывно связанное с геохимическим круговоротом на нашей планете углерода и воды. Вследствие участия в процессах нефтегазообразования живого вещества, система круговорота углерода на нашей планете динамически устойчива. При этом любое нарушение регионального равновесия в круговороте, в том числе вызванное современной добычей и потреблением УВ, система стремится устранить за характерное время биосферного цикла углерода, составляющего на континентах около 40 лет.

Равновесное состояние достигается перетоками подвижного углерода между основными его резервуарами в системе со скоростью 2.7×10^{17} г/год в пересчете на CO_2 . В глобальном плане такими резервуарами являются воды Мирового океана, живое вещество и атмосфера, а в региональном – месторождения нефти и газа, а также газогидраты на океанском дне, которые служат ловушками подвижного углерода в форме УВ под земной поверхностью.

Региональные перетоки углерода, обеспечивающие равновесие системы при круговороте, носят сложный характер, который во многом определяется геологическими условиями накопления УВ под земной поверхностью и деятельностью людей, как наиболее активной части биосферы.

В некоторых случаях, как это, вероятно, имеет место в Самарской области, система может поддерживать региональное равновесие за счет заполнения старых месторождений новыми порциями УВ, а в других случаях – нет.

Так, в центре Европейской части России, где ловушек мало, а объем CO_2 от сжигания УВ велик, возникающие в недрах водород и метан главным образом уходят в атмосферу. В странах западной Европы, где также нет подходящих условий для накопления нефти и газа, подвижный углерод с подземным стоком вод поступает в Атлантический океан, создавая в Северном море морские месторождения, которых сегодня насчитывается более 150.

Еще худшая ситуация на Североамериканском континенте. Из-за высокого потребления в США и Канаде УВ и интенсивной добычи сланцевого газа и нефти здесь ежегодно в круговорот вовлекается большое количество углерода, не обеспеченного необходимыми природными ловушками. В отсутствие ловушек этот углерод накапливается в морских месторождениях, их открыто у берегов США уже более 500, а также остается в атмосфере Земли.

В этой связи следует отметить, что последние два десятилетия потребление УВ в мире растет настолько быстро, что система круговорота углерода на планете не успевает стабилизироваться за время биосферного цикла. Следствия

такой дестабилизации очевидны. Если ситуацию не изменить, то с одной стороны будет увеличиваться содержание CO_2 и других парниковых газов в атмосфере, а с другой – снижаться нефтегазовый потенциал недр добывающих регионов мира, что ведет к существенному удорожанию УВ сырья.

Можно предложить стратегический комплекс мер, который позволит замедлить эти негативные процессы (Баренбаум, 2012). Он заключается в возможности разработки месторождений как пополняемых источников УВ, и тем самым более эффективно использовать нефтегазовый потенциал недр. Стратегия предполагает: 1) введение в эксплуатацию (для местных нужд) мелких месторождений, считающихся сегодня нерентабельными; 2) снижение темпов извлечения УВ из залежей до уровня их естественного пополнения; 3) продуманную логистику, при которой основная часть УВ потребляется в пределах того же гидрогеологического бассейна, где они добываются.

Главный вывод состоит в том, что нефть и газ являются неунничтожимыми полезными ископаемыми. Поэтому к естественным скоплениям УВ следует относиться аналогично тому, как мы относимся к колодцам для отбора воды. Если воду извлекать очень интенсивно, то воды в колодце может и не стать. Однако колодец не уничтожают, а ждут, когда он вновь заполнится водой.

То же самое происходит с заполнением месторождений нефтью и газом, только за более длительное время, исчисляемое первыми десятками лет.

Литература

- 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.
- Баренбаум А.А. Галактоцентрическая парадигма в геологии и астрономии. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. 544 с.
- Баренбаум А.А. Механизм формирования месторождений нефти и газа. *Доклады АН*. 2004. Т.399. №6. С. 802-805.
- Баренбаум А.А. Научная революция в проблеме происхождения нефти и газа. Новая нефтегазовая парадигма. *Георесурсы*. 2014. № 4(59). С. 9-16.
- Баренбаум А.А. О возможной связи газогидратов с субмаринными подземными водами. *Водные ресурсы*. 2007. Т.34. №5. С. 620-625.
- Баренбаум А.А. Об исчерпании углеводородного потенциала недр. *Энергетика Татарстана*. 2012. №4(28). С.9-12.
- Баренбаум А.А. Решение проблемы происхождения нефти и газа на основе биосферной концепции нефтегазообразования. *Уральский геологический журнал*. 2013. №2(92). С.3-27.
- Баренбаум А.А., Шиловский А.П., Шиловская Т.И. Современное нефтегазообразование. Углеводородный потенциал фундамента молодых и древних платформ: Перспективы нефтегазоносности фундамента и оценка его роли в формировании и переформировании нефтяных и газовых месторождений. Казань: Изд-во Казан. ун-та. 2006. С. 34-38.
- Бурков В.Д., Крапивин В.Ф. Шалаев В.С. Сбалансированная модель глобального биогеохимического круговорота углерода. *Журнал «Лесной вестник»*. 2012. Т.9. С. 86-94.
- Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука. 2001. 376 с.
- Войтов Г.И. О холодной дегазации метана в тропосферу Земли. Теоретические и региональные проблемы геодинамики. *Тр. ГИН РАН*. Вып. 515. М.: Наука. 1999. С. 242-251.
- Галимов Э.М. О новой химической модели процесса нефтегазообразования. В кн.: *Природа органического вещества современных и ископаемых осадков*. М.: Наука. 1973. С. 207-227.
- Галкин А.А., Лукин В.В. Вода в суб- и сверхкритическом состояниях – универсальная среда для осуществления химических реакций. *Успехи химии*. 2005. Т. 74. №1. С. 24-40.

Горюнов Е.Ю., Игнатов П.А., Кравченко М., Халиков А.Н., Климентьев Д.Н. Проявления современных подтоков углеводородов в нефтегазоносные комплексы на территории Волго-Урала. 3-и Кудрявцевские чтения. Тезисы докл. М.: ЦГЭ. 2014.

Гусева А.Н., Климушина Л.П. Состояние проблемы генезиса нефти к началу XXI века. Новые идеи в геологии нефти и газа. Нефтегазовая геология в XXI веке. Ч. I. М.: МГУ. 2001. С. 115-117.

Дмитриевский А.Н. Полигенез нефти и газа. Доклады АН. 2008. Т. 419. №3. С. 373-377.

Закиров С.Н., Закиров Э.С., Баренбаум А.А. и др. Геосинтез в проблеме происхождения нефти и газа. Тр. VIII Межд. симп.: Передовые технологии разработки, повышения нефтеотдачи месторождений и исследования скважин. Москва. 2013. С. 43-46.

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

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

Корценштейн В.Н. Растворенные газы подземной гидросферы Земли. М.: Недра. 1984. 240 с.

Ларин В.Н., Ларин Н.В. Обнаружена дегазация водорода в центральных районах Русской платформы. 26.02.2007. (<http://hydrogen-future.com/rus/page-id-6.html>).

Молчанов В.И., Гонцов А.А. Моделирование нефтегазообразования. Новосибирск: ОИГГМ, 1992. 246 с.

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

Муслимов Р.Х., Глузов Н.Ф., Плотникова И.Н. и др. Нефтегазо-

вые месторождения – саморазвивающиеся и постоянно возобновляемые объекты. Геология нефти и газа. Спец. вып. 2004. С. 43-49.

Селецкий Ю.Б., Поляков В.А., Якубовский А.В., Исаев Н.В. Дейтерий и кислород О-18 в подземных водах (масс-спектрометрические исследования). М.: Недра. 1973. 114 с.

Соколов Б.А., Гусева А.Н. О возможности быстрой современной генерации нефти и газа. Вестник МГУ. Сер. геол. 1993. №3. С. 48-56.

Соколов В.А. Геохимия природных газов. М.: Недра. 1971. 336 с. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: «Геонформцентр». 2002. 250 с.

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

Черский Н.В., Царев В.П. Механизмы синтеза углеводородов из неорганических соединений в верхних горизонтах земной коры. Доклады АН. 1984. Т.279. №3. С. 730-735.

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.

Шиловский А.П., Шиловская Т.И. Незабитые запасы углеводородов: Недра Московско-Мезенского осадочного бассейна. Palmarium Academic Publ. 2012. 92 с.

Сведения об авторе

Азарий Александрович Баренбаум – канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник Института проблем нефти и газа Российской академии наук

119333, Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: azary@mail.ru

Modern oil and gas generation as a result of carbon cycle in the biosphere

A.A. Barenbaum

Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: azary@mail.ru

Abstract. From the point of new oil and gas paradigm the paper discusses polygenic mechanism of hydrocarbons generation of oil and gas. Oil and gas generation process is considered in close association with geochemical cycle of movable carbon through the earth surface with the involvement of biosphere in which human activity plays the important role. It is shown that due to dynamic stability of carbon cycle in our planet, any regional violations of such balance, including those caused by oil and gas production, are eliminated by the system with characteristic time of the biosphere cycle, which is 40 years for the continents. Therefore, formation of hydrocarbons – it is a modern biosphere phenomenon of man-induced nature, and oil and gas extracted from subsoil – its mandatory products. Modern processes of oil and gas generation are discussed on the example of refilling reserves of exploited oil fields, shale gas production, and formation of aquamarine gas hydrates, as well as sharp increase in recent years of subsoul degassing in the European part of Russia. A fundamental conclusion is obtained that industrial oil and gas fields are large traps of movable carbon circulating through the Earth surface in the biosphere cycle. A set of measures is suggested to effectively use this fact and develop oil and gas fields and as hydrocarbon sources, refilled in the time of first decades.

Keywords: oil and gas, hydrocarbons, biosphere carbon cycle, oil and gas generation.

References

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 Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [News of the Samara Scientific Center of the RAS]. 2000. Is. 2. №1. Pp. 166-173. (In Russian)

Barenbaum A.A. Galaktotsentricheskaya paradigma v geologii i astronomii [Galactocentric paradigm in geology and astronomy]. Moscow: «LIBROKOM» Publ. 2010. 544 p.

Barenbaum A.A. The Mechanism of Oil-Gas Traps Formation. *Doklady AN* [Proc. of the Russian Academy of Sciences]. 2004. V. 399. №6. Pp. 802-805. (In Russian)

Barenbaum A.A. The Scientific Revolution in the Oil and Gas Origin Issue. *New Oil and Gas Paradigm. Georesursy* [Georesources]. 2014. N 4(59). Pp. 9-16. (In Russian)

Barenbaum A.A. On possible relationship between gas-hydrates and submarine groundwater. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2007. V.34. N5. Pp. 620-625. (In Russian)

Barenbaum A.A. Ob ischerpanii uglevodorodnogo potentsiala nedr About exhaustion of hydrocarbon potential of bowels [The exhaustion of the hydrocarbon potential of mineral resources]. *Energetika Tatarstana* [Energy of Tatarstan]. 2012. № 4(28). Pp. 9-12.

Barenbaum A.A. Reshenie problemy proiskhozhdeniya nefi 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 generation]. *Ural'skiy geologicheskii zhurnal* [Ural Geological Journal]. 2013. № 2(92). Pp.3-27.

Barenbaum A.A., Shilovskiy A.P., Shilovskaya T.I. Sovremennoe neftegazooobrazovanie. Uglevodorodnyy potentsial fundamenta molodykh i drevnikh platform: Perspektivy neftegazonosnosti fundamenta i otsenka ego roli v formirovani i pereformirovani neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy [Modern oil and gas formation. Hydrocarbon potential of crystalline basement of young and old platforms]. Kazan: «Kazansk. universitet» Publ. 2006. Pp. 34-38.

Burkov V.D., Krapivin V.F. Shalae V.S. Balanced model of global biogeochemical cycle of carbon. *Lesnoy vestnik* [Forest Bulletin]. 2012. V.9. Pp. 86-94. (In Russian)

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

Voytov G.I. Cold methane drainage in Earth's troposphere. Theoretical and regional problems of geodynamics. *Tr. GIN RAN* [Proc. GIN RAS]. Vol. 515. Moscow: «Nauka» Publ. 1999. Pp. 242-251. (In Russian)

Galimov E.M. A new chemical model of oil and gas formation process. V Knige: Priroda organicheskogo veshchestva sovremennykh i iskopaemykh osadkov [The nature of the organic matter of recent and ancient sediments. Book]. Moscow: «Nauka» Publ. 1973. Pp. 207-227.

Galkin A.A., Lunin V.V. 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]. 2005. V. 74. №1. Pp. 24-40.

Goryunov E.Yu., Ignatov P.A., Kravchenko M., Khalikov A.N., Kliment'ev D.N. Of contemporary inflows of hydrocarbons in oil and gas bearing complex in the Volga-Urals. *3-i Kudryavtsevskie chteniya. Tezisy dokl.* [III Kudryavtsevsky Readings. Abstracts]. Moscow: «TsGE» Publ. 2014. (In Russian)

Guseva A.N., Klimushina L.P. Sostoyanie problemy genezisa nefiti k nachalu XXI veka. Novye idei v geologii nefiti i gaza [Problem state of the oil genesis in the beginning of the XXI century. New ideas in geology of oil and gas]. *Neftegazovaya geologiya v XXI veke* [Petroleum geology in the XXI century]. P. I. Moscow: «MGU» Publ. 2001. Pp. 115-117.

Dmitrievskiy A.N. Polygenesis of oil and gas. *Doklady AN* [Proc. of the USSR Academy of Sciences]. 2008. V. 419. №3. Pp. 373-377. (In Russian)

Zakirov S.N., Zakirov E.S., Barenbaum A.A. et al. Geosintez and the origin of oil and gas. *Tr. VIII Mezhd. Simp.: Peredovye tekhnologii razrabotki, povysheniya nefteotdachi mestorozhdeniy i issledovaniya skvazhin* [Proc. VIII Int. Symp.: Advanced technologies of development, enhanced oil recovery and wells exploration]. Moscow. 2013. Pp. 43-46. (In Russian)

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

Kondrat'ev K.Ya., Krapivin V.F. Modelirovanie global'nogo krugovorota ugleroda [Modeling of the global carbon cycle]. Moscow: «Fizmatlit» Publ. 2004. 336 p.

Kortsenshteyn V.N. Rastvorennyye gazy podzemnoy gidrosfery Zemli [Dissolved gases of the Earth underground hydrosphere]. Moscow: «Nedra». 1984. 240 p.

Larin V.N., Larin N.V. Obnaruzhena degazatsiya vodoroda v tsentral'nykh rayonakh Russkoy platformy [Degassing of hydrogen found in the central regions of the Russian Platform]. 26.02.2007. (<http://hydrogen-future.com/rus/page-id-6.html>).

Molchanov V.I., Gontsov A.A. Modelirovanie neftegaobrazovaniya [Modeling of oil and gas formation]. Novosibirsk: «OIGGM» Publ. 1992. 246 p.

Molchanov V.I., Selezneva O.G., Zhirnov E.N. Aktivatsiya mineralov pri izmel'chenii [Activation of minerals during grinding].

Moscow: «Nedra» Publ. 1988. 208 p.

Muslimov R.Kh., Glumov N.F., Plotnikova I.N. et al. Neftegazovye mestorozhdeniya – samorazvivayushiesya i postoyanno vobnovlyayemye ob'ekty [Oil and gas fields – self-developing and constantly renewable facilities]. *Geologiya nefiti i gaza* [Geology of Oil and Gas. Spec. Is]. 2004. Pp. 43-49.

Seletskiy Yu.B., Polyakov V.A., Yakubovskiy A.V., Isaev N.V. Deyteriyy i kislorod O-18 v podzemnykh vodakh (mass-spektricheskiye issledovaniya) [About deuterium and oxygen-18 of underground waters (mass-spectrometric studies)]. Moscow: «Nedra» Publ. 1973. 114 p.

Sokolov B.A., Guseva A.N. O vozmozhnosti bystroy sovremennoy generatsii nefiti i gaza [On the possibility of fast modern oil and gas generation]. *Vestnik MGU. Geol. Ser.* [MGU Bulletin. Geol. Ser.]. 1993. №3. Pp. 48-56.

Sokolov V.A. Geokhimiya prirodnykh gazov [Geochemistry of natural gases]. Moscow: «Nedra» Publ. 1971. 336 p.

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

Ferronskiy V.I., Polyakov V.A. Izotopiya gidrosfery Zemli [Isotopy of the Earth's hydrosphere]. Moscow: «Nauchnyy mir» Publ. 2009. 632 p.

Cherskiy N.V., Tsarev V.P. Mechanisms of hydrocarbon synthesis from inorganic compounds in the upper layers of the crust. *Doklady AN* [Proc. of the USSR Academy of Sciences]. 1984. V.279. №3. Pp. 730-735. (In Russian)

Cherskiy N.V., Tsarev V.P., Soroko T.I., Kuznetsov O.L. Vliyanie tektono-seismicheskikh protsessov na obrazovanie i nakoplenie uglevodorodov [Influence of tectonic and seismic processes in the formation and accumulation of hydrocarbons]. Novosibirsk: «Nauka» Publ. 1985. 224 p.

Shilovskiy A.P., Shilovskaya T.I. Nerazvedannyye zapasy uglevodorodov: Nedra Moskovsko-Mezenskogo osadochnogo basseyna [Undiscovered hydrocarbon reserves: Entrails of the Moscow-Mezensky sedimentary basin]. Palmarium Academic Publishing. 2012. 92 p.

Information about author

Azariy A. Barenbaum – Cand. Sci. (Phys. and Math.), Leading Researcher of the Institute of Oil and Gas Problems of the RAS 119333, Russia, Moscow, Gubkina str., 3.