

Анализ и систематизация представлений о влиянии геолого-геохимических факторов на формирование и нефтегазоносность мегарезервуаров осадочных бассейнов

С.А. Пунанова

Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия
E-mail: punanova@mail.ru

Аннотация. Проанализировано влияние геолого-геохимических факторов на свойства нефтей, насыщающих комбинированные ловушки в различных нефтегазоносных бассейнах. Разработан путь прогноза свойств флюидов (физико-химических, углеводородного и микроэлементного составов), а также фазовое состояние скоплений в ловушках различного строения в связи с вертикальной шкалой нефтегазообразования. Проведена оценка поисковых критериев их выявления, анализ и систематизация представлений о влиянии различных геолого-геохимических факторов на формирование и нефтегазоносность мегарезервуаров. Большую значимость приобретает возможность оценки продуктивности сланцевых формаций и выбор «слабких пятен» геохимическими методами.

Ключевые слова: нафтиды, геохимические исследования, углеводороды, микроэлементы, нефтегазоносные бассейны, мегарезервуары

Для цитирования: Пунанова С.А. Анализ и систематизация представлений о влиянии геолого-геохимических факторов на формирование и нефтегазоносность мегарезервуаров осадочных бассейнов // Актуальные проблемы нефти и газа. 2023. Вып. 3(42). С. 49–67. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2023-42.art4>

Введение

В научном плане важным моментом в современных экономических условиях является следование разработанной ранее и значительно дополненной акад. А.Э. Конторовичем парадигмы развития топливно-энергетического комплекса России. Научные и производственные направления связаны с увеличением геолого-разведочных работ, активизацией и эффективным соединением прикладных разработок и фундаментальных новаций, проведение исследований с учетом научных представлений о процессах формирования и переформирования месторождений углеводородов (УВ) осадочного чехла [1]. Особенно востребованы на современном этапе геохимические исследования, которые способствуют выявлению перспективных

интервалов разреза углеродсодержащих (сланцевых) формаций [1–3].

Особенности генетического типа нефтей и оценка фазового состояния скоплений, заполняющих ловушки комбинированного типа

С учетом рекомендованной автором классификации нефтей нефтегазоносных бассейнов (НГБ) по их обогащенности микроэлементами (МЭ), а также с обозначением глубин и катагенетических параметров процессов нефтегазогенерации в НГБ России и мира предложено прогнозировать состав флюидов, т. е. их физико-химические свойства, металлогению и фазовое состояние скоплений в ловушках разного типа (рис. 1) [4–6].

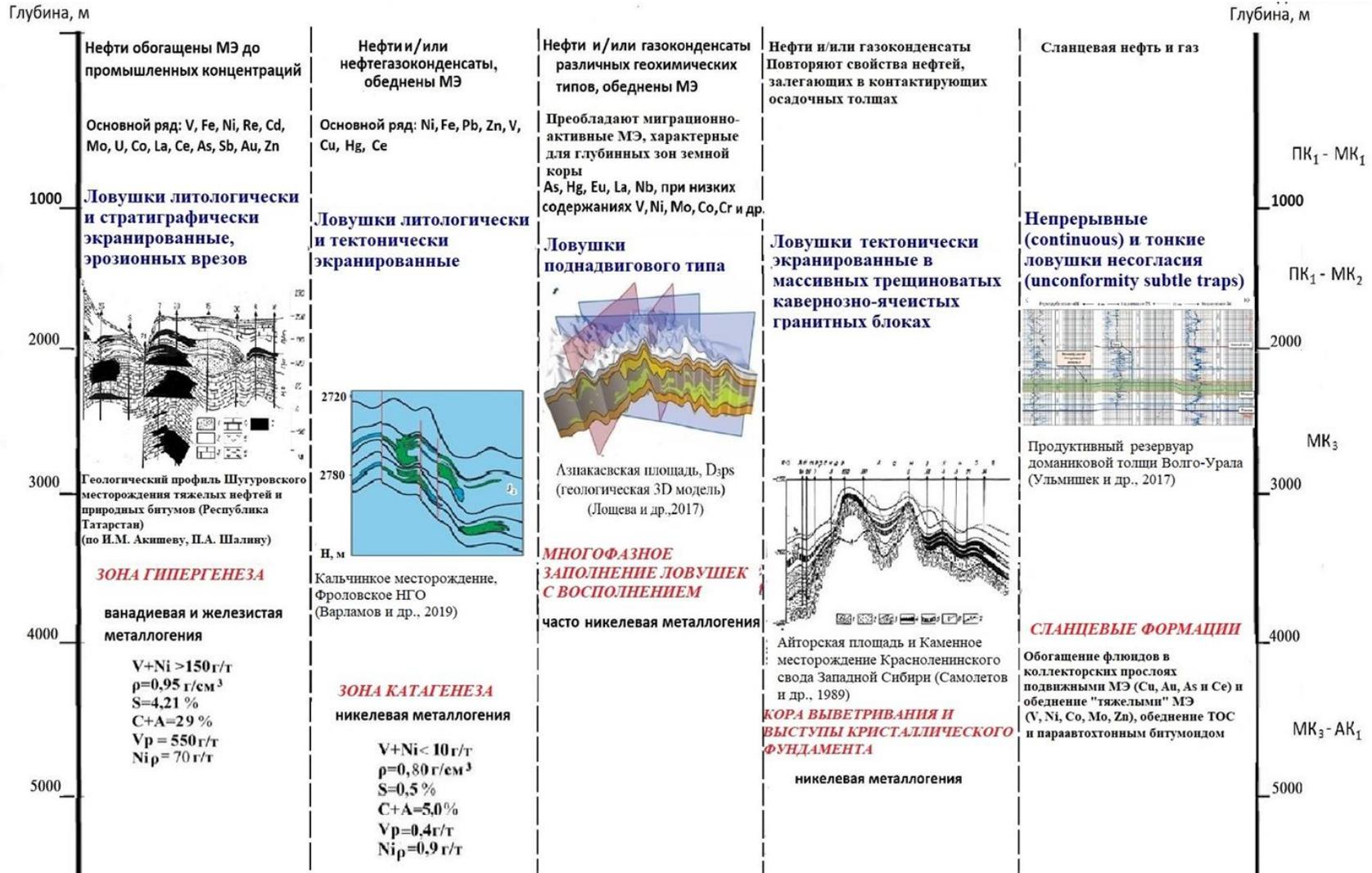


Рис. 1. Схема-модель прогнозной оценки усредненной характеристики нефтяных залежей в связи с процессами нефтегенерации и аккумуляции

На рис. 1 приведена схема-модель свойств нефтяных ловушек на различных уровнях процессов онтогенеза: МК, ПК и АК – мезо, прото и апокатагенез; ρ – плотность нефти; S – содержание серы; C+A – сумма смол и асфальтенов; V_p , Nip – ванадиевый и никелевый металлопорфириновые комплексы (МПК).

В основу модели легли как литературные данные, так и исследования, проведенные непосредственно автором статьи. Показаны нефти, характерные для зон гипергенеза, катагенного преобразования флюидов, сложного многофазного образования скоплений, сланцевых формаций и залежей в образованиях фундамента. Для обобщения использован материал по нефтяным месторождениям различных регионов мира – Афгано-Таджикской депрессии, Бузачинского свода Казахстана, Предкавказья, Тимано-Печорского, Волго-Уральского, Западно-Сибирского НГБ, бассейна Потигуар Бразилии, Венесуэлы и Канады (штат Альберта), Паннонского бассейна (Венгрия), Вьетнама и др.

Мегабассейны, мегарезервуары и их принадлежность к геолого-геохимическим объектам

НГБ признаются мегабассейнами при условии величины накопленной добычи в них свыше 5 млрд баррелей в нефтяном эквиваленте. Поиски наиболее перспективных земель при внедрении новых цифровых технологий приурочены к шельфовым зонам Арктических морей, к глубоководным горизонтам осадочных бассейнов, к выступам кристаллического фундамента, к недоизученным областям молодых и древних

плит. Классификации седиментационных бассейнов, а в их рамках НГБ по площади, объему осадочного выполнения, величине начальных потенциальных геологических ресурсов углеводородов, соотношению в бассейне массы жидких и газообразных УВ и т. д. и целесообразности вычленения класса мегабассейнов предлагались в классических работах исследователей [7–12].

Представляется, что понятие мегарезервуара, рекомендованное учеными-классиками, несколько устарело в связи с открытием месторождений нефти и газа в нетрадиционных коллекторах. И в этих условиях не всегда соблюдается это, казалось бы, необходимое условие существования резервуара УВ – наличие емкости-коллектора и крышки, так как площади мегарезервуаров имеют более широкий охват, объединяя и нефтесборные территории, содержащие отложения, генерирующие УВ, и их аккумулярующие (сланцевые формации, битумные пески и т. д.).

По мнению автора, мегарезервуары в осадочных бассейнах представлены природными скоплениями в различных геолого-геохимических средах. Это четыре типа мегарезервуаров: в традиционных коллекторах НГБ и в нетрадиционных коллекторах – высоковязкие тяжелые нефти и природные битумы, сланцевые формации и разуплотненные коллекторы выступов фундамента. Детальная характеристика подобных резервуаров с характерными примерами дана в работах автора [13–17]. Особенности геолого-геохимических объектов, аккумуляющих крупные и гигантские нефтяные и газовые скопления, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Схема-модель природных резервуаров

Характеристика резервуара и примеры	Мегарезервуары			
	Традиционные скопления	Нетрадиционные скопления	Смешанные скопления	
Тип нефтяной системы	Обычная пластовая нефтяная система	Нефтяная и/или газовая система (tight petroleum system)	Нефтематеринская (или исходная) нефтяная система	Сочетание обычной пластовой нефтяной и нефтяной и/или газовой систем
Тип коллектора	Прерывистые резервуары, географически дискретны	Квазинепрерывные или вторично прерывистые резервуары в плотных низкопроницаемых коллекторах, аккумулирующие тяжелые нефти и природные битумы	Непрерывные резервуары низкопоровых коллекторов сланцевых формаций (tight petroleum system)	Прерывистые резервуары, географически дискретны; квазинепрерывные в разуплотненных порово-кавернозных коллекторах эрозионных выступов кристаллического фундамента
Характерные регионы и нефтегазоносные комплексы (НГК)	Западно-Сибирский НГБ, апт-альб-сеноманский НГК (покурская свита с продуктивными пластами ПК1-24), сложенный континентальными угленосными и прибрежно-морскими фациями	Волго-Уральский (Республика Татарстан) и Восточно-Сибирский НГБ, Прикаспийский (Республика Казахстан) регион, Западно-Канадский и Венесуэльский НГБ. Кварцевые пески нижнемелового возраста на слоне Канадского щита. Нижнепермский и верхнепермский комплекс Татарстана	Тимано-Печорский, Волго-Уральский, Западно-Сибирский НГБ. Доманик, баженовский гор-т. Нефтяной потенциал доманиковой толщи [18] – 143,6 млрд т, газовый – 59,8 трлн м ³ , остаточный 98,2 млрд т нефти и 24,2 трлн м ³ газа	Вьетнам, Ливия, Йемен, Венесуэла, Англия, Казахстан, Индонезия, Россия. От докембрийских гранитов до гранитоидов олигоценного возраста
Месторождения-гиганты	Медвежье, Ямбургское, Заполярное, Уренгойское, Русское, Бованенковское	Ашальчинское, Шугуровское, Горское, Оленекское, С. Бузачи, Вабаска, Пис-Ривер, Колд-Лейк	Марцелла, Барнетт, Баккен, Черный гигант, Гуанъань	Субан, Белый Тигр, Мара, Оймаша, Ланкастер, Ауджила Нафура, Набрайя, Ла Пас
Природные факторы, влияющие на масштабность скоплений УВ в мегарезервуарах осадочного бассейна	Благоприятные сочетания геодинамических, литофациальных и геохимических процессов генерации, миграции, аккумуляции и сохранности залежей, «отличные» нефтематеринские свиты с соответствующими генерационными показателями и значительные объемы осадочного выполнения бассейна	Восходящие движения как регионального, так и локального плана и активная субвертикальная или восходящая латеральная миграция УВ по пластам, открытым к зонам гидрогеологической разгрузки, способствуют попаданию нефтей в зоны гипергенеза. Основная движущая сила этих процессов – геодинамическая активность НГБ и первичная высокая нефтегенерация исходных нефтематеринских свит	Тектонические и палеофациальные обстановки морского мелководного или глубоководного бассейна некомпенсированного прогибания с ураганным накоплением ОВ и последующей катагенетической преобразованностью до стадии нефтяного или газонефтяного окна при влиянии вулканических и гидротермальных процессов	Совмещение больших объемов разуплотненных с хорошими фильтрационно емкостными свойствами коллекторов в выступах фундамента и больших объемов осадочного выполнения и площадей исходных нефтематеринских отложений, способных генерировать большие массы УВ

Природные битумы и высоковязкие нефти обогащены ценными, промышленно значимыми МЭ. Концентрации микроэлементов распределяются по различным фракциям нефтеперегонки. Максимальное количество их связано с мазутами (Ba, Sr, Ce, Pr, Nd, Yb, U, Hg, Ge, As), гудронами (Co, Mo, Se, Te, Ga, Ag, Re), битумами (Rb, Be, B, Mg, Al, Sc, Y, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Zr, Nb, Rh, Cu, Zn, Sb). Высокие концентрации Mo, Ni, Re, V и Se, представляющие промышленный интерес, накапливаются в органической части битумов, из которой они могут быть извлечены. О высоких концентрациях редкоземельных, рассеянных и благородных металлов свидетельствуют данные изучения матричной нефти Оренбургского месторождения [19]. В составе высокомолекулярных компонентов выявлено (в тоннах, в пересчете на запасы) 153091,7 V; 37699,8 Ni; 1105,4 Ga; 382,0 Li и др. элементов.

Особую значимость приобретает обогащенность природных битумов и тяжелых нефтей до рудных промышленных масштабов ванадием, важным элементом, необходимым во многих производственных процессах. Так, запасы V, извлекаемые из битумных песков Канады, составляют 3969,9 тыс. т, а из тяжелых нефтей «Пояса Ориноко» в Венесуэле – 16 720 тыс. т, что по расчетам составляет 45% от объема его общемирового производства из рудного сырья. Содержания V и Ni в природных битумах из пермских отложений Татарского свода и Мелекесской впадины очень высоки. На рис. 2 представлены концентрации V и Ni и отношения V/Ni в природных битумах от нижнепермских до казанского яруса верхнепермских отложений. Максимальные средние концентрации V и Ni выявлены в битумах нижнепермских отложений (V = 910 г/т; Ni = 177 г/т).

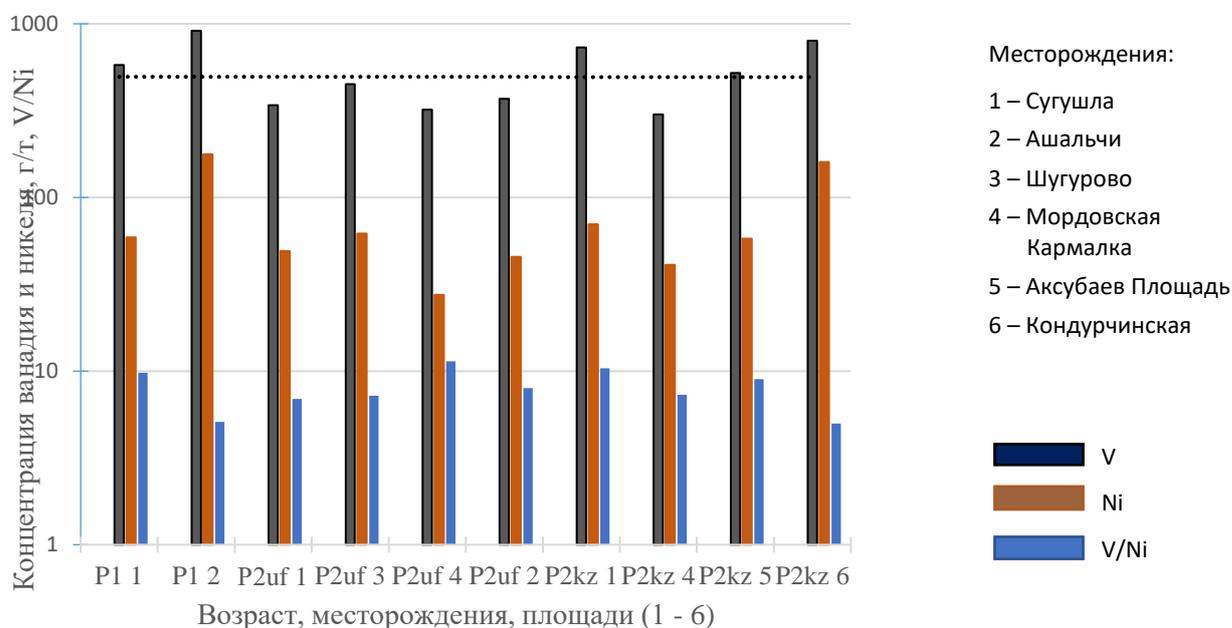


Рис. 2. Распределение V и Ni в битумах из пермских отложений Татарстана (по аналитическим данным [20])

Прогноз поисков крупных и гигантских по запасам скоплений УВ

При оценке перспектив нефтегазоносности территорий осадочных бассейнов встает вопрос о крупности ожидаемых скоплений. Прогноз поисков крупных и гигантских по запасам скоплений УВ сырья является актуальной народно-хозяйственной проблемой, особенно в настоящих сложных условиях передела рынков энергетических ресурсов и соответственно в связи с этим цен на нефть и газ [12, 18]. Анализ научных публикаций по прогнозу УВ скоплений в мегарезервуарах можно объединить в несколько направлений: 1) общие оценки масштабности резервуаров НГБ мира по ряду геолого-геохимических признаков; 2) оценка количественных критериев месторождений-гигантов нефти с применением геолого-математического моделирования; 3) прогноз объектов нефтескоплений в сланцевых формациях геохимическими методами.

Геолого-геохимические процессы, обуславливающие формирование и нефтегазоносность мегарезервуаров осадочных бассейнов

Наиболее полный анализ открытия мегарезервуаров с гигантскими запасами отдельно нефти и газа в мегабассейнах мира к 2021 году приведен в работах [21, 22]. Из 555 бассейнов мира месторождения-гиганты выявлены в 15 бассейнах с мощностью осадочного чехла более 5 км и достаточно глубоко залеганием фундамента. Наибольшее число месторождений-гигантов открыто в бассейне Персидского залива – 36, в Западно-Сибирском бассейне – 9, Прикаспийском – 5, Маракайбо – 3. В остальных 11 бассейнах (Волго-Уральском, Лено-Вилуйском, Баренцевоморском, Амударьинском, Сунляо,

Североморском, Алжиро-Ливийском, Мексиканского залива, Западном Внутреннем, Арктического склона Аляски, Рувума, Мозамбик) обнаружено по 1–2 месторождений-гигантов. К 2021 г. выявлено 42 нефтяных месторождений-гигантов с суммарными начальными запасами 112,1 млрд т, или 30,1% от запасов всех месторождений мира и 25 месторождений-гигантов, что составляет 36,2% мировых запасов. Самые крупные мегабассейны по этим параметрам, такие как Арабо-Персидский, Западно-Сибирский и Восточно-Сибирский являются наиболее богатыми и по запасам УВ сырья. Так, только на мегабассейны Персидского залива и Западно-Сибирского региона приходится 95,3 млрд т нефти (85% запасов всех месторождений-гигантов мира) и 64,7 трлн м³ газа (57,4% запасов гигантских газовых месторождений) [21, 22].

Отмечается, что бассейны с большим объемом пород осадочного выполнения и большой площадью имеют и большие запасы. На основании анализа 195 НГБ мира сделано заключение [23], что с увеличением объема осадочного выполнения седиментационного бассейна растет величина начальных потенциальных геологических ресурсов (рис. 3).

Поисковыми критериями высоко-масштабных по запасам скоплений УВ в верхнем продуктивном комплексе Западно-Сибирского НГБ, кроме высоких содержаний углистого типа органических веществ (ОВ), катагенетических преобразований в диапазоне нефтяного окна, больших площадей нефтематеринских свит, являются также особенности геодинамических процессов. Образование уникальных по запасам месторождений в этом регионе обусловлено наличием крупных и гигантских структурных ловушек.

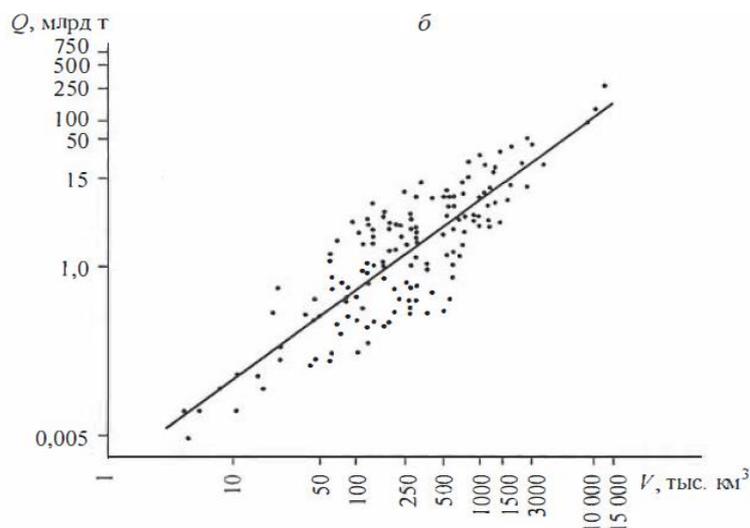


Рис. 3. Зависимость величины начальных потенциальных геологических ресурсов Q (млрд т) УВ от объема осадочного выполнения седиментационных бассейнов V (тыс. км³)

Как отмечают многие исследователи, тектоника северных и арктических регионов в неоген-четвертичное время была на несколько порядков активнее центральных, и именно здесь проявились интенсивные структурно-формационные движения с образованием поднятий-ловушек с амплитудами более 200 м. Вероятно значительное воздымание, способствующее выделению растворенного газа, а также активизация геодинамических движений, приведшее к формированию крупных структур-ловушек типа мегавалов, валов, куполовидных поднятий и др., являлись благоприятными факторами для образования здесь уникальных и гигантских месторождений [16, 24, 25].

На примере бассейнов эпигерцинских плит показана необходимость учета большого количества факторов, контролирующих формирование зон, богатых нефтью, нефтью и газом, конденсатным газом, сухим газом и объединенных в пять групп [26]. Это тектонический (8 показателей), литологический (5 показателей), гидрогеологический (2 показателя), геохимический (5 показа-

телей) и термодинамический (2 показателя). Основными из совокупности этих факторов являются: мощность осадочного чехла, особенно мощность фанерозойских отложений; особенности истории развития и контрастность локальных структур; наличие в разрезе небольшого числа надежно изолированных мега- и региональных резервуаров; наличие в составе проницаемого комплекса достаточно большого количества песчано-алевритового материала; существование в настоящее время или в прошлом крутых (вплоть до вертикальных) участков подъема подземных вод, что в значительной мере способствует выделению УВ в свободную фазу; наличие в разрезе больших масс осадочных пород, богатых ОВ, которое может быть источником нефти и газа; достаточная катагенетическая превращенность ОВ.

В качестве основных из главных рекомендуемых показателей формирования месторождений нефти и газа с гигантскими скоплениями предлагаются следующие благоприятные геолого-геохимические факторы [21, 22, 24].

1. Обогащенность осадочной толщи ОВ, однако, определяющим является не количество его в единице объема, а абсолютная масса.

2. Наличие в пределах нефтегазосборной территории зоны нефтегазонакопления осадочных толщ — генераторов больших масс УВ.

3. Близость зоны нефтегазонакопления к зоне максимального прогибания, т. е. к зоне наиболее интенсивной и длительной генерации нефти и газа.

4. Преобладание процессов генерации и аккумуляции УВ в течение всей истории седиментационного бассейна над процессами их рассеивания из ловушек.

5. Наличие в резервуаре, содержащем основную часть ресурсов УВ на месторождении, надежного глинистого или эвапоритового регионального или межрегионального флюидоупора, обеспечивающего благоприятные условия для аккумуляции УВ и сохранения их залежей.

6. Связь крупных скоплений нефти и газа с большими по емкости ловушками, сформировавшимися ко времени, когда соответствующий комплекс переживал главную фазу нефтенакопления или один из периодов интенсивного газообразования.

Необходимо подчеркнуть, что только комплексный анализ процессов онтогенеза скоплений УВ может ответить на вопрос о возможности формирования мегарезервуаров УВ.

Количественные критерии прогноза нефтегазоносности

Количественные критерии прогноза нефтегазоносности на основе детального анализа геолого-геохимических данных по большинству НГБ разработаны в ряде работ

А.Э. Конторовича с соавторами и др. [7, 23, 27], а применение и методические разработки продолжены и развиты в последующих многочисленных работах российских исследователей. Оценка количественного прогноза нефтегазоносности при использовании статистических методов аналитических данных (регрессионные, корреляционные и логико-дискретные зависимости) основана на моделировании закономерностей размещения залежей нефти и газа. Построенные с привлечением подобных расчетов карты прогнозной оценки перспектив нефтеносности отдельных нефтегазосодержащих толщ и на их основе – сводные карты для всего НГБ, позволяют решить задачу оценки потенциальных ресурсов нефти и газа в пределах всего бассейна и наметить зоны высоких запасов в резервуарах осадочного чехла. При изучении мегарезервуаров различных районов мира методами геолого-математического моделирования каждое месторождение описано 99 параметрами (свойствами) [28, 29]. Выделено пять групп свойств, которые характеризуют практически весь разрез продуктивной толщи – ее нефтесодержащий проницаемый комплекс, отложения, расположенные выше и ниже по разрезу, а также геотектоническую обстановку. Очевидно, что наибольшую информативность среди рассмотренных групп свойств имеет характеристика нефтесодержащего коллектора, а далее по значимости следуют тектоническая обстановка и толщина, подстилающая коллектор.

Количественный прогноз нефтеносности проводится также по данным битуминологических исследований. В основе прогноза – картирование нефтепроизводящих отложений и оценка их нефтепроизводящего потенциала [30].

В многочисленных работах конца прошлого столетия и в последующих современных работах, основанных на детальном геохимическом исследовании ОБ, битумоидов и нефтей, публикуются карты количества УВ, эмигрировавших с 1 км² нефтепроизводящей толщи различных нефтегазоносных комплексов Западно-Сибирского и Восточно-Сибирского и других НГБ России и карты генерации УВ, которые востребованы и в текущих условиях поисков крупных месторождений нефти и газа. Прогнозные оценки масштабов скопления, сводятся к следующему: 1) при масштабах эмиграции нефти меньше 200–400 тыс. т/км² аккумуляция их в промышленной залежи, судя по материалам изученных районов Западной Сибири, не происходит; 2) с ростом масштабов эмиграции УВ коэффициенты аккумуляции растут; 3) с улучшением коллекторских свойств и выдержанности проницаемых горизонтов коэффициенты аккумуляции увеличиваются.

***Прогноз объектов нефтескоплений
в сланцевых формациях
геохимическими методами***

Проблема выявления зон расположения и прогноза продуктивности углеродсодержащих (сланцевых) толщ с их непрерывными резервуарами до настоящего времени остается спорной, ввиду того, что нефтесборные интервалы разреза сланцевых формаций не имеют четких границ. Отмечается [31], что обогащенные органикой радиоляритовые, сланцевые, карбонатные толщи баженовской, доманиковой, хадумской и куонамской свит, выявление залежей в которых является не только геологической, но и технологической задачей, обособляются в особую группу

нестандартных ловушек. Именно геохимические методы исследования способны учитывать весь спектр генетических факторов, контролирующих образование месторождений – от очага генерации до ловушки. И именно геохимические методы в данном случае играют важную определяющую роль при оценке их продуктивности [32].

В настоящее время разрабатываются геохимические показатели продуктивных интервалов разреза и масштабов скопления сланцевых формаций, используемые при выделении наиболее оптимальных условий добычи нефтяных УВ, т.е. для прогноза и оконтуривания нефтепродуктивных нефтесборных участков (экономически и экологически выгодных). Это – характер окислительно-восстановительных процессов, степень катагенеза исходного ОБ, гидротермальные воздействия, увеличивающие пористость, дифференциация УВ и МЭ составов мигрирующих флюидов и др. В продуктивных интервалах разреза скапливается параавтохтонная органика, т.е. эпигенетичный подвижный миграционный битумоид, а в непродуктивных – остаточная автохтонная органика, т.е. сингенетичный битумоид. В табл. 3 показаны сгруппированные автором геохимические показатели продуктивных интервалов разреза сланцевых формаций в сравнении с непродуктивными по материалам [32–37].

Установленная связь между нефтенасыщенностью пород и геохимическими показателями дает возможность прогнозировать интервалы нефтескопления внутри общей исходно нефтематеринской сланцевой толщи. А по некоторым показателям по данным ГИС даже при отсутствии керн [36].

Практический результат проводимых фундаментальных исследований, т. е. возможность по геохимическим данным выделять нефтенасыщенные протяженные

пласты, используется при разработке баженовских отложений в компании «Салым Петролеум Девелопмент Н.В.» [38].

Таблица 3

Вероятностная схема геохимических показателей (усредненные показатели) выявления продуктивных интервалов разреза сланцевых отложений на примере баженовских и доманиковых отложений (по материалам [32–37])

Геохимические показатели битумоидов (экстракты из пород)	Виды аналитических исследований	Продуктивные интервалы сланцевых отложений	Непродуктивные интервалы сланцевых отложений
β – коэффициент битуминозности: $\beta=C/C_{орг},\%$, где C содержание битумоида	Битуминологический анализ	Низкие величины β $\beta =7-8\%$	Высокие величины β β до 30%
$C_{орг}$ и ТОС	Пиролиз Roc-Eval	Обедненные $C_{орг}$, но контактирующие с высокообогащенными $C_{орг}$ (ТОС) пачками пород	Высокообогащенные ОВ (> 10 % современного содержания ТОС)
Коэффициент метаморфизма $k_i = (П+Ф)/(Н-C_{17}+Н-C_{18})$	Хроматографический анализ УВ состава	0,1–0,3	0,8
Концентрация МЭ в битумоидах, ассоциированных с тяжелыми асфальто-смолистыми компонентами (V, Ni, Co, Mo); ассоциированных с легкими, масляными УВ компонентами (Cu, Fe, As, Pb) Концентрационный ряд Концентрация МПК на битумоид – доманик баженовская свита	Микроэлементный анализ	Низкая концентрация $V=120$ г/т; $Ni=0,6$ г/т Высокая концентрация $Cu=9,5$ г/т $Zn>V>Fe>Pb>Cu>Ni>Co$ < 0,01% (низкая концентрация или отсутствуют) отсутствуют	Высокая концентрация $V=1040$ г/т; $Ni=3,6$ г/т Низкая концентрация $Cu=1,7$ г/т $V>Zn>Ni>Fe>Pb>Cu$ Co 0,1–1% (высокая) 2–3 %
Ароматические каротиноиды ОВ: Кас1 Кас2	Биомаркерный анализ	0,7–1 0,41–0,44	>1, 0 0,45
Влияние катагенетической зрелости керогена на емкостные свойства пород	Пиролиз, сканирующая электронная микроскопия; люминесцентная микроскопия	Наличие прочных кремнистых или карбонатных разностей в составе минерального каркаса, препятствующих закрытию пор под влиянием горного давления, минералов, стимулирующих преобразование керогена; высокая катагенетическая зрелость	Низкие величины кремнисто-карбонатных разностей, низкая катагенетическая зрелость

Заключение

1. Дана качественная оценочная характеристика УВ флюидов (физико-химические свойства, УВ состав, металлогеническая специализация и фазовое состояние скоплений), аккумулирующихся в сложных неантиклинальных ловушках. Геохимический тип нефти прогнозируется на основе типизации нефтей по их микроэлементному составу и расположения залежи относительно шкалы флюидообразования, определяющей процессы онтогенеза УВ.

2. Систематизированы и обновлены представления о формировании и нефтегазоносности мегарезервуаров в различных геолого-геохимических средах. Предложено расширить понятие «мегарезервуары», как аккумуляторов гигантских по запасам скоплений нефти и газа, и впервые рассматривать традиционные скопления–мегарезервуары и нетрадиционные скопления–мегарезервуары, связанные плохопроницаемыми низкопоровыми отложениями – это скопления тяжелых высоковязких промышленно ванадиеносных нефтей и природных битумов, резервуары самих сланцевых формаций, а также скопления в разуплотненных порово-кавернозных отложениях эрозионных выступов кристаллического фундамента.

3. Рассмотрено влияние различных геолого-геохимических факторов на формирование и нефтегазоносность мегарезервуаров осадочных бассейнов. Наиболее изучены причины насыщения мегарезервуаров в традиционных ловушках осадочного чехла. Это достаточно ожидаемые и объяснимые – значительные величины площади бассейнов и объемов пород нефтесборных площадей, объемные ловушки и мощные толщи экранирующих

отложений, необходимые для высокой генерации, геохимические условия (содержание ОВ, значительная прогретость – стадии нефтяного или газового окна); высокая сохранность скоплений. Более сложна и пока не достаточно изучена картина прогноза скоплений с уникальными и гигантскими запасами, связанными с нетрадиционными коллекторами.

4. Проведена оценка концентраций МЭ в тяжелых нефтях и природных битумах. Промышленно ванадиеносные скопления–мегарезервуары, аккумулирующие гигантские запасы УВ, рассматриваются как комплексное сырье добычи нефти и/или газа и сопутствующих им рудных металлов. Это имеет значение для повышения эффективности работ и привлечения инвесторов к финансированию проектов. На современном уровне развития нефтегазового комплекса России проблема восполнения ресурсов, оценка и прогноз качества нефти являются острейшими и дискуссионными в научном, экономическом и геополитическом аспектах. Возможность извлечения из нефтей металлов, цены на которые непрерывно повышаются, привлекают нефтяные компании. При зеленой повестке развития производств, при декарбонизации мировой экономики возникает острая потребность в дополнительном количестве ценных и редких металлов, таких как Li, Al, Ti, Co, Ni, в связи с необходимостью конструирования именно металлических деталей для использования возобновляемых источников энергии, цены на которые непрерывно возрастают [39]. И сейчас в условиях нарастающего энергетического кризиса необходимо проектирование нефтеперерабатывающих заводов с возможным извлечением ценных и промышленно важных металлов из добываемого сырья.

5. Установлена связь между нефтенасыщенностью пород сланцевых формаций и геохимическими показателями, которая дает возможность прогнозировать интервалы нефтескоплений внутри общей исходно нефтематеринской толщи. Впервые выявлены и рекомендованы для оценки прогнозных показателей данные о МЭ составе нафтидов, которые наравне с изменениями их УВ состава являются маркерами прогноза продуктивности резервуаров исследуемых формаций. Необходимым условием применения определенных УВ и МЭ показателей является, на взгляд автора, равные условия сравнения, а именно близость катагенетического преобразования и учет окислительно-восстановительного потенциала.

Для образования мегарезервуаров (месторождений-гигантов) необходимо совмещение благоприятных факторов широкого круга природных процессов генерации, миграции, аккумуляции и сохранности скоплений, и все субстанции должны быть мегамасштабными, т. е. совмещение генерации мегамасс УВ с нефтесборных осадочных мегаплощадей, образование природного мегарезервуаро-ловушки и надежной мощной мегапокрышки. Такие процессы подробно проанализированы на примерах Западно-Сибирского и Арабо-Персидского бассейнов. Однако разрыв этой цепочки, сбой процессов формирования залежи нефтяного или газового скопления, также может привести к образованию гигантских месторождений. Это – мегарезервуары битумных песков и твердых

битумов. При этом необходимы восходящие движения в НГБ, процессы воздымания и тектонических перестроек, способствующие активной субвертикальной или восходящей миграции УВ и выходу их в близповерхностные зоны гипергенного преобразования и биодеградаци и масштабные латеральные перетоки. Для формирования мегарезервуаров в фундаменте, кроме больших объемов разуплотненных с хорошими фильтрационно-емкостными свойствами коллекторов, необходимы большие площади исходных нефтематерианских отложений с высокими генерационными свойствами.

Мегарезервуары сланцевых формаций, охватывающих практически полный объем распространения отложений, формируются при определенных тектонических и палеофациальных обстановках морского мелководного или глубоководного бассейна некомпенсированного прогибания с ураганым накоплением ОВ и последующей катагенетической преобразованием его до стадии нефтяного или газонефтяного окна при влиянии вулканических и гидротермальных процессов.

И только комплексный подход, интегрирование геохимических, геологических, геофизических, гидрогеологических и др. методов исследования даст эффективный результат. Геохимические исследования должны быть неотъемлемым элементом общего комплекса работ по поискам мегарезервуаров, разведке и разработке месторождений УВ сырья и прогнозу ловушек комбинированного типа.

Статья написана в рамках выполнения государственного задания ИПНГ РАН (тема «Научно-методические основы поисков и разведки скоплений нефти и газа, приуроченных к мегарезервуарам осадочного чехла», 122022800253-3).

Литература

1. *Конторович А.Э., Эдер Л.В.* Новая парадигма стратегии развития сырьевой базы нефтедобывающей промышленности Российской Федерации // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2015. № 5. С. 8–17.
2. *Дахнова М.В.* Применение геохимических методов исследований при поисках, разведке и разработке месторождений углеводородов // Геология нефти и газа. 2007. № 2. С. 81–89.
3. *Куклинский А.Я., Штунь С.Ю., Морошкин А.Н.* и др. Применение методов резервуарной геохимии при оценке вклада в добываемую продукцию каждого из двух совместно эксплуатирующийся пластов, содержащих разные по молекулярному составу нефти // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2021. № 1(349). С. 39–43. [https://doi.org/10.33285/2413-5011-2021-1\(349\)-39-43](https://doi.org/10.33285/2413-5011-2021-1(349)-39-43)
4. *Пунанова С.А.* Актуальность картирования неантиклинальных ловушек и особенности их классификаций // Актуальные проблемы нефти и газа. 2020. Вып. 3(30). С. 13–25. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2020-30.art2>
5. *Пунанова С.А.* Геохимические особенности углеводородных флюидов в неантиклинальных ловушках // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2021. № 10(358). С. 15–21. [https://doi.org/10.33285/2413-5011-2021-10\(358\)-15-21](https://doi.org/10.33285/2413-5011-2021-10(358)-15-21)
6. *Пунанова С.А.* О характерных особенностях нафтидов в связи с процессами формирования залежей // Георесурсы. 2021. Т. 23, № 4. С. 107–115. <https://doi.org/10.18599/grs.2021.4.12>
7. *Конторович А.Э., Фотиади Э.Э., Демин В.И.* и др. Прогноз месторождений нефти и газа. М.: Недра, 1981. 350 с.
8. *Вассоевич Н.Б., Архипов А.Я., Бурлин Ю.К.* и др. Нефтегазоносный бассейн – основной элемент нефтегеологического районирования крупных территорий // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 1970. № 5. С. 13–24.
9. *Хаин В.Е., Соколов Б.А.* Современное состояние и дальнейшее развитие учения о нефтегазоносных бассейнах // Современные проблемы геологии и геохимии горючих ископаемых: Сб. ст. М.: Наука, 1973. С. 94–108.
10. *Абукова Л.А., Филиппова Д.С., Исаева Г.Ю., Сафарова Е.А.* Геофлюидодинамическая спецификация мегарезервуаров нефти и газа // SOCAR Proceedings. 2022. № S2. С. 57–68. <https://doi.org/10.5510/OGP2022SI200725>
11. *Еременко Н.А., Чилингар Г.В.* Геология нефти и газа на рубеже веков. М.: Наука, 1996. 176 с.
12. *Шустер В.Л.* Особенности формирования и размещения крупных и гигантских по запасам месторождений нефти и газа в мегарезервуарах осадочных бассейнов // SOCAR Proceedings. 2022. № S2. С. 30–38. <https://doi.org/10.5510/OGP2022SI200723>
13. *Пунанова С.А.* Мегарезервуары углеводородов – аккумуляторы гигантских по запасам скоплений нефти и газа // SOCAR Proceedings. 2022. № S2. С. 39–51. <https://doi.org/10.5510/OGP2022SI200724>
14. *Пунанова С.А.* Нефтегазоносность кристаллического фундамента с учетом развития в нем неструктурных ловушек комбинированного типа // Георесурсы. 2019. Т. 21, № 4. С. 19–26. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.4.19-26>
15. *Пунанова С.А., Виноградова Т.Л.* Сравнительная характеристика природных углеводородных систем различного генезиса // Нефтехимия. 2016. Т. 56, № 4. С. 326–336.

16. Пуанова С.А., Самойлова А.В. Углеводородные мегарезервуары апт-сеноманских отложений северных регионов Западной Сибири // Экспозиция Нефть Газ. 2022. № 4(89). С. 15–19. <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2022-4-15-19>
17. Пуанова С.А. Промышленно ванадиеносные тяжелые нефти и природные битумы: мегарезервуары в нетрадиционных коллекторах // Рассохинские чтения: Материалы Международной конференции. Ухта: Изд-во УГТУ, 2023. С. 73–78.
18. Сеница Н.В., Прищепина О.М. Концептуальная модель формирования зоны нефтегазоаккумуляции в пределах палеозойского основания юго-востока Западно-Сибирского бассейна // Актуальные проблемы нефти и газа. 2023. Вып. 1(40). С. 14–26. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2023-40.art2>
19. Дмитриевский А.Н., Скибицкая Н.А., Гафаров Н.А. и др. Трудноизвлекаемый ресурсный потенциал газовой части нефтегазоматеринских карбонатных отложений нефтегазогазоконденсатных месторождений на поздних стадиях разработки на примере Оренбургского НГКМ // Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности: Сб. трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 35-летию ИПНГ РАН. М.: Институт проблем нефти и газа РАН, 2022. С. 67–72.
20. Каюкова Г.П., Петров С.М., Успенский Б.В. Свойства тяжелых нефтей и битумов пермских отложений Татарстана в природных и техногенных процессах. М.: ГЕОС, 2015. 343 с.
21. Высоцкий В.И., Скоробогатов В.А. Гигантские месторождения углеводородов России и мира. Перспективы новых открытий // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2021. № 1–6(175). С. 20–25.
22. Скоробогатов В.А. Крупнейшие, гигантские и уникальные осадочные бассейны мира и их роль в развитии газовой промышленности в XXI веке // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2018. № 10(82). С. 126–141.
23. Конторович А.Э. Геология нефти и газа: Избранные труды: В 3 т. Т. 3. Методы прогноза нефтегазоносности. Планирование геолого-разведочных работ. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2008. 331 с.
24. Скоробогатов В.А. Генетические причины уникальной газо- и нефтеносности меловых и юрских отложений Западно-Сибирской провинции // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2003. № 8. С. 8–14.
25. Карогодин Ю.Н. Пространственно-временные закономерности концентрации гигантских скоплений нефти и газа Западной Сибири (системный аспект) // Георесурсы. 2006. № 1(18). С. 28–30.
26. Анализ влияния различных факторов на размещение и формирование месторождений нефти и газа (на примере платформенных областей) / Под ред. В.С. Лазарева, В.Д. Наливкина. Л.: Недра, 1971. 334 с. (Труды ВНИГРИ. Вып. 295).
27. Вышемирский В.С., Конторович А.Э., Трофимук А.А. Миграция рассеянных битумоидов. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1971. 167 с. (Труды института геологии и геофизики. Вып. 143).
28. Трофимук А.А., Вышемирский В.С., Дмитриев А.Н. и др. Распознавание образцов гигантских нефтяных месторождений // Проблемы нефтеносности Сибири: Сб. ст. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1971. С. 34–50.
29. Вышемирский В.С., Дмитриев А.Н., Трофимук А.А. Поисковые признаки гигантских нефтяных месторождений: Специальный доклад к VIII Мировому нефтяному конгрессу. М., 1971. 16 с.

30. *Конторович А.Э., Бабина Н.М., Богородская Л.И., Винокур Б.Г.* Нефтепроизводящие толщи и условия образования нефти в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности. Л.: Недра, 1967. 224 с.

31. *Варламов А.И., Шиманский В.В., Танинская Н.В.* и др. Состояние проблемы поисков и перспектив выявления неструктурных ловушек углеводородов основных нефтегазоносных провинций России // Геология нефти и газа. 2019. № 3. С. 9–22. <https://doi.org/10.31087/0016-7894-2019-3-9-22>

32. *Пунанова С.А.* Оценка микроэлементного состава нафтидов – необходимый этап нефтехимических исследований // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2022. № 2(122). С. 56–63.

33. *Ступакова А.В., Калмыков Г.А., Коробова Н.И.* и др. Доманиковые отложения Волго-Уральского бассейна – типы разреза, условия формирования и перспективы нефтегазоносности // Георесурсы. 2017. № 5. С. 112–124. <https://doi.org/10.18599/grs.19.12>

34. *Прищепина О.М., Баженова Т.К., Никифорова В.С.* и др. Уточнение геохимических особенностей распределения органического вещества в доманиковых отложениях Тимано-Печорской НПП. Успехи органической геохимии: Материалы 2-й Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых, посвященной 120-летию со дня рождения Н.Б. Вассоевича и 95-летию со дня рождения С.Г. Неручева. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2022. С. 212–215. <https://doi.org/10.25205/978-5-4437-1312-0-212-215>

35. *Скворцов М.Б., Дахнова М.В., Можегова С.В.* и др. Роль геохимических методов в прогнозе нефтеносности и оценке ресурсного потенциала черносланцевых толщ (на примере баженовской свиты) // Геология и геофизика. 2017. Т. 58, № 3–4. С. 495–503. <https://doi.org/10.15372/GiG20170312>

36. *Остроухов С.Б., Пронин Н.В., Плотникова И.Н., Хайртдинов Р.К.* Новый метод «геохимического каротажа» для изучения доманиковых отложений // Георесурсы. 2020. Т. 22, № 3. С. 28–37. <https://doi.org/10.18599/grs.2020.3.28-37>

37. *Абукова Л.А., Юсупова И.Ф., Абрамова О.П.* Роль органического вещества сланцевой залежи в формировании ее проницаемости на раннем катагенном этапе // Химия твердого топлива. 2014. № 2. С. 19–24. <https://doi.org/10.7868/S0023117714020029>

38. *Алексеев А.Д.* Баженовская свита: в поисках большой сланцевой нефти на Верхнем Салыме. Часть 2 // ROGTEC. Российские нефтегазовые технологии. 2013. № 35. С. 14–27. https://rogtecmagazine.com/wp-content/uploads/2014/09/02_The-Bazhenov-Formation-in-Search-of-Big-Shale-Oil.pdf (Дата обращения 28.08.2023).

39. *Gielen D., Lyons M.* Critical materials for the energy transition: Rare earth elements. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2022. 46 p. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Technical-Papers/IRENA_Rare_Earth_Elements_2022.pdf (Дата обращения 28.08.2023).

Информация об авторе

Светлана Александровна Пунанова – д.г.м.н., ведущий научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия, runanova@mail.ru

Поступила в редакцию 07.08.2023

Analysis and systematization of ideas about the influence of geological and geochemical factors on the formation and oil and gas content of megareservoirs of sedimentary basins

S.A. Punanova

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

E-mail: punanova@mail.ru

Abstract. The influence of geological and geochemical factors on the properties of oils saturating combined traps in various oil and gas basins is analyzed. A way is developed for predicting the properties of fluids (physicochemical, hydrocarbon and trace element compositions), as well as the phase state of accumulations in traps of various structures in connection with the vertical scale of oil and gas formation. The evaluation of the search criteria for their identification, analysis and systematization of ideas about the influence of various geological and geochemical factors on the formation and oil and gas content of megareservoirs is carried out. Of great importance is the possibility of assessing the productivity of shale formations and the selection of “sweet spots” by geochemical methods.

Keywords: naphthides, geochemical studies, hydrocarbons, trace elements, oil and gas basins, megareservoirs

Citation: *Punanova S.A.* Analysis and systematization of ideas about the influence of geological and geochemical factors on the formation and oil and gas content of megareservoirs of sedimentary basins // Actual Problems of Oil and Gas. 2023. Iss. 3(42). P. 49–67. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2023-42.art4> (In Russ.).

References

1. *Kontorovich A.E., Eder L.V.* A new paradigm of the development strategy for the mineral resource base of the oil producing industry in the Russian Federation // Mineral Resources of Russia. Economics and Management. 2015. No. 5. P. 8–17. (In Russ.).
2. *Dakhnova M.V.* Application of geochemical investigations for exploration, prospecting and development of hydrocarbons fields // Geologiya Nefti i Gaza. 2007. No. 2. P. 81–89. (In Russ.).
3. *Kuklinsky A.Ya., Shtun S.Yu., Moroshkin A.N.* et al. Applying reservoir geochemistry methods to determine performance of each of jointly operated formations with different oil molecular composition // Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields. 2021. No. 1(349). P. 39–43. [https://doi.org/10.33285/2413-5011-2021-1\(349\)-39-43](https://doi.org/10.33285/2413-5011-2021-1(349)-39-43) (In Russ.).
4. *Punanova S.A.* The relevance of mapping non-anticlinal traps and features of their classifications // Actual Problems of Oil and Gas. 2020. Iss. 3(30). P. 13–25. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2020-30.art2> (In Russ.).
5. *Punanova S.A.* Geochemical features of hydrocarbon fluids in non-anticlinal traps // Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields. 2021. No. 10(358). P. 15–21. [https://doi.org/10.33285/2413-5011-2021-10\(358\)-15-21](https://doi.org/10.33285/2413-5011-2021-10(358)-15-21) (In Russ.).
6. *Punanova S.A.* About the characteristic features of naphthides in connection with the processes of formation of deposits // Georesursy. 2021. Vol. 23, No. 4. P. 107–115. <https://doi.org/10.18599/grs.2021.4.12>

7. *Kontorovich A.E., Fotiadi E.E., Demin V.I. et al.* Forecast of oil and gas fields. Moscow: Nedra, 1981. 350 p. (In Russ.).
8. *Vassovich N.B., Arkhipov A.Ya., Burlin Yu.K. et al.* Oil and gas basin is the main element of petrogeological zoning of large territories // *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 4: Geologiya.* 1970. No. 5. P. 13–24. (In Russ.).
9. *Khain V.E., Sokolov B.A.* Current state and further development of the doctrine of oil and gas basins // *Modern problems of geology and geochemistry of fossil fuels: Collected papers.* Moscow: Nauka, 1973. P. 94–108. (In Russ.).
10. *Abukova L.A., Filippova D.S., Isaeva G.Yu., Safarova E.A.* Geofluidodynamic specification for oil and gas mega-reservoirs // *SOCAR Proceedings.* 2022. No. S2. P. 57–68. <https://doi.org/10.5510/OGP2022SI200725> (In Russ.).
11. *Eremenko N.A., Chilingar G.V.* Geology of oil and gas at the turn of the century. Moscow: Nauka, 1996. 176 p. (In Russ.).
12. *Shuster V.L.* Features of formation and placement of large and giant oil and gas deposits in megareservoirs of sedimentary basins // *SOCAR Proceedings.* 2022. No. S2. P. 30–38. <https://doi.org/10.5510/OGP2022SI200723> (In Russ.).
13. *Punanova S.A.* Megareservoirs of hydrocarbons are accumulation of giant by oil and gas deposits // *SOCAR Proceedings.* 2022. No. S2. P. 39–51. <https://doi.org/10.5510/OGP2022SI200724> (In Russ.).
14. *Punanova S.A.* Oil and gas possibility of crystalline basement taking into account development in it of non-structural traps of combined type // *Georesursy.* 2019. Vol. 21, No. 4. P. 19–26. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.4.19-26>
15. *Punanova S.A., Vinogradova T.L.* Comparative characterization of natural hydrocarbon systems of various genesis // *Petroleum Chemistry.* 2016. Vol. 56, No. 4. P. 562–571. <https://doi.org/10.1134/S0965544116070148>
16. *Punanova S.A., Samoilova A.V.* Hydrocarbon megareservoirs of Apt-Cenomanian deposits of the northern regions of Western Siberia // *Exposition Oil Gas.* 2022. No. 4(89). P. 15–19. <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2022-4-15-19> (In Russ.).
17. *Punanova S.A.* Industrially vanadium-bearing heavy oils and natural bitumens: megareservoirs in unconventional reservoirs // *Rassokhin Readings: Proceedings of the International Conference.* Ukhta: Ukhta State Technical University, 2023. P. 73–78. (In Russ.).
18. *Sinitsa N.V., Prishchepa O.M.* A conceptual model for the formation of oil and gas accumulation zone within the Paleozoic basement of the southeastern West Siberian basin // *Actual Problems of Oil and Gas.* 2023. Iss. 1(40). P. 14–26. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2023-40.art2> (In Russ.).
19. *Dmitrievsky A.N., Skibitskaya N.A., Gafarov N.A.* Hard-to-recover resource potential of the gas part of oil and gas source carbonate deposits of oil and gas condensate fields at the late stages of development on the example of the Orenburg oil and gas condensate field // *Fundamental Basis of Innovative Technologies of Oil and Gas Industry: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with International Participation dedicated to the 35th anniversary of OGRI RAS.* Moscow: Oil and Gas Research Institute of the RAS, 2022. P. 67–72. (In Russ.).

20. *Kayukova G.P., Petrov S.M., Uspensky B.V.* Properties of heavy oils and bitumens from the Permian deposits of Tatarstan in natural and technogenic processes. Moscow: GEOS, 2015. 343 p. (In Russ.).
21. *Vysotsky V.I., Skorobogatov V.A.* Giant hydrocarbon fields of Russia and the world. Prospects for new discoveries // Mineral Resources of Russia. Economics and Management. 2021. No. 1-6(175). P. 20–25. (In Russ.).
22. *Skorobogatov V.A.* The largest, giant and unique sedimentary basins of the world and their role in the development of the gas industry in the 21st century // Business Magazine Neftegaz.RU. 2018. No. 10(82). P. 126–141. (In Russ.).
23. *Kontorovich A.E.* Oil and gas geology: Selected works: In 3 vols. Vol. 3. Methods for predicting oil and gas content. Planning of exploration works. Novosibirsk: SNIIGGiMS, 2008. 331 p. (In Russ.).
24. *Skorobogatov V.A.* Genetic reasons for the unique gas and oil content in Cretaceous and Jurassic sediments of West-Siberian province // Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields. 2003. No. 8. P. 8–14. (In Russ.).
25. *Karogodin Yu.N.* Spatial and temporal patterns of concentration of giant accumulations of oil and gas in Western Siberia (system aspect) // Georesursy. 2006. No. 1(18). P. 28–30. (In Russ.).
26. Analysis of the influence of various factors on the location and formation of oil and gas fields (on the example of platform areas) / Ed. by V.S. Lazarev and V.D. Nalivkin. Leningrad: Nedra, 1971. 334 p. (In Russ.). (VNIGRI Transactions. Iss. 295). (In Russ.).
27. *Vyshemirsky V.S., Kontorovich A.E., Trofimuk A.A.* Migration of dispersed bitumoids. Novosibirsk: Nauka, Sib. Br., 1971. 167 p. (Proceedings of the Institute of Geology and Geophysics, SB AS USSR. Iss. 143). (In Russ.).
28. *Trofimuk A.A., Vyshemirsky V.S., Dmitriev A.N.* et al. Recognition of giant oil pools // Problems of presence of oil in Siberia: Collected papers. Novosibirsk: Nauka, Sib. Br., 1971. P. 34–50. (In Russ.).
29. *Vyshemirsky V.S., Dmitriev A.N., Trofimuk A.A.* Exploration signs of giant oil fields: Special Report for the 8th World Petroleum Congress. Moscow, 1971. 16 p. (In Russ.).
30. *Kontorovich A.E., Babina N.M., Bogorodskaya L.I., Vinokur V.G.* Oil-producing strata and conditions for the formation of oil in the Mesozoic deposits of the West Siberian Lowland. Leningrad: Nedra, 1967. 224 p. (In Russ.).
31. *Varlamov A.I., Shimansky V.V., Taninskaya N.V.* et al. Search and prospects of discovery of non-structural hydrocarbon traps in major petroleum provinces of Russia // Geologiya Nefti i Gaza. 2019. No. 3. P. 9–22. <https://doi.org/10.31087/0016-7894-2019-3-9-22> (In Russ.).
32. *Punanova S.A.* Evaluation of the trace element composition of naftides is a necessary stage in petrochemical research // Business Magazine Neftegaz.RU. 2022. No. 2(122). P. 56–63. (In Russ.).
33. *Stoupakova A.V., Kalmykov G.A., Korobova N.I.* et al. Domanik deposits of the Volga-Ural basin – types of section, formation conditions and prospects of oil and gas potential // Georesursy. 2017. No. S. P. 112–124. <https://doi.org/10.18599/grs.19.12> (In Russ.).
34. *Prischepa O.M., Bazhenova T.K., Nikiforova V.S.* et al. Refinement of the geochemical features of the distribution of organic matter in the Domanik deposits of the Timan-Pechora oil and gas field // Advances in Organic Geochemistry: Proceedings of the 2nd All-Russian Scientific Conference with

the Participation of Foreign Scientists dedicated to the 120th anniversary of N.B. Vassoyevich and the 95th anniversary of S.G. Neruchev. Novosibirsk: Novosibirsk State University, 2022. P. 212–215. <https://doi.org/10.25205/978-5-4437-1312-0-212-215> (In Russ.).

35. *Skvortsov M.B., Dakhnova M.V., Mozhegova S.V.* et al. Geochemical methods for prediction and assessment of shale oil resources (case study of the Bazhenov Formation) // Russian Geology and Geophysics. 2017. Vol. 58, No. 3–4. P. 403–409. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.09.015>

36. *Ostroukhov S.B., Pronin N.V., Plotnikova I.N., Khairtdinov R.K.* A new method of “geochemical logging” for studying Domanic deposits // Georesursy. 2020. Vol. 22, No. 3. P. 28–37. <https://doi.org/10.18599/grs.2020.3.28-37>

37. *Abukova L.A., Yusupova I.F., Abramova O.P.* Role of the organic matter of a shale layer in the formation of its permeability at the early catagenic stage // Solid Fuel Chemistry. 2014. Vol. 48, No. 2. P. 92–97. <https://doi.org/10.3103/S0361521914020025>

38. *Alekseev A.D.* The Bazhenov Formation: In search of big shale oil in Upper Salym // ROGTEC. Russian Oil and Gas Technologies. 2013. No. 35. P. 14–27. https://rogtecmagazine.com/wp-content/uploads/2014/09/02_The-Bazhenov-Formation-in-Search-of-Big-Shale-Oil.pdf (Accessed on 28.08.2023).

39. *Gielen D., Lyons M.* Critical materials for the energy transition: Rare earth elements. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2022. 46 p. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Technical-Papers/IRENA_Rare_Earth_Elements_2022.pdf (Accessed on 28.08.2023).

Information about the author

Svetlana A. Punanova – Dr. Sci. (Geol.-Min.), Leading Researcher, Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, punanova@mail.ru

Received 07.08.2023