



УДК (552.2:552.51):551.762.31(571.16)

ПЕТРОГРАФИЯ И КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА АЛЕВРИТО-ПЕСЧАНЫХ ПОРОД ГОРИЗОНТА Ю₁ (КЕЛЛОВЕЙ – ОКСФОРД) НА ЮГО-ВОСТОКЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

О. В. Бурлева, Л. Г. Вакуленко, О. В. Дульцева, П. А. Ян

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН им. А. А. Трофимука, Новосибирск

Проведено детальное петрографическое и петрофизическое изучение алеврито-песчаных пород келловей-оксфордского горизонта Ю₁ на юго-востоке Западной Сибири. На основе обобщения результатов многолетних литологических исследований на территории распространения васюганской свиты и ее перехода в науанскую установлены вертикальные и латеральные закономерности изменения состава алеврито-песчаных пород. Показано, что в юго-восточном направлении в составе обломочной части пород уменьшается содержание кварца, возрастает – полевых шпатов и обломков пород, соответственно, зрелость пород в этом направлении уменьшается. Установлена прямая корреляция между минералогической и структурной зрелостью пород: с ростом доли кварца, как правило, улучшаются окатанность обломочного материала и сортировка. Выполнен анализ связи коллекторских свойств с петрографическим составом изученных пород, установлены седиментационные и постседиментационные факторы, благоприятные для формирования пород-коллекторов с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами. Так, для ряда месторождений на Каймысовском своде показано, что именно постседиментационные процессы, не имеющие регионального распространения, оказывают решающее влияние на формирование коллекторов.

Ключевые слова: литология, петрография, коллекторы, горизонт Ю₁, верхняя юра, Западная Сибирь.

PETROGRAPHY AND RESERVOIR PROPERTIES OF SILTY AND SANDY ROCKS OF HORIZON YU₁ (CALLOVIAN-OXFORDIAN) IN THE SOUTHEAST OF WESTERN SIBERIA

O. V. Burleva, L. G. Vakulenko, O. V. Dultseva, P. A. Yan

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk

The authors have done a detailed petrographic and petrophysical research on silty and sandy rocks of the Callovian-Oxfordian horizon Yu1 in the southeast of Western Siberia. They summarised the results of previous lithological studies within the territory of the Vasyuganskaya Formation and its transition into the Naunakskaya Formation and established regularities of vertical and lateral changes in the silty and sandy rock composition. To the southeast, the quartz content decreases and the content of feldspars and rock fragments increases in the composition of fractured rocks, which indicates the decrease in maturity in this direction. A direct correlation was established between mineralogical and structural rock maturity: the rounding and sorting of fractured rocks usually rise with an increasing quartz part. The authors analysed the relationship between the reservoir properties and petrographic composition of the studied rocks, sedimentation and post-sedimentation factors favouring the formation of reservoir rocks with better reservoir properties were identified. Thus, for several fields at the Kaymysovskiy dome, the post-sedimentation processes without regional extension have a decisive impact on the formation of reservoirs.

Keywords: lithology, petrology, reservoirs, horizon YU₁, Upper Jurassic, Western Siberia.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-1-30-42

Продуктивный горизонт Ю₁ (келловей – оксфорд) является одним из основных объектов нефтегазопроисловых работ в Западной Сибири. Широкомасштабное изучение этого объекта началось еще в 1960-е гг. Однако полифациальность горизонта, связанная с частой сменой условий формирования, обусловила его сложное строение с выклиниванием разных его частей и размывами. Это, в свою очередь, привело к локальному развитию пород-коллекторов в ловушках неантиклинального типа. Наиболее значимые исследования состава и строения келловей-оксфордских отложений юго-востока Западной Сибири в разные годы были проведены В. Б. Белозеровым, Н. А. Брылиной, Т. И. Гуровой, А. В. Ежовой, Е. А. Жуковской, О. Г. Зариповым, Н. М. Недолилко,

Г. Н. Перозио, Г. Э. Прозоровичем, Р. С. Сахибгареевым, З. Я. Сердюк, Л. С. Черновой и др. Несмотря на многочисленные публикации [2, 4, 5, 7, 9, 11, 12 и др.], существует ряд спорных вопросов, связанных в том числе с особенностями состава и постседиментационных изменений келловей-оксфордских отложений. Детальным исследованиям связи фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород-коллекторов с петрографическим составом также уделяется недостаточно внимания. Поступление новых материалов по слабо изученным территориям и обобщение всех данных позволяет дополнить и детализировать уже имеющиеся выводы о закономерностях распространения алеврито-песчаных пород с улучшенными коллекторскими свойствами, что может способ-



ствовать более эффективному проведению поисков и разведки залежей углеводородов.

Нефтегазоносный горизонт Ю₁ на юго-востоке Западно-Сибирского бассейна выделен в составе васюганской и наунакской свит и подразделяется на широко развитые алеврито-песчаные пласты Ю₁¹–Ю₁⁴ и пласты Ю₁⁵, Ю₁⁶ локального распространения [2, 10]. Кроме того, повсеместное развитие на рассматриваемой территории одного или нескольких пластов угля и/или углистого аргиллита позволяет расчленить горизонт Ю₁ на три толщи: подугольную (пласты Ю₁⁴, Ю₁³), межугольную и надугольную (пласты Ю₁², Ю₁¹) [2]. Региональным флюидоупором, имеющим в основном хорошее качество, служат глинистая и битуминозная карбонатно-глинисто-кремнистая георгиевская и баженовская свиты кимеридж-волжского возраста.

Келловей-оксфордские отложения изучены нами по керну и материалам ГИС более 50 скважин (рис. 1) преимущественно в пределах Обь-Тарского фациального подрайона и Сильгинского района [6]. Исследование состава и структуры алеврито-песчаных пород проводилось с помощью оптической микроскопии (более 700 шлифов). Для некоторых скважин привлекались петрографические подсчеты, выполненные Т. П. Аксеновой (ИНГГ СО РАН). Определение состава глинистого вещества цементов выполнено Н. А. Пальчик (ИГМ СО РАН). Корреляция разрезов по данным ГИС проведена В. А. Казаненковым, С. А. Моисеевым, С. В. Рыжковой, М. А. Павловой (ИНГГ СО РАН), а также авторами.

Строение и состав горизонта Ю₁

На исследуемой территории в составе горизонта Ю₁ выделены подугольная, межугольная и надугольная толщи (рис. 2).

Подугольная толщина имеет мощность от 6 до 22 м и представлена пластами Ю₁³ и Ю₁⁴, часто разделенными алеврито-глинистыми отложениями. Пласты сложены средне-мелко- и мелкозернистыми (рис. 3, а), реже среднезернистыми песчаниками. Часто наблюдается погрубление обломочного материала вверх по разрезу. Микроскопическое изучение показало, что для песчаников характерна средняя и хорошая, редко плохая сортировка обломочного материала. Состав обломочного материала преимущественно полевошпатово-литокластито-кварцевый. Содержание кварца колеблется от 28 до 43 %, иногда увеличивается в верхней части толщи до 47–53 %, полевых шпатов – от 14 до 29 %, обломков пород – от 20 до 32 %, слюд – от 1 до 5, редко 10 % (рис. 4). На некоторых площадях встречаются песчаники полевошпатово-кварцево-литокластитового типа (Приграничная скв. 5, Проточная скв. 6, Трайгородская скв. 5, Чебачья скв. 219). В них доля литокластов достигает 35–55 %, кварца – 28–34 %, полевых шпатов – 18–24 %.

Кварц бесцветный, прозрачный, отмечены включения слюды, вермикулитоподобного хлорита, рутила, анатаза и непрозрачные включения. Иногда

трещиноватый. Погасание нормальное и волнистое, реже проявлены блочность и мозаичность. В разрезах, приуроченных к отрицательным структурам, в краевых частях зерен кварца характерно наличие таких осложнений, как грануляция и бластез. Форма обломков кварца различная, преобладает полуокатанная и окатанная, реже хорошо окатанная, изометричная и слегка вытянутая.

Калиевые полевые шпаты обычно преобладают над плагиоклазами, в среднем их количество составляет около 24–26 и 4–10 % соответственно. Представлены калиевые полевые шпаты в основном ортоклазом, в разной степени измененным, реже неизменным микроклином. Форма зерен полуокатанная, редко окатанная. Плагиоклазы имеют, как правило, кислый состав, спорадически встречаются единичные обломки средне-основного состава с зональным строением. Форма обломков преимущественно угловатая, длинно-, реже короткопризматическая с полисинтетическими двойниками, иногда ориентированными поперек удлинения.

Каркасные обломки пород (кварциты, обломки кремнистых пород, кислые эффузивы, алевролиты, гранитоиды, среди которых часто встречаются микропегматиты и мирмекиты) часто преобладают над пластичными (глинистые, кремнисто-глинистые, серицитизированные породы и разнообразные сланцы). Выявлено повышение доли пластичных обломков в более тонкозернистых породах, а каркасных – в более грубозернистых.

Слюда представлена преимущественно мусковитом, участками преобладает биотит, часто встречается хлорит. В целом в песчаниках отмечается низкое содержание слюд. Из аксессуарных минералов встречены коротко- и длиннопризматический циркон, реже турмалин, ильменит, магнетит, анатаз, игольчатой формы рутил, сфен, гранат, апатит, шпинель и пироксен(?). Характерно незначительное содержание цемента (от 2–5 до 10 %). В составе цемента присутствуют хлорит-гидрослюдистый материал пленочно-порового типа, каолинит поровый (1–5 %), участками послойный сгустковый сидерит и поровый кальцит (1–2 %). Часто в породах отмечены аутигенный пирит (2–3 %) и органическое вещество (до 3–8 %), редко – аутигенный глауконит. Уровни кальцитизации маломощные, встречаются спорадически преимущественно в нижней, изредка в верхней части толщи. Исключение составляют Герасимовская и Трайгородская площади, где в указанной части разреза отмечены два – четыре уровня интенсивно карбонатизированных песчаников с содержанием разнокристаллического, преимущественно тонкокристаллического порово-базального кальцита до 40–60 %. Пористость таких пород составляет 1–8,2 %. В целом для песчаников подугольной толщи характерно увеличение открытой пористости вверх по разрезу от 9–11 до 25 %, проницаемости – от десятых долей до 300–403 мД. В составе песчаников в этом направлении часто наблюдается тренд на погрубле-

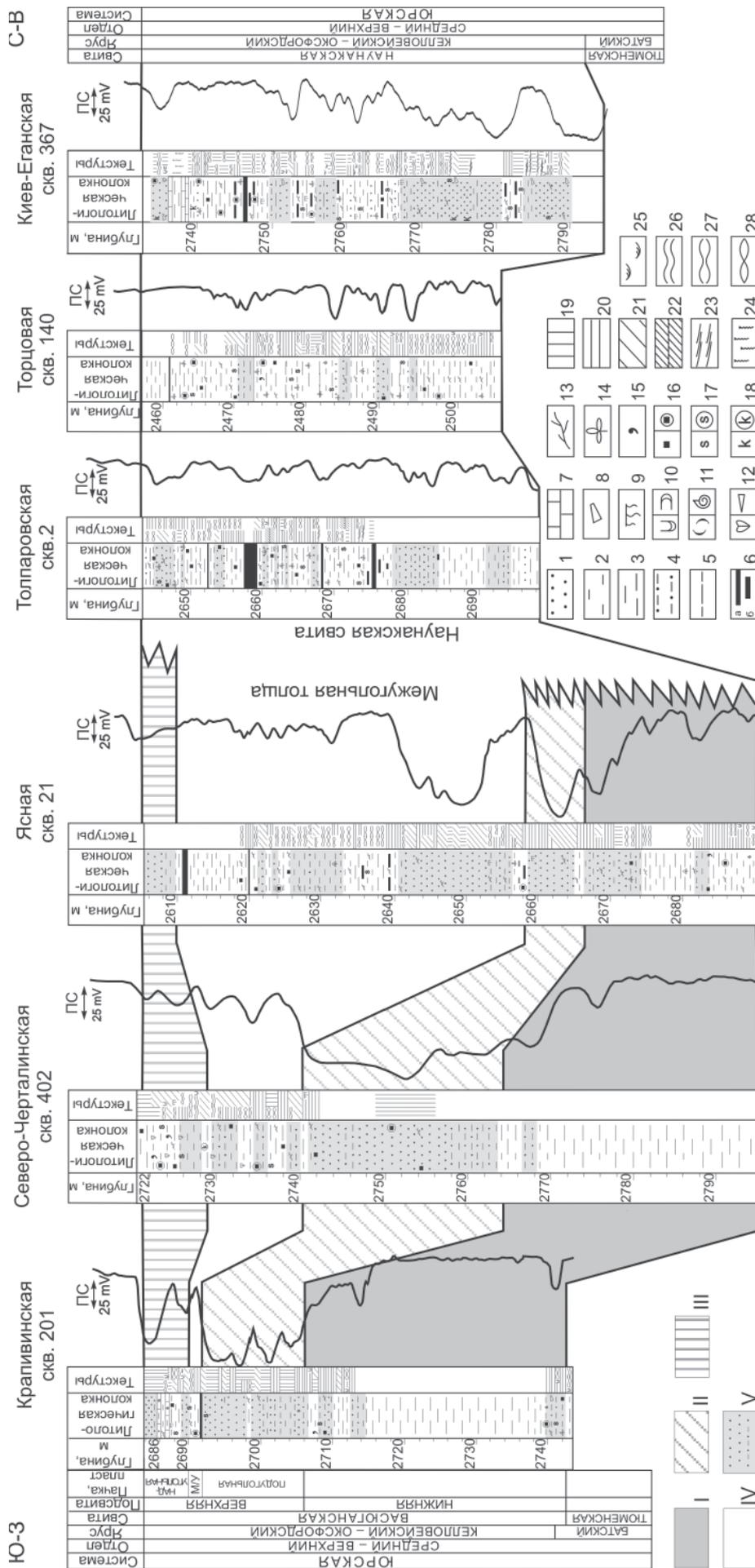


Рис. 2. Схема строения келловей-оксфордских отложений на юго-востоке Западной Сибири (профиль А на рис. 1)

Свиты, подсвиты и пачки: I – нижневасюганская подсвита, II–IV – верхневасюганская подсвита; II – подугольная толща, III – надугольная толща, IV – межугольная толща, наунакская свита, V – пласты песчаных и алевроито-песчаных пород выдержанные мощностью >1 м; породы: 1 – песчаники, 2 – алевролиты, 3 – аргиллиты, 4 – алевропесчаники, 5 – алевроаргиллиты, 6 – угли (а), углистые (б), 7 – известняки, 8 – глинистые интракласты; включения: 9 – ризоиды, 10 – следы жизнедеятельности организмов, 11 – детрит/морская фауна, 12 – двустворка/белемнит, 13 – углефицированный растительный детрит, 14 – отпечатки флоры, 15 – глауконит, 16 – пирит/конкреция пирита, 17 – сидерит/конкреция сидерита, 18 – калцит/конкреция калцита; текстур: 19 – массивная, 20 – горизонтальная слоистость, 21 – крупная таблитчатая косая слоистость, 22 – мелкая таблитчатая косая слоистость, 23 – пологая косая слоистость, 24 – деформативные биотурбационные, 25 – троговая мелкая косая слоистость, 26 – волнистая слоистость, 27 – волнисто-линзовидная слоистость, 28 – линзовидная слоистость

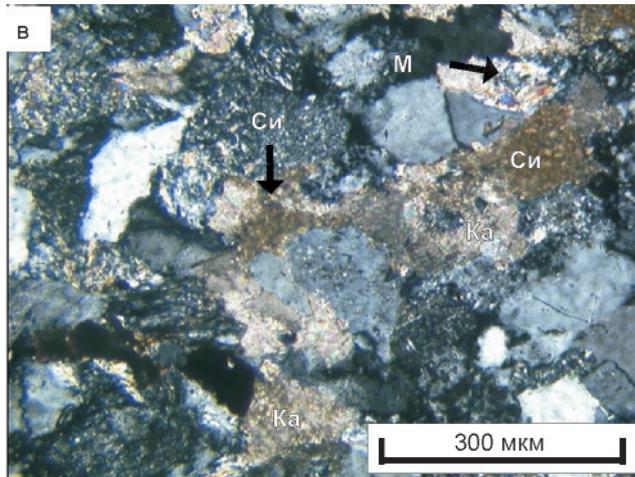
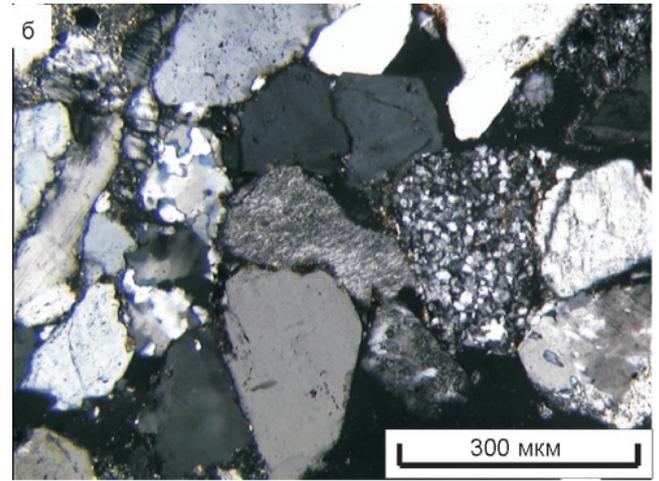
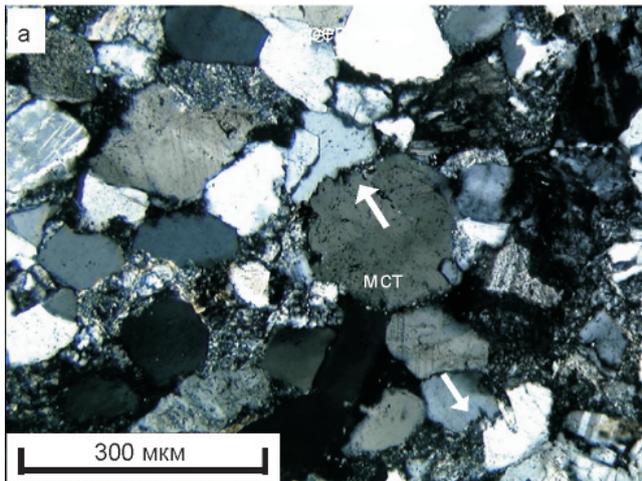


Рис. 3. Песчаники горизонта Ю₁: а – мелкозернистый полевошпатово-литокластитово-кварцевый с глинистым поровым цементом, Северо-Черталинская скв. 402, подугольная толща, пласт Ю₁³⁻⁴; б – мелко-среднезернистый литокластитово-полевошпатово-кварцевый с глинистым пленочно-поровым цементом, Дуклинская скв. 1, надугольная толща, пласт Ю₁¹⁻²; в – мелкозернистый полевошпатово-литокластитово-кварцевый с глинисто-карбонатным цементом, Киев-Еганская скв. 367, наунакская свита, пласт Ю₁²; МСТ – микростилолит, Ка – кальцит; М – мусковит; Си – сидерит. Николи +

стемы растений. Формирование толщи происходило преимущественно в обстановках заливно-лагунного побережья, приморской и аллювиальной равнин.

Мощность *надугольной толщи* изменяется от 3 до 15 м, иногда увеличивается до 27 м. В ее составе выделены алеврито-песчаные пласты Ю₁² и Ю₁¹, часто разделенные алеврито-глинистой пачкой. Общее преобладание мелкозернистых песчаников в районе исследования, за исключением ряда площадей на Александровском и Крапивинском сводах (см. рис. 3, б), возможно, связано с удалением рассматриваемого участка бассейна от основных источников сноса во время позднеоксфордской трансгрессии. Состав пород преимущественно литокластитово-полевошпатово-кварцевый, за исключением Чебачьей скв. 219 и Трайгородской скв. 5 на Александровском своде, где отмечено значительное количество литокластов. Содержание кварца варьирует от 37 до 53 %, редко 63 %; полевых шпатов 20–44 %, обломков пород 21–34 %, в разрезах Чебачьей и Трайгородской площадей 35–51 % (см. рис. 4). Для отложений характерны значительные вариации в содержании глинисто-карбонатного и карбонатного цемента (от 8 до 55 %) с заметным количеством аутигенного пирита (3–15 %). Карбонатный цемент представлен преимущественно кальцитом разнокристаллическим порового и порово-базального типа. В верхней части толщи отмечаются прослой

терригенно-карбонатных пород с обильной морской фауной, появляется аутигенный глауконит. Характерны уровни с комковатой текстурой, образующейся за счет интенсивной биотурбации осадков. Толща формировалась в мелководно-морских, в меньшей степени в прибрежно-морских обстановках. Значения открытой пористости варьируют от 9 до 19 %, проницаемости – от 0,2 до 61 мД.

Строение *наунакской свиты* отличается неравномерным чередованием аргиллитов, алевролитов и песчаников с небольшим преобладанием последних. Типично значительное содержание углистых аргиллитов и прослоев углей, крупных фрагментов растительности и остатков корневой системы растений. В разрезах, приуроченных к отрицательным структурам, наблюдается чередование алевритовых и глинистых пачек с маломощными прослоями песчаников (от первых см до 2 м) в средней части разреза. Песчаники серые мелкозернистые алевритовые со средней и плохой сортировкой (см. рис. 3, в), изредка содержат пирит, фрагменты листового флоры плохой сохранности. Разрезы, вскрытые на положительных структурах II–IV порядков (Толпаровская, Сенькинская, Киев-Еганская, Пыль-Караминская площади), отличаются появлением достаточно мощных (6–8 м) пластов. Песчаники преимущественно мелко-средне-, средне-мелкозернистые. На Киев-Еганской площади также развиты средне-, редко крупнозернистые и переходные между ними разновидности с обильным углефицированным растительным детритом, реже фрагментами углефицированной растительности размером до 3 см, остатками корневой системы растений. Вверх по разрезу роль углесто-

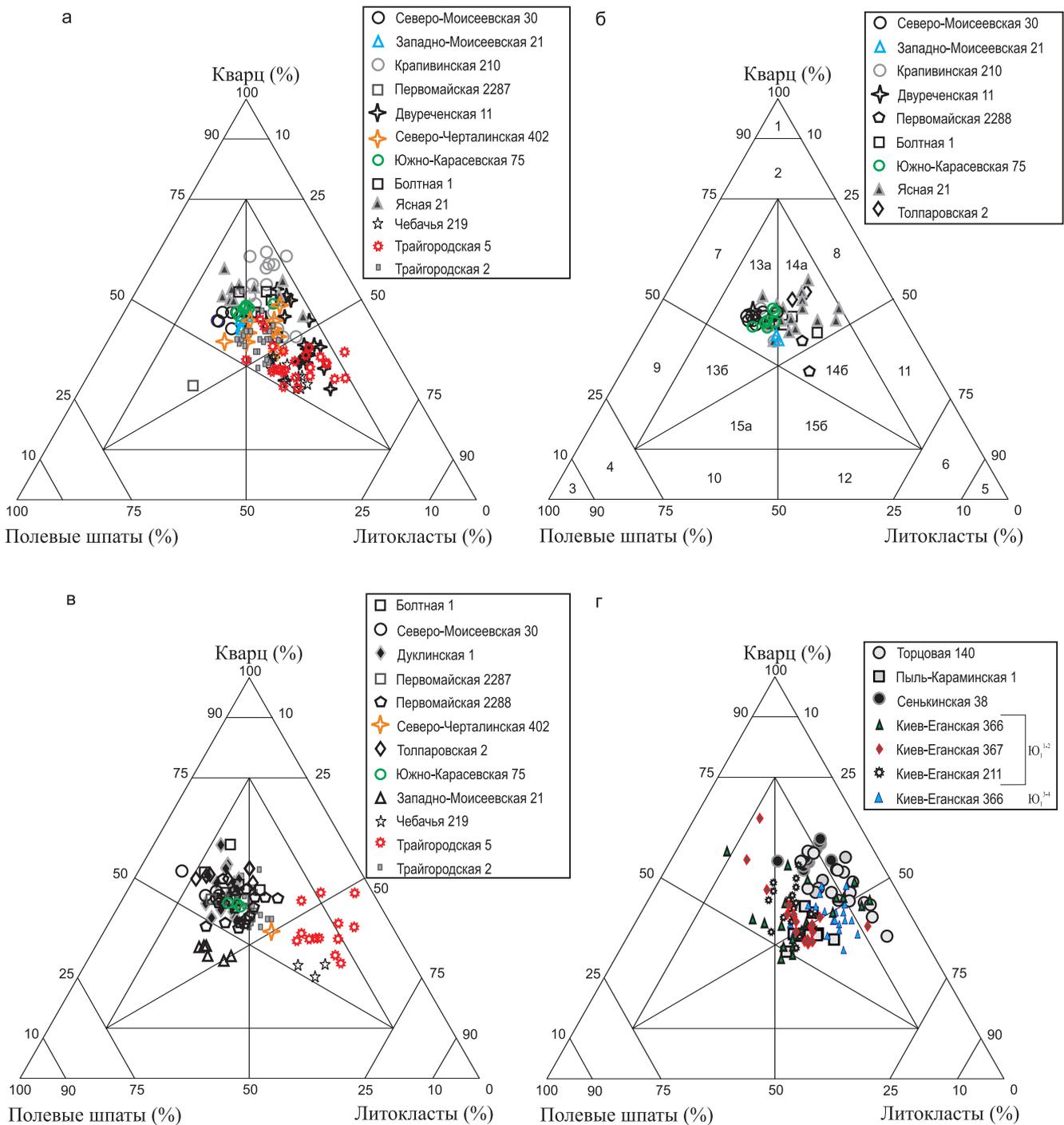


Рис. 4. Схемы состава обломочного материала песчаников и алевропесчаников горизонта Ю₁ на юго-востоке Западной Сибири: а – подугольная толща, б – межугольная толща, в – надугольная толща, г – науанская свита

Поля для межугольной толщи (по Ю. П. Казанскому, 1987, с дополнениями): 1 – кварцевые, 2 – олигомиктово-кварцевые, 3 – полевошпатовые, 4 – олигомиктово-полевошпатовые, 5 – литокластитовые, 6 – олигомиктово-литокластитовые, 7 – полевошпатово-кварцевые, 8 – литокластитово-кварцевые, 9 – кварцево-полевошпатовые, 10 – литокластитово-полевошпатовые, 11 – кварцево-литокластитовые, 12 – полевошпатово-литокластитовые, 13а – литокластитово-полевошпатово-кварцевые, 13б – литокластитово-кварцево-полевошпатовые; 14а – полевошпатово-литокластитово-кварцевые, 14б – полевошпатово-кварцево-литокластитовые; 15а – кварцево-литокластитово-полевошпатовые, 15б – кварцево-полевошпатово-литокластитовые

глинистого материала и сидерита возрастает. В разрезах Киев-Еганской площади по соотношению различных размерных фракций песчаники пласта Ю₁¹ являются более грубозернистыми. Здесь характерно развитие крупнопесчаной фракции (0,5–1 мм), содержание которой изменяется от 0 до 64 % (в среднем

2, 7 и 23 % в скважинах 367, 366 и 211 соответственно), в то время как в пластах Ю₁³⁻⁴, Ю₁² в среднем оно не более 2 %. Степень сортировки обломочного материала различная (средняя, реже плохая, иногда хорошая), выявить закономерность ее изменения по латерали и вертикали не удалось. Преобладают



полуокатанные и угловатые обломки. По петрографическому составу породы относятся преимущественно к полевошпатово-литокластитово-кварцевому и полевошпатово-кварцево-литокластитовому типам.

На территории развития наунакской свиты с запада на юго-восток в алеврито-песчаных породах отмечаются уменьшение содержания кварца (от 45–56 до 32–43 %), увеличение – полевых шпатов (от 7–18 до 19–31 %) и слюд (от 0,5–1 до 3–4 %), достаточно выдержанное количество обломков пород (34–45 %). Снизу вверх по разрезу несколько увеличивается содержание кварца. Цемент песчаников глинистый (0–7 %), глинисто-карбонатный (3–22 %) и карбонатный (25–40 %). Карбонатный цемент наиболее интенсивно проявлен в средней и верхней частях разрезов наунакской свиты и представлен пелитоморфным сгустковым, редко микрокристаллическим сидеритом базально-порового типа (от 6–7 до 25–40 %), микро- и мелкокристаллическим кальцитом порово-базального типа (3–40 %); последний иногда встречается совместно с доломитом. На Киев-Еганской площади уровни кальцитизации редки. Количество аутигенного пирита в песчаниках не превышает 5 %. Формирование свиты происходило в условиях, переходных от морских к континентальным и континентальным. Выделены обстановки приморских болот, лагун, приливно-отливных равнин, мелких озер и небольших рек с низкой скоростью течения. Наибольшие мощности песчаников и более грубозернистый их состав приурочены к осадочным телам, сформированным в обстановках дельтовых рукавов и заполнения русла. Значения открытой пористости варьируют от 1,2 до 16,7 %, проницаемости – от тысячных долей до 27 мД.

Судя по составу обломочных компонентов, источником материала келловей-оксфордских отложений служили породы кислого ряда (гранитоиды, кислые эффузивы), а также осадочные (аргиллиты, песчаники, кремнистые породы). Снос терригенного материала в основном осуществлялся с территорий Сибирской платформы, Кузбасса и Алтая [5]. Местными источниками сноса могли служить Верхнедемьянский свод, на Александровском своде – выступы в пределах Криволуцкого вала, на Каймысовском своде – выступы в пределах Моисеевского куполовидного поднятия и Ларломкинского вала.

Связь коллекторских свойств с петрографическим составом алеврито-песчаных пород горизонта Ю₁

Многолетние исследования показали, что характер фильтрационно-емкостных свойств алеврито-песчаных пород обусловлен их структурными, минералогическими и текстурными особенностями. Они, в свою очередь, формируются под влиянием седиментационных и постседиментационных процессов и могут быть оценены только при детальном литологическом исследовании. Пористость и проницаемость осадка зависят от следующих основных факторов: размерности зерен, их сортировки, формы,

упаковки, степени окатанности, состава обломков и количества и состава первичного цемента (матрикса). Теоретически пористость не зависит от размера зерен, но на практике на нее влияют сразу три фактора: размер, форма и сортировка. В плохо сортированных осадках маленькие зерна могут размещаться между большими в поровом пространстве и, таким образом, мешать фильтрации. К постседиментационным факторам относятся уплотнение, аутигенное минералообразование, растворение, перекристаллизация, трещинообразование и др. Выявление определяющей роли того или иного фактора, а также направленности влияния каждого из них (ухудшение или улучшение ФЕС) – важная задача при литологических исследованиях пород продуктивных горизонтов.

Седиментационные факторы. Полученные нами и опубликованные данные по корреляционному анализу петрографического состава и гранулометрии алеврито-песчаных пород горизонта Ю₁ с их пористостью и проницаемостью показали, что к параметрам, определяющим формирование улучшенных коллекторов, относятся содержание среднепсаммитовой фракции, медиана, доля каркасных компонентов в обломочной части пород, количество и состав цемента (см. таблицу).

При анализе зависимости коллекторских свойств от структуры пород было установлено, что открытая пористость и проницаемость возрастают с увеличением медианного диаметра обломков (коэффициент корреляции Пирсона $r = 0,63$), при этом максимальные их значения присущи песчаникам с медианным диаметром более 0,2 мм. Сортировка обломочного материала также влияет на коллекторские свойства пород: чем лучше сортировка, тем выше пористость. На практике при среднем размере зерен менее 0,05 мм породы становятся малопроницаемыми даже при высоком коэффициенте отсортированности, хотя теоретически они и могут быть высокопористыми. Например, в изученных отложениях наиболее высокие значения ФЕС были установлены в хорошо сортированных наиболее грубозернистых (средне-, средне-мелкозернистых) песчаниках пластов Ю₁³⁻⁴ Крапивинской скв. 201 и Двуреченской скв. 11. Форма обломков также оказывает влияние на коллекторские свойства. Максимальные значения ФЕС характерны для алеврито-песчаных пород, сложенных изометричными, хорошо окатанными (несколько хуже – угловатыми, полуокатанными) зернами. Менее благоприятны в этом плане удлиненные, особенно таблитчатые зерна. В изученных алеврито-песчаных породах обломки имеют преимущественно полуокатанную, реже окатанную и угловатую форму, что в целом положительно влияет на коллекторские свойства пород.

Форма обломков, характер их поверхности (глянцевые, шероховатые и др.), адсорбционная способность, смачиваемость и т. д. в значительной степени определяются минеральным составом обломочной части. Известно, например, что поверхность кварца обладает наименьшей по сравнению с дру-



Коэффициенты корреляции (r) между составом и коллекторскими свойствами алеврито-песчаных пород горизонта Ю₁ на юго-востоке Западной Сибири (для пород с содержанием цемента <16 %)

Параметры состава	Открытая пористость	Проницаемость
0,25–0,1 мм (песчаник мелкозернистый) (N = 65)	0,33	0,41
0,1–0,05 мм (алевролит крупнозернистый) (N = 65)	-0,42	-0,55
Максимальный диаметр (N = 65)	0,44	0,69
Медиана (N = 65)	0,46	0,63
Количество		
кварца (N = 65)	0,28	0,52
полевых шпатов (N = 65)	-0,16	-0,40
каркасных литокластов (N = 51)	0,35	0,32
цемента всего (N = 65)	-0,64	-0,32
в том числе		
хлорит-гидрослюдистого (N = 65)	-0,42	-0,27
карбонатного (N = 29)	-0,49	-0,12

Примечание. Жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции с уровнем доверительной вероятности >0,95.

гими минералами адсорбционной способностью к нефти. Кроме того, породы с преобладанием в составе каркасных компонентов менее подвержены уплотнению и, следовательно, уменьшению порового пространства. Для изученных пород-коллекторов характерен преимущественно полевошпатово-литокластитово-кварцевый и литокластитово-полевошпатово-кварцевый состав с преобладанием каркасных компонентов (75–90 %) и преимущественно высоким содержанием кварца (около 50 %, иногда до 60 %), обломки которого наиболее изометричны. Доля пластичных компонентов (слюды, обломки глинистых пород и сланцев) не превышает 10–20 %. Алеврито-песчаные породы такого состава характеризуются высокими ФЕС. В результате статистического анализа выборки образцов пород с содержанием цемента <16 % было выявлено, что положительное влияние на ФЕС оказывает количество кварца (см. таблицу). Получена четкая положительная корреляционная зависимость ($r = 0,52$) между количеством кварца и проницаемостью. Для выборки с породами, содержащими менее 7 % цемента, указанная зависимость более четкая ($r = 0,56$ для пористости и $r = 0,58$ для проницаемости). Это объясняется тем, что кварц создает жесткий каркас породы, препятствующий дальнейшему уплотнению, а следовательно, уменьшению порового пространства.

Для полевых шпатов характерно слабо выраженное отрицательное влияние на коллекторские свойства. В выборке среди полевых шпатов отдельно не выделялись сильно измененные калиевые полевые шпаты, способные к пластической деформации. При уплотнении пород они могут выступать как глинистые обломки пород, запечатывая имеющиеся свободные поры, тем самым ухудшая коллекторские свойства. Влияние же слабо- и неизмененных полевых шпатов аналогично таковому для кварца. Отрицательно влияет на коллекторские свойства и присутствие слюд. Но из-за непостоянного, порой незначительного их содержания и неравномерного

последнего распределения эта зависимость проявляется крайне слабо. В породах с преобладанием каркасных литокластов также наблюдается четкая положительная корреляция содержания обломков пород с открытой пористостью, в меньшей степени с проницаемостью. Увеличение количества пластичных обломков приводит к ухудшению фильтрационно-емкостных параметров.

Важным параметром при формировании ФЕС является количество цементирующего материала и его состав. Седиментационный цемент представлен в основном глинистыми минералами. В целом чем больше цемента в обломочной породе, тем ниже ее коллекторские свойства (см. таблицу). При небольшом (1–7 %) количестве цемента в породах сохраняется часть первичных седиментационных пор. Значительное снижение пористости и проницаемости наблюдается при увеличении содержания глинистого цемента до 15–20 % и более. В состав последнего входят глинистые минералы, обладающие различными физическими свойствами, в частности особенностями дисперсности (адсорбционной способности), кристаллохимического строения и гидратации глинистых минералов. Насыщение глины водой и одновалентными катионами приводит к диспергации глинистых микроагрегатов, уменьшению поровых каналов и проницаемости [8]. Каолинит же обладает жесткой кристаллической решеткой и крупными микрочастицами, что обуславливает его относительно небольшую удельную поверхность и емкость обмена. Рентгеноструктурный анализ глинистого цемента изученных алеврито-песчаных пород показал, что преобладающий глинистый минерал – каолинит (55–70 %), в подчиненном количестве отмечаются диоктаэдрическая слюда поли типа 2M₁, в меньшей степени 1M, со следовой примесью смешанослойного иллит-смектита (15–30 %) и (Mg, Fe)-хлорит (5–28 %).

Совместно с глинистым материалом часто наблюдается тонкодисперсное органическое вещество, проявленное обычно в нефтенасыщенных



прослоях. Наибольшее его количество (типа битума) установлено на Крапивинском месторождении в верхней половине подугольной толщи. Оно неравномерно распределено по породе (от менее 1 до 5 %) и формирует порово-пленочный цемент (рис. 5, а). В песчаниках слабо проявлены постседиментационные изменения, в шлифах фиксируется достаточно большое количество межзерновых пор (см. рис. 5, б). Возможно, наличие битума препятствовало дальнейшему уплотнению и вторичному преобразованию пород, и, таким образом, способствовало сохранению ФЭС. Такие песчаники имеют пористость до 18–21 %, проницаемость 160–400 мД.

Постседиментационные факторы. При детальном микроскопическом исследовании алеврито-песчаных пород горизонта Ю₁ на изученной территории выявлены следующие постседиментационные преобразования.

Аутигенное минералообразование и перекристаллизация. Вторичное минералообразование в целом отрицательно влияет на ФЭС. Это связано с формированием новообразованных минералов в свободном пустотном пространстве породы. Основной объем аутигенного минералообразования приходится на карбонатные минералы, среди которых наиболее распространен кальцит. Кальцитизация пород максимально выражена в породах надугольной толщи, вплоть до появления прослоев терригенно-карбонатных пород (см. рис. 5, в) и вторичных известняков. Содержание кальцита варьирует от первых до 50–60 %. При незначительном содержании он формирует микро-, тонкокristаллический цемент порового, участками базального типов. При увеличении содержания кальцит обычно разнокristаллический, преимущественно мелко-среднекristаллический, часто пойкилитовый, корродирует обломки, частично или полностью замещает часть из них (см. рис. 5, г) и формирует порово-базальный тип цемента. Интенсивная кальцитизация, когда в первую очередь замещаются неустойчивые пластичные обломки, часто приводит к изменению состава пород (увеличению содержания обломков кварца и уменьшению содержания обломков пород и полевых шпатов). В цементе изученных алеврито-песчаных пород часто проявлен сидерит (от 1–3 до 10, иногда 25–40 %) пелитоморфный сгуст-

ковый, редко микрокristаллический, иногда сферолитовый порового, редко пленочно-порового, участками порово-базального типов. Он наиболее характерен для межугольной толщи и наунакской свиты, в меньшей степени – для подугольной толщи. Доломит обычно встречается в небольшом количестве (от долей до первых процентов), часто развит по кальциту, иногда по сидериту, формируя тонкокristаллические ромбоэдры, нередко приурочен к сильно карбонатизированным песчаникам межугольной толщи. Карбонатный цемент при содержании 25–30 % и выше снижает открытую пористость более резко, чем глинистый (см. таблицу). Однако для таких пород возможно возникновение вторичной пористости за счет выщелачивания карбонатных минералов.

Процессы каолинитизации выражены в перекристаллизации седиментационного каолинитового цемента и в каолинитизации полевых шпатов (см. рис. 5, д–з). По данным рентгеноструктурного анализа в более грубозернистых песчаниках горизонта Ю₁, содержащих заметное количество порового каолинита (от 1–3 % до 5–8 %), последний представлен разновидностью с высокой степенью структурной упорядоченности. При перекристаллизации седиментационного каолинита с низкой степенью структурной упорядоченности в новообразованных агрегатах каолинита до 30–50 % приходится на вновь образованное межзерновое пространство. В подугольной толще доля перекристаллизованного каолинитового цемента в изученных породах достигает 8, редко 15 %.

Регенерация кварца выражена в разной степени на всей изученной территории. Кварц образует каемки толщиной до 0,02–0,05 мм, преимущественно неполные, в единичных случаях гранулированные (см. рис. 5, и, к). В целом наблюдается увеличение доли регенерационного кварца с увеличением размерности кварцевых зерен. Также интенсивное проявление регенерации отмечено в приразломных зонах, где породы подвергались углекислому выщелачиванию. В последнем случае растворенный кварц переотлагается в этих же пластах, например, в средне-мелкозернистых песчаниках в Двуреченской скв. 11 от 70 до 100 % обломков кварца регенерировано, иногда до идиоморфных граней. Наличие в песчаниках небольшого количества раннекатагене-

Рис. 5. Петрографические особенности алеврито-песчаных пород горизонта Ю₁

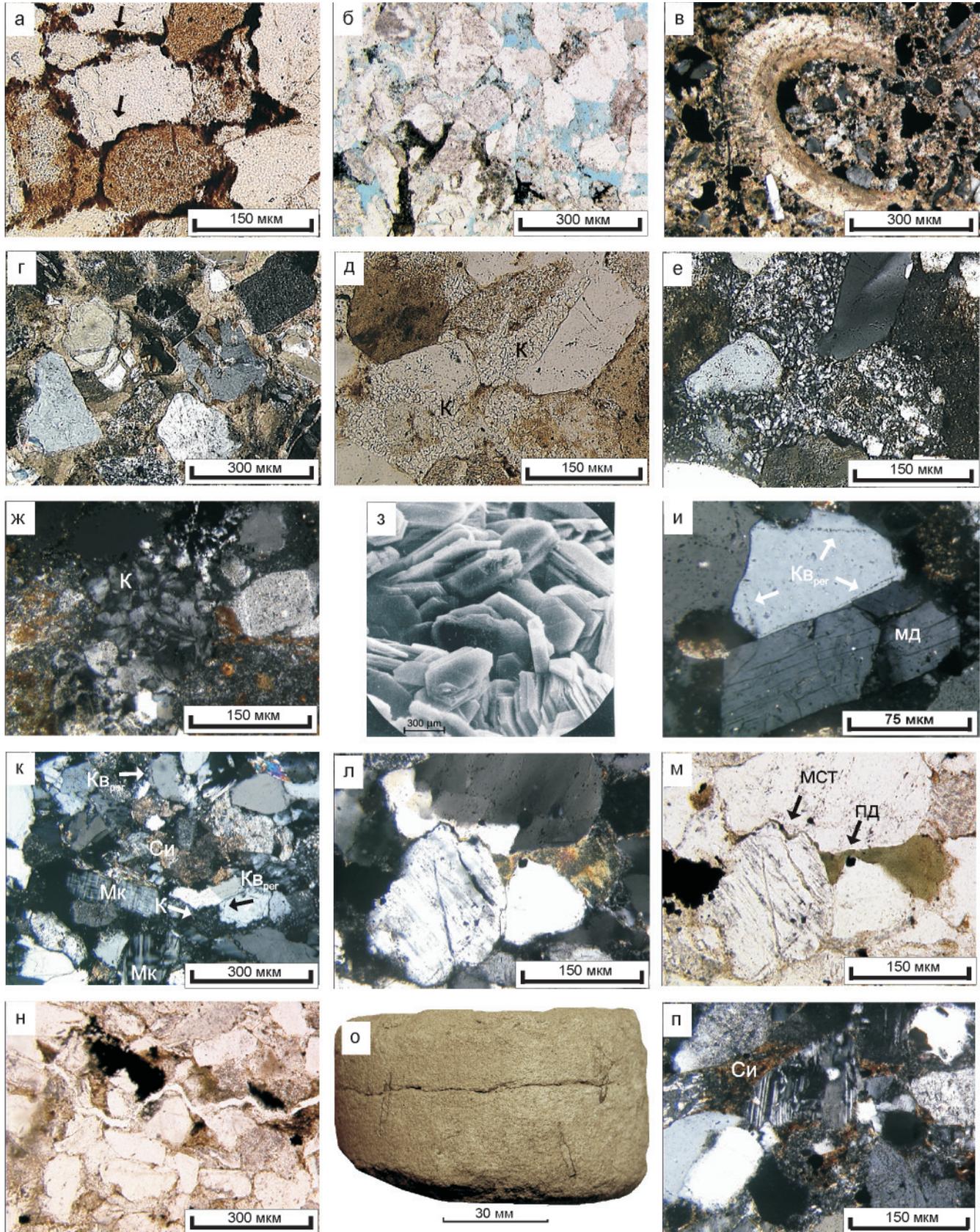
а – пленочно-поровое ОВ (указано стрелками), Крапивинская скв. 201, подугольная толща, пласт Ю₁³⁻⁴; б – межзерновые поры (прокрашено голубой смолой), Дуклинская скв. 1, подугольная толща; в – терригенно-карбонатная порода с остатком морской фауны, Крапивинская скв. 201, надугольная толща; г – кальцитизация, Двуреченская скв. 12, подугольная толща; д–з – каолинит: д, е – каолинитизация полевых шпатов, Крапивинская скв. 201, подугольная толща; ж – перекристаллизованный каолинит, Толпаровская скв. 2, надугольная толща, пласт Ю₁¹⁻²; з – микропористость в участке перекристаллизованного каолинита (микрошлиф), Первомайская скв. 2287, подугольная толща; и, к – регенерация кварца и механическая деформация калиевого полевого шпата (мд): и – Дуклинская скв. 1, надугольная толща, к – Киев-Еганская скв. 211, наунакская свита, пласт Ю₁¹; л, м – микростилолиты, Дуклинская скв. 1, надугольная толща, н – протяженный стилолитовый шов, там же, о – трещины выщелачивания в образце, там же; п – катаклаз плагиоклаза, Двуреченская скв. 11, подугольная толща. К – каолинит; М – мусковит; Мк – микроклин; Си – сидерит; Кв_{пер} – кварц регенерационный; мст – микростилолит, пд – пластическая деформация. Николи + – в, г, е, ж, и, к, л, п; николи II – а, б, д, м, н



тического регенерационного кварца (1–4 %), скрепляющего каркас породы и препятствующего дальнейшему уплотнению, положительно влияет на ФЭС.

В зависимости от состава полевых шпатов отмечена разная степень их изменения процессами кальцитизации, пелитизации, серицитизации, си-

деритизации, каолинитизации. На фоне общего преобладания слабоизмененных калиевых полевых шпатов наблюдается уменьшение содержания сильно и умеренно измененных вверх по разрезу алеврито-песчаных пластов. Кислые плагиоклазы не изменены или слабо изменены.



По обломкам пород иногда развиваются кальцит и сидерит, образуя цемент замещения. Каркасные обломки серицитизированы и каолинитизированы. Пластичные обломки в основном умеренно деформированы, сильно деформированные выступают в роли цемента, что приводит к уменьшению диаметров поровых каналов. В нефтенасыщенных пластах пластичные обломки часто пигментированы органическим веществом.

Растворение. С постседиментационными процессами связаны растворение и коррозия под влиянием длительного давления на контактах обломков разного состава, что приводит к их взаимному приспособлению. Это способствует более плотному прилеганию частиц друг к другу и уплотнению породы в целом. Растворение под давлением кварца и полевых шпатов усиливается, если на контактах между ними присутствуют гидрослюды, глинистые и серицитовые обломки и сланцы, создающие щелочную среду. Такое растворение с участием гидрослюды обуславливает возникновение столбчатых микростилолитов между зёрнами (см. рис. 5, л, м, рис. 3, а).

Также с постседиментационными преобразованиями связано появление пор и пустот выщелачивания. Они возникают при растворении силикатных и карбонатных компонентов пород в составе обломочного каркаса и цемента, что приводит к разуплотнению пород. В некоторых разрезах на отдельных уровнях фиксировалось сочетание пустот выщелачивания и протяженных стилолитовых швов. Например, в скважинах Дуклинской 1, Двуреченских

11, 12 (Каймысовский свод), расположенных вблизи установленных крупных разломов, широко развиты протяженные стилолиты (см. рис. 5, н), а в макрообразцах – субгоризонтальные пустоты выщелачивания (см. рис. 5, о). Наличие зон углекислотного выщелачивания на территории Каймысовского свода подтверждают томские исследователи [1] на основе изучения изменения химического состава подземных вод (рис. 6). Процесс выщелачивания проявлен неоднородно, вследствие чего зоны развития такого пустотного пространства распространены ограниченно. В результате подобной проработки тип коллектора становится кавернозно-поровым, а ФЕС в таких зонах изменяются очень сильно, скачкообразно. В пример можно привести Двуреченское месторождение, где из подугольной толщи были получены притоки нефти с высокими дебитами (от 53 до 520 м³/сут). В верхней части толщи отмечено резкое возрастание проницаемости (до 20–129 мД) по сравнению с нижней частью (0,1–10 мД). При этом пористость увеличивается незначительно (от 11–14 до 13–20 %) (см. рис. 6).

В кровле изученных песчаных пластов горизонта Ю₁ часто наблюдаются наклонные тектонические трещины. В керне они фиксируются по наличию мелких разнонаправленных трещин, залеченных полигональным кальцитом, а также по сдвиговой поверхности, наличию зеркал скольжения. Залеченные трещины такого типа могут служить местными экранами залежей. Появление открытых тектонических трещин в продуктивных породах ведет к фор-

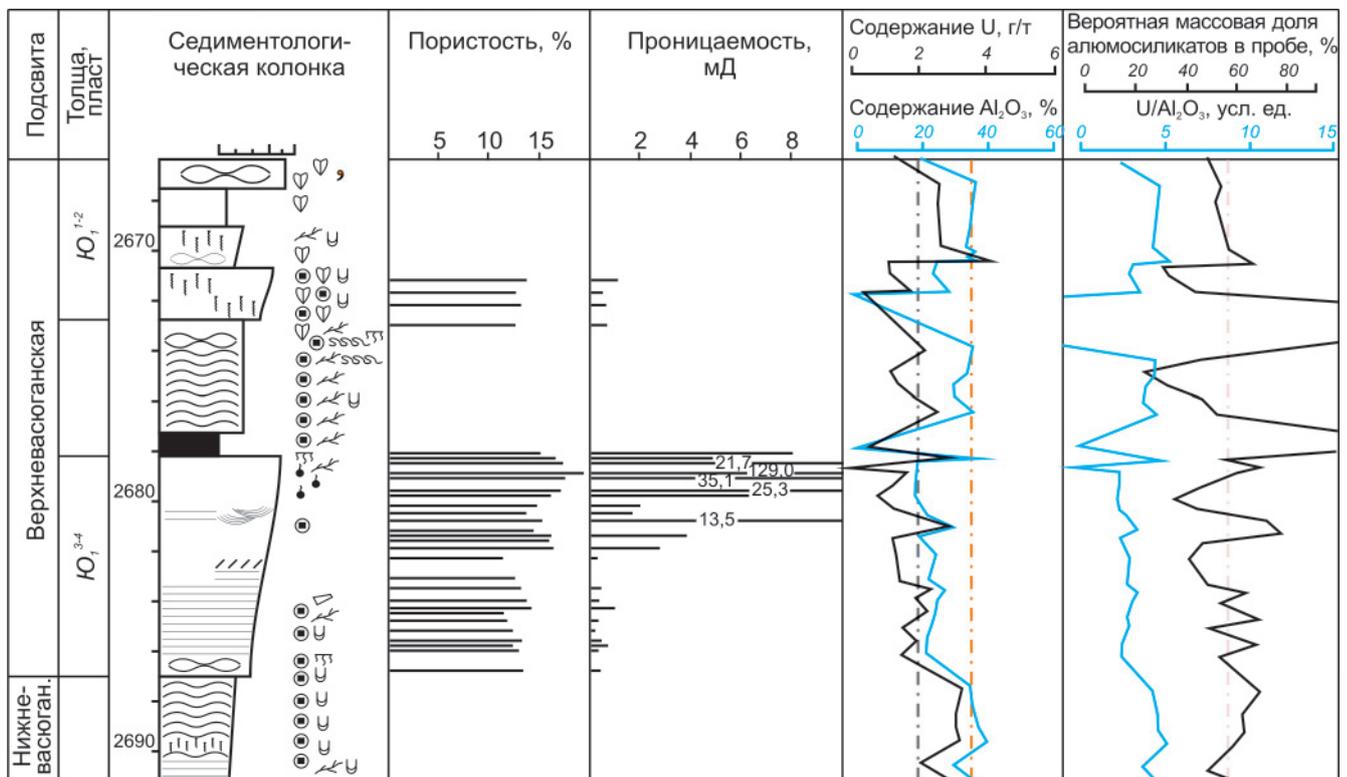


Рис. 6. Седиментационный разрез горизонта Ю₁, вскрытого Двуреченской скв. 11. Геохимические данные по содержанию U и Al₂O₃ из [13]

Усл. обозн. см. на рис. 2



мированию коллекторов трещинно-порового типа и к резкому скачкообразному увеличению дебитов углеводородов. На наличие дополнительных напряжений также указывают зафиксированные обломки катаклазированных полевых шпатов (см. рис. 5, п). Наиболее ярко этот процесс представлен в Двуреченской скв. 11, где в подугольной толще более 30 % обломков плагиоклаза катаклазированы.

Ранее показано, что по структурно-минералогическим параметрам изменения изученных пород соответствуют среднему – началу позднего катагенеза [3], что совпадает со степенью катагенеза по органическому веществу, заключенному в изученных породах (по данным А. Н. Фомина, ИНГГ СО РАН). Этому не противоречат данные по палеотемпературе регионального прогрева отложений, которая достигает 80–120 °С и не превышает современной [7].

Обсуждение результатов и выводы

В данной работе обобщены и уточнены результаты литологических исследований разных лет на территории распространения васюганской и наунакской свит в пределах Обь-Тарского фациального подрайона и Сильгинского района. Показано, в частности, что в юго-восточном направлении (от васюганской свиты к наунакской) в составе обломочной части пород уменьшается содержание кварца, возрастает – полевых шпатов и обломков пород, соответственно, зрелость пород в этом направлении уменьшается. Наблюдается прямая корреляция между минералогической и структурной зрелостью пород: с ростом доли кварца, как правило, улучшаются окатанность обломочного материала и сортировка. Вверх по разрезу количество полевых шпатов увеличивается, обломков пород – уменьшается. Установлено, что структура пород преимущественно плотная, конформная, уровнями умеренно плотная со свободным поровым пространством. По структурно-минералогическим показателям породы подвержены изменениям, соответствующим стадии среднего – позднего катагенеза.

При анализе влияния различных постседиментационных процессов на коллекторские свойства пород установлено, что к факторам, приводящим к формированию зон разуплотнения, т.е. улучшающим ФЕС алеврито-песчаных пород, относятся: 1) растворение обломков и цемента с последующим выносом материала в условиях углекислого выщелачивания; 2) каолинизация полевых шпатов; 3) перекристаллизация глинистых минералов и карбонатов с образованием микропор, увеличением трещинной и внутризерновой проницаемости; 4) образование регенерационного кварца, скрепляющего каркас пород.

На некоторых месторождениях (например, на Каймысовском своде) именно постседиментационные процессы оказывают решающее влияние на формирование коллекторов. Выявлено, что в изученных породах зоны выщелачивания, стилолито-

образования и каолинизации наиболее распространены в мощных песчаниках подугольной толщи на территории распространения васюганской свиты в юго-восточной части Обь-Тарского фациального подрайона.

Наложенные постседиментационные процессы, изменяющие ФЕС пород-коллекторов, обычно не имеют региональной приуроченности. Поэтому в целях более точного прогноза зон улучшенных коллекторов оценка соотношения седиментационных и постседиментационных факторов формирования ФЕС продуктивных горизонтов должна выполняться конкретно для каждого месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов Р. В., Петров В. Н., Сысоев А. Т. Новые данные о перспективах нефтегазоносности Двуреченского месторождения нефти (Междуреченское поднятие, Томская область) // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. – 2000. – № 5. – С. 25–29.
2. Белозеров В. Б., Даненберг Е. Е., Огарков А. М. Особенности строения васюганской свиты в связи с поиском залежей нефти и газа в ловушках неантиклинального типа // Перспективы нефтегазоносности юго-востока Западной Сибири. – Новосибирск, 1980. – С. 92–100. – (Тр. СНИИГГиМС; вып. 275).
3. Бурлева О. В. Постседиментационные преобразования келловей-оксфордских отложений Обь-Иртышского междуречья: процессы и минеральные ассоциации // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2008. – № 6. – С. 9–22.
4. Гурова Т. И., Залазаева Л. В., Пода А. Г. Коллекторы юрских продуктивных горизонтов Томской области // Геология нефтегазоносных бассейнов. – Новосибирск, 1971. – С. 69–76. – (Тр. СНИИГГиМС; вып. 137).
5. Конторович В. А., Жевлаков Л. П. Прогноз зон распространения улучшенных коллекторов пластов Ю₁³⁻⁴, Ю₁⁵ в северной части Лугинецкого месторождения // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. – 1998. – № 7. – С. 13–17.
6. Литология келловей-оксфордских отложений в различных фациальных районах Западно-Сибирской плиты / П. А. Ян, Л. Г. Вакуленко, О. В. Бурлева и др. // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 11–12. – С. 1897–1907.
7. Недоливко Н. М., Жуковская Е. А., Баженов В. А. Карбонаты в юрских отложениях юго-восточной части Ньюрольской впадины (Томская область) // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 3. – С. 491–501.
8. Осипов В. И., Соколов В. Н., Еремеев В. В. Глинистые покрышки нефтяных и газовых месторождений. – М.: Наука, 2001. – 238 с.
9. Перозио Г. Н. Вторичные изменения мезозойских отложений центральной и юго-восточной частей Западно-Сибирской низменности // Постсе-



диментационные преобразования осадочных пород Сибири. – М.: Наука, 1967. – С. 5–69.

10. **Решение** 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири. Объяснительная записка / ред. Ф. Г. Гурари и др. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004. – 114 с.

11. **Сердюк З. Я., Эренбург Б. Г.** О составе вторичных карбонатов, развитых в трещинах и порах пород фундамента и осадочного чехла Обь-Иртышского междуречья // Литология и геохимия мезозойских отложений Сибири. – Новосибирск, 1972. – С. 87–91. – (Тр. СНИИГГиМС; вып. 149).

12. **Смехов Е. М.** Теоретические и методические основы поисков трещинных коллекторов нефти и газа. – Л.: Недра, 1974. – 200 с.

13. **Шалдыбин М. В.** Геохимические критерии оценки влияния процессов наложенного эпигенеза на фильтрационно-емкостные свойства обломочных пород-коллекторов (на примере нефтяных месторождений Томской области): автореф. дис. ... к. г.-м. н. – Томск, 2005. – 21 с.

REFERENCES

1. Belov R.V., Petrov V.N., Sysoev A.T. [New data on oil-gas bearing prospects of the Dvurechensk field (Mezhdurechensk rise, Tomsk area)]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh mestorozhdeniy – Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2000, no. 5, pp. 25–29. (In Russ.).

2. Belozerov V.B., Danenberg E.E., Ogarkov A.M. [Structural features of the Vasyuganskaya Formation and prospecting for oil and gas accumulations in non-anticlinal traps]. *Perspektivy neftegazonosnosti yugovostoka Zapadnoy Sibiri. Trudy SNIIGGiMS* [Oil and gas bearing prospects of the southeastern Western Siberia. SNIIGGiMS Proceedings]. Novosibirsk, 1980, issue 275, pp. 92–100. (In Russ.).

3. Burleva O.V. [Postdepositional alterations of the Callovian-Oxfordian deposits of the Ob-Irtysh interstream area: processes and mineral associations]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy – Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2008, no. 6, pp. 9–22. (In Russ.).

4. Gurova T.I., Zalazaeva L.V., Poda A.G. [Reservoirs in the Jurassic producing horizons of the Tomsk Region]. *Geologiya neftegazonosnykh basseynov. Trudy SNIIGGiMS* [Geology of petroleum basins. SNIIGGiMS Proceedings]. Novosibirsk, 1971, issue 137, pp. 69–76. (In Russ.).

5. Kontorovich V.A., Zhevlakov L.P. [Prediction of occurrence of better reservoirs in beds Yu₁³⁻⁴ and Yu₁⁵ in the northern part of the Luginetskoye field]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh mestorozhdeniy –*

Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields, 1998, no. 7, pp. 13–17. (In Russ.).

6. Yan P.A., Vakulenko L.G., Burleva O.V., et al. [Lithology of Callovian-Oxfordian deposits in various facies districts of the West Siberian Plate]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 2001, vol. 42, no. 11–12, pp. 1897–1907. (In Russ.).

7. Nedolivko N.M., Zhukovskaya E.A., Bazhenov V.A. [Carbonates in Jurassic deposits in the south-east of the Nyuro'l'ka depression]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 2001, vol. 42, no. 3, pp. 491–501. (In Russ.).

8. Osipov V.I., Sokolov V.N., Ereemeev V.V. *Glinistye pokryshki neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy* [Argillaceous seals of oil and gas fields]. Moscow, Nauka Publ., 2001. 238 p. (In Russ.).

9. Perozio G.N. [Secondary alterations of Mesozoic deposits in the central and southeastern parts of the West Siberian lowland]. Executive editors: Kazansky Yu.P., Perozio G.N. *Postsedimentatsionnye preobrazovaniya osadochnykh porod Sibiri* [Postdepositional alterations of sedimentary rocks in Siberia]. Moscow, Nauka Publ., 1967, pp. 5–69. (In Russ.).

10. *Reshenie 6-go Mezhdomstvennogo stratigraficheskogo soveshchaniya po rassmotreniyu i prinyatiyu utochnennykh stratigraficheskikh skhem mezozoyskikh otlozheniy Zapadnoy Sibiri: Ob'yasnitel'naya zapiska* [Decision of the 6th Interdepartmental Meeting on Stratigraphy, dedicated to discussion and acceptance of updated Mesozoic stratigraphic charts of Western Siberia: explanatory note]. F.G. Gurari et al. eds. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2004. 114 p. (In Russ.).

11. Serdyuk Z.Ya., Erenburg B.G. [The composition of secondary carbonates located in fractures and pores of the basement and sedimentary cover rocks in the Ov-Irtysh interstream area]. *Litologiya i geokhimiya mezozoyskikh otlozheniy Sibiri. Trudy SNIIGGiMS* [Lithology and geochemistry of Mesozoic deposits of Siberia. SNIIGGiMS Proceedings]. Novosibirsk, 1972, pp. 87–91. (In Russ.).

12. Smekhov E.M. *Teoreticheskie i metodicheskie osnovy poiskov treshchinnykh kolektorov nefiti i gaza* [Theoretic and methodological fundamentals of searching for fractured reservoirs of oil and gas]. Leningrad, Nedra Publ., 1974. 200 p.

13. Shaldybin M.V. *Geokhimicheskie kriterii otsenki vliyaniya protsessov nalozhennogo epigeneza na fil'tratsionno-emkostnye svoystva oblomochnykh porod-kollektorov (na primere neftyanykh mestorozhdeniy Tomskoy oblasti): Avtoreferat dissertatsii ... kand. geol.-mineral. nauk* [Geochemical criteria of estimating the effect of superimposed epigenesis on the porosity and permeability of fractured reservoirs. A case study of oil fields in the Tomsk Region: The author's abstract of PhD thesis]. Tomsk, 2005, 21 p. (In Russ.).

© О. В. Бурлева, Л. Г. Вакуленко,
О. В. Дульцева, П. А. Ян, 2017