

**НЕФТЕГАЗОВЫЕ СИСТЕМЫ, УГОЛЬ — СОСТАВЛЯЮЩИЕ
УГЛЕВОДОРОДНОЙ СФЕРЫ ЗЕМЛИ**

М. А. Лурье

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Сопоставление элементных составов нефти, угля и биоматериала показало, что источником нефтегазовых систем и угля является главным образом не биомасса, а глубинные абиогенные высокотемпературные флюиды, представляющие собой смесь легкого углеводорода, серы, металлсодержащих структур и др. В процессе движения флюидов в направлении к поверхности Земли углеводород под каталитическим воздействием серы и металлов претерпевает поликонденсационные превращения с образованием углеводородов различных типов и молекулярных весов, серо- и металлоорганических соединений. В зависимости от состава флюида формируется тот или иной тип углеводородной системы.

Ключевые слова: нефть; газ; уголь; биоматериал; глубинные флюиды; элементный состав

**OIL AND GAS SYSTEMS, COAL ARE COMPONENTS
OF HYDROCARBON SPHERE OF THE EARTH**

M. A. Lur'e

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Abstract. Comparison of elemental compositions of oil, coal and biomaterial has shown that a source of oil and gas systems and coal is mainly not biomass, but the deep abiogenic high-temperature fluids representing a mixture of light hydrocarbon, sulfur, metal-containing structures, etc. In the course of the fluids movement towards the Earth's surface, hydrocarbon under catalytic action of sulfur and metals undergoes polycondensation transformations to afford hydrocarbons of various types and molecular mass, sulfur- and organometallic compounds. Formation of a hydrocarbon system depends on a structure of the fluid.

Key words: oil; gas; coal; biomaterial; deep fluids; elemental composition

К составляющим углеводородную сферу Земли относятся, прежде всего, нефти, асфальтиты, битумы, различного типа сланцы, газы и угли. В данной работе рассмотрены нефть и уголь. Такой выбор связан главным образом с ролью этих углеводородных систем (УВС) в жизнедеятельности человеческого сообщества. При этом мировые ресурсы угля значительно превышают ресурсы нефти [1]. Углеводородные системы находятся в природе не только в виде этих концентрированных

форм, но и в рассеянном состоянии, которое широко распространено как в континентальных толщах, так и в различных частях морских систем.

Главной проблемой при формировании представлений о геохимии УВС является вопрос о том, каков их источник (биосферный или глубинный эндогенный). В условиях морской седиментации основная масса (> 99 %) биогенного органического вещества (ОВ) разлагается бактериями в воде, у самого дна и в придонном иле [2]. В этих условиях биогенное вещество преобразуется в основном в водорастворимые формы, а в рассеянных углеводородсодержащих структурах осадочных пород биогенный углерод составляет лишь малую долю (0,1–0,4 %) от всегда преобладающего эндогенного. Как показали исследования [3], в зонах, где рассеянные углеродистые вещества представлены наиболее широко, они по своей природе преимущественно абиогенного происхождения. Учитывая малую вероятность концентрирования продуктов преобразования ОВ в гигантские скопления различного типа, следует полагать, что источником концентрированных форм углеродистых систем, так же как и рассеянных, являются глубинные углеродсодержащие абиогенные флюиды. Подтверждением этому служат многочисленные данные о том, что концентрация индивидуальных «биомаркеров» в нефтях очень мала (не более 0,1 %) [4]. Это может указывать лишь на их участие и не является определяющим для нефтегенеза.

Концепция глубинного абиогенного происхождения нефти, начиная от Д. И. Менделеева и по настоящее время, привлекает внимание многих исследователей. Она базируется на том, что источником нефтяного вещества являются глубинные флюиды, содержащие в своем составе углерод, водород и другие элементы, в частности серу и металлы. Как показано в работе [3], важным этапом в процессах перехода от жирных углей к полуантрацитовым и антрацитовым является воздействие глубинных восстановленных газов, массово отлагающих углерод, серу и металлы.

Наряду с нефтью и углем широко распространенной углеродистой системой являются черные сланцы, также содержащие кроме углеводородных структур гетерокомпоненты (серу, металлы и др.). Представлениям о биогенной природе черных сланцев противоречат, как и в случае нефти и угля, данные о почти полном разложении ОВ при морской седиментации и диагенезе в различных условиях, а также целый ряд других признаков, свидетельствующих о преобладающей роли эндогенных флюидов. К таким признакам прежде всего относится пространственная близость залежей черных сланцев к зонам субвертикальных глубинных разломов, служащих каналами повышенной проницаемости для глубинных флюидов. Представление о том, что основная масса углерода черных сланцев образуется в процессе глубинной дегазации Земли, убедительно обосновано в работе [3].

Таким образом, выявляется общность источников происхождения как рассеянного углеродистого вещества, так и его концентрированных форм в виде нефти, угля и сланцев. Общим являются повышенная сульфидизация и металлоносность этих систем. Последняя обуславливает их высокую металлогеническую продуктивность. Среди проблем геохимии углерода выяснение роли различных мантийных металлов в процессах нефте- и углеобразования является одной из важнейших. С учетом того что иногда наблюдается сонахождение угля и жидких углеводородов (УВ) [5], возникли мнения о возможности взаимопревращения этих УВС [5–7]. Рассматривая возможность подобных преобразований, обратимся к сопоставлению элементного состава. Учитывая, что величина Н/С составляет в углях от 1 до 0,2 для бурых и антрацитовых соответственно [6], а для обычных нефтей она находится на уровне ~ 2, а также отсутствие свободного водорода в условиях залежей, превращение угля в нефть следует считать маловероятным. Реализация противоположного процесса (дегидрирования нефтяных УВ) также маловероятна из-за низких давлений и температур в местах залегания нефтяных систем.

Для исследования взаимосвязи нефте- и углегенеза необходимо более подробно сопоставить элементные составы. По данным [6] количество углерода в угле составляет от ~ 70 до 90, водорода — 2–5, азота — 0,6–1,6, серы — 0,3–0,4, кислорода — 3,3–19,6 %. Содержание углерода в нефти находится в пределах 82–87, водорода — 11–15, серы — 0,1–4,3, азота — 0,02–1,7, кислорода — 0,01–0,27 % [8]. Концентрации углерода в нефти и угле существенно не отличаются, содержание водорода в угле гораздо ниже, чем в нефти, а кислорода, напротив, в угле намного выше, что может быть связано с окислительной обстановкой в местах его залегания, так как они находятся ближе к поверхности Земли. По количеству азота нефти и угли близки, а содержание серы в последних ниже, чем в большинстве нефтей. Приведенных данных достаточно, чтобы поставить под сомнение справедливость предположений о взаимопревращениях нефтей и углей.

Обсуждая возможность таких процессов, необходимо учитывать, что помимо указанных выше элементов, в нефти и угле имеются микроэлементы (МЭ), прежде всего металлы. Средние их содержания (г/т) в нефтях и углях, приведенные в работах [9, 10], представлены ниже. Следует отметить, что данные о содержании Fe в угле отсутствуют [10], очевидно, вследствие трудности разделения его на нативный и попадающий в определенном количестве при добыче. В нефтях Fe по степени неравномерности концентраций намного превышает остальные металлы [9]. Поэтому в представленных ниже рядах концентраций металлов данные о Fe не приводятся.

Нефти: V (149) > Ni (18) > Zn (2) > Mo (1,2) > Cr (0,5) > Sr (0,4) = Cu > Mn (0,3) = Rb = Ba = Co > Zr + Pb + Ti (< 1)

Угли: Ti (1620) > Mn (153) > Ba (128) > Sr (104) > Zr (36) > Zn (28) > V (25) > Cr (14) > Pb (13) > Cu (12) > Ni (10) > Co (5) > Mo (2,4).

При сравнении представленных рядов прежде всего видно, что общее количество МЭ в углях более чем на порядок превышает таковое в нефтях, что очень важно для понимания причин различий фазового состояния этих УВС. Даже количество Ti в угле почти на порядок превышает суммарное количество всех металлов в нефтях. Концентрация металлов, находящихся в начале и конце рядов, резко различается. В нефтях количество V и Ni суммарно на ~ 2 порядка превышает количество Ti, находящегося в конце ряда. Для углей наблюдается противоположная картина. Содержание Ti более чем на порядок превышает таковое для V и Ni. Имеются в представленных рядах и другие отличия. В частности, Ba и Sr в углях содержатся в значительных количествах, а в «нефтяном» ряду они занимают места в конечной его части. Таким образом, трудно согласиться с точкой зрения о непосредственно генетической связи нефти и угля, так как столь избирательное перераспределение металлов в предполагаемых процессах взаимопревращения этих УВС также маловероятно. Трудно объяснить попадание металлов в уже сформированные нефти и угли из окружающего пространства (породы, растворы), так как состав металлов в нем резко отличается от такового в нефтях и углях [9], а также вследствие других причин (диффузионные трудности, гидрофобность нефтяного вещества). Данные [11, 12] показывают, что V не был привнесен в нефть и битумную массу как геологически обособленные структуры извне в процессе инфильтрации пластовых вод. Зачастую концентрация V в пределах рудных зон носит явно выраженный вторичный характер по отношению к вмещающим породам, а нефть могла поступать по разломам из глубин, уже обогащенных V [12].

Для выяснения возможности влияния на характер металлоносности нефти и угля поступления металлов из ОВ и продуктов его преобразований рассмотрим минеральный состав наземных растений (г/т сухой массы) [13, 14]: Ca (18000) > K (14 000) > Mg (3 200) > Na (1 200) > Mn (630) > Al (510) > Fe (140) > Zn (100) > Sr (26) > Rb (17) > Ba (14) = Cu > Ni (3) > Pb (2,6) > V (1,5) > Ti (1) > Zr, Co, Cr (< 1). В сапронелях и гумусе, являющихся согласно биогенной концепции образования

нефти ее исходным материалом, минеральная часть представлена главным образом Ca, Mg, Mn, Si, Al и Fe. Как видим, минеральная часть биоматериала резко отличается от таковой для нефтей. Преобладающих в биомассе Ca, Mg, Si и др. на ~ 4 порядка больше, чем V и Ni, являющихся чаще всего основными представителями минеральной части нефтей. Основного металла углей (Ti) в растительном материале на 3–4 порядка меньше, чем металлов, находящихся в нем в максимальном количестве (Ca, K и др.). Необходимо отметить, что количество V и Ti, составляющее основную часть минеральной составляющей нефти и угля соответственно в растительном материале очень мало и примерно одинаково. К тому же Ti в соответствии с классификацией химических элементов [13, 14] является абиогенным компонентом. Поэтому присутствие металлов, преобладающих в угле и нефти, затруднительно считать «пришедшими» из ОВ. Этот вывод хорошо согласуется с выводами, сделанными на основе рассмотрения геологических, биологических и физико-химических данных о невозможности образования нефти из сапропелевой органики, гумуса, водорослей и бактерий [15], а углей — из торфа [6].

Рассмотрим далее некоторые особенности металлов, находящихся в максимальных количествах в нефти (V) и угле (Ti). Ванадий в самородном виде неизвестен и представлен в основном сульфидами, а оксиды его крайне малочисленны [11]. Огромное количество V сосредоточено в высоковязких, высокосернистых нефтях и битумах, являющихся его концентраторами. Мировые потенциальные ресурсы V в тяжелых нефтях и битумах оцениваются величиной ~ в 125 млн т [9]. Эти нафтиды представляют собой крупномасштабную сырьевую базу для его извлечения. Они содержат большое количество асфальтосмолистых компонентов (АСК), содержащих V. Титан, в отличие от V, находится в природе в основном в виде оксидов. Следует отметить, что титановые руды наряду с метаморфозной и экзогенной формами имеют и магматическую (глубинную) [16].

В соответствии с геохимической систематикой металлов [17] их поведение в геологических процессах в целом и, в частности, миграционная способность и распределение по глубине во многом определяются сродством к сере, которая имеется во всех геосферах и является наиболее подвижным компонентом в геохимических системах [18]. Видимо, это свойство металлов должно благоприятствовать их сонахождению с серой в глубинных флюидах. Это дает основание полагать, что источником серы нефтей и углей являются глубинные серосодержащие системы. В работе [19], посвященной проблеме генезиса сернистых нефтей, показано, что многосернистые нефти содержат «чуждую серу», не проникнувшую в нефть из сопутствующих пород — нефтепроизводящей и коллекторной, как это предполагается биогенной концепцией.

Большое содержание серы в нефтях и углях является одним из коренных их отличий от биосистем. Соотношение S/C в нефтях и углях на ~ 1–2 порядка выше, чем в биомассе [7]. Вследствие плохой совместимости живых организмов с серой и ее слабым проникновением в биоту сера оказывается прежде всего в составе сульфидных руд, угля и литосферы (нефть, вода). Сера живых организмов входит в состав всего лишь 2 из 20 аминокислот (метионина и цистеина — единиц, образующих белки), при этом она присутствует в них в виде дисульфидных мостиков, образуя, таким образом, только межмолекулярные связи [13], то есть структуры, легко разрушающиеся, как и белки в целом (по сравнению с липидами), в процессе предполагаемого биогенной концепцией преобразования ОВ. В работе [20] в результате исследования закономерностей фракционного и химического состава огромного количества нефтей был сделан вывод о том, что уже на ранней стадии образования нефти сера в составе исходного абиогенного материала участвовала в едином комплексе его преобразования в нефть.

Исходя из концепции абиогенного (глубинного) образования УВС, следует рассмотреть состав и реакционный потенциал глубинных флюидов, движущихся в

направлении к поверхности Земли и содержащих в своем составе, помимо таких летучих компонентов, как CH_4 , H_2 , CO , CO_2 , H_2O , H_2S , S^0 [21–23], различные элементоорганические соединения, в том числе металлы — мантийные метки (V, Ni, Fe и др.) [24–26]. Необходимо, прежде всего, выяснить, какой из компонентов, содержащих углерод, может быть исходным сырьем. В работе [27] обосновано, что смесь $\text{CO}(\text{CO}_2) + \text{H}_2$ в силу наличия комплекса причин не может быть исходным материалом нефтей. Это согласуется с результатами количественного исследования формирования УВС с помощью методов математического моделирования [7], показавшего, что для всех природных УВС, для которых характерны следы незавершенности химических преобразований с сохранением части непревращенного сырья, таковым оказался CH_4 , который всегда присутствует в составе реальных нефтей, а CO и H_2 отсутствуют. На основе фундаментальных исследований генезиса нефтей с использованием закономерностей изменения энтропии, законов термодинамики и динамики изменения информации в работе [15] также был сделан вывод о том, что образование нефти — это результат каталитических преобразований простейшего УВ (CH_4), имеющегося в глубинных флюидах.

Рассматривая состав глубинных флюидов, следует указать, что часть их компонентов обладает способностью каталитического воздействия на УВ. Это относится прежде всего к сере. Она — один из самых реакционно-способных элементов. Подобными свойствами обладает и углерод. Кроме него никакой другой химический элемент не создает стабильные молекулы со столь разнообразными конфигурациями и размерами. Таким образом, совместное присутствие этих элементов в глубинных флюидах обеспечивает их высокий реакционный потенциал. Элементарная сера обладает высокой реакционной способностью по отношению к УВ и другим органическим соединениям. Она в широком диапазоне температур и давлений является инициатором и катализатором окислительных полимеризационных преобразований УВ, в результате чего образуются комплекс различного типа и молекулярного веса соединений вплоть до асфальтосмолистых структур и различные S-органические соединения, причем скорость таких преобразований увеличивается по мере увеличения молекулярного веса УВ [28], что, видимо, должно приводить к реализации процессов, относящихся к разряду каскадных («домино») реакций с участием S-органических соединений и с образованием устойчивых C-C связей [29].

Таким образом, преобразование смеси $\text{CH}_4\text{--S}^0$ может сопровождаться в процессе движения глубинного флюида к поверхности Земли образованием соединений, составляющих часть нефти. В работах [30–32] обоснован вывод о том, что в процессе движения флюида могут происходить процессы, приводящие к образованию смеси соединений, состав которых хорошо согласуется с показателями реальных нефтей. Главным подтверждением правомерности такого вывода являются многочисленные данные о том, что с повышением сернистости нефтей увеличиваются их плотность, доли тяжелых фракций и АСК, при этом уменьшается доля газовой составляющей [30–32]. Характер этих изменений свидетельствует о том, что с увеличением концентрации серы во флюиде усиливается вовлеченность легкого УВ в поликонденсационные процессы, сопровождающиеся увеличением масштабов нефтетезалежей [32]. Эта закономерность подтверждается тем, что запасы высокосернистых битуминозных, высоковязких нефтей в 3–4 раза выше, чем обычных [33].

О различном и достаточно высоком содержании серы в различных флюидах и существовании «водородноуглеродных» и «водородносернистых» их типов упоминают многие авторы, в частности в работе [22]. Очевидно, что в случае безсернистого флюида глубинный CH_4 образует залежи традиционного природного газа или газогидратов. Необходимо в связи с этим отметить, что под их залежами нефть не обнаруживается [34], что, очевидно, обусловлено отсутствием серы во флюидах — источниках залежей газогидратов.

Металлы и их соединения, входящие в состав глубинных флюидов, могут, в свою очередь, оказывать каталитическое воздействие на УВС и, так же как и сера, входить в состав продуктов, становиться частью нефтяного вещества. Рассмотрим, прежде всего, характер каталитического воздействия металлов, преобладающих как в нефтях, так и в угле (V и Ti соответственно). Известно, что соединения V являются эффективными катализаторами полимеризации УВ, а соединения Ti даже превосходят первые по активности в таких процессах [35].

Учитывая латеральную неоднородность состава всех геосфер Земли [25] и, как следствие, неоднородность состава глубинных флюидов, преобладание Ti в углях, высокую активность этого металла в процессах полимеризации УВ, а также отсутствие Ti в ОБ, можно полагать, что глубинные флюиды, богатые данным металлом, принимают активное участие в образовании углей, что и приводит к преобладанию его в их металлсодержащей части.

Общим для состава нефтей и углей является наличие серы. Различие состоит в том, что в нефтях она находится в виде сероорганических структур ($S_{\text{орг}}$), содержащихся в различных фракциях. В углях сера представлена колчеданной (FeS_2), $S_{\text{орг}}$ и элементной формами; в значительно меньшем количестве имеется сульфатная форма, что соответствует данным о полном отсутствии или весьма о кратковременном контакте углеобразователей с содержащими сульфаты морскими водами [36]. Точка зрения о попадании всей серы углей из ОБ опровергается всей суммой экспериментальных и расчетных данных [36]. Наличие FeS_2 в угольной массе за счет привноса его водными потоками также несостоятельна из-за его малой растворимости. О низкой вероятности попадания этой формы серы из ОБ свидетельствует очень малое содержание Fe в торфе. В Донецком бассейне, богатом углями, некоторые из них содержат до 8–10 % серы, что на порядок превышает величину сернистости растительного материала, обладающего наиболее высоким содержанием серы [36]. Таким образом, можно полагать, что сернистость угольного вещества, так же как и особенность его металлоносности, плохо согласуются с концепцией биосферного происхождения, а в значительной степени они обусловлены участием глубинных флюидов в углеобразовании.

Учитывая способность серы инициировать процессы полимеризации УВ, следует ожидать наличия общих черт в характере ее распределения в нефтяном и угольном веществах. Сера в нефтях концентрируется в основном в тяжелых высокомолекулярных фракциях. Нефти с высоким серосодержанием являются наиболее тяжелыми и высоковязкими, а масштабы их накопления во много раз превышают запасы обычных [33], что свидетельствует об активном участии серы в полимеризационных преобразованиях УВ. В угольном веществе также наблюдается повышенное содержание серы (пиритной и $S_{\text{орг}}$) в тяжелых его фракциях, включения пирита окружены слоями угля с резко повышенным содержанием $S_{\text{орг}}$, и, кроме того, чем выше содержание FeS_2 , тем больше концентрация S^0 в угле [36]. Это согласуется с данными о характере распределения серы в пирите. В работе [37] с использованием методов электронной спектроскопии и сканирующей зондовой микроскопии показано, что благодаря своей высокой подвижности сера во внешнем металлодефицитном слое FeS_2 находится в различных формах вплоть до элементной, являющейся активным инициатором полимеризационных преобразований УВС. Таким образом, FeS_2 может быть дополнительным поставщиком активной формы серы (S^0), образующей сероорганические структуры, чем и объясняются указанные выше распределения S^0 , $S_{\text{орг}}$ и FeS_2 между фракциями угольного вещества. Прямая связь масштабов угленакопления с повышенным содержанием серы в углях наблюдается для Донецкого региона [36]. Видимо, глубинные флюиды, являющиеся одним из источников угля, характеризуются не только высоким содержанием Ti, но также Fe и S.

Одним из важных аспектов исследования природы углеобразования является выяснение причин нахождения в угольном веществе огромного количества CH_4 , мировые запасы которого составляют 260 трлн м^3 , что сопоставимо или даже превышает запасы обычного природного газа [38, 39]. Проведенные изотопные исследования и использование изотопных критериев [40] показали, что исключительная роль в формировании газоносности углей принадлежит разрывной тектонике и потокам летучих из областей высоких температур. Этот вывод, в свою очередь, позволяет выявить определенную общность процессов abiогенного нефтегенеза и образования угольного вещества.

Библиографический список

1. Голицын М. В., Голицын А. М. Угли мира — ресурсы, добыча, использование // Нефтегазоносные и угленосные бассейны России. — М.: МГУ, 1996. — С. 34–38.
2. Беляев С. С., Леин А. Ю., Иванов М. В. Роль метанообразующих и сульфатредуцирующих бактерий в процессах деструкции органического вещества // Геохимия. — 1981. — № 3. — С. 437–445.
3. Иванкин П. Ф., Назарова Н. И. Глубинная флюидизация земной коры и ее роль в петрарудогенезе, соле- и нефтеобразовании. — М.: ЦНИГРИ, 2001. — 206 с.
4. Гусева А. Н. Состав нефти как источник геолого-геохимической информации // Нефтегазоносные и угленосные бассейны России. — М.: МГУ, 1996. — С. 96–196.
5. Газоугольные бассейны России и мира / М. В. Голицын [и др.]. — М.: РАЕН, 2002. — 249 с.
6. Кусов Б. Р. Углеобразование. Новый взгляд на известные факты // Отечественная геология. — 2010. — № 3. — С. 76–80.
7. Эйгенсон А. С. О количественном исследовании формирования техногенных и природных углеводородных систем с помощью методов математического моделирования // Химия и технология топлив и масел. — 1990. — № 12. — С. 19–25.
8. Нестеров И. И. Проблемы геологии нефти и газа второй половины XX века. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. — 605 с.
9. Хаджиев С. Н., Шпирт М. Я. Микроэлементы в нефтях и продуктах их переработки. — М.: Наука, 2012. — 222 с.
10. Шпирт М. Я., Пуанова С. А. Сравнительная оценка микроэлементного состава углей, нефтей и сланцев // Химия твердого топлива. — 2007. — № 5. — С. 15–29.
11. Холодов В. Н. Ванадий. — М.: Наука, 1968. — 245 с.
12. Холодов В. Н. Осадочный рудогенез и металлогения ванадия. — М.: Наука, 1973. — 275 с.
13. Бгатов А. В. Биогенная классификация химических элементов // Философия науки. — 1999. — № 2. — С. 80–90.
14. Фортескью Дж. Геохимия окружающей среды. — М.: Прогресс, 1985. — 360 с.
15. Шарков Е. В., Богатиков О. А. «Корни» магматических систем крупных континентальных изверженных провинций // Доклады Академии наук. — 2015. — Т. 460. — № 5. — С. 579–584.
16. Сейфуль-Мулюков Р. Б. Нефть и газ: глубинная природа и ее прикладное значение. — М.: Торус пресс, 2012. — 216 с.
17. Маракушев А. А. Миграционная способность и геохимическая систематика металлов // Вестник АН СССР. — 1972. — № 6. — С. 46–51.
18. Коржинский Д. С. Теоретические основы анализа парагенезисов минералов. — М.: Наука, 1973. — 288 с.
19. Мустафин И. С. К проблеме генезиса сернистых нефтей // Докл. АН СССР. — 1948. — Т. 60. — № 6. — С. 1015–1016.
20. Эйгенсон А. С., Шейх-Али Д. М. Закономерности компонентно-фракционного и химического состава нефтей // Химия и технология топлив и масел. — 1988. — № 10. — С. 29–34.
21. Кузьмин М. И., Ярмолюк В. В. Мантийные плюмы Северо-восточной Азии и их роль в формировании эндогенных месторождений // Геология и геофизика. — 2014. — Т. 55, № 2. — С. 153–184.
22. Летников Ф. А. Дегазация Земли как глобальный процесс самоорганизации // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ: матер. междунар. конф. — М.: ГЕОС, 2002. — С. 6–7.
23. Малышев А. И. Особенности поведения серы в магматическом процессе // Доклады Академии наук. — 2000. — Т. 374. — № 5. — С. 675–677.
24. Летников Ф. А., Дорогокупец П. И. К вопросу о роли суперглубинных флюидных систем земного ядра в эндогенных геологических процессах // Доклады Академии наук. — 2001. — Т. 378, № 4. — С. 535–537.
25. Пушаровский Ю. М., Пушаровский Д. Ю. Геология мантии Земли. — М.: ГЕОС, 2010. — 140 с.
26. Слободской Р. М. Элементоорганические соединения в магматогенных и рудообразующих процессах. — Новосибирск: Наука, 1981. — 132 с.
27. Лурье М. А. Возможен ли процесс Фишера — Тропша в геологической среде // Геохимия. — 2014. — № 12. — С. 1130–1132.
28. Реакции серы с органическими соединениями / Под ред. М. Г. Воронкова. — Новосибирск: Наука, 1979. — 364 с.

29. Литвинов В. П. Каскадная гетероциклизация в синтезе производных тиофена и его конденсированных аналогов // Российский химический журнал. – 2005. – Т. 49. – № 6. – С. 11–20.
30. Лурье М. А., Шмидт Ф. К. Серосодержание и металлоносность нефтей как генетические характеристики // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2011. – № 3. – С. 89–93.
31. Lur'e M. A., Shmidt F. K. Interaction of endogenic methane and sulfur: a possible initial stage of condensation conversion and abiogenic genesis of oil // Journal Sulfur Chemistry. – 2007. – Vol. 28, Issue 6. – P. 631–644.
32. Lur'e M. A., Shmidt F. K. Oil. Discussion of origin. Sulfur- and metal content as genetic characteristics. – Germany, Saarbrücken: Lap Lambert Academic Publishing, 2013. – 216 p.
33. Глаголева О. Ф. Технология переработки нефти. Ч. I. Первичная переработка нефти. Ч. I. – М.: Химия, 2006. – 399 с.
34. Еременко Н. А., Чилингар Г. В. Геология нефти и газа на рубеже веков. – М.: Наука, 1996. – 176 с.
35. Крылов О. В. Гетерогенный катализ. – М.: Академкнига, 2004. – 679 с.
36. Юровский А. З. Сера каменных углей. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 295 с.
37. Топохимизм поверхности гидротермального пирита по данным электронной спектроскопии и сканирующей зондовой микроскопии / В. Л. Таусон [и др.] // Геохимия. – 2008. – № 6. – С. 615–628.
38. Дегтярев К. А., Соловьев А. А. Сланцевые горизонты // Наука и жизнь. – 2015. – № 9. – С. 62–68.
39. Кизильштейн Л. Я. Дар и зло природы // Наука и жизнь. – 2015. – № 9. – С. 69–70.
40. Войтов Г. И. О некоторых проблемных вопросах газоносности угольных месторождений // Дегазация Земли и геотектоника: матер. 2-го Всесоюзного совещания. – М.: Наука, 1985. – С. 99–102.

Сведения об авторе

Лурье Михаил Абрамович, д. х. н., старший научный сотрудник Института нефте- и углехимического синтеза, Иркутский государственный университет, г. Иркутск, e-mail: mik-lur@rambler.ru

Information about the author

Lur'e M. A., Doctor of Chemistry, Senior Researcher, Institute of Petroleum and Carbon Chemistry, Irkutsk State University, e-mail: mik-lur@rambler.ru