

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАССЕЙНОВ

Оригинальная статья
УДК 553.262.4:552.12:553.9
EDN: PADQJG

Особенности проявления конкреционных образований в высокоуглеродистых толщах

И.Ф. Юсупова, М.Е. Селиверстова ✉

Институт проблем нефти и газа РАН, Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3

Аннотация. *Актуальность.* Конкреционные тела – продукт постседиментационного перераспределения вещества – будучи составной частью породы, представляют интерес как источник информации при исследованиях, в том числе связанных с поисками залежей углеводородов. *Цель работы.* Определение связи конкреционных тел с органическим веществом вмещающих пород и возможности использования их в качестве индикатора высокоуглеродистых отложений на больших глубинах, выявление роли конкреций в образовании микротрещиноватости в прослоях с концентрированным органическим веществом. *Материалы и методы.* Проведен анализ литературных источников, содержащих данные о высокоуглеродистых отложениях и конкрециях, исследованиях керна, содержащего конкреционные тела, и достоверности описания керна известного месторождения углеводородов и руд металлов Западной и Восточной Европы и Азии. *Результаты.* В результате исследования выявлена возможность использования конкреционных образований в качестве индикатора «бывших» высокоуглеродистых пород, утративших свое органическое вещество в ходе литогенеза. Установлено влияние конкреций на образование микротрещиноватости, возникающей на контакте конкреционных тел и вмещающих пород в ходе деформационной катагенной усадки и вносящей определенный вклад в обеспечение проницаемости и коллекторской емкости для образующихся углеводородов на больших глубинах в условиях всестороннего сжатия и бездренажности. *Выводы.* Сведения об образовании и запечатывании трещин в конкрециях, о появлении в них битумов и их фракционировании могут служить источником дополнительной информации о постседиментационных процессах в погружающейся толще.

Ключевые слова: высокоуглеродистые отложения, органическое вещество, конкреции, доманикоиды, микротрещиноватость, закрытые гидродинамические системы, Прикаспийская впадина, подсолевые отложения

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания ИПНГ РАН (тема № 125021302095-2).

Для цитирования: Юсупова И.Ф., Селиверстова М.Е. Особенности проявления конкреционных образований в высокоуглеродистых толщах // Актуальные проблемы нефти и газа. 2025. Т. 16, № 3. С. 405–423. EDN: PADQJG

✉ Селиверстова Маргарита Евгеньевна, seliverstova@ipng.ru

© Юсупова И.Ф., Селиверстова М.Е., 2025



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Введение

Отличительной чертой высокоуглеродистых отложений (горючесланцевых, доманиковых, угленосных, черносланцевых и других) является широкое распространение в них конкреционных тел – стяжений, состоящих из аутигенных минералов (карбонатов, кремнезема, сульфатов и др.), отличающихся по составу от вмещающей породы и образующихся на всех стадиях литогенеза. В участках разгрузки углеводородных флюидов скопления аутигенных минералов нередко покрывают дно современных акваторий в виде стяжений и конкреций, иногда они встречаются в ассоциации с газогидратами.

Конкреционные образования – элемент многокомпонентной флюидопородной системы, продукт постседиментационного перераспределения вещества под воздействием широкого спектра процессов (сорбционных, диффузионных, электрогеохимических и других). Будучи составной частью породы, конкреции представляют интерес как источник информации при геологических исследованиях, таких как поиски и разведка некоторых видов полезных ископаемых, в качестве индикатора фациальных условий вмещающих пород, для реконструкции палеогеологических и палеотектонических обстановок, при выявлении конседиментационных тектонических структур при прогнозе нефтегазоносности [1, 2].

Конкреции известны своими парагенетическими связями с органическим веществом (ОВ), играющим важную роль в литогеохимических процессах на больших глубинах, формировании зон

недоуплотнения и разуплотнения и других геологических событиях.

Изучение органического вещества и конкреционных тел активно проводилось во второй половине прошлого столетия, было описано в работах геологов Страхова Н.М., Юдовича Ю.Я., Кетриса М.П., Япаскурта О.В., Прасолова Э.М., Лохова К.И., Логвиной Е.А., Сахибгареева Р.С., Курьшева А.Д., Баженовой О.К., Кащенко С.А., Матухиной В.Г., Холодова В.Н., Гаврилина К.В., Озерского А.Ю., Дубины Г.А., Мельникова Ю.В., Воложа Ю.А., Антипова М.П., Парасыны В.С., Гаврилова Ю.Г., Нестерова И.И., Калмыкова Г.А., Балушкиной Н.С., Акулова Н.И., Бурлиной Ю.К., Соколова Б.А., Хаина В.Е., Капченко Л.Н., Абуковой Л.А., Абрамовой О.П., Газизова М.С., Abouelresh M.O., Slatt R.M., Цветкова Л.Д., Цветкова Д.Л., Киселевой Н.Л., Назаренко В.С., Кикнадзе З.Р., Богуша И.А., Курганова М.М., Труфанова В.Н., Дженчураевой Р.Д., Пак Н.Т., Ивлевой Е.А., Филиппова М.М., Лученко Е.И., Неручева С.Г., Чистякова В.Б., Рожковой К.Г., Карцева А.А., Буряковского Л.А., Деваншира Р.Д., Тагиева С.О., Белоновской Л.Г., Дмитриевского А.Н., Жемчужовой В.А., Макаровой Е.Ю., Наумчева Ю.В., Шестоперовой Л.В. и других и использовалось в настоящем исследовании.

Цель работы – проведение анализа постседиментационного этапа существования конкреционных тел, выявление связи конкреций с ОВ вмещающих пород, определение возможности использования их в качестве индикатора высокоуглеродистых отложений, а также оценка условий сохранности конкреционных образований на больших глубинах.

Материалы и методы

Проведен анализ литературных источников, содержащих данные о высокоуглеродистых отложениях и конкрециях, исследованиях керна, содержащего конкреционные тела, и достоверности описания кернового материала известных месторождений углеводородов и руд металлов Западной и Восточной Европы и Азии: баженовской свиты Западной Сибири, доманиковых отложений Восточно-Русской платформы, девонских глубоко-водных отложений Прикаспийской впадины, сланцев Прибалтийского бассейна, бокситов Южного Урала, месторождений Восточного Предкавказья, Северного Кавказа, Канско-Ачинского бассейна, Ферганской впадины, Кыргызстана; затронуты мегаконкреции оксфордских черных сланцев Центральной Англии.

Результаты и обсуждение

Общие сведения (морфология, размеры, постседиментационные изменения, рудоносность конкреций в высокоуглеродистых отложениях)

В высокоуглеродистых отложениях конкреционные образования могут быть представлены единичными конкрециями, конкреционными горизонтами, конкреционными конгломератами. Так, в разрезах баженовской свиты Северо-Сургутского и других районов Западной Сибири находится большое количество карбонатных конкреций толщиной 10–13 см диагенетической и катагенной природы [3]. Обилие известковых конкреций – характерная черта пород доманиковых фаций Восточно-Русской платформы, Южного Урала, Южного Тимана.

Данные об ОВ в конкреционных образованиях немногочисленны. Концент-

рация органического углерода (C_{org}) может колебаться от 1,6% до 5,2% при средних значениях 3,2% (баженовская свита, центральная часть Западной Сибири), в прибалтийских кукерситах – до 10%¹ [3]. Обнаружены конкреции с битум-содержащими трещинами [4].

Морфология конкреционных тел разнообразна, чаще эллипсоидная, шаровидная, пластообразная, иногда неправильной формы (желваковидная, ветвистая и др.). Уплотненные конкреции иногда переходят в конкреционные прослои.

Размеры конкреций колеблются. Выделяются микро-, макро- (собственно конкреции) и мегаконкреции. Например, в миоценовых отложениях Восточного Предкавказья диаметр сульфидных микроконкреций варьируют от 1 мм до 3–5 см. Конкреционные прослои обычно имеют толщину 5–10 см, иногда больше 1 м, а протяженность – больше нескольких десятков метров. В оксфордских черных сланцах (Центральная Англия) известны мегаконкреции «мельничные жернова» и «китовые камни» до 5 м в диаметре и 0,3–10 м мощности. В угленосной толще Канско-Ачинского бассейна обнаружены известковые конкреционные образования толщиной 0,5–1,0 м, до 20 м в поперечнике. Бокситовые залежи Южного Урала, возникшие на контакте рифогенных известняков с битуминозными и углисто-глинистыми сланцами, интерпретируются Г.А. Дубиной как образования, формирующиеся на участках скачков электрогеохимических потенциалов.

¹ Атлас конкреций / Под ред. А.В. Македонова, Н.Н. Предтеченского. Л.: Недра, 1988. 323 с. (Труды ВСЕГЕИ. Т. 340).

Распределение конкреционных тел в высокоуглеродистых отложениях отличается неравномерностью. Так, в меловых отложениях Северного Кавказа широко развиты карбонатные конкреции и мегаконкреции диаметром от 0,2–0,3 м в низах толщи и до 1,5–2,0 м в верхах. В хорошо изученных кукуерситовых сланцах количество карбонатных конкреций тоже неравномерно, обычно увеличивается к верхней части слоя, реже – к основанию

(табл. 1). По результатам наблюдений в шахтных выработках длина этих образований – до 40–50 см, высота и ширина – до 10–15 см. Иногда конкреции образуют целые слои с извилистыми контактами. Реже отмечаются протыкающие слои конкреции неправильной формы (высота превышает длину и ширину). Местами конкреционные стяжения мелкие и многочисленные, имеют уплощенную форму, заполняют весь слой [5].

Табл. 1. Содержание конкреций в слоях промышленного пласта и в ложной кровле Прибалтийского сланцевого бассейна (Ленинградское месторождение)

Table 1. Concretion content in the layers of the industrial seam and in the false roof of the Baltic shale basin (Leningradskoye field)

Слой промышленного пласта	Содержание конкреций в выработках шахт, объемные проценты				
	Шахта им. С.М. Кирова	Шахта № 1	Шахта № 2	Шахта № 3	Среднее по месторождению
Ложная кровля	43,5	43,0	45,5	45,5	44,5
Первый	19,2	16,9	16,9	16,7	17,0
Второй	–	6,1	6,5	5,1	5,5

Источник: [5] / Source: [5]

Анализ современных публикаций показал, что в работах последних лет конкреционные образования упоминаются нечасто. Это объясняется тем, что исследование больших глубин ограничено лишь материалами бурения и керном небольшого диаметра. Наличие информативного и достоверного описания керна материала – первичного источника данных о составе вскрываемых бурением пород – важная составляющая геологических исследований, но известно, что возможности исследования конкреций и других неоднородностей, превышающих диаметр керна, ограничены, они могут отождествляться со слоистостью (рис. 1).

О необходимости отличать конкреции от слоистости в каменном материале предупреждали в своих публикациях авторы монографии [6] и другие исследователи.

Имеются и положительные примеры: в монографии [7] отмечено, что при изучении керна из скважины Девон-3 (Прикаспийская впадина) в девонских известняках на глубинах 6103 – 6109 м и 6126 – 6133 м обнаружены и задокументированы карбонатные конкреции, а на глубине 6258 – 6264 м – карбонатно-сульфидные, размер конкреционных тел и диаметр керна не указаны.

Безусловный научный интерес представляют работы по исследованию конкреционных образований в баженовской свите Западной Сибири [3].



Рис. 1. Фрагмент керна (аргиллит с карбонатными конкрециями, свита C_2^6 , Донбасс):
а – диаметр керна 70 см; б – часть этого же керна, «извлеченная» колонковой трубой диаметром 12 см

Fig. 1. Core fragment (argillite with carbonate concretions, C_2^6 formation, Donbass):
а – core diameter of 70 cm; б – part of the same core, “extracted” by a core tube with a diameter of 12 cm

Источник: адаптировано из [6]

Source: adapted from [6]

Постседиментационное существование конкреционных тел мало изучено. Тем не менее, можно упомянуть несколько эпизодов. Так, например, исследователями Р.С. Сахибгареевым и А.Д. Курышевым установлено локальное замещение известковых конкреций кремнистыми в доманиковых отложениях Русской платформы еще в докатагенную стадию. Подчеркивается, что окремнению и разрушению подверглись самые обедненные органическим веществом участки.

В юрских отложениях Северного Кавказа система придонных палеотечений в бассейне седиментации была причиной размыва толщи осадков с диагенетическими сидеритовыми конкрециями, их скопления слагают пласты конкреционных конгломератов.

В баженовской свите и на границе ее с выше- и нижезалегающими отложениями, где некоторые прослои имеют конкреционное строение, существовали необходимые условия для формирования высоких фильтрационно-емкостных свойств пород. В Салымском районе частичное выщелачивание карбонатного конкрецион-

ного горизонта на контакте баженовской и абалакской свит привело к образованию каверн размером до 3–5 см, дроблению карбонатов и формированию трещинно-кавернозных коллекторов [8].

Определенный интерес представляет образование трещин в конкреционных телах. В качестве примера можно привести данные о карбонатных конкрециях из толщи граптолитовых сланцев на западе Сибирской платформы (обнажение на р. Курейка, силур, палеоглубины погружения 2500–2600 м, стадия катагенеза $МК_2$). При расколе конкреций в их пустотах и трещинах были обнаружены жидкие битумы. Трещины не имеют выхода к поверхности конкреции. Считается, что образование битумов в толще началось еще на стадии диагенеза; в дальнейшем в телах конкреций происходило фракционирование битумов и перемещение их легких миграционноспособных компонентов в свободное пустотное пространство в своеобразные микроловушки с образованием микроскоплений. Резкий запах керосина при расколе конкреций свидетельствует о поисковых возможностях таких образований [4].

В океане на больших глубинах эродирующая деятельность придонных течений предохраняет лежащие на поверхности дна ядра конкреций от захоронения, поддерживая условия «нулевой седиментации».

В истории формирования и существования конкреционных тел важны несколько этапов: седиментационный, диагенетический, катагенный, метаморфический. В ходе процессов катагенеза и метаморфизма происходит перераспределение вещества в самих конкрециях, изменение их свойств и появление в них новых минералов (гематит, магнетит, пирротин, силикаты и др.). Предполагается, что эти же процессы иногда приводят к исчезновению ранее образованных конкреций².

Рудоносность конкреционных образований. Конкреционные тела нередко содержат рудные компоненты, приобретенные ими в ходе диагенетической диффузионной мобилизации из донных осадков. Так, среди элементов-примесей в сульфидных конкрециях миоценовых отложений Восточного Предкавказья установлены никель, кобальт, свинец в заметных количествах. На месторождении Ташкумыр (Ферганская впадина) сферосидеритовые конкреции в отдельных слоях составляют 5–20% породы при мощности рудоносных линз 0,3–0,4 м и среднем содержании железа 3–40%. На некоторых участках этого месторождения встречаются сульфидные конкреции до 1–1,5 м. Здесь же, в слоях, обогащенных углистым веществом и растительным

детритом, отмечены караваеподобные конкреции «болотных руд» размером до 15–20 см. Конкреции целестина установлены в различных частях разрезов континентально-морских отложений мел-палеогенового возраста на Сузакском, Чангыр-Ташском и других рудопоявлениях Кыргызстана. Здесь конкреции размером от 2–3 до 20–30 см залегают в виде параллельных цепочек, которые иногда сливаются в единый прослой, они прослеживаются на сотни метров [9]. Крупные рудные конкреции сидеритов установлены в дельтовых отложениях юрского возраста Дагестана. Пирит – пирротиновые конкреции слагают рудные тела на колчеданных месторождениях Кизил-Дере, Филизчай в пределах северного склона Большого Кавказа. Содержание железа в сидеритовых конкрециях отдельных месторождений буроугольного Канско-Ачинского бассейна достигает 33%. В начале XIX века конкреции этого бассейна использовались для выплавки чугуна кустарным способом.

На дне Мирового океана конкреционное оруденение считается самостоятельным видом минерального сырья. Ресурсы никеля в железомарганцевых конкрециях океана сопоставимы с наземными, ресурсы кобальта превышают наземные более чем в два раза.

***Влияние конкреционных тел
на формирование
микротрещиноватости
высокоуглеродистых отложений***

Исследование керна глубоких скважин показало, что с глубиной, в связи с увеличением «стресса» и неравномерной нагрузки, увеличивается количество микротрещин.

² Там же.

Микротрещины вносят заметное разнообразие в структуру пустотного пространства локальных участков пород, снижают действие капиллярных сил, способствуют сообщаемости крупных пор. Большинство из них не выходят далеко за пределы участков их возникновения, раскрытость их непостоянна. На Салымском месторождении (Западная Сибирь) микротрещины, образовавшиеся в ходе катагенной трансформации ОВ, формируют коллектор, емкостное пространство которого заполнено продуктами такого преобразования.

Известно, что определенный вклад в образование трещиноватости вносит твердое органическое вещество вмещающих пород, особенно повышенные его концентрации. Реализации этого свойства способствуют породообразующие концентрации (обычно неравномерные), объемная значимость, флюидогенерационный потенциал концентрированного ОВ [10, 11].

Развитие дренирующих микротрещин по зонам наибольших содержаний ОВ обусловлено генерацией углеводородов (УВ) в условиях их неравномерного распределения. Причиной образования микротрещин может быть изменение градиента давления флюидов в поровом пространстве. Так микронеоднородность распределения ОВ в породе может привести к увеличению масштаба микротрещиноватости.

Именно на границах прослоев, богатых ОВ из-за повышенной генерации флюидов, происходят флюидоразрывы, количество последних нарастает лавинообразно, и породы здесь пронизываются системой микротрещин, часть из них могут впоследствии сомкнуться. При дальнейшем погружении пород флюидоразрывы возникают снова, появляется устойчивая система микротрещин. Одной из разно-

видностей неоднородностей, создающих локальный контакт пород с разным содержанием ОВ, являются конкреционные образования.

По периферии конкреций микротрещины возникают в результате неравномерного катагенного уплотнения и различной усадки контактирующих масс, возникновения дополнительных напряжений и микродислокаций. При отсутствии оттока образующихся продуктов прослой, богатые органическим веществом, в ходе дальнейшего погружения останутся недоуплотненными, с низкими значениями плотности и с повышенными значениями пустотности.

Такие особенности внутрипластового нахождения конкреций предопределяют своеобразие проявления микротрещин в пластах в ходе погружения их на большие глубины. В условиях закрытых систем микротрещиноватость формирует коллектор, емкостное пространство которого заполняется продуктами преобразования ОВ.

Конкреции – индикаторы обогащенности вмещающих пород органическим веществом

Многие исследователи подчеркивают связь конкреционных образований (особенно карбонатных) и повышенных содержаний ОВ в первичном автохтонном залегании [3, 6]. Тем более интересны случаи, когда сингенетические конкреционные тела фиксируются в породах с невысоким содержанием ОВ.

В качестве примера можно привести нелитифицированные глинистые тела, закартированные в горных выработках Прибалтийского сланцевого бассейна, такие тела нередко содержат карбонатные конкреции.

Многочисленные исследования, в том числе и наши, показали, что нелитифицированные глинистые тела в сланцевых пластах являются эпигенетическими остаточными реликтами кукурситов, «бывшими» горючими сланцами, утратившими в определенных условиях свое ОВ и карбонаты.

Постседиментационная, эпигенетическая природа глинистых реликтов подтверждается разнообразными данными. Так, в глинах встречаются выщелоченные, измененные остатки фауны, свойственные только сланцевым слоям. Линейно-вытянутые конкреционные стяжения, широко распространенные в кукурситах, прослеживаются и в глинах. Наблюдается близость состава глин и терригенной части сланцев, а также близкие соотношения кварца, полевых шпатов и других минералов, некоторых металлов и т. д. В этих участках горючие сланцы утратили свой породообразующий компонент – ОВ и превратились в глинистые реликты. Конкреции являются свидетельством бывшей обогащенности таких реликтов органическим веществом. Это позволяет использовать конкреционные образования для картирования бывших горючих сланцев, утративших свой нефтегазоматеринский потенциал.

Возникает проблема отличия таких глинистых реликтов от неизмененных нефтегазоматеринских пород в керновом материале, в том числе и с больших глубин. Предлагается использовать конкреционные образования в качестве индикатора бывших высокоуглеродистых пород, утративших свое органическое вещество.

Проявление конкреционных тел на больших глубинах

Известны как метаморфизованные, так и собственно метаморфические конкреционные образования. Сведений о них немного, тем не менее считается, что большинство конкреций осадочных пород изменяется

в процессе метоморфизма; например, приобретают зональное строение. Последнее предопределено различием химико-минералогического состава, их периферийных и центральных частей. Так, в первоначально карбонатных конкреционных образованиях в финских докембрийских сланцах центральная часть (светлоокрашенная) состоит из кварца, диопсида, гроссуляра и других минералов, а краевые зоны (темные) сложены кварцем, кальцитом, роговой обманкой, андезитом³.

Иногда источником оксидов для новых минеральных комплексов алюминия, кремния, железа, магния, для возникающих на месте старых конкреционных тел является нерастворимый остаток старых карбонатных конкреций, он состоит обычно из терригенного песчано-глинистого материала. Содержание нерастворимого остатка в карбонатных конкрециях достигает 50%, при этом содержание терригенной составляющей в них обычно к периферии больше, чем в центральной части.

Метасоматоз кремнистых конкреций начинается с диффузии внутрь них кальция из вмещающей породы – формируется кайма волластонита, центральная часть желваков на этой стадии состоит из халцедона.

Известно, что многие метаморфические породы содержат минералы, которые остались неизмененными еще на ранних стадиях. Предполагается, что именно конкреционные тела, особенно крупные экземпляры, в центральных своих частях имеют шансы сохранить свой первоначальный минеральный состав, тем более интересны случаи, когда конкреции, образованные в стадию диагенеза, сохраняются на более поздних этапах литогенеза. Особую ценность приобретает упоминание об устойчивости карбонатных конкреций, фиксируемой в угленосных толщах.

³ Там же.

Таким образом, возникшая в стадию диагенеза контрастность (гетерогенность) состава конкреций и вмещающих их пород могут сохраняться в метаморфических толщах и в новых минеральных ассоциациях. Контуры и размеры конкреционных тел, их приуроченность к определенным литологическим разновидностям пород обычно сохраняются. Известны случаи повышенных содержаний конкреций в метаморфических породах. Так, количество конкреций в глинистых сланцах юго-восточной окраины Патомского нагорья (Восточная Сибирь) достигает иногда 60–70 % от общей массы породы. При этом размеры конкреций колеблются в широких пределах (от 1–30 см до 60–80 см, а в отдельных случаях до метра и более в поперечнике). В крупных стяжениях отмечаются прожилки и гнезда апатита, сульфидов, явно вторичные по отношению к конкрециям⁴.

В описании керна скв. Девон-3 (Прикаспийская впадина, гл. 6258–6264 м) среди микрослоистых аргиллитов и карбонатно-глинистых пород зафиксировано присутствие карбонатной конкреции с включениями пирита [7].

В сланцах Барнетт (Техас, США), вскрытых в интервале 2367,4–2435,3 м, конкреционные горизонты в качестве отдельной литофации составляют 2,9% от разреза; отдельные конкреции содержат трещины, заполненные кальцитом [12, 13].

Результаты изучения сульфидно-железистых конкреций на глубинах 3500–5100 м (Арзгирский прогиб) позволили обосновать высшую степень охраннысти

вероятных нефтегазовых скоплений от разрушения в этом регионе.

На медноколчеданном черносланцевом месторождении Кизил-Дере (юра, северный склон Большого Кавказа) диагенетические рудные скопления (в том числе сульфидные и сидеритовые конкреции) в стадии метагенеза и раннего метаморфизма сменились малосернистыми сульфидами (пирротинном, халькопиритом и др.); реликты диагенетических конкреций наблюдаются в «метагенетическом» рудном материале. Здесь рудные тела и вмещающие породы в равной степени затронуты региональным метаморфизмом. В настоящее время верхние части залежей выходят на дневную поверхность – таким образом, диагенетические конкреции, погружаясь вместе с вмещающей породой, пройдя дометаморфогенные глубины и смену разнообразных условий (в том числе дефицит сульфидной серы и т. д.), вновь оказались на близповерхностных глубинах, притом в другом качестве. Напротив, процессы катагенеза и регионального метаморфизма в ураноносных углеродисто-кремнистых сланцах (месторождение Сарыджаз, Срединный Тянь-Шань) не повлияли на концентрацию урана. Здесь диагенетическое перераспределение урана подчеркивается широким распространением различных по вещественному составу и структурно-текстурным особенностям конкреций (фосфатно-карбонатных, кремнистых и др.) с высоким содержанием урана; его содержание возрастает в тех участках пород, где имелось большое количество ОВ (до 60%), а также в прослоях, содержащих фосфатные конкреции [14].

⁴ Там же.

Интересны данные о заметных скоплениях конкреций анкерита в антраксолитах Нигозерского месторождения сланцев (Республика Карелия). Здесь отсутствие сульфидов и особенности изотопного состава углерода карбонатных конкреций объясняется незавершенным катагенезом органического вещества терригенного материала во время отложения битума. В бассейне Сычуань (Китай) «антраксолиты с шаровидными образованиями являются производными нефти, прошедшей стадии окисления, биодегradации и метаморфизма. Предполагается, что залежь нефти была сформирована в позднем силуре, образование твердых битумов происходило в девоне-карбоне, а термальные изменения и образование антраксолитов – при погружении отложений на глубину до 10 км при температуре» около 300 °С [15].

Все это свидетельствует о том, что изучение конкреционных образований может представлять определенный интерес при литологических исследованиях.

Оценка состава конкреций в геологических исследованиях

Результаты изучения конкреционных образований позволяют использовать их морфологические, текстурные, геохимические, петрофизические особенности в литолого-фациальном анализе, стратиграфическом расчленении разреза, корреляции осадочных отложений и других исследованиях. Хорошая сохранность остатков фауны и флоры в некоторых конкрециях повышают значимость последних при фациальных исследованиях.

Особый интерес представляют конкреционные тела, связанные со скоплениями углеводородов, при обнаружении древних водонефтяных контактов (ВНК), установлении времени заполнения ловушек нефтью, прослеживании изменения коллек-

торских свойств в продуктивной и водоносной частях пласта. Установлено, что локальная цементация пластов на Астраханском месторождении (Прикаспийская впадина) в ходе стабилизации древних ВНК осуществлялась по принципу конкреционных стяжений. При прогнозировании ловушек выклинивания на некоторых месторождениях Западной Сибири возникла необходимость картировать зоны высокой конкреционной карбонатности, именно они являются латеральным экраном⁵.

Известен опыт применения конкреционного анализа при палеогидрогеологических реконструкциях в пределах Восточно-Предкавказской нефтегазоносной области. В комплексе с другими методами он использовался для предварительной оценки нефтематеринского потенциала вмещающих отложений, выявления участков древнеинфильтрационных вод, более обоснованного выделения зон для постановки поисково-разведочных работ.

Анализ геологических характеристик конкреций, обогащенных рудными элементами, использовался при поисковых работах, когда обычное литогеохимическое опробование было неэффективно.

Использование раннеконкреционных образований в качестве индикатора закрытости гидрохимических систем

Использование раннеконкреционных образований в качестве индикатора закрытости гидрохимических систем было предложено О.В. Япаскуртом. Анализ разнообразной, нередко противоречивой и фрагментарной информации позволяет сделать предположение о существовании таких предпосылок.

⁵ Там же.

Известно, что существование закрытых систем сопровождается широким спектром взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов и явлений, таких как генерация флюидов, затрудненные эмиграция и миграция образующихся углеводородов, закрытость недр, локальное возрастание давлений, торможение полноты реализации нефтегазоматеринского потенциала пород в главной зоне нефтеобразования (ГЗН), возникновение зон аномально высоких пластовых давлений (АВПД) и трещин флюидоразрыва, сдвиг генерации УВ в сторону жидких продуктов, затягивание начала и максимума образования микронепти в область больших глубин, смещение ГЗН в условиях АВПД на значительные глубины [16].

Предполагаемый механизм развития АВПД в баженовской свите объясняется возникновением дополнительного давления, обусловленного генерацией углеводородов в данной нефтематеринской толще и затрудненностью их эмиграции [17].

Поинтервальное опробование баженовской свиты показало, что на Салымском месторождении (пример закрытой системы) могут иметь место самостоятельные залежи нефти, изолированные и по латерали, и по вертикали, они отличаются пластовыми давлениями и составом УВ. Пространственное положение таких скоплений не контролируется современным структурным планом, не связано с повышенной трещиноватостью.

Закрытые флюидогенерирующие системы высокоуглеродистых отложений можно считать примером совмещения генератора УВ и их аккумулятора. Специфика седиментогенеза таких толщ обусловлена их высокой обогащенностью органическим веществом и возможностью

образования трещин, достаточных для обеспечения проницаемости и коллекторской емкости. Примером таких толщ являются доманикоиды, в том числе баженовская свита Западной Сибири.

Наличие концентрированного органического вещества (КОВ) является одним из условий существования закрытых систем. Объемная значимость ОВ, неравномерность его концентрации в породе определяют анизотропность плотностных и прочностных свойств высокоуглеродистой породы, ее литификационную неоднородность. Все это делает ОВ важным фактором как недоуплотнения, так и разуплотнения породных масс, вмещающих КОВ в условиях закрытых систем.

По представлениям многих современных исследователей органическое вещество во многом определяет существование закрытых систем. Своеобразие многих высокоуглеродистых отложений, в том числе и доманиковых, – раннее образование битумов и ранняя их миграция, еще в осадке. Происходит ранняя гидрофобизация поверхности мелких частиц осадка (глинистых, кальцитовых), и тормозит процессы кристаллизации и литификации мергелей и глин. С «превращением основной части высокомолекулярных гидрофобизирующих полярных компонентов этого ОВ в углеводороды и с удалением основной части последних, породы становятся гидрофильными, наступает возможность для перекристаллизации и литификации кальцитовых частиц, мергельных осадков. Битумы, не успевшие эмигрировать, консервируются. Часть осадков в пласте может оставаться достаточно рыхлой, а пласт – неравномерно литифицированным» [11].

Слаболитифицированный материал доманикового пласта в локальных местах оставался рыхлым и на значительных глубинах (при герметичности ниже- и вышележащих пород). Оставшиеся нефтепроизводящие возможности доманиковых отложений могут реализоваться только в жестких термобарических условиях на глубинах 3000 м и более.

Катагенные преобразования самого ОВ протекают в «открытых» и «закрытых» разрезах с различной скоростью, при режиме затрудненного оттока шкала катагенеза растягивается, и породы низкой степени преобразованности погружаются на большие глубины, не испытывая заметных изменений. Так, в Южно-Каспийской впадине породы продуктивной толщи среднего миоцена на глубине около 9 км не достигли даже главной фазы генерации нефти, а в выбросах грязевых вулканов с глубины 8 км зафиксированы обломки горючих сланцев. Формы присутствия ОВ в нефтегазогенерирующих высокоуглеродистых отложениях становятся более разнообразными. Например, в отложениях баженовской свиты одновременно присутствуют кероген, углеводородные соединения двух видов: физически связанные с керогеном или минеральной матрицей и свободные, образующие подвижные и запечатанные скопления [8].

В конечном счете, фациальная изменчивость и последующие катагенные изменения пород, образование избыточного давления внутри отдельных участков, препятствующее уплотнению пород при их литификации, приводят к гидродинамической разобщенности проницаемых участков внутри толщи.

Она способствует сохранности коллекторов и покрышек на больших глубинах в локальных зонах. Гидродинамическая разобщенность, возникающая в недрах, увеличивается с глубиной, что подтверждается, в частности, увеличением частоты встречаемости АВПД в погружающихся толщах.

Примером гидродинамической разобщенности высокопористых проницаемых тел внутри толщи является наличие линз сыпучих песков на глубине около 5800 м в пределах Уметовско-Ливенской депрессии (Прикаспийская впадина). Причем одновозрастные песчаники, вскрытые на меньших глубинах на других площадях, характеризуются в два раза меньшей пористостью [18].

В условиях закрытых систем возможна сохранность и конкреционных образований. В этом аспекте интересен факт устойчивости карбонатных конкреций в угленосных толщах к катагенным и раннеметаморфическим процессам, которые, тем не менее, сказываются на породах, вмещающих эти образования⁶. Это позволяет высказать предположения, что и здесь мы имеем дело с закрытыми системами. Важным условием их существования в этом случае является наличие концентрированного угольного ОВ.

Сохранность конкреционных тел дает возможность использования их как индикаторов таких систем.

В связи с этим встает проблема разработки методических приемов для получения соответствующих данных для определения закрытых систем.

⁶ Там же.

Важны следующие характеристики рассматриваемых толщ: состав, мощность, глубины залегания, наличие сингенетического автохтонного ОВ, его концентрированных форм, характер распределения в породе, качественное описание и результатов исследований конкреционных образований (цвет, размер, морфология, состав, первичность залегания, степень сохранности и др.), а также наличие участков недоуплотнения и разуплотнения.

Возможность выявления закрытых систем в конкретных регионах в самом общем виде можно оценить на примере подсолевых отложений Прикаспийской впадины.

Подсольевые отложения палеозойского (P_z) возраста вскрыты в разных районах прибортовых зон Прикаспия. Они «характеризуются сложным строением, резкой изменчивостью литологического состава, наличием многочисленным, зачастую длительных, перерывов в осадконакоплении, недостаточной освоенностью буровыми работами, все это затрудняет однозначную трактовку геологических» данных [11].

Результаты бурения семи параметрических скважин глубиной 6–7 км показали, что строение девонских отложений более сложное, чем предполагалось ранее. К тому же развиваются представления о существовании в нынешних границах Прикаспийской синеклизы в докунгурское время нескольких самостоятельных осадочных бассейнов, каждый из которых прошел свой путь развития. Перспективы нефтегазоносности региона оцениваются положительно, в отношении отложений старше башкирского возраста сегодня нет единого мнения [19].

О «благоприятной для генерации УВ ситуации в Прикаспийской впадине свидетельствуют: наличие на нескольких

стратиграфических уровнях глинисто-карбонатных отложений обогащенных ОВ, достаточно высокая степень их катагенеза, прохождение» [19] «нефтяного окна» и другие факторы.

Среди отложений, обогащенных ОВ, упоминаются горючие сланцы с «разнообразной фауной среднего девона, доманикоиды, битуминозно-кремнисто-карбонатно-глинистые пласты. Однако целостная картина распределения в подсолевых отложениях Прикаспийской впадины пород» [11] с высоким нефтегазоматеринским потенциалом отсутствует [19].

Для прогноза закрытой системы необходимо выявление участков недоуплотнения-разуплотнения пород с улучшенными коллекторскими свойствами, это требует разработки критериев для их выделения, так как возможности их нахождения на больших глубинах определяются разными причинами [18].

Повышенные коллекторские свойства на больших глубинах могут быть сохранившимися в результате недоуплотнения пород в участках гидродинамической разобщенности высокопористых и проницаемых тел внутри толщи (закрытая система). Разуплотненными (с вновь образованной пустотностью) породы могут стать в результате различных факторов, в том числе под воздействием внедрившихся агрессивных растворов и оттока флюидов с растворенными компонентами за пределы толщи (открытая система). Перечисленные (и другие) факторы появления участков недоуплотнения-разуплотнения требуют разработки критериев для их выделения. Тем более что в Прикаспийской впадине установлены разнообразные проявления таких участков от линз и сыпучих песков (Уметовско-Ливинская депрессия, гл. 5800 м) до обломков кавернозных известняков (Тенгизское месторождение, гл. 4000 м) [18].

К тому же в «скважине Г-1 (площадь Тасым, юго-восточная часть Прикаспийской впадины, забой 7050 м) вскрыты отложения карбонатно-терригенного состава. В интервалах 6907–6936 м, 6943–6970 м раннекаменноугольные отложения представлены неравномерным переслаиванием среднесцементированных песчаников, глин и плотных карбонатизированных разностей» [20].

Необходимо отметить, что участки/интервалы недоуплотнения-разуплотнения обычно сложены разнопрочными породами. Их бурение и отбор керна сопровождаются техническими трудностями – извлекаются более прочные разности, имеет место частичное истирание и разрушение керна, представительность его в таких участках снижена.

Заключение

Проведенные исследования конкреций баженовской свиты Западной Сибири, доманиковых отложений Восточно-Русской платформы, девонских глубоководных отложений Прикаспийской впадины, сланцев Прибалтийского бассейна, бокситов Южного Урала, месторождений Восточного Предкавказья, Северного Кавказа, Канско-Ачинского бассейна, Ферганской впадины, Кыргызстана, мегаконкреций оксфордских черных сланцев Центральной Англии показали высокую информационную значимость конкреционных образований в высокоуглеродистых толщах. Установлено широкое распространение конкреций в породах различной степени преобразованности.

Наличие сингенетических автохтонных конкреционных тел свидетельствует о

повышенных содержаниях органического вещества во вмещающих отложениях.

Будучи составной частью породы, конкреционные тела представляют интерес как источник информации о постседиментационных изменениях, испытываемых вмещающими отложениями в ходе литогенеза.

Особый интерес представляют конкреционные тела, связанные со скоплениями углеводородов, при обнаружении древних водонефтяных контактов (ВНК), установлении времени заполнения ловушек нефтью, прослеживании изменения коллекторских свойств в продуктивной и водоносной частях пласта. Конкреционное строение пород может создавать возможность для формирования емкостных и фильтрационных свойств в толще и на контакте с другими пластами.

Органическое вещество конкреционных тел на данном этапе исследований изучено слабо. Его первичные концентрации в этих образованиях обычно ниже, чем во вмещающих породах, вторичные миграционные проявления – наличие битуминозных и газовых компонентов в трещинном пространстве конкреций – отражают флюидогенерационные события в толще. Конкреционные образования могут трассировать участки «бывших» высокоуглеродистых пород, утративших ОВ и свой нефтегазоматеринский потенциал.

Рассматривается возможность использования конкреционных тел в качестве индикатора закрытости гидрохимических автоклавных систем и пространственного совмещения (локализации) процессов нефтегазообразования и нефтегазоаккумуляции.

Вклад авторов

И.Ф. Юсупова – концептуализация, администрирование данных, методология, проведение исследования, создание черновика рукописи.

М.Е. Селиверстова – администрирование данных, проведение исследования, визуализация, создание рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список источников

1. *Шадрина С.В., Редина А.А., Романов Е.А.* К вопросу о природе углеводородов в серпентинитах // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2023. № 4-1(56). С. 63–76. <https://doi.org/10.20403/2078-0575-2023-4a-63-76>
2. *Тугарова М.А.* Индикаторные признаки карбонатных микробиолитов черносланцевых формаций: изотопный состав и биомаркеры // Вестник геонаук. 2021. № 11(323). С. 55–61. <https://doi.org/10.19110/geov.2021.11.5>
3. *Эдер В.Г., Костырева Е.А., Юрченко А.Ю.* и др. Новые данные о литологии органической геохимии и условиях формирования баженовской свиты Западной Сибири // Георесурсы. 2019. Т. 21, № 2. С. 129–142. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.129-142>
4. *Баженова Т.К., Кащенко С.А., Матухина В.Г.* О битумопроявлениях в карбонатных конкрециях граптолитовых сланцев реки Курейки // Доклады Академии наук СССР. 1966. Т. 167, № 2. С. 420–422.
5. Горногеологическое значение карста на Ленинградском месторождении горючих сланцев: Сб. научных статей / Под ред. А.И. Короткова, Н.И. Толстихина. Л.: Ленинградский горный институт им. Г.В. Плеханова, 1973. 181 с.
6. Методы изучения осадочных пород: В 2 т. / Отв. ред. Н.М. Страхов. М.: Госгеолтехиздат, 1957. Т. 1. 611 с.
7. Астраханский карбонатный массив: строение и нефтегазоносность / Под ред. Ю.А. Воложа, В.С. Парасыны. М.: Научный мир, 2008. 221 с.
8. *Калмыков Г.А., Балушкина Н.С.* Модель нефтенасыщенности порового пространства пород баженовской свиты Западной Сибири и ее использование для оценки ресурсного потенциала. М.: ГЕОС, 2017. 247 с.
9. Геодинамика и оруденение Тянь-Шаня (Кыргызстан) / Отв. ред. А.Б. Бакиров; ред. Н.Т. Пак. Бишкек: Илим, 2014. 280 с.
10. *Юсупова И.Ф.* Роль органического вещества в формировании свойств сланцевой залежи // Доклады Академии наук. 2019. Т. 484, № 2. С. 220–223. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524842220-223>
11. *Юсупова И.Ф.* Некоторые особенности литогенеза концентрированных форм органического вещества подсолевых отложений Прикаспийской впадины и сопредельных территорий // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 6(107). С. 57–63. <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2024-6-57-63>

12. *Abouelresh M.O., Slatt R.M.* Lithofacies and sequence stratigraphy of the Barnett Shale in east-central Fort Worth Basin, Texas // AAPG Bulletin. 2012. Vol. 96, No. 1. P. 1–22. <https://doi.org/10.1306/04261110116>
13. *Цветков Л.Д., Киселева Н.Л., Цветков Д.Л.* Нефтегазоматеринские толщи мира. Ярославль: Аверс Плюс, 2015. 492 с.
14. *Дженчураева Р.Д., Пак Н.Т., Ивлева Е.А. и др.* Металлогения углеродистых отложений Тянь-Шаня. Бишкек: Илим, 2015. 204 с.
15. *Филиппов М.М.* Антраксолиты. СПб.: ВНИГРИ, 2013. 296 с.
16. *Абукова Л.А., Волож Ю.А.* Флюидодинамика глубокопогруженных зон нефтегазонакопления осадочных бассейнов // Геология и геофизика. 2021. Т. 62, № 8. С 1069–1080. <https://doi.org/10.15372/GiG2021132>
17. *Санникова И.А., Ступакова А.В., Большакова М.А. и др.* Региональное моделирование углеводородных систем баженовской свиты в Западно-Сибирском бассейне // Георесурсы. 2019. Т. 21, № 2. С. 203–212. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.203-212>
18. *Белоновская Л.Г.* Формирование «зон разуплотнения» пород на больших глубинах // Методы оценки сложных коллекторов: Сб. научных трудов / Отв. ред. М.Х. Булач. Л.: ВНИГРИ, 1988. С. 16–25.
19. *Жемчугова В.А., Макарова Е.Ю., Наумчев Ю.В. и др.* Карбонатные резервуары подсолевых отложений Прикаспийской синеклизы // Георесурсы. 2017. № 3. С. 194–207. <https://doi.org/10.18599/grs.19.20>
20. *Абилхасимов Х.Б.* Седиментационные модели подсолевых комплексов южного борта Прикаспийского осадочного бассейна в позднем палеозое // Нефть и Газ. 2021. № 5(125). С. 12–33. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2021-5.01>

Информация об авторах

Искра Фаиковна Юсупова – канд. геол.-минерал. наук, старший научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия; SPIN-код: 3058-8959, <https://orcid.org/0009-0007-2659-6657>; e-mail: yusupova-if@mail.ru

Маргарита Евгеньевна Селиверстова – младший научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН, Москва; <https://orcid.org/0009-0003-7131-8120>; e-mail: seliverstova@ipng.ru

Поступила в редакцию 04.10.2025

Принята к публикации 06.11.2025

NEW METHODS AND TECHNOLOGIES OF STUDYING THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF OIL AND GAS BASINS

Original article

Features of concretion formations in high-carbon strata

Iskra F. Yusupova, Margarita E. Seliverstova ✉

Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, 3 Gubkina St., Moscow, 119333, Russia

Abstract *Background.* Concretionary bodies are the product of postsedimentary redistribution of matter; as a component of rock, they are of interest as a source of information in various studies, including those related to oil and gas geology. *Objective.* To establish a connection between concretionary bodies and the organic matter of the host rocks, to determine the possibility of using them as an indicator of high-carbon deposits at great depths, and to reveal the role of concretions in the formation of microfractures in interlayers with concentrated organic matter. *Materials and methods.* The analysis of literature sources containing data on high-carbon deposits and concretions, studies of the core containing concretionary bodies and the reliability of the description of core material from known hydrocarbon deposits and metal ores in Western and Eastern Europe and Asia is carried out. *Results.* The study revealed the possibility of using concretion formations as an indicator of “former” high-carbon rocks that lost their organic matter during lithogenesis. The impact of concretions on the formation of microfractures was established; it occurs at the contact between concretion bodies and bodies and host rocks during deformation-induced catagenetic shrinkage, contributing to the permeability and reservoir capacity for hydrocarbons forming at great depths under conditions of comprehensive compression and lack of drainage. *Conclusions.* Information about the formation and sealing of fractures in the concretions themselves, about the appearance of bitumens in them and their fractionation, can serve as a source of additional information about the processes in the sinking strata.

Keywords: high-carbon deposits, organic matter, concretions, domanicoids, microfracturing, closed hydrodynamic systems, Caspian Depression, subsalt deposits

Funding: the work was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (State Assignment No. 125021302095-2).

For citation: Yusupova I.F., Seliverstova M.E. Features of concretion formations in high-carbon strata. *Actual Problems of Oil and Gas*. 2025. Vol. 16, No. 3. P. 405–423. (In Russ.).

✉ Margarita E. Seliverstova, seliverstova@ipng.ru

© Yusupova I.F., Seliverstova M.E., 2025



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Author contributions

Iskra F. Yusupova – conceptualization, data curation, methodology, investigation, writing – original draft.

Margarita E. Seliverstova – data curation, investigation, visualization, writing – review & editing.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

References

1. Shadrina S.V., Redina A.A., Romanov E.A. On the nature of hydrocarbons in serpentinites. *Geology and Mineral Resources of Siberia*. 2023. No. 4-1(56). P. 63–76. (In Russ.). <https://doi.org/10.20403/2078-0575-2023-4a-63-76>
2. Tugarova M.A. Indicator signs of carbonate microbialites in black shale formations: isotopic composition and biomarkers. *Vestnik of Geosciences*. 2021. No. 11(323). P. 55–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.19110/geov.2021.11.5>
3. Eder V.G., Kostyreva E.A., Yurchenko A.Yu. et al. New data on lithology, organic geochemistry and accumulation conditions of the Bazhenov formation in Western Siberia. *Georesursy*. 2019. Vol. 21, No. 2. P. 129–142. (In Russ.). <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.129-142>
4. Bazhenova T.K., Kashchenko S.A., Matukhina V.G. On bitumen occurrences in carbonate concretions of graptolite shales of the Kureika River. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1966. Vol. 167, No. 2. P. 420–422. (In Russ.).
5. Korotkov A.I., Tolstikhin N.I., eds. *Mining and Geological Significance of Karst in the Leningrad Oil Shale Deposit: Collected Papers*. Leningrad: Plekhanov Leningrad Mining Institute, 1973. 181 p. (In Russ.).
6. Strakhov N.M., ed. *Methods for Studying Sedimentary Rocks*. Vol. 1. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1957. 611 p. (In Russ.).
7. Volozh Yu.A., Parasyina V.S., eds. *Astrakhan Carbonate Massif: Structure and Its Oil and Gas Perspectives*. Moscow: Nauchnyi mir, 2008. 221 p. (In Russ.).
8. Kalmykov G.A., Balushkina N.S. *Model of Oil Saturation of the Pore Space of the Bazhenov Formation Rocks of Western Siberia and Its Use for Assessing Resource Potential*. Moscow: GEOS, 2017. 247 p. (In Russ.).
9. Bakirov A.B., Pak N.T., eds. *Geodynamics and Mineralization of the Tien Shan (Kyrgyzstan)*. Bishkek: Ilim, 2014. 280 p. (In Russ.).
10. Yusupova I.F. The role of organic matter in formation of the properties of a shale deposit. *Doklady Earth Sciences*. 2019. Vol. 484, No. 1. P. 89–91. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19010161>
11. Yusupova I.F. Some features of lithogenesis of concentrated forms of organic matter in subsalt deposits of the Pre-Caspian depression and adjacent territories. *Exposition Oil Gas*. 2024. No. 6(107). P. 57–63. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2024-6-57-63>
12. Abouelresh M.O., Slatt R.M. Lithofacies and sequence stratigraphy of the Barnett Shale in east-central Fort Worth Basin, Texas. *AAPG Bulletin*. 2012. Vol. 96, No. 1. P. 1–22. <https://doi.org/10.1306/04261110116>

13. Tsvetkov L.D., Tsvetkov D.L., Kiseleva N.L. *Oil and Gas Source Rocks of the World*. Yaroslavl: Avers Plus, 2015. 492 p. (In Russ.).
14. Djenchuraeva R.D., Pak N.T., Ivleva E.A. et al. *Metallogeny of Carbonaceous Deposits in the Tien Shan*. Bishkek: Ilim, 2015. 204 p. (In Russ.).
15. Filippov M.M. *Anthraxolites*. St. Petersburg: VNIGRI, 2013. 296 p. (In Russ.).
16. Abukova L.A., Volozh Yu.A. Fluid geodynamics of deeply buried zones of oil and gas accumulation in sedimentary basins // *Russian Geology and Geophysics*. 2021. Vol. 62, No. 8. P. 878–886. <https://doi.org/10.2113/RGG20214348>
17. Sannikova I.A., Stoupakova A.V., Bolshakova M.A. et al. Regional modeling of hydrocarbon systems of the Bazhenov formation in the West Siberian Basin. *Georesursy*. 2019. Vol. 21, No. 2. P. 203–212. (In Russ.). <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.203-212>
18. Belonovskaya L.G. Formation of “decompaction zones” in rocks at great depths. In: Bulach M.Kh., ed. *Methods for Evaluation of Complex Reservoirs: Collected Papers*. Leningrad: VNIGRI, 1988. P. 16–25. (In Russ.).
19. Zhemchugova V.A., Makarova E.Yu., Naumchev Yu.V. et al. Carbonate reservoirs of subsalt deposits of the Caspian syncline. *Georesursy*. 2017. No. S. P. 194–207. (In Russ.). <https://doi.org/10.18599/grs.19.20>
20. Abilkhasimov Kh.B. Sedimentation models of subsalt complexes of the southern board of the Pre-Caspian sedimentary basin in the Late Paleozoic. *Oil and Gas*. 2021. No. 5(125). P. 12–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2021-5.01>

Information about the authors

Iskra F. Yusupova – Cand. Sci. (Geol.-Min.), Senior Researcher, Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; <https://orcid.org/0009-0007-2659-6657>; e-mail: yusupova@ipng.ru

Margarita E. Seliverstova – Junior Researcher, Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; <https://orcid.org/0009-0003-7131-8120>; e-mail: seliverstova@ipng.ru

Received 4 October 2025

Accepted 6 November 2025