

УДК 552.52:552.552:552.14
DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4699
Шифр специальности ВАК: 1.6.11, 1.6.5

Кора выветривания доюрского комплекса Калинового месторождения углеводородов Томской области: особенности состава и строения

Л.А. Краснощекова^{1✉}, И.В. Вологодина², А.С. Гарсия Бальса¹

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

² *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

✉ krasnl@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность* исследования обусловлена возможностью прироста ресурсов углеводородов в образованиях доюрского фундамента Западной Сибири, отложения которого продуктивны и рассматриваются как перспективные объекты для открытия месторождений углеводородов. Коры выветривания, развитые по породам палеозойского фундамента в пределах Томской области, характеризуются сложным вещественным составом и строением, представляют собой продукт суммарного взаимодействия множества факторов – первичных седиментогенных и эпигенетических процессов, трещинного флюидного метасоматоза. **Цель.** Установить особенности минералогического состава и строения палеозойских образований коры выветривания, развитой на Калиновом нефтегазоконденсатном месторождении. **Методы.** Кристаллооптический, рентгеноструктурный, сканирующая электронная микроскопия. **Результаты и выводы.** Детально изучены состав и строение пород зоны контакта мезозойских отложений и палеозойского фундамента в разрезе одной из скважин Калинового нефтегазоконденсатного месторождения. Фактический материал для исследований представлен керном и шлифами отложений коры выветривания. Основными компонентами, слагающими породы, являются минералы группы кремнезема (кварц, халцедон и опал) и глинистые минералы при подчиненной роли карбонатов (сидерита). В зависимости от содержания минералов и органических остатков (радиолярий и спикул губок) выделены литотипы пород, указывающие на их формирование в бассейновых условиях. Протолитами измененных пород являлись кремнисто-глинисто-карбонатные породы, кремнеаргиллиты, радиоляриты, которые в результате стадийных и вторичных гидротермально-метасоматических процессов преобразованы в глинисто-кремнистые породы. В последних при интенсивном развитии постстадийных изменений могут проявляться хорошие коллекторские свойства. В этом случае пустотное пространство представлено биопустотами и микрокавернами, микропорами и раскрытыми трещинами.

Ключевые слова: глинисто-кремнистые породы, кора выветривания, фундамент, палеозой (доюрский комплекс), нефтегазоносный горизонт зоны контакта

Для цитирования: Краснощекова Л.А., Вологодина И.В., Гарсия Бальса А.С. Кора выветривания доюрского комплекса Калинового месторождения углеводородов Томской области: особенности состава и строения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 6. – С. 160–174. DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4699

UDC 552.52:552.552:552.14
DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4699

Pre-Jurassic weathering crust of the Kalinovie hydrocarbon deposit, Tomsk region: composition and structure characteristics

L.A. Krasnoshchekova^{1✉}, I.V. Vologdina², A.S. Garcia Balca¹

¹ *National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation*

² *National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation*

✉ krasnl@yandex.ru

Abstract. The study of pre-Jurassic deposits in the southwestern part of Western Siberia is highly relevant due to their potential of increasing hydrocarbon resources. These deposits are considered as prospective targets for the discovery of hydrocarbon accumulations. Weathering crusts developed on the upper part of the Paleozoic rocks in the Tomsk region exhibit a complex composition and structure, reflecting the interplay of various factors, including primary sedimentary processes and later alteration processes, including fracture-controlled fluid flow and metasomatism. **Aim.** To establish the characteristics of the mineralogical composition and structure of the Paleozoic weathering crust formations developed at the Kalinovoe oil-gas-condensate field. **Methods.** Optical microscopy, X-ray diffraction, scanning electron microscopy. **Results and conclusions.** The composition and structure of the deposits at the boundary zone between the Paleozoic and Mesozoic successions have been studied in detail in the section of one of the wells at the Kalinovoe oil-gas-condensate field. The factual material is represented by core and thin sections of weathering crust deposits. The primary rock-forming minerals are silica minerals (quartz, chalcedony and opal) and clay minerals, with a lesser amount of carbonate minerals (siderite). Different lithological units were identified based on the content of minerals and bioclast (radiolarians and sponge spicules), indicating their formation under marine conditions. The protoliths of the altered rocks were carbonate-siliceous rocks, argillaceous limestones, and radiolarian cherts, which as a result of multiple stages of hydrothermal alteration and metasomatic processes were transformed into argillaceous-silicified rocks. In these rocks, with intense post-alteration overprinting, good reservoir quality porosity can develop. This porosity includes biogenic voids, microcavities, micropores, and open fractures.

Keywords: argillaceous-silicified rocks, weathering crust, upper part of the Paleozoic, Paleozoic (pre-Jurassic complex), hydrocarbon horizon of the boundary zone

For citation: Krasnoshchekova L.A., Vologdina I.V., Garcia Balca A.S. Pre-Jurassic weathering crust of the Kalinovoe hydrocarbon deposit, Tomsk region: composition and structure characteristics. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2024, vol. 335, no. 6, pp. 160–174. DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4699

Введение

В палеозойских (доюрских) отложениях Западной Сибири (ЗС) залежи углеводородов локализуются преимущественно в трех основных типах пород: 1) кислых магматических, включая плутониты и вулканиты; 2) глинисто-кремнистых образованиях коры выветривания (КВ), развивающихся по кремнистым известнякам и кремнеаргиллитам; 3) известняках коренного палеозоя [1–4].

Продуктивные отложения зоны контакта мезозойских и доюрских коренных пород фундамента ЗС и сформировавшиеся по ним коры выветривания выделяют в качестве самостоятельного объекта поиска углеводородов – нефтегазоносного горизонта зоны контакта (НГГЗК) [3, 5]. Соответственно, нефтеперспективным объектом в НГГЗК является пласт М, в кровельной части палеозойского фундамента – пласт М₁, в глубинном палеозое – пласты М₂, М₃ и далее.

Зона контакта мезозойского чехла и палеозойского (доюрского) фундамента ЗС характеризуется чрезвычайно сложным внутренним строением, что обусловлено не только длительной эпохой поверхностного выветривания, но и сложной продолжительной историей существования данной поверхности в погребенном состоянии, в условиях тектонической дезинтеграции и воздействия флюидов. В связи с тем, что измененные породы в кровле палеозоя служат часто резервуарами нефти и газа, вопрос о строении зоны имеет не только региональное, но и огромное практическое значение [6].

В Томской области первые скважины, пробуренные до кровли палеозоя, вскрыли магматические породы и известняки, интенсивно замещенные глинистыми минералами, объединенные и описан-

ные как коры выветривания [7] и обобщенные позже в монографии по месторождениям Сибири [8]. Строение КВ с выделением геохимической, минералогической и петрофизической неоднородности фундамента нефтегазоносных бассейнов приведено в работах [9–13 и др.]. Корреляция отложений КВ и доюрского основания в ЗС, особенности развития зоны контакта, стратификация КВ, вторичные преобразования материнских пород подробно изучались в [6, 14–19 и др.].

Свойства коренных пород, типичные профили, основные процессы и контролирующие факторы резервуаров КВ в различных регионах мира исследовали [20–31 и др.].

Признаки нефтеносности и промышленные скопления нефти и газа, помимо традиционных осадочных песчаных и карбонатных отложений, в настоящее время установлены в магматических и метаморфических породах и КВ, ранее относившихся к неперспективным образованиям на УВ, а сейчас рассматриваемых как новый нефтеносных этаж и глобальный объект земной коры [32].

Таким образом, «нефтегазоносность фундамента различных регионов мира из чисто теоретической проблемы нефтегазовой геологии переходит в практическую, требующую целенаправленных комплексных геолого-геофизических исследований, учитывающих специфику объекта» [33. С. 102].

Целью работы являлось детальное литолого-петрографическое изучение отложений КВ (пласт М) опорного разреза одной из скважин Калинового нефтегазоконденсатного (НГК) месторождения с выделением вторичных изменений пород, влияющих на их фильтрационно-емкостные характеристики.

Краткая геологическая характеристика исследуемого объекта

Калиновое НГК месторождение находится в пределах Чузикско-Чижапской зоны нефтегазоаккумуляции, расположенной на юго-востоке ЗС в Парабельском районе Томской области. Чузикско-Чижапская мезоседловина, являясь зоной сочленения Лавровского мезовала и Пудинского мезоподнятия, осложнена значительным количеством локальных поднятий, в отложениях которых открыты месторождения нефти и газа в НГГЗК (рис. 1). Нефтяная залежь в выветрелых отложениях Калинового локального поднятия развита только на западном куполе и представлена интенсивно измененными породами глинисто-кремнистого состава [34].

Изучение вещественного состава и палеогеографических условий формирования доюрских образований рассматриваемой территории позволили [3] выделить в Чузикско-Чижапской мезоседловине юго-западную зону преобладающего развития органогенных известняков и северо-восточную и во-

сточную зону кремнисто-глинисто-карбонатных пород (рис. 2).



Рис. 1. Территориально-административная приуроченность Калинового месторождения
Fig. 1. Regional and administrative location of the Kalinovo field

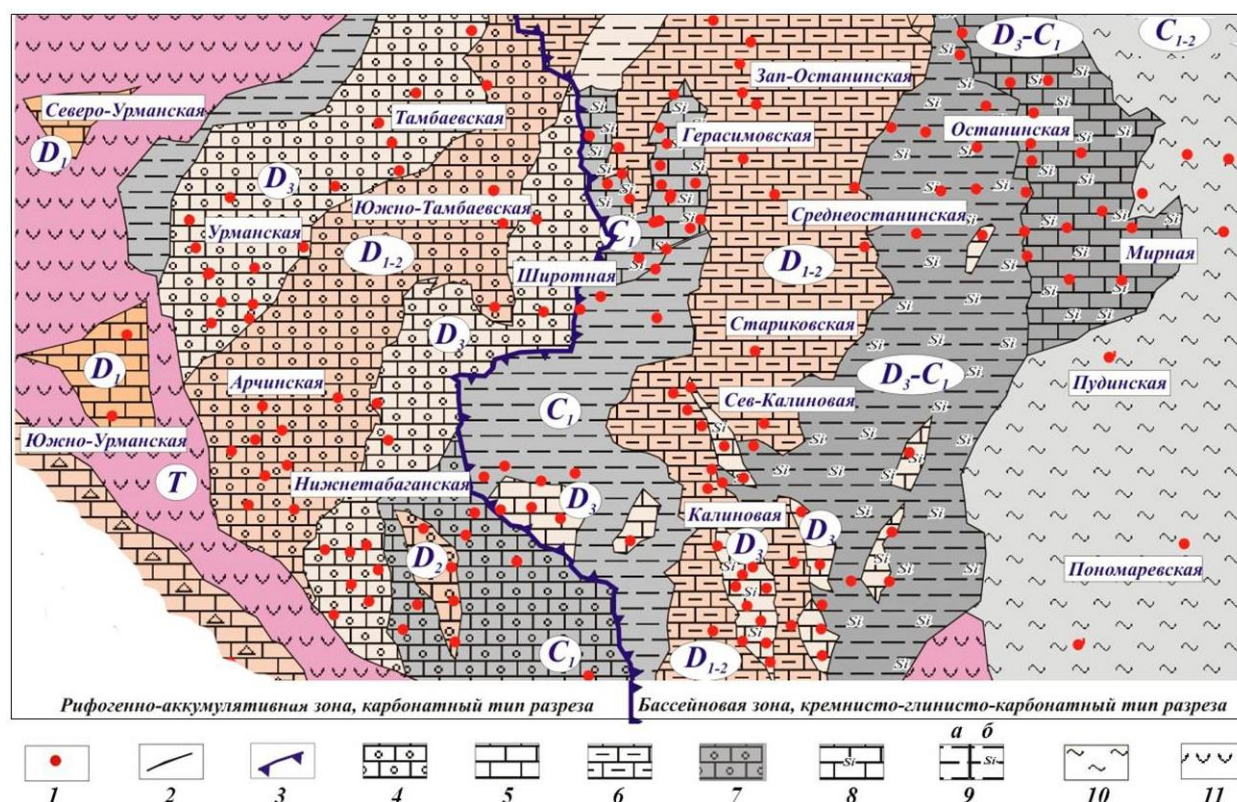


Рис. 2. Карта вещественного состава коренных пород доюрского основания (Чузикско-Чижапская зона) [3]. 1 – скважины, 2 – границы блоков, 3 – граница рифогенно-аккумулятивной и бассейновой зон; известняки: 4 – нижнего девона, 5, 6 – нижнего-среднего девона: 5 – органогенные, 6 – глинистые; 7 – органогенный известняк верхнего девона – нижнего карбона; 8 – кремнистые известняки верхнего девона – нижнего карбона; 9 – породы верхнего девона – нижнего карбона: а – терригенные, б – кремнистые терригенные; 10 – глинистые сланцы нижнего – среднего карбона; 11 – раннетриасовые вулканиты

Fig. 2. Lithological map of Paleozoic deposits (pre-Jurassic deposits) in Chuzhik-Chizhapa zone [3]: 1 – wells; 2 – block boundaries; 3 – boundary of reef and basin environments of oil generation; limestones: 4 – Early Devonian; 5, 6 – Early-Middle Devonian: 5 – organogenic; 6 – argillaceous; 7 – Late Devonian – Early Carboniferous organic; 8 – Late Devonian – Early Carboniferous siliceous limestones; 9 – terrigenous (a) and siliceous-terrigenous (b) Late Devonian – Early Carboniferous rocks; 10 – Early-Middle Carboniferous clay shales; 11 – Early Triassic volcanics

Последние являются более глубоководными отложениями и указывают на увеличение глубины морского бассейна в направлении их развития. Проявившаяся позднее герцинская складчатость и дезинтеграция пород в перерывах осадконакопления в предъюрский период приводит к образованию КВ отложений палеозоя: брекчированных КВ глинисто-известкового состава по органогенным известнякам, по кремнеаргиллитам и кремнистым известнякам развиваются глинисто-кремнистые КВ.

В пределах наиболее контрастных эрозионно-тектонических выступов доюрского основания (Герасимовской, Калиновой и Останинской площадях), сложенных кремнистыми известняками, отмечаются наибольшие по толщине глинисто-кремнистые КВ (пласт М) (рис. 3) [3]. При интенсивности проработки таких отложений гипергенными и метасоматическими процессами могут формироваться пласты с хорошими коллекторскими свойствами [35].

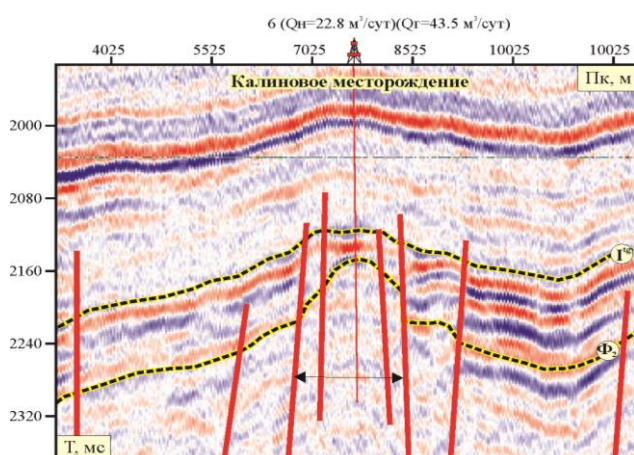


Рис. 3. Эрозионно-тектонические выступы доюрского основания Калинового месторождения, сложенные кремнистыми известняками [3]

Fig. 3. Erosional-tectonic uplifts of the pre-Jurassic deposits at the Kalinovo field, composed of carbonate-siliceous rocks [3]

Материалы и методы исследования

Изучался разрез доюрского комплекса отложений (50,96 м керна) одной из скважин Калинового месторождения, из которых были изготовлены 109 прокрашенных синей эпоксидной смолой шлифов. Детальное исследование состава и особенностей микростроения пород проводилось на петрографическом микроскопе Olympus BX53F с камерой DP23 и программой изображений cellSens Entry.

Рентгеновский дифрактометр ДРОН-7 с твердотельным энергодисперсионным детектором использовался для определения минералогического состава глинистой фракции образцов горных пород

методом полуколичественного рентгенофазового анализа.

Для уточнения фазового, химического состава и морфологических характеристик минералов пород применялся сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM-6510 с детектором X-MAX^N (Oxford Instruments) и диапазоном измерений линейных размеров 0,003–1000 мкм.

Результаты исследования и их обсуждение

Петрография пород Калинового месторождения

Отложения скважины охарактеризованы керном в интервалах глубин 2887–2946,6 м, в верхней части разреза (≈ 6 м) при макроскопическом описании определяются светло-серые алевролиты разномеристые, глинистые и/или с обломками гравийной размерности и гравелиты разнообломочные с алевроитовым цементом.

С глубины 2893 м породы представлены глинисто-кремнистыми разновидностями, преимущественно массивными или с участками пологоволнистой слоистости, нарушенной деформацией (оползанием), пятнисто ожеженными, с открытыми или залеченными трещинами. Именно указанный интервал глинисто-кремнистых пород и являлся целевым объектом микроскопического изучения в данной работе.

Для большей части исследуемого разреза в интервале 2893–2946,6 м характерно слоистое и микрослоистое строение, обусловленное чередованием прослоев с разным содержанием тех или иных составляющих компонентов. По данным рентгенофазового анализа в породах преобладают минералы кремнезема с содержанием 48–97 % (в единичных образцах – 19 %); остальная часть приходится на глинистые (2–35 % и фрагментарно 69 %) и карбонатные (0–19 %) минералы, что позволяет выделять разновидности пород в зависимости от минералогического состава: кремнистого, глинистого, железистого, карбонатного материала и органогенных остатков.

Учитывая, что минералогический состав и органические остатки в породах изучаемого разреза одни и те же, и меняется только их процентное соотношение в определенных литотипах, выделение последних основано на преобладающем компонентном составе с последующей детализацией в подтипах пород.

В изучаемой толще по микроскопическому определению выделены литотипы с детализацией на разновидности по составу пород (таблица).

Структурно-текстурные особенности строения пород

Для всех изученных образцов пород характерна реликтовая органогенная структура, что обусловлено присутствием реликтов радиолярий с фрагментарным появлением примеси спикул губок.

Таблица. Типизация пород по составу в разрезе скважины Калиновое месторождения

Table. Lithological classification of rocks in the well section of the Kalinovie field

Тип пород Rock types	Литотип Lithotype
Глинисто-кремнистый Argillaceous-siliceous	Глинисто-кремнистый с примесью радиолярий Argillaceous-siliceous with a mixture of radiolarians; Глинисто-кремнистый радиоляриевый Argillaceous-siliceous radiolarian; Глинисто-кремнистый гидрослюдистый с примесью радиолярий Argillaceous-siliceous hydromicaceous with a mixture of radiolarians; Глинисто-кремнистый сидеритизированный, окремненный Argillaceous-siliceous sideritized hydromicaceous with a mixture of radiolarians; Глинисто-кремнистый, метасоматически измененный Argillaceous-siliceous metasomatically altered
Кремнисто-глинистый Siliceous-argillaceous	Кремнисто-глинистый (кремнеаргиллит) Siliceous-argillaceous
Радиолярит Radiolarite	Радиолярит глинисто-кварц-халцедоновый Radiolarite argillic-quartz-chalcedonous; Радиолярит глинисто-халцедон-кварцевый Radiolarite argillic-calcedony-quartz
Туфопелитолит Tuffaceous pelitic	Туфопелитолит гидрослюдистый, кремнистый, радиоляриевый Tuffaceous pelitic hydromicaceous, silicious, radiolarian

В *кластолитовых* прослоях глинисто-кремнистых пород структура неравномернoзернистая с преобладанием неокатанных и слабоокатанных обломков псефитов с размерами 2–10–22 мм и реже обломочных зерен псаммитовой размерности от 0,1 до 0,5 мм (рис. 4, а). Структура цементирующей массы скрыто- и микрокристаллическая, тонкоchешуйчатая ориентированная. Тип цемента поровый открытый, коррозионный. Ориентированная текстура формируется в результате субпараллельного расположения уплощенных обломков.

В глинисто-кремнистых прослоях структура неравномернoзернистая и варьирует от пелитовой, скрыто- и микрозернистой до тонко- и мелкозернистой. Отмечается сгустковое и комковатое скопление агрегатов вещества. В прослоях, обогащенных микрокристаллическими и тонкоchешуйчатыми выделениями гидрослюды, проявляются участки с ориентированным строением.

Сеть трещин залечена неравномернoзернистыми агрегатами кварца, сидерита и колломорфными агрегатами гидроксидов железа. Выделяются участки с гранобластовыми зернами и агрегатами кварца крупно- и грубозернистой размерности, с мелко-крупнозернистым сидеритом и микрозернистым каолинитом.

Текстура микро-, тонкоchешуйчатая, обусловленная чередованием прослоев с разным содержанием пелитоморфного глинистого материала и наличием более кремнистых прослоев, часто пятнистая, связанная с развитием участков метасоматического замещения с агрегатами сидерита, кварца и каолинита, а также наличием участков с разным количеством бурого глинистого, гидрослюдистого, кремнистого материала.

В кремнисто-глинистых прослоях структура скрыто-микрозернистая, пелитовая, тонкоchешуйчатая ориентированная. В связи с наличием органических остатков – реликтовая органическая. Текстура линзовидная и пятнистая микротекстура обусловлены с образованием агрегатов глинистого, карбонатного и железистого вещества (рис. 4, б). В верхних частях разреза наблюдаются деформационные текстуры, выражающиеся в смятии в небольшие складки еще не отвердевшего осадка (текстуры оползания) или же вдавливания кремнистых радиоляритов в менее плотные глинисто-кремнистые прослои. В нижних частях разреза выделяются участки с биогенными текстурами, возникшими в результате жизнедеятельности илоедов (рис. 4, с).

В кремнистых и глинисто-кремнистых радиоляритах структура неравномернoзернистая. По форме агрегатов сферолитовая (радиально-лучистые агрегаты халцедона замещают скелеты радиолярий) и шароагрегатная (агрегаты микрозернистого кварца замещают скелеты радиолярий). Наличие прослоев в породах с разным содержанием железистого, гидрослюдистого и карбонатного материала обуславливает их слоистую текстуру.

В туфопелитолитах структура пелловая (обломки менее 2 мм), скрытокристаллическая, пелитовая; по составу обломков кристалловитрокластическая. Текстура тонкоchешуйчатая, ориентированная, образующаясь однонаправленным расположением удлиненных обломков лито- и витрокластов.

В участках метасоматической минерализации структура неравномернoзернистая – от микрозернистой до крупнозернистой (0,5–1 мм) и грубозернистой (>1 мм), размер отдельных зерен кварца достигает 3 мм. В отдельных участках гранобластовая. Текстура слойчатая, обусловленная наличием кремнеаргиллитовых, железистых прослоев, зон окремнения и сидеритизации, нередко деформационная (рис. 4, д). Неоднородность и пятнистость пород обусловлена развитием участков метасоматического замещения с агрегатами сидерита, кварца и каолинита, а также наличием участков с разным количеством бурого глинистого, гидрослюдистого, кремнистого материала

В трещинах структура неравномернoзернистая, местами гранобластовая, оолитовая, сферолитовая.

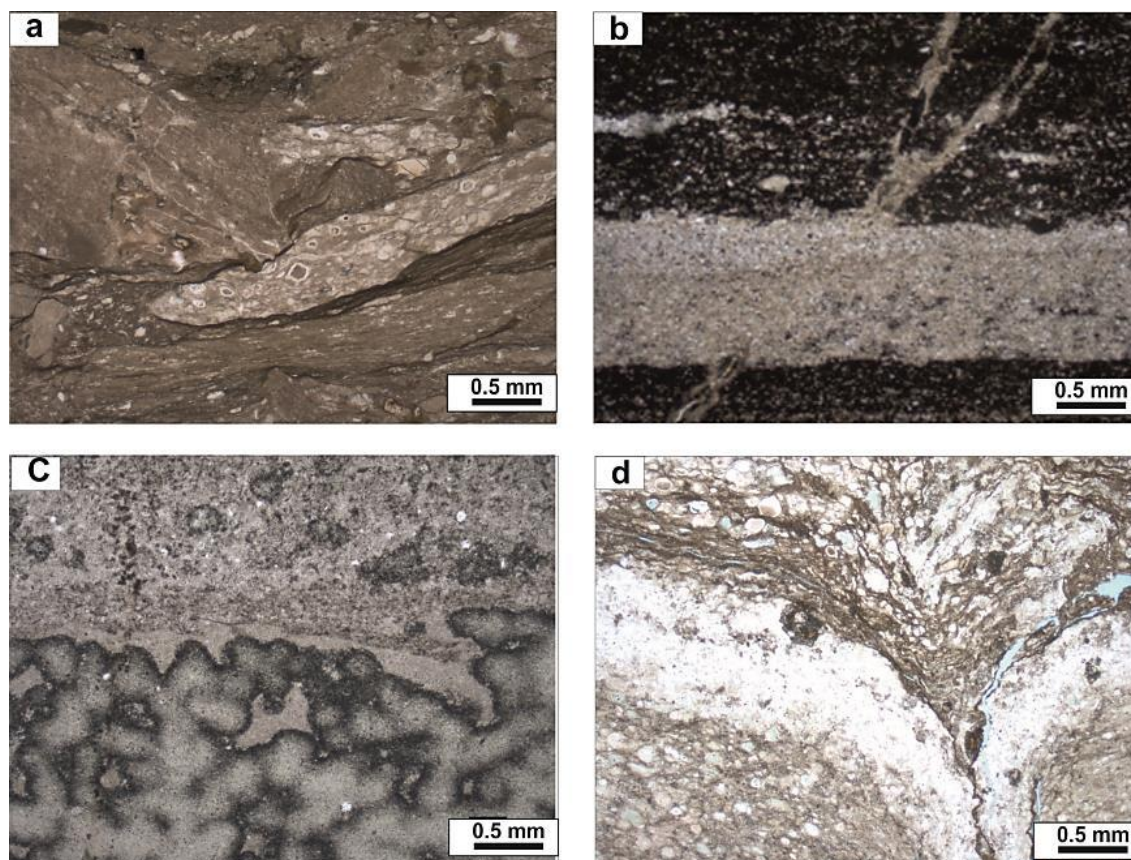


Рис. 4. Структурно-текстурные особенности пород Калинового месторождения (без анализатора): а) гравелито-древяная мелкозернистая структура; б) слоистая текстура. Туфопелитовый окремненный прослой в глинисто-кремнистой породе; в) биотурбитовая текстура, ходы илоедов, заполненные глинисто-кремнистым материалом с примесью органического вещества; д) деформационная текстура в зоне окремнения и сидеритизации

Fig. 4. Textural features of rocks from the Kalinovoe field (without analyzer): a) gravelite-gravel fine-grained structure; b) laminated texture. Tuffaceous pelitic silicified interlayer in argillaceous-siliceous rock; c) bioturbated texture, burrows filled with argillaceous-siliceous material with an admixture of organic matter; d) deformational texture in the zone of silicification and sideritization

Вещественный состав

Минералы кремнезема представлены опалом, кварцем, халцедоном. Скрытокристаллический кремнистый материал составляет основу глинисто-кремнистых пород. При больших увеличениях отмечается поляризация вещества, имеющего оптические характеристики кварца, характеризуется микрозернистыми размерами до 0,005 мм и менее. Скрытокристаллический кремнезем образуется в диагенетическую, раннюю катагенетическую стадию в результате раскристаллизации седиментогенного аморфного кремнезема. В скрытокристаллической массе выделяются микрозернистый кварц и единичные тонкие чешуйки гидрослюда.

Кварц встречается в виде зерен и агрегатов, имеет аутигенную и аллотигенную природу. Аутигенный кварц в виде зерен образуется в результате раскристаллизации седиментогенного кремнезема, формирует удлиненно-призматические дипирамидальные кристаллы (рис. 5, а) и идиоморфные зер-

на – гранобласты (рис. 5, б), в трещинах и зонах метасоматического замещения (трещинный метасоматоз). В некоторых трещинах и пустотах шестоватые кристаллики кварца нарастают на стенки, формируя оторочки (рис. 5, с, д)

Агрегаты микрозернистого аутигенного кварца составляют основу глинисто-халцедон-кварцевых радиоляритов, замещают скелеты радиолярий (рис. 5, е), спикул губок и выполняют трещины.

Аллотигенный кварц – туфогенный и терригенный – наблюдается в туфопелитолитовых прослоях или в качестве примеси практически во всех образцах. Кроме кварца в туфогенных прослоях присутствуют слабонераскристаллизованные (окремненные) обломки вулканического стекла (витрокласты) таблитчатой, оскольчатой формы или встречаются тонкие, удлиненные обломки изогнутой формы, окремненные (скрытокристаллический кремнистый материал) витрокласты или литокласты.

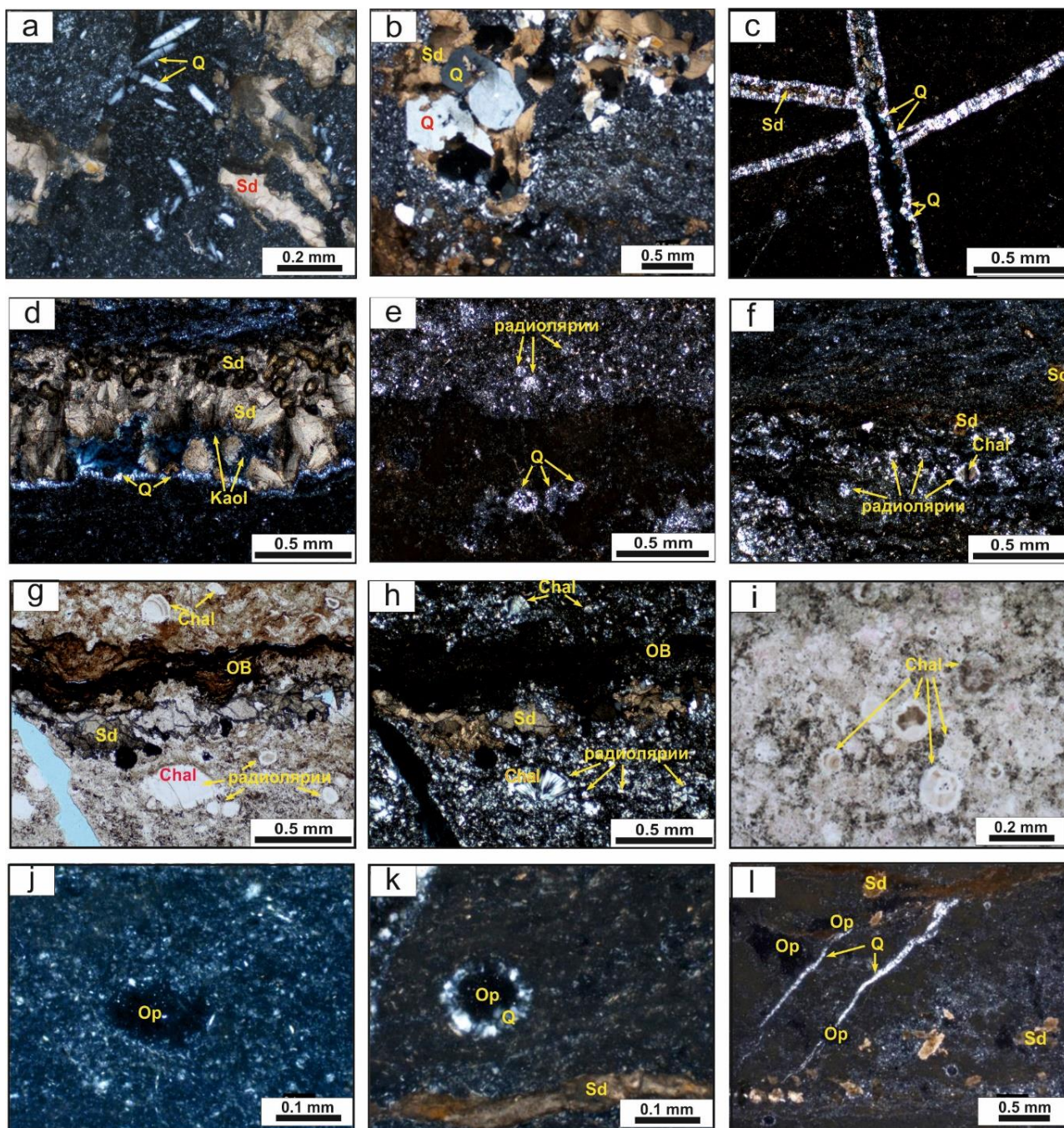


Рис. 5. Минералы группы кремнезема в породах пласта М Калиновое месторождения: а) удлиненные призмы кристаллов кварца; б) гранобластовый агрегат кварца; с, д) шестоватые кристаллы кварца по периферии трещин; е) микрозернистый аутигенный кварц в раковинах радиолярий; ф-и) агрегаты радиально-лучистого халцедона, частично ожелезненного; ж) опал в реликтах радиолярий; к) замещение радиолярии опалом и оторочкой микрокристаллов кварца; л) опал в пустотах выщелачивания, в трещинах – кварц. Условные обозначения: Q – кварц, Chal – халцедон, Op – опал, Sd – сидерит, Kaol – каолинит, OB – органическое вещество. Стрелками указаны остатки радиолярий. Фотографии а-ф, h, j-l – с анализатором, g-i – без анализатора

Fig. 5. Silicate group minerals in the M reservoir rocks of the Kalinovoe field: a) elongated prisms of quartz crystals; b) grano-blastic quartz aggregate; c, d) columnar quartz crystals along fracture margins; e) microcrystalline authigenic quartz in radiolarian tests; f-i) radial-fibrous chalcedony aggregates, partially ferruginous; j) opal in radiolarian relicts; k) radiolarian replaced by opal and rimmed by microcrystalline quartz; l) opal in dissolution voids, quartz in fractures. Legend: Q – quartz, Chal – chalcedony, Op – opal, Sd – siderite, Kaol – kaolinite, OB – organic matter. Arrows indicate radiolarian remains. Photographs a-f, h, j-l with analyzer, g-i without analyzer

Халцедон составляет основу в глинисто-кварц-халцедоновых радиоляритах, в виде радиально-лучистых агрегатов, замещает скелеты радиолярий, часто бывает ожелезнен (рис. 5, *f–h*). В крупных ядрах радиолярий иногда формируется по два–три сферолитовых агрегата халцедона.

Опал встречается не во всех образцах, выполняет ядра радиолярий (рис. 5, *j*), в некоторых радиоляриях опал наблюдается вместе с кварцем, микростеатовые кристаллы которого образуют оторочки в ядрах (рис. 5, *k*), а также заполняет выщелоченное пустотное пространство (рис. 5, *l*). По всей видимости, формирование опала происходило в поздние, наложенные стадии (трещинного метасоматоза) с привнесом в породу кремнезема с гидротермальными флюидами. После процессов выщелачивания – растворения биогенного кремнезема и других компонентов – началась минерализация пустот выщелачивания.

Глинистые минералы аутигенные, представлены гидрослюдай и каолинитом, также в образцах присутствует трудно диагностируемое пелитоморфное железисто-глинистое вещество. Согласно данным полуколичественного рентгенофазового анализа преобладающим глинистым минералом в большинстве образцов является гидрослюда (до 83 %).

Гидрослюда присутствует в виде единичных разнонаправленных тонких чешуек в скрытокристаллической кремнистой массе или в виде агрегатов из однонаправленных чешуек, с одновременным погасанием, придающих породе аргиллитоподобный облик (рис. 6, *a*).

Каолинит также является аутигенным минералом и образуется в результате действия наложенных процессов трещинного метасоматоза. Каолинит заполняет выщелоченные пустоты раковин радиолярий, из которых был вынесен биогенный кремнезем, трещины и кавернозные полости, т. е. является продуктом вторичной минерализации (рис. 6, *b*).

В участках метасоматического замещения каолинит всегда находится совместно с агрегатами сидерита и кварца (рис. 6, *c, d*), отмечается коррозия зерен кварца каолинитом.

Практически по всему изучаемому разрезу наблюдается развитие агрегатов бурого, скрытокристаллического, пелитоморфного вещества железисто-глинистого, глинистого, карбонатно-глинистого состава. Наименьшее количество бурого вещества отмечается в существенно кремнистых радиоляритах, наибольшее – в кремнисто-глинистых прослоях с небольшим количеством радиолярий (рис. 6, *b*).

Карбонатный компонент представлен сидеритом, являющимся продуктом наложенной минерализации, связан с процессами метасоматического

замещения. Глинисто-кремнистые породы во всем изученном интервале в разной степени сидеритизированы. В отдельных частях разреза сидерит встречается только в трещинах и околотрещинном пространстве (рис. 6, *e*), замещает радиолярии (рис. 6, *e, f*) и формирует агрегаты в глинисто-кремнистой массе породы, вплоть до формирования сидеритовых прослоев. Сидерит выполняет роль цемента в брекчированных и кластогенных породах.

Сидеритизация отмечается также и в кремнистых радиоляритовых прослоях. Кроме того, агрегаты сидерита составляет основу в участках метасоматического замещения (рис. 6, *i*).

Формы выделения сидерита разнообразны – единичные удлиненные, ромбовидные (рис. 6, *g*) и таблитчатые зерна, в виде мельчайшей сыпи в околотрещинном пространстве, сфероагрегаты, округлые агрегаты в радиоляриях, округлые агрегаты с крустификационной оторочкой из шестоватых кристалликов (рис. 6, *h*), сноповидные агрегаты, оолитовые образования, часто с отслоившимися скорлупками, с образованием пустот. Сидерит бывает окислен с образованием железистых тонких полосок и пятен внутри агрегатов. Встречаются округлые, звездчатые агрегаты пелитоморфного сидерита, выделяющиеся на светлом фоне породы темно-серой окраской и высоким рельефом без анализатора, с анализатором агрегаты бурые.

Для всего разреза характерно ожелезнение в той или иной степени: гидроксиды железа чаще всего развиваются в трещинах и околотрещинном пространстве.

Поровое пространство формируется за счет развития трещин и процессов выщелачивания и проявляется в растворении биогенного кремнезема, глинисто-кремнистого и карбонатного материала (рис. 7).

Трещины развиты практически во всем интервале. Большинство трещин секущие, субвертикальные, реже послойные. По некоторым субвертикальным трещинам отмечается перемещение пород относительно трещины до 1 см. Послойные трещины часто возникают на границе кремнистых радиоляритов и глинисто-кремнистых прослоев (рис. 7, *f*). Следует отметить, что зачастую на границе формируется зона трещиноватости, трещины тонкие – 0,01–0,1 мм, большей частью открытые. К трещинам приурочены участки ожелезнения, сидеритизации и выщелачивания. Породы по абсолютной проницаемости считаются низко- и среднепроницаемыми.

Наиболее высокие значения пористости и проницаемости отмечаются в образцах с раскрытыми трещинами, с растворенными скелетами радиолярий и открытыми полостями кавернозного типа.

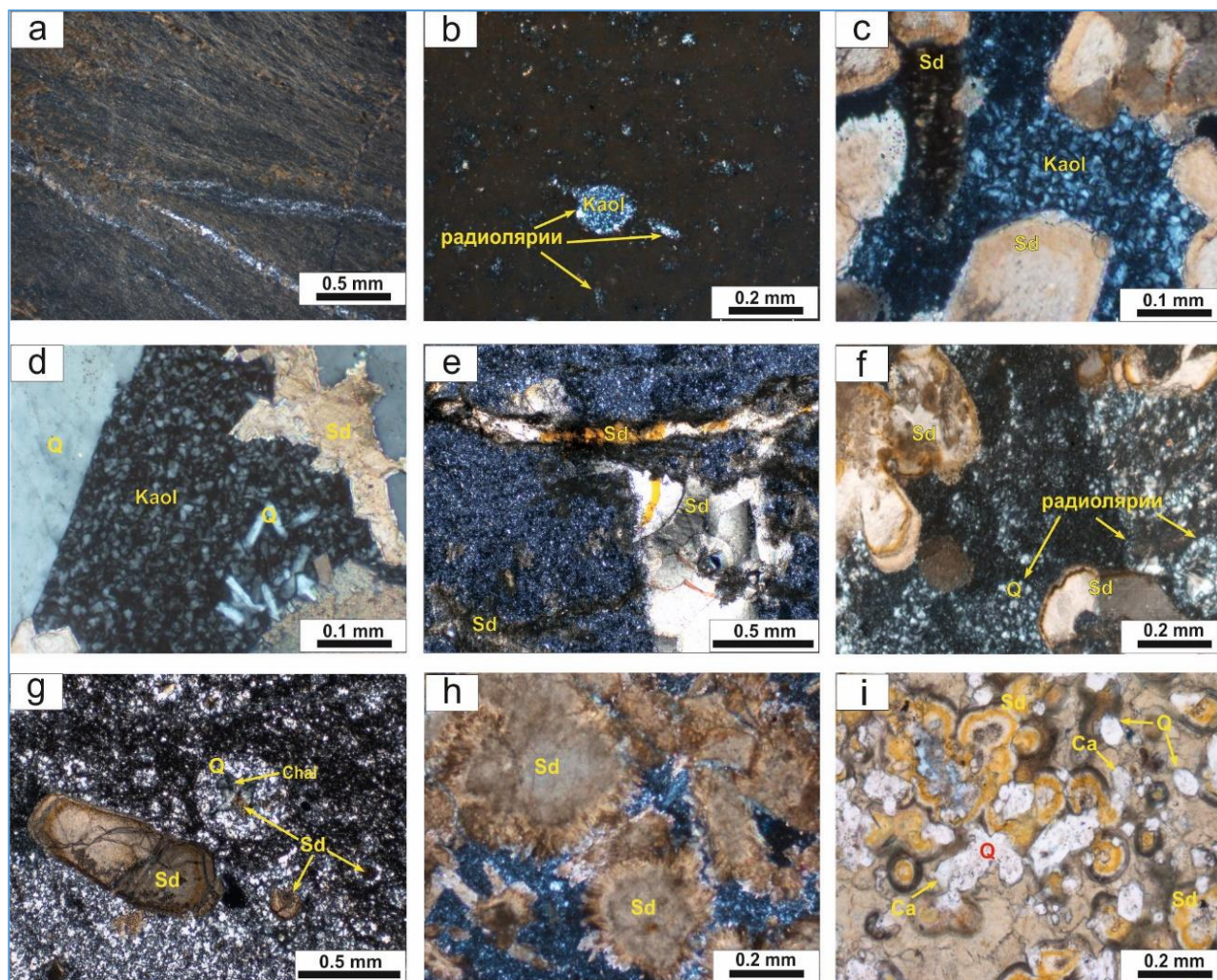


Рис. 6. Глинистые и карбонатные минералы в породах коры выветривания Калинового месторождения: а) агрегаты тонкочешуйчатой однонаправленной гидрослюда; б) чешуйчатый каолинит в остатке радиолярии; с, d) пакеты каолинита с сидеритом и кварцем в зонах метасоматоза; е, f) развитие сидерита в раковинах радиолярий и трещинах; g) удлиненные кристаллы сидерита с зональностью, частично ожелезненные; h) агрегаты сферосидерита с крустификационной оторочкой; i) оолитовые окисленные агрегаты и ксеноморфные зерна сидерита. Условные обозначения – на рис. 5. Фотографии а–h – с анализатором, i – без анализатора

Fig. 6. Clay and carbonate minerals in weathering crust rocks of the Kalinovoe field: a) aggregates of fine scaly unidirectional hydrous mica; b) scaly kaolinite in radiolarian relict; c, d) kaolinite packets with siderite and quartz in metasomatic zones; e, f) siderite development in radiolarian tests and fractures; g) elongated zoned siderite crystals, partially ferruginous; h) sphaeroid siderite aggregates with crustification rim; i) oolitic oxidized aggregates and xenomorphic siderite grains. Legend is in Fig. 5. Photographs a–h with analyzer, i without analyzer

Постседиментационные преобразования пород

Породы глинисто-кремнистой толщи, составляющие разрез скважины, подверглись как стадийным, так и постстадийным (наложенным) преобразованиям.

Стадийные изменения не превышают позднего катагенеза и выражаются в раскристаллизации глинистого и кремнистого седиментогенного и биогенного материала. Халцедон, кварц и гидрослюда являются продуктами диа- и катагенетических преобразований. Изначально эти породы характеризуются низкими коллекторскими свойствами, первичных пор не наблюдается. Все изме-

нения, повлиявшие на фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС), связаны с развитием наложенных эпигенетических процессов в результате движения флюидов по трещинам. Множество тонких трещин, секущих, субвертикальных и послойных рассекают породы глинисто-кремнистой толщи. Большинство из них залечено сидеритом, микрозернистым кварцем и гидроксидами железа, однако имеются и полностью или частично открытые. То, что трещины явились проводниками гидротермальных флюидов, подтверждается развитием участков метасоматического замещения в околотрещинном пространстве.

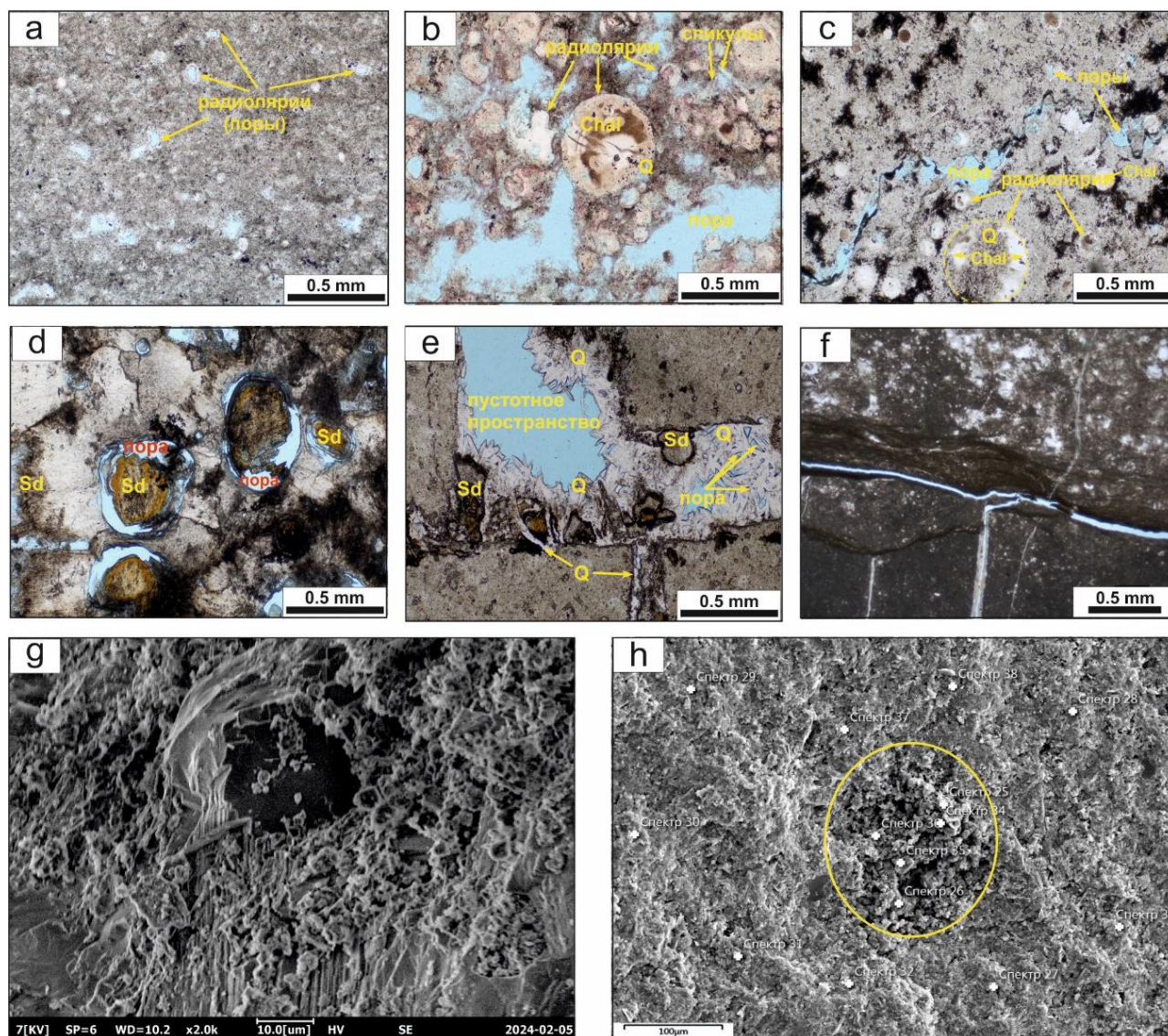


Рис. 7. Пустотно-поровое пространство в породах коры выветривания Калинового месторождения: а–с) растворение радиолярий с образованием пустот; d) пустоты выщелачивания радиолярий с заполнением кристаллическим сидеритом; e) микрокаверна в трещинах, частичная минерализация трещин по периферии кристаллами кварца и сидеритом; f) послойная открытая трещина на границе прослоев разного состава; g, h) СЭМ снимки глинисто-кремнистых пород, режим SE. Развитие глинистых минералов в породах, выщелачивание радиолярий (g) и метасоматическое развитие каолинита в участке породы (выделено желтым) (h). Фотографии шлифов а–f без анализатора. Усл. обозначения – на рис. 5

Fig. 7. Void-pore space in weathering crust rocks of the Kalinovoe field: a–c) radiolarian dissolution forming voids; d) radiolarian dissolution voids filled with crystalline siderite; e) microcavern in fractures, partial fracture mineralization along margins by quartz and siderite crystals; f) bedding-parallel open fracture at boundary of interlayers with different composition; g, h) SEM images of argillaceous-siliceous rocks, SE mode. Development of clay minerals in rocks, radiolarian dissolution (g) and metasomatic kaolinite development in rock portion (highlighted yellow) (h). Thin section photographs a–f without analyzer. Legend is in Fig. 5

Можно выделить два противоположно направленных процесса – флюидное выщелачивание и флюидная минерализация (гидротермальное метасоматическое замещение). Флюидное выщелачивание приводит к растворению биогенного кремнезема в радиоляриях, а также к формированию пустот в матрице породы и в трещинах и, соответственно, к улучшению ФЕС пород. Гидротермальное мета-

соматическое замещение приводит к заполнению пустот опалом, сидеритом, микрозернистым кварцем и ведет к уменьшению путей миграции флюидов и углеводородов в породах. В то же время идет образование агрегатов каолинита, который, как известно, обладает межкристаллитной и межагрегатной пористостью. В оолитовых агрегатах сидерита проявляется вторичная пористость вследствие от-

слаивания «скорлупок». Оба эти процесса, возможно, идут одновременно, т. к. кислые растворы приводят к растворению карбонатных минералов, а щелочные – к растворению минералов кремнезема. Очевидно, что процессы флюидного воздействия с привносом и выносом вещества были многократные, что отражается на сложном строении участков метасоматического замещения.

Основным процессом вторичной гидротермальной минерализации является сидеритизация, связанная с привносом уголекислоты и гидроксидов железа. Сидерит заполняет большинство трещин, развивается в околотрещинном пространстве, замещает участки, иногда почти полностью, особенно в нижней части разреза.

Часто зоны метасоматического замещения формируются на границе кремнистых радиоляритов и глинисто-кремнистых прослоев. Вдоль границы практически всегда формируется трещина или же серия трещин, что, очевидно, связано с разной плотностью пород и их устойчивостью к стрессу. Состав этих зон сидеритовый, гидрослюдисто-сидеритовый, кварц-каолинит-сидеритовый. Практически всегда к этим зонам приурочено ожелезнение.

Зоны метасоматического замещения могут быть довольно обширными, формируясь на участках пересечения трещин. Практически всегда в зонах вторичной минерализации выделяются зоны выщелачивания.

Заключение

Породы в изученном разрезе Калинового НГК месторождения представляют собой коры выветривания глинисто-кремнистого, кремнисто-глинистого составов, но относятся к разным зонам профилей коры выветривания. Считается, что «наиболее перспективными в отношении нефтегазоносности коры выветривания являются контрастные эрозионно-тектонические выступы, сложенные силикатосодержащими породами, подвергавшиеся процессам дезинтеграции, в пределах которых сформировались коры выветривания глинисто-кремнистого состава» [3. С. 545].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологические условия нефтегазоносности верхней части палеозойского разреза Западной Сибири / А.Э. Конторович, И.А. Иванов, А.Е. Ковешников, В.И. Краснов, Г.Н. Перозин // Теоретические и региональные проблемы геологии нефти и газа: сб. науч. трудов. – Новосибирск, 1991. – С. 152–171.
2. Модель геологического строения и нефтегазоносность зоны контакта палеозойских и мезозойских отложений в Чузиско-Чижапской зоны нефтегазоаккумуляции / В.А. Конторович, С.А. Бердникова, Л.М. Калинина, В.В. Лапковский, А.А. Поляков, М.В. Соловьев // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2006. – № 5–6. – С. 91–102.
3. Конторович В.А. Сейсмогеологические критерии нефтегазоносности зоны контакта палеозойских и мезозойских отложений Западной Сибири // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48. – № 5. – С. 538–547.
4. Нефтегазоперспективные объекты палеозоя Западной Сибири, сейсмогеологические модели эталонных месторождений / В.А. Конторович, Л.М. Калинина, А.Ю. Калинин, М.В. Соловьев // Геология нефти и газа. – 2018. – № 4. – С. 5–15. DOI: 10.31087/0016-7894-2018-4-5-15.

Отложения в разрезе скважины сопоставимы с зоной начальной дезинтеграции, в которой породы сохранили свой первичный облик, осложненный впоследствии процессами метасоматического замещения.

В целевом изучаемом интервале скважины установлены глинисто-кремнистые органогенные породы, чередующиеся с несколькими прослоями туфопелитолитов. Глинисто-кремнистые разновидности отложений сложены кварцем, халцедоном, опалом, гидрослюдой, как отдельными чешуйками, так и агрегатами в кремнеаргиллитах, редкими чешуйками серицита. В туфопелитолитах выделяются кислая по составу пирокластическая – кристаллокласты (кварц) и окремненные витрокласты. В целом для разреза характерно присутствие примеси туфогенного материала.

С метасоматическими процессами связано образование сидерита, реже кальцита, кварца, каолинита, гидроксидов железа. Органогенные остатки представлены преимущественно радиоляриями, в меньшем количестве в отдельных прослоях присутствуют спиккулы губок. Структура пород скрытокристаллическая, микро- и мелкозернистая, тонкочешуйчатая, реликтовая органогенная, сферолитовая, оолитовая и др. Текстура практически по всему разрезу слоистая, микротекстуры – пятнистая, неяснослоистая, слойчатая.

Встречаются деформационные текстуры, в нижней части разреза отмечается биотурбитовая текстура – видны ходы илоедов, оконтуренные углистым органическим веществом. В верхней части разреза в небольшом интервале наблюдаются обломочные и брекчированные породы. Породы трещиноватые, трещины частично или полностью залечены агрегатами сидерита, кварца, в меньшей степени каолинита. Именно с интенсивной трещиноватостью связаны процессы трещинного метасоматоза, которые оказали неоднозначное влияние на фильтрационно-емкостные свойства пород. С одной стороны, метасоматическая минерализация привела к залечиванию трещин и пустот, с другой – глинисто-кремнистая матрица подверглась процессам выщелачивания с образованием вторичной пористости.

5. Скузоватов М.Ю., Миляев Д.В., Душенин Д.И. Особенности геологического изучения и освоения залежей с трудноизвлекаемыми запасами в доюрском комплексе Западной Сибири применительно к опыту геолого-экономической оценки // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2021. – № 3 (47). – С. 94–105. DOI: 10.20403/2078-0575-2021-3-94-105.
6. Исаев Г.Д. Стратификация и состав пород зоны контакта мезозой-палеозой // Вестник Томского государственного университета. – 2010. – № 331. – С. 203–209.
7. Казаринов В.П. Мезозойские и кайнозойские отложения Западной Сибири / под ред. В.Г. Васильева. – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 323 с.
8. Кора выветривания Сибири. В 2-х кн. Кн. 1. Формации кор выветривания Западно-Сибирской плиты и Алтае-Саянской складчатой области / под ред. В.П. Казаринова. – М.: Недра, 1979. – 221 с.
9. Журавлев Е.Г. Кора выветривания кристаллического фундамента северной части Волго-Уральской области // Литология и полезные ископаемые. – 1963. – № 1. – С. 130–134.
10. Лапинская Т.А., Журавлев Е.Г. Линейно-трещинные коры выветривания Волго-Уральской области и их геологическое значение // Известия вузов. Нефть и газ. – 1966. – № 6. – С. 3–6.
11. Журавлев Е.Г., Лапинская Т.А., Файн Ю.Б. Газонефтеносность коры выветривания фундамента Шаимского района // Геология нефти и газа. – 1973. – № 6. – С. 9–14.
12. Журавлев Е.Г., Лапинская Т.А. Кора выветривания фундамента и ее влияние на формирование нефтегазоносных горизонтов Западной Сибири. – М.: Недра, 1976. – 173 с.
13. Журавлев Е.Г. Залежи нефти и газа в корях выветривания фундамента осадочных бассейнов // Литология и полезные ископаемые. – 2009. – № 3. – С. 329–334.
14. Сынгаевский П.Е., Хафизов С.Ф. Формация коры выветривания в осадочном цикле Западно-Сибирского бассейна // Геология нефти и газа. – 1999. – № 11–12. – С. 22–30.
15. Ежова А.В. Глиноземистые и железистые породы из продуктивной толщи юго-востока Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (Томская область) // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 111–121.
16. Ковешников А.Е., Недоливко Н.М. Кора выветривания доюрских отложений Западно-Сибирской геосинеклизы // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – № 1. – С. 77–81.
17. Коробов А.Д., Коробова Л.А. Нефтегазоносные фации вторичных кварцитов и пропилитов Западно-Сибирской плиты // Геология нефти и газа. – 2013. – № 1. – С. 23–32.
18. Особенности корреляции отложений коры выветривания и доюрского основания / И.С. Гутман, Г.П. Кузнецова, А.А. Обголец, М.И. Саакян, А.В. Скоробогатко, Г.В. Кузнецова, С.Ф. Панов, Т.К. Кажмулинов // Геология нефти и газа. – 2018. – № 4. – С. 69–87. DOI: 10.31087/0016-7894-2018-4-69-87.
19. Гейст И.В., Исмаилова А.М., Зайцев А.В. Применение комплексного подхода к моделированию нетрадиционного объекта – коры выветривания Западной Сибири // Геология нефти и газа. – 2019. – № 6. – С. 67–74. DOI: 10.31087/0016-7894-2019-6-67-74.
20. A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering / B. Dewandel, P. Lachassagne, R. Wyns, J.C. Marechal, N.S. Krishnamurthy // Journal of hydrology. – 2006. – Vol. 330. – № 1–2. – P. 260–284. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2006.03.026.
21. Vertical zonation of weathered crust ancient karst and reservoir evaluation and prediction – a case study of M55–M51 sub-members of Majiagou Formation in gas fields, central Ordos Basin, NW China / J. He, Sh. Fang, F. Hou, R. Yan, Zh. Zhao, J. Yao, X. Tang, G. Wu // Petroleum Exploration and Development. – 2013. – Vol. 40. – № 5. – P. 572–581. DOI: 10.1016/S1876-3804(13)60075-0.
22. Weathered volcanic crust and its petroleum geological significance: a case study of the Carboniferous volcanic crust in northern Xinjiang, NW China / L. Hou, X. Luo, J. Wang, F. Yang, X. Zhao, Zh. Mao // Petroleum Exploration and Development. – 2013. – Vol. 40. – № 3. – P. 277–286. DOI: 10.1016/S1876-3804(13)60034-8.
23. New insights into the carbonate karstic fault system and reservoir formation in the Southern Tahe area of the Tarim Basin / X. Lu, Y. Wang, F. Tian, X. Li, D. Yang, T. Li, Y. Lv, X. He // Marine and Petroleum Geology. – 2017. – Vol. 86. – P. 587–605. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2017.06.023
24. Different formation mechanism of quartz in siliceous and argillaceous shales: A case study of Longmaxi Formation in South China / Y. Xiang-Rong, Y. De-Tian, W. Xiao-Song, Z. Li-Wei, Z. Bao, X. HanWen, G. Yin, H. Jie // Marine and Petroleum Geology. – 2018. – Vol. 94. – P. 80–94. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2018.03.036.
25. Characteristics and controlling factors of deep buried-hill reservoirs in the BZ19-6 structural belt, Bohai sea area / M. Hou, H. Cao, H. Li, A. Chen, A. Wei, Y. Chen, A. Wei, Y. Chen, Y. Wang, X. Zhou, T. Ye // Natural Gas Industry B. – 2019. – Vol. 6. – № 4. – P. 305–316. DOI: 10.1016/j.ngib.2019.01.011.
26. Characteristics and formation mechanisms of the unconformity-related paleokarst reservoirs in the Upper Sinian, Northwestern Tarim Basin, China / L. Chen, H. Zhang, Z. Cai, F. Cong, S. Huang, P. Tang // Marine and Petroleum Geology. – 2020. – Vol. 120. – P. 104559. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2020.104559
27. Sedimentary environment and petrological features of organic-rich fine sediments in shallow water overlapping deposits: a case study of Cambrian Yuertus Formation in northwestern Tarim Basin, NW China / Zh. Jin, X. Tan, H. Tang, A. Shen, Zh. Qiao, J. Zheng, F. Li, Sh. Zhang, L. Chen, Ch. Zhou // Petroleum exploration and development. – 2020. – Vol. 47. – № 3. – P. 513–526. DOI: 10.1016/S1876-3804(20)60069-6.
28. Constraints upon fault zone properties by combined structural analysis of virtual outcrop models and discrete fracture network modelling / A. Ceccato, G. Viola, M. Antonellini, G. Tartaglia, E. J. Ryan // Journal of Structural Geology. – 2021. – Vol. 152. – P. 104444. DOI: 10.1016/j.jsg.2021.104444
29. Types of biogenic quartz and its coupling storage mechanism in organic-rich shales: a case study of the Upper Ordovician Wufeng Formation to Lower Silurian Longmaxi Formation in the Sichuan Basin, SW China / Q. Guan, D. Dong, H. Zhang,

- S. Sun, S. Zhang, W. Guo // *Petroleum Exploration and Development*. – 2021. – Vol. 48. – № 4. – P. 813–823. DOI: 10.1016/S1876-3804(21)60068-X.
30. Quartz types, silica sources and their implications for porosity evolution and rock mechanics in the Paleozoic Longmaxi Formation shale, Sichuan Basin / H. Xu, W. Zhou, Q. Hu, T. Yi, J. Ke, A. Zhao, L. Zihui, Y. Yu // *Marine and Petroleum Geology*. – 2021. – Vol. 128. – P. 105036. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2021.105036.
31. Ordovician reservoirs in Fuxian area: gas accumulation patterns and their implications for the exploration of lower Paleozoic carbonates in the southern Ordos Basin / Ordovician reservoirs in Fuxian area: Gas accumulation patterns and their implications for the exploration of lower Paleozoic carbonates in the southern Ordos Basin / Ning Gu, Juntao Zhang, Xiaohui Jin, Fei Yang, Lu Liu // *Energy Geoscience*. – 2024. – Vol. 5. – № 1. – P. 100225. DOI: 10.1016/j.engeos.2023.100225.
32. Гурбанов В.И., Нариманов Н.Р. Прогноз перспектив нефтегазоносности выступов фундамента Южно-Каспийской мегаплатины // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. – 2016. – Т. 15. – № 19. – С. 132–144. DOI: 10.15593/2224-9923/2016.19.4.
33. Нефтегазоносность кристаллического фундамента шельфа Вьетнама: Белый Тигр и Дракон / В.И. Богоявленский, А.Д. Дзюбю, А.Н. Иванов, И.В. Богоявленский, Р.А. Никонов // *Геология нефти и газа*. – 2016. – № 5. – С. 102–115.
34. Конторович В.А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 253 с.
35. Белозёров В.Б., Силкин Г.Е. Критерии переоценки перспектив нефтегазоносности коллекторных зон фундамента юго-востока Западной Сибири // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2022. – Т. 333. – № 2. – С. 7–16. DOI: 10.18799/24131830/2022/2/3559.

Информация об авторах

Любовь Афанасьевна Краснощекова, кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. Krasnl@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6444-9494>

Ирина Валентиновна Вологодина, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры петрографии геолого-географического факультета, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36. ivv@mail.tsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8106-2195>

Аура Самид Гарсия Бальса, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Исследовательской школы химических и биомедицинских технологий, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. samid16@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3681-7250>

Поступила в редакцию: 12.02.2024

Поступила после рецензирования: 23.05.2024

Принята к публикации: 24.05.2024

REFERENCES

1. Kontorovich A.E., Ivanov I.A., Koveshnikov A.E., Krasnov V.I., Perozio G.N. Geological conditions of oil and gas potential in the upper part of the Paleozoic section of Western Siberia. *Theoretical and Regional Problems of Oil and Gas Geology: Collection of Scientific Papers*. Novosibirsk, 1991. pp. 152–171. (In Russ.)
2. Kontorovich V.A., Berdnikova S.A., Kalinina L.M., Lapkovsky V.V., Polyakov A.A., Soloviev M.V. Geological structure model and oil and gas potential of the contact zone of Paleozoic and Mesozoic deposits in the Chuzik-Chizhapka oil and gas accumulation zone. *Geology, Geophysics, and Development of Oil and Gas Fields*, 2006, no. 5–6, pp. 91–102. (In Russ.)
3. Kontorovich V.A. Petroleum potential of reservoirs at the Paleozoic-Mesozoic boundary in West Siberia: seismogeological criteria (example of the Chuzik-Chizhapka regional oil-gas accumulation). *Russian Geology and Geophysics*, 2007, vol. 48, no. 5, pp. 538–547. DOI: 10.1016/j.rgg.2007.05.002. (In Russ.)
4. Kontorovich V.A., Kalinina L.M., Kalinin A.Yu., Soloviev M.V. Petroleum prospects of the West Siberian Palaeozoic, geoseismic models of reference fields. *Oil and Gas Geology*, 2018, no. 4, pp. 5–15. (In Russ.) DOI: 10.31087/0016-7894-2018-4-5-15.
5. Skuzovatov M.Yu., Milyaev D.V., Dushenin D.I. Features of geological study and development of deposits with hard-to-recover reserves in the pre-Jurassic complex of Western Siberia based on the experience of geological and economic assessment. *Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2021, no. 3 (47), pp. 94–105. (In Russ.) DOI: 10.20403/2078-0575-2021-3-94-105.
6. Isaev, G.D. Stratification and composition of rocks in the Mesozoic-Paleozoic contact zone. *Bulletin of Tomsk State University*, 2010, no. 331, pp. 203–209. (In Russ.)
7. Kazarinov V.P. *Mesozoic and Cenozoic deposits of Western Siberia*. Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 1958. 315 p. (In Russ.)
8. Kazarinov V.P. *Weathering Crusts of Siberia*. In 2 books. B. 1. *Formations of Weathering Crusts of the West Siberian Plate and the Altai-Sayan Folded Area*. Ed. by V.P. Kazarinov. Moscow, Nedra Publ., 1979. 221 p. (In Russ.)
9. Zhuravlev E.G. Weathering crust of the crystalline basement of the northern part of the Volga-Ural region. *Lithology and Mineral Resources*, 1963, no. 1, pp. 130–134. (In Russ.)
10. Lapinskaya T.A., Zhuravlev E.G. Linear-fracture weathering crusts of the Volga-Ural region and their geological significance. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Oil and Gas*, 1966, no. 6, pp. 3–6. (In Russ.)

11. Zhuravlev E.G., Lapinskaya T.A., Fain Yu.B. Oil and gas potential of the weathering crust of the basement in the Shaim region. *Oil and Gas Geology*, 1973, no. 6, pp. 9–14. (In Russ.)
12. Zhuravlev E.G., Lapinskaya T.A. *Weathering crust of the basement and its influence on the formation of oil and gas-bearing horizons in Western Siberia*. Moscow, Nedra Publ., 1976. 173 p. (In Russ.)
13. Zhuravlev E.G. Oil and gas deposits in the weathering crusts of the basement of sedimentary basins. *Lithology and Mineral Resources*, 2009, no. 3, pp. 329–334. (In Russ.)
14. Syngaevsky P.E., Khafizov S.F. Formation of the weathering crust in the sedimentary cycle of the West Siberian Basin. *Oil and Gas Geology*, 1999, no. 11–12, pp. 22–30. (In Russ.)
15. Ezhova A.V. Alumina and iron-rich rocks from the productive strata of the southeast of the West Siberian oil and gas province (Tomsk region). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 321, no. 1, pp. 111–121. (In Russ.)
16. Koveshnikov A.E., Nedolivko N.M. Weathering crusts of pre-Jurassic deposits in the West Siberian geosyncline. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 320, no. 1, pp. 77–81. (In Russ.)
17. Korobov A.D., Korobova L.A. Oil and gas-bearing facies of secondary quartzites and propylites in the West Siberian Plate. *Oil and Gas Geology*, 2013, no. 1, pp. 23–32. (In Russ.)
18. Gutman I.S., Kuznetsova G.P., Obgoltz A.A., Saakyan M.I., Skorobogatko A.V., Kuznetsova G.V., Panov S.F., Kazhmulinov T.K. Features of correlation of weathering crust deposits and pre-Jurassic basement. *Oil and Gas Geology*, 2018, no. 4, pp. 69–87. (In Russ.) DOI: 10.31087/0016-7894-2018-4-69-87.
19. Geist I.V., Ismagilova A.M., Zaitsev A.V. Application of a comprehensive approach to modeling an unconventional object – the weathering crust of Western Siberia. *Oil and Gas Geology*, 2019, no. 6, pp. 67–74. (In Russ.) DOI: 10.31087/0016-7894-2019-6-67-74.
20. Dewandel B., Lachassagne P., Wyns R., Marechal J.C., Krishnamurthy N.S. A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering. *Journal of hydrology*, 2006, vol. 330, no. 1–2, pp. 260–284. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2006.03.026.
21. He J., Fang Sh., Hou F., Yan R., Zhao Zh., Yao J., Tang X., Wu G. Vertical zonation of weathered crust ancient karst and reservoir evaluation and prediction – a case study of M55–M51 sub-members of Majiagou Formation in gas fields, central Ordos Basin, NW China. *Petroleum Exploration and Development*, 2013, vol. 40, no. 5, pp. 572–581. DOI: 10.1016/S1876-3804(13)60075-0.
22. Hou L., Luo X., Wang J., Yang F., Zhao X., Mao Zh. Weathered volcanic crust and its petroleum geological significance: A case study of the Carboniferous volcanic crust in northern Xinjiang, NW China. *Petroleum Exploration and Development*, 2013, vol. 40, no. 3, pp. 277–286. DOI: 10.1016/S1876-3804(13)60034-8.
23. Lu X., Wang Y., Tian F., Li X., Yang D., Li T., Lv Y., He X. New insights into the carbonate karstic fault system and reservoir formation in the Southern Tahe area of the Tarim Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 2017, vol. 86, pp. 587–605. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2017.06.023.
24. Xiang-Rong Y., De-Tian Y., Xiao-Song W., Li-Wei Z., Bao Z., HanWen X., Yin G., Jie H. Different formation mechanism of quartz in siliceous and argillaceous shales: a case study of Longmaxi Formation in South China. *Marine and Petroleum Geology*, 2018, vol. 94, pp. 80–94. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2018.03.036.
25. Hou M., Cao H., Li H., Chen A., Wei A., Chen Y., Wei A., Chen Y., Wang Y., Zhou X., Ye T. Characteristics and controlling factors of deep buried-hill reservoirs in the BZ19-6 structural belt, Bohai sea area. *Natural Gas Industry B*, 2019, vol. 6, no. 4, pp. 305–316. DOI: 10.1016/j.ngib.2019.01.011.
26. Chen L., Zhang H., Cai Z., Cong F., Huang S., Tang P. Characteristics and formation mechanisms of the unconformity-related paleokarst reservoirs in the Upper Sinian, Northwestern Tarim Basin, China. *Marine and Petroleum Geology*, 2020, vol. 120, pp. 104559. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2020.104559.
27. Jin Zh., Tan X., Tang H., Shen A., Qiao Zh., Zheng J., Li F., Zhang Sh., Chen L., Zhou Ch. Sedimentary environment and petrological features of organic-rich fine sediments in shallow water overlapping deposits: a case study of Cambrian Yuertus Formation in northwestern Tarim Basin, NW China. *Petroleum exploration and development*, 2020, vol. 47, no. 3, pp. 513–526. DOI: 10.1016/S1876-3804(20)60069-6.
28. Ceccato A., Viola G., Antonellini M., Tartaglia G., Ryan E.J. Constraints upon fault zone properties by combined structural analysis of virtual outcrop models and discrete fracture network modelling. *Journal of Structural Geology*, 2021, vol. 152, pp. 104444. DOI: 10.1016/j.jsg.2021.104444.
29. Guan Q., Dong D., Zhang H., Sun S., Zhang S., Guo W. Types of biogenic quartz and its coupling storage mechanism in organic-rich shales: a case study of the Upper Ordovician Wufeng Formation to Lower Silurian Longmaxi Formation in the Sichuan Basin, SW China. *Petroleum Exploration and Development*, 2021, vol. 48, no. 4, pp. 813–823. DOI: 10.1016/S1876-3804(21)60068-X.
30. Xu H., Zhou W., Hu Q., Yi T., Ke J., Zhao A., Zihui L., Yu Y. Quartz types, silica sources and their implications for porosity evolution and rock mechanics in the Paleozoic Longmaxi Formation shale, Sichuan Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 2021, vol. 128, pp. 105036. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2021.105036.
31. Ning Gu, Juntao Zhang, Xiaohui Jin, Fei Yang, Lu Liu. Ordovician reservoirs in Fuxian area: gas accumulation patterns and their implications for the exploration of lower Paleozoic carbonates in the southern Ordos Basin. *Energy Geoscience*, 2024, vol. 5, no. 1, pp. 100225. DOI: 10.1016/j.engeos.2023.100225.
32. Gurbanov V.S., Narimanov N.R. Forecast of oil and gas potential of basement outcrops of the South Caspian Megatrough. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and Gas Engineering*, 2016, vol. 15, no. 19, pp. 132–144. (In Russ.) DOI: 10.15593/2224-9923/2016.19.4.
33. Bogoyavlensky V.I., Dzyublo A.D., Ivanov A.N., Bogoyavlensky I.V., Nikonov R.A. Oil and gas potential of the crystalline basement of the Vietnam Shelf: White Tiger and Dragon. *Oil and Gas Geology*, 2016, no. 5, pp. 102–116. (In Russ.)
34. Kontorovich V.A. *Tectonics and oil-and-gas bearing of the Mesozoic-Cenozoic deposits in southeastern of the Western Siberia*. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2002. 253 p. (In Russ.)

35. Belozеров V.B., Silkin G.E. Criteria for reassessment of oil and gas potential of reservoir zones in southeastern Western Siberia basement. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2022, vol. 333, no. 2, pp. 7–16. (In Russ.) DOI: 10.18799/24131830/2022/2/3559.

Information about the authors

Lyubov A. Krasnoshchekova, Cand. Sc., Associate Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation; Krasnl@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6444-9494>

Irina V. Vologdina, Cand. Sc., Associate Professor, National Research Tomsk State University, 36, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation; ivv@mail.tsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8106-2195>

Aura S. Garcia Balca, Cand. Sc., Researcher, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation; samid16@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3681-7250>

Received: 12.02.2024

Revised: 23.05.2024

Accepted: 24.05.2024