

УДК 551.763.1(470.62)

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-5-73-82

ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА ФАНАРСКОГО ГОРИЗОНТА НИЖНЕГО МЕЛА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Святослав Юрьевич Яковичин¹, Сергей Иванович Бордунов²,
Александр Валерьевич Гусев³, Елена Васильевна Яковичина⁴,
Юлия Александровна Машкина⁵

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; carapaxy@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Геологический институт РАН, Москва, Россия; sib-msu@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; avg@yandex.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; yakovishina@mail.ru

⁵ ЗАО «МиМГО», Москва, Россия; julim902@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты комплексного изучения отложений фанарского горизонта нижнего мела Северо-Западного Кавказа. Полученные результаты позволили выяснить обстановки их формирования и источники сноса обломочного материала. Установлено, что изученная территория представляла собой фронтальную область дельты, в которой в отдельных распределяющих каналах накапливались песчаные и песчано-глинистые отложения. Песчаники горизонта обладают хорошими коллекторскими свойствами с коэффициентом пористости (Кп) до 21,3%.

Ключевые слова: Кавказ, нижний мел, литология, песчаники

Для цитирования: Яковичин С.Ю., Бордунов С.И., Гусев А.В., Яковичина Е.В., Машкина Ю.А. Обстановка осадконакопления и коллекторские свойства фанарского горизонта нижнего мела Северо-Западного Кавказа // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 5. С. 73–82.

SEDIMENTATION ENVIRONMENTS AND RESERVOIR PROPERTIES OF FANAR HORIZON OF THE LOWER CRETACEOUS OF THE NORTHWESTERN CAUCASUS

Svyatoslav Yu. Yakovishin¹, Sergey I. Bordunov², Aleksandr V. Gusev³,
Elena V. Yakovishina⁴, Yulia A. Mashkina⁵

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; carapaxy@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University; Geological Institute RAS, Moscow, Russia; sib-msu@mail.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; avg@yandex.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; yakovishina@mail.ru

⁵ ZAO «MiMGo», Moscow, Russia; julim902@gmail.com

Abstract. The results of a comprehensive study of the deposits of the Fanar horizon of the Lower Cretaceous of the Northwestern Caucasus are presented, which made it possible to establish the conditions of their formation and the sources of the erosion of clastic material. It was defined that the territory was a frontal area of the delta, in which sandy and sandy-clay deposits accumulated in separate distributing channels. The sandstones of the horizon have good reservoir properties with a porosity coefficient (Kp) up to 21.3%.

Keywords: Caucasus, Lower Cretaceous, lithology, sandstones

For citation: Yakovishin S.Yu., Bordunov S. I., Gusev A.V., Yakovishina E. V., Mashkina Yu.A. Sedimentation environments and reservoir properties of Fanar Horizon of the Lower Cretaceous of the Northwestern Caucasus. *Moscow University Geol. Bull.* 2024; 5: 73–82. (In Russ.).

Введение. Отложения нижнего мела Северо-Западного Кавказа являются нефтеперспективным объектом. Об этом свидетельствует как наличие открытых месторождений в разновозрастных отложениях соседних регионов, так и широкое распространение терригенных толщ нижнего мела большой мощности. Исследования проводились в междуречье рек Абин и Убин Краснодарского края

(рис. 1). В работе рассматриваются позднеготеривские-раннебарремские отложения фанарского горизонта (K_{fn}), являющегося базальным горизонтом афипской свиты (K_{af}) (баррем — ранний апт). Горизонт сложен мощной (до 250 м) грубообломочной толщей, представленной в подошве конгломератами, а в основной части разреза — песчаниками с редкими прослоями глин [Корсаков и др., 2013].

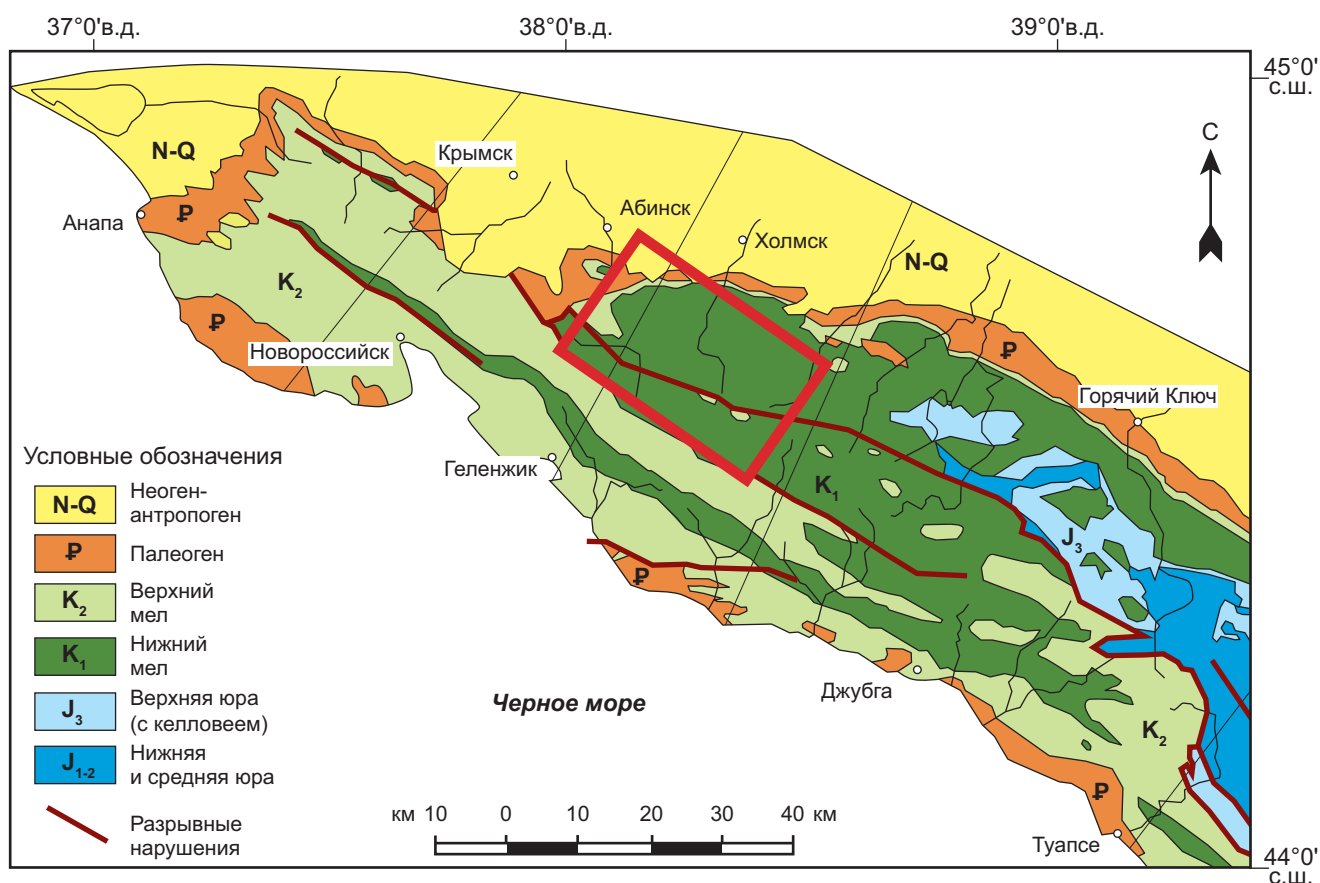


Рис. 1. Фрагмент геологической карты Северо-Западного Кавказа, по [Маринин, Расцветаев, 2008], с изменениями. Красный прямоугольник — расположение района исследований

Фанарский горизонт является регионально потенциально нефтегазоносным и представляет определенный интерес для дальнейших геологоразведочных и поисковых работ. Исследуемая территория тектонически приурочена к области северо-западного погружения Кавказского мегантиклинория и относится к структурно-фациальной Абино-Гунайской подзоне зоны Северо-Западного Кавказа, сложенной преимущественно нижнемеловыми терригенными отложениями [Корсаков и др., 2013]. Зона характеризуется развитием продольной складчатости общекавказского простираения, осложненной нарушениями линейного характера.

Цель работы заключалась в реконструкции обстановок осадконакопления фанарского горизонта нижнего мела Северо-Западного Кавказа и определении коллекторских свойств слагающих его пород. Для этого были проведены литолого-фациальный и рентгенофазовый анализы пород фанарского горизонта, а также выполнена реконструкция палеогеографических условий для позднего готерива — раннего баррема Северо-Западного Кавказа.

Материалы и методы исследования. Аналитические исследования проводились на геологическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова. Вещественный состав пород изучался в петрографических шлифах, изготовленных из 29 образцов, которые были отобраны в основном из песчаных пород

[Швецов, 1958; Шванов и др., 1998]. Для их изучения использовался оптический микроскоп Полам-213М. В результате изучения петрографических шлифов были выделены основные литологические типы пород (ЛТ) и осуществлена их генетическая типизация [Фролов, 1984], что позволило составить представление об условиях формирования изучаемой толщи.

По результатам литолого-петрографического анализа образцов была построена классификационная диаграмма состава песчаных пород фанарского горизонта [Шутов, 1975]. Для отображения составов пород на диаграмме был использован программный комплекс GRAPHER 13.0 для Windows ОС компании Golden Software Inc.

Определение коллекторских или фильтрационно-емкостных свойств пород проводилось для 30 образцов песчаников фанарского горизонта в два этапа.

1. Подготовка образцов, при которой механическая обработка образцов горных пород проводилась с помощью алмазного режущего и сверлящего инструмента согласно ГОСТ 26450.0-85 [ГОСТ, 1985]. Всего было изготовлено 30 стандартных цилиндрических образцов длиной и диаметром около 30 мм.

2. Определение открытой пористости и абсолютной газопроницаемости по азоту в лабораторных условиях. Измерения проводились при помощи автоматизированной системы измерения пористости

и проницаемости «АР-608» производства Coretest Systems, США на стандартных цилиндрических образцах длиной и диаметром 30 мм. Пределы относительного среднеквадратического отклонения случайной составляющей погрешности измерения открытой пористости составляли 3%. Пределы относительной погрешности измерения открытой пористости составляли $\pm 6\%$.

Фильтрационные свойства породы характеризуются значениями абсолютной газопроницаемости, которая определялась по ГОСТ 26450.2-85 [ГОСТ, 1985]. Исследование проводилось по методу нестационарной газифiltrации азотом. Высушенный образец помещался в кернодержатель установки АР-608, в котором боковая поверхность образца обжималась с помощью резиновой манжеты давлением в 3,4 МПа, чтобы не допустить просачивания воздуха между боковой поверхностью образца и манжетой. В дальнейшем происходило автоматическое измерение газопроницаемости.

Минералогический состав глин изучен в 5 образцах методом рентгенофазового анализа на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М. Исследования проводились на кафедре нефтегазовой седиментологии и морской геологии геологического факультета МГУ. Идентификация минералов осуществлялась на основании определения межплоскостных расстояний, которые на дифрактограммах показаны базальными рефлексами. Удалось установить наличие глинистых минералов определенных групп, полученные результаты были использованы при восстановлении обстановок седиментации [Лидер, 1986].

Результаты и обсуждение. Литологическая характеристика. В районе исследований фанарский горизонт обнажается в руслах рек и на склонах оврагов. Нижняя и верхняя границы горизонта не всегда хорошо обнажены. Фанарский горизонт залегает без видимого несогласия на шишанской свите. Отложения представлены переслаиванием песчаников светло-серых, мелкозернистых, известковистых (5–10 до 30 см) с тонкими прослойками глин мощностью 1–2 см, алевритистых с линзами сидерита. Ближе к кровле горизонта выделяются пачки песчаников светло-серых, кварц-полевошпатовых, среднезернистых, слоистых (5–7 см), с тонкими прослойками глин (1–2 см). В основании горизонта залегают базальные конгломераты светло-серые мелкогалечные с уплощенной галькой сидерита, глин и песчаника. Фанарский горизонт согласно перекрывается глинистыми отложениями афипской свиты.

Возраст обоснован находками аммонитов *Speetonicerias subinversum* Pavl., *Barremites* aff. *difficile* Orb., *Desmoceras* aff. *tauricum* Kar, как поздний готерив — ранний баррем. [Барабоскин и др., 2012]. Мощность его до 250 м.

В районе п. Синегорск отложения горизонта вскрываются в стенках действующего карьера (рис. 2). В этом карьере фанарский горизонт имеет максимальную мощность (125 м). Отложения пред-



Рис. 2. Выходы песчаников фанарского горизонта в стенке карьера у п. Синегорск. Фото Е.В. Яковичиной

ставлены переслаиванием песчаников и тонких прослоев песчаных глин (глинистых песчаников). Глины слоистые, рыхлые, сильно песчаные. Песчаники массивные, крупно-средне зернистые, кварцевые, с многочисленным углистым детритом. Встречаются железистые конкреции диаметром 2–3 см, железистые стяжения и корочки. Для песчаников характерна косая и волнистая слоистость, присутствие гальки глинистых пород, ожелезнение по слоям. Глинистые песчаники тонкослоистые, мелкозернистые, с глинистыми примазками, галькой глинистых пород размером 1–2 см. Отдельные прослои песчаников имеют мощность до полуметра. Также наблюдаются тонкие, часто линзовидные, глинистые прослои. Глина темно серого цвета, песчаная. Мощность прослоев глины 1–2 см. Границы между слоями неровные, со следами размыва, волнений и переотложений. В массивных песчаниках карбонатно-глинистый цемент. В породах встречается большое количество ходов илоедов.

В подошве массивных песчаников увеличивается количество гальки кварца и глинистых пород в «железистой рубашке» (рис. 3, а). Кварцевая галька, имеющая размер 0,3–0,5 см, обычно хорошо окатана. Углистые остатки в породе часто расположены прослоями. Для кровли пластов песчаников характерны крупные знаки волновой ряби (рис. 3, б).

Восточнее, на южном крыле Западно-Убинской синклинали фанарский горизонт представлен желтовато-серыми средне-крупнозернистыми плохо сортированными песчаниками. Породы однородные, массивные. В нижней части обнажения наблюдается слоистость мощностью 0,5–1 м. Также в этой части встречаются прослои 5–10 см с тонкой горизонтальной слоистостью с рассеянной галькой глинистых пород. На плоскостях напластования пород часто присутствует растительный детрит, а также ходы илоедов. Прослои глин в обнажении отсутствуют.

Стратиграфически ниже, в подошве горизонта, залегают мелкогалечные ржаво-бурые базальные

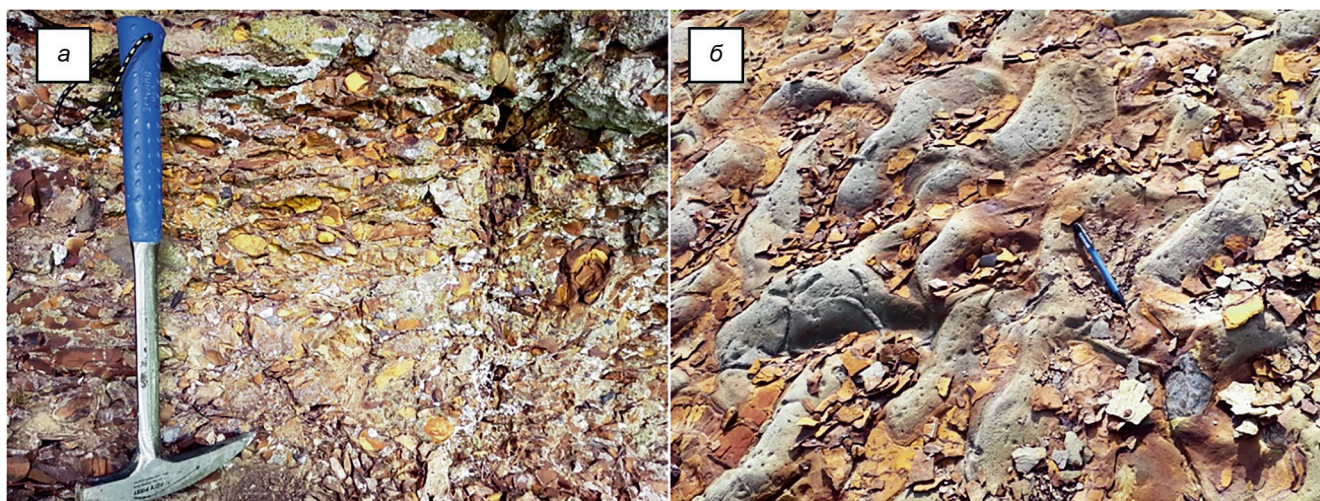


Рис. 3. Характерные элементы строения пластов песчаников фанарского горизонта у п. Сосновая роща: а — конгломераты с кварцевой и глинистой галькой в железистой «рубашке»; б — крупные «блюдцеобразные» знаки волновой ряби в кровле некоторых пластов

конгломераты. Размер гальки может достигать иногда до 10–15 см. В верхней части галька разрезана, и конгломераты легко выветриваются.

По всей площади в пластах песчаников фанарского горизонта наблюдаются механоглифы, следы ихнофоссилий, биотурбация, а также знаки ряби.

На севере района исследований, в северном крыле антиклинали Поник, отложения горизонта представлены переслаиванием песчаников и алевролитов. Песчаники желтовато-серые косослоистые, мелкозернистые полимиктовые, обычно массивные, сильно ожезненные. Алевролиты серые, содержащие небольшую примесь слюды (рис. 4). Ближе к кровле горизонта встречаются прослой пепельно-серых пластичных, часто слоистых, алевролитистых глин. Мощность прослоев до 10 см. Есть редкие прослой сидеритов мощностью до 3 см.

На юге изученного района, на северном крыле Папайской синклинали фанарский горизонт сложен чередованием желто-серых мелкозернистых песчаников, содержащих обильный углистый детрит, обломки веток и листьев и желто-серых средне-крупнозернистых кварцевых песчаников, обычно толстоплитчатых, с неровной поверхностью напластования и многочисленными механоглифами. Иногда наблюдаются блюдцеобразные знаки ряби. Мощность прослоев 5–30 см. Помимо этого, редко встречаются тонкие прослой коричневатых-серых углистых алевролитов.

Петрографический состав. Песчаные породы фанарского горизонта имеют преимущественно мезомиктовый и олигомиктовый кварцевый состав и характеризуются достаточно выдержанным содержанием и соотношением компонентов обломочной части: кварц — 40–60%, полевые шпаты — 10–25%, литокласты — 5–25% (рис. 4; 5, а). Среди литокластов практически не обнаружено обломков карбонатных пород позднеюрского возраста, основную массу литокластов составляют метаморфические породы, представленные обломками кварцитов

двух разновидностей: микро- и среднекристаллических, а также обломками кристаллических кварц-слюдяных сланцев, часто деформированных и тектонизированных.

В отложениях фанарского горизонта центральной части территории встречаются песчаники с регенерационным кварцевым цементом и цементацией вдавливания. Среди акцессорных минералов обнаружены циркон, турмалин, апатит, реже сфен, хромшпинелиды. Отмечается отсутствие темноцветных минералов: пироксен встречен в качестве акцессорного минерала лишь в 5 шлифах. Рудные минералы представлены в единичных случаях магнетитом и, чаще, пиритом. Окатанность обломков в основном плохая и средняя, что говорит о близости источника сноса обломочного материала к бассейну седиментации [Маслов, 2005]. В трех образцах отмечены единичные зерна окатанного глауконита, что может указывать на изменения гидродинамического режима в бассейне седиментации. Обилие рассеянного органического вещества соответствует мелководным условиям седиментации [Недоливко, Езова, 2012].

Цемент в породе (в среднем до 15–20% всего объема) преимущественно поровый и пленочный, от глинистого до глинисто-карбонатного [Назаров и др., 2019].

Наличие большого количества литокластов различных по составу и генезису пород предполагает наличие нескольких источников сноса. Основным источником сноса являлась Скифская плита, поставлявшая большую часть обломочного материала. Об этом свидетельствует преобладание среди литокластов кварц-слюдяных сланцев и кварцитов. Вторым источником сноса предположительно располагался ближе — на юго-востоке территории, в районе современного Большого Кавказа. Об этом свидетельствует плохая окатанность в породах обломочного материала и наличие в них продуктов вулканической деятельности. О наличии нескольких источников сноса, работавших

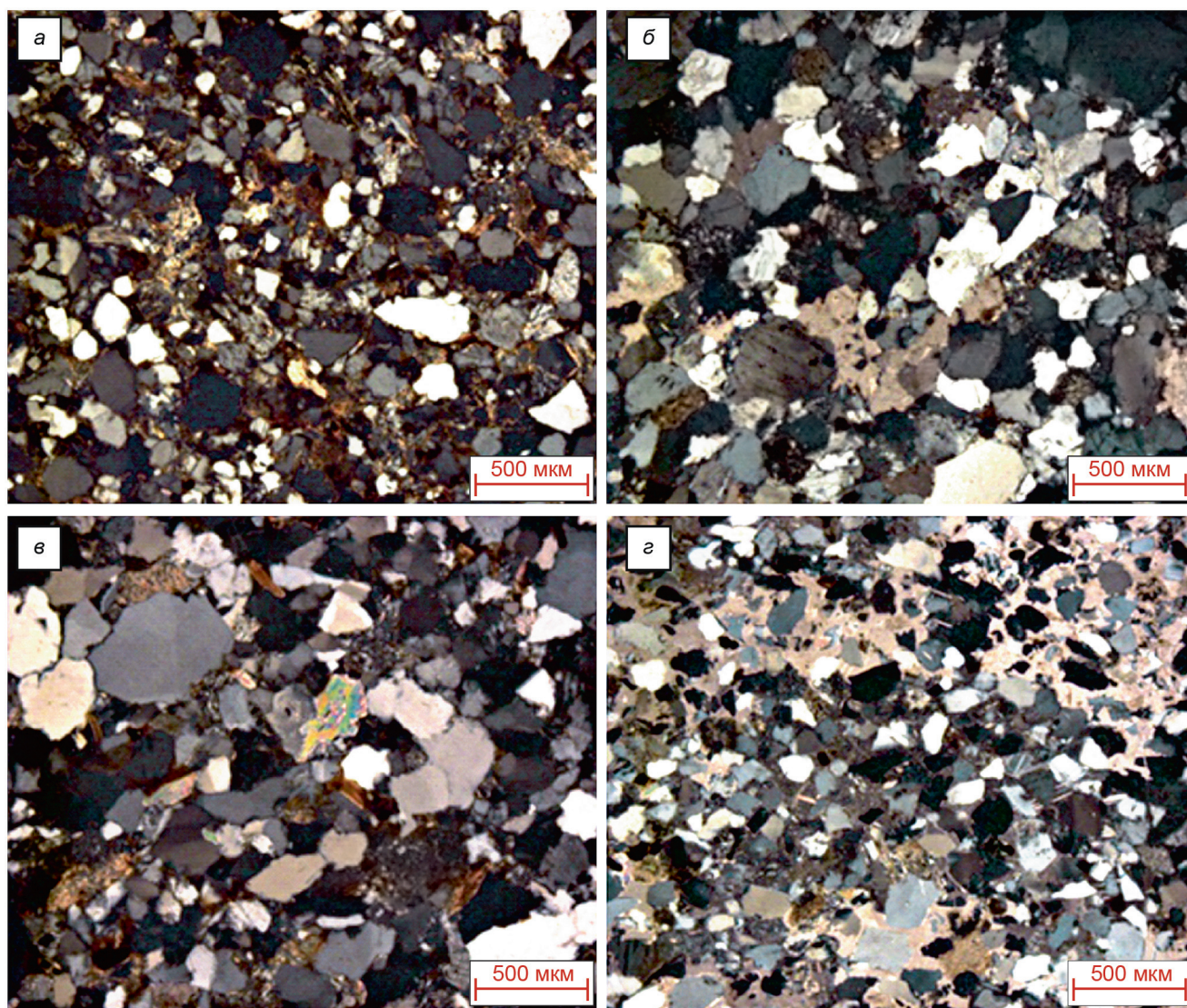


Рис. 4. Фото шлифов песчаников фанарского горизонта: а — ЛТ 1, песчаники разномзернистые, биотурбированные, обр. 1045/1; б — ЛТ 2, песчаники мелко-среднезернистые, полимиктовые, обр. 1005/1; в — ЛТ 3, песчаники разномзернистые, обр. 1075/6; г — ЛТ 4, песчаники мелко-среднезернистые, обр. 60/3

с разное время с разной интенсивностью, также говорит и отсутствие корреляции трендов изменения содержания в породах обломков метаморфических и магматических пород [Назаров и др., 2019].

Таким образом, фанарский горизонт афипской свиты накапливался предположительно в мелко-водном бассейне с переменной гидродинамикой и близко расположенными источниками сноса.

Литогенетическая типизация. Литолого-генетическая типизация пород фанарского горизонта позволяет отнести изученный разрез к склоновому механогенному типу [Фролов, 1984]. Отложения, как правило, имеют неясно выраженный ритмичный характер. В результате изучения петрографических шлифов были выделены 4 основных литотипа пород (ЛТ) (рис. 4) [Фролов, 1984].

ЛТ 1 — песчаники разномзернистые, массивные (рис. 4, а). Состав: аркозовый, олигомиктовый, мезомиктовый. Кварц 35–40%, полевые шпаты

12–20%, слюды 1–3%. Литокласты 6–8%, отмечены единичные зерна циркона, турмалина и апатита. Цемент глинистый пленочный 7–25%, кварцевый регенерационный 5–10%. Включения органического вещества и пирита. Сортировка от средней до плохой, текстура биотурбированная. Генетический тип — отложения водных потоков.

ЛТ 2 — песчаники мелко-среднезернистые, полимиктовые (рис. 4, б). Кварц 50–60%, полевые шпаты 15–20%, слюды 1–3%, литокласты 15–20%. Единичные зерна рутила, апатита и магнетита. Цемент глинистый пленочный 3–5%, кварцевый пленочный 5–7%, кальцитовый поровый 1–2%. Включения органического вещества менее 1%. Пирит до 1%. Сортировка хорошая, текстура неотчетливая тонкослоистая, горизонтальная или волнистая. Генетический тип — отложения активной водной среды.

ЛТ 3 — песчаники разномзернистые, преимущественно среднезернистые, мезомиктовые, кварц-

полевошпатовые (рис. 4, в). Кварц 53–62%, полевые шпаты 15–25%, рудные минералы <7%, слюды 1–3%, пироксен — единичные зерна, литокласты 8–11%, единичные зерна циркона. Цемент <5% глинистый пленочный прерывистый, <1–2% кварцевый регенерационный пленочный. Окатанность зерен от очень хорошей до полного ее отсутствия, сортировка плохая. Текстура неслоистая. Генетический тип — отложения активной водной среды.

ЛТ 4 — песчаники мелко-среднезернистые, полимиктовые, кварц-граувакковые (рис. 4, г). Кварц 50%, полевые шпаты 8%, слюды 7–10%. Рудные минералы 7%, литокласты 5%, единичные зерна глауконита и турмалина. Цемент карбонатный 10–12%, спаритовый, пойкилитовый, реже поровый, а также глинисто-карбонатный <5%, поровый, реже пленочный. Органическое вещество до 5%, аутигенный глауконит, пирит по растительным остаткам. Характерны угловатые и слабоокатанные зерна, сортировка средняя, текстура неясная тонкослойчатая горизонтальная. Генетический тип — отложения морского бассейна с поступлением обломочного материала с суши.

Состав глинистой фракции. Минеральный и гранулометрический состава глин фанарского горизонта изучался с целью определения условий осадконакопления, поскольку он напрямую зависит от глубины палеобассейна, а также от существовавших в нем палеообстановок. Самые мощные глинистые толщи, к тому же имеющие в своем составе наиболее тонкодисперсные минералы, как правило накапливались в эпоху максимальных трансгрессий, тогда как маломощные, часто чередующиеся с алевритистыми и песчанистыми отложениями глины накапливаются в прибрежно-морских условиях в эпоху ранней трансгрессии или регрессии моря. Такие отложения содержат большую примесь песчаных частиц и наиболее крупнодисперсные глинистые минералы [Прозорович, 1972].

Выделяются три основные области осаднения глинистого вещества в морском бассейне, различные как по условиям транспортировки и отложения вещества, так и по характеру самого формируемого осадка: 1) область прибрежно-морского мелководья и мелководной части шельфа, 2) область относительно глубоководной части шельфа, 3) область глубоководной части шельфа и прилегающей части моря.

Одним из наиболее важных факторов при анализе глубоководности формирования глин является их неоднородность: как неоднородность состава породы в конкретной точке отбора (отсутствие одной минеральной фракции, либо явно преобладающей над остальными), так и площадная неоднородность состава (изменения процентного содержания минералов или размера зерен). Наиболее однородные глинистые толщи накапливаются на максимальном удалении от берега, тогда как неоднородность присуща прибрежным фациям с активной гидродинамикой бассейна. Подобным образом изменяется

и мощность отложений. Наиболее постоянные, выдержанные по мощности глинистые толщи накапливаются вдали от берега [Прозорович, 1967].

Еще одним важным параметром при анализе фациальных обстановок формирования глинистых отложений служит анализ преобладающего типа органического вещества. Гумусовое вещество тяготеет к прибрежно-морским мелководным обстановкам, тогда как сапропелевое распространено в более глубоководных отложениях. Также стоит отметить, что в мелководно-морских обстановках с активной гидродинамикой бассейна органическое вещество может ориентировкой своего положения подчеркивать текстурные особенности пород.

Глинистые минералы в образцах из фанарского горизонта представлены их полиминеральной ассоциацией с преимущественно смешанослойно-каолинит-гидрослюдистым составом и примесью хлорита и смектита. Такая ассоциация могла образоваться при разрушении кор выветривания каолинит-гидрослюдистого состава (рис. 5, б). Смешанослойные минералы представлены гидрослюдисто-смектитовой фазой. Они могли образоваться в результате деградации гидрослюды и каолинита в морских условиях. Площадное распространение содержания глинистых минералов достаточно выдержанное.

Таким образом, по результатам изучения состава и распространения глинистых минералов в фанарском горизонте установлено, что эти отложения накапливались на мелководном шельфе с глубинами до 70 м и при относительно активной гидродинамике бассейна.

Обстановки осадконакопления. Оценивая комплекс полученных результатов литолого-фациальных исследований отложений фанарского горизонта можно сделать вывод, что обстановки осадконакопления наиболее соответствуют модели мелководной дельты в условиях развивающейся трансгрессии моря с начальным доминированием в процессах седиментации речного стока [Galloway, 1975; Бхаттачария, Уолкер, 2017]. Слои галечников и грубозернистых песчаников в основании фанарского горизонта фиксируют начальную стадию трансгрессивного цикла в позднем готериве. В конце позднего готерива — начале раннего баррема территория междуречья современных рек Убин и Абин представляла собой дельтовую равнину, на которой в руслах распределительных каналов происходило локальное накопление грубообломочного материала (рис. 6). Об этом свидетельствует наличие косои слоистости, плохая и средняя степень сортировка песчаников, крупная размерность зерен, а также наличие следов размывов и отсутствие биотурбации в нижней части фанарского горизонта.

Вышележащие отложения этого горизонта, вероятно, отлагались в условиях фронта авандельты крупной реки, расположенной к северо-востоку от исследуемой территории. Об этом свидетельствует как набор литотипов, встречающихся в отложении-

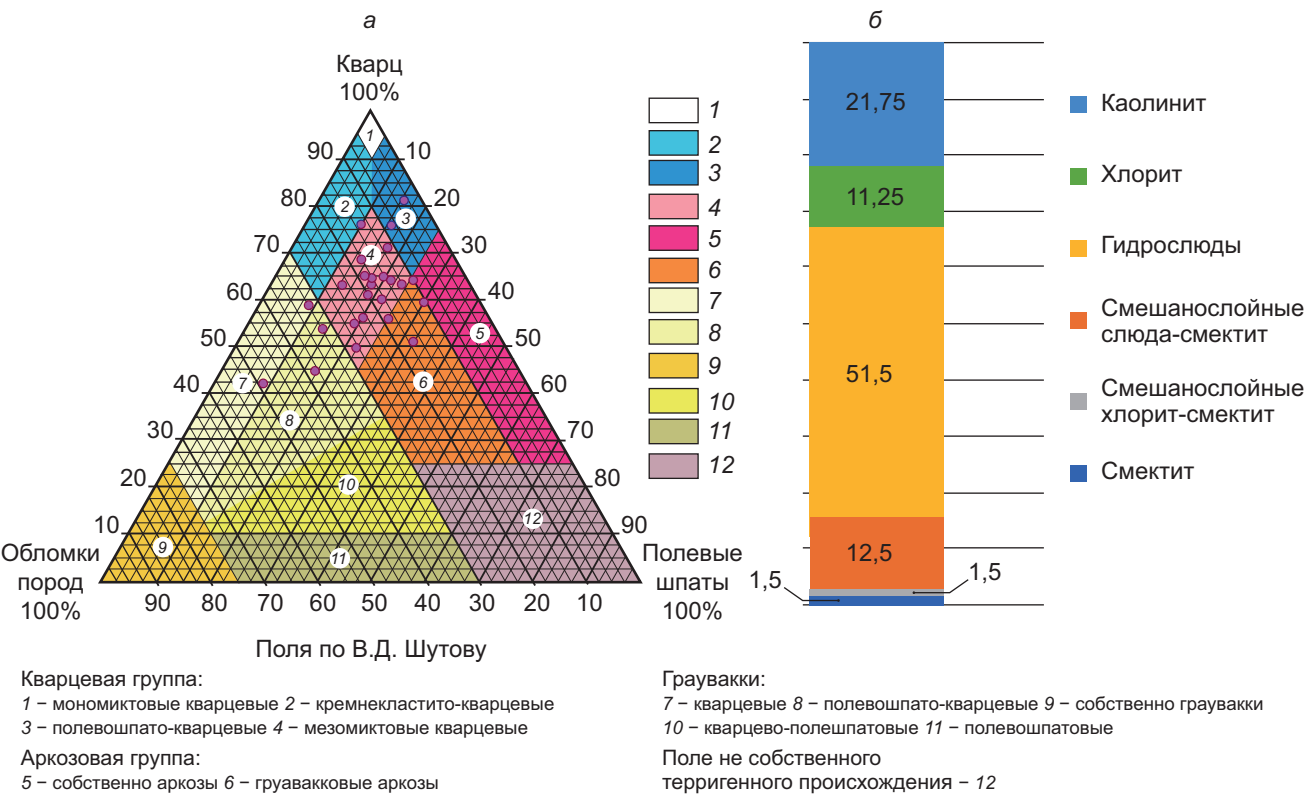


Рис. 5. Минеральный состав песчаников и глин фанарского горизонта: *а* — классификационная диаграмма состава породообразующих компонентов песчаников по [Шутов, 1975]; *б* — процентное содержание глинистых минералов по результатам рентгенофазового анализа

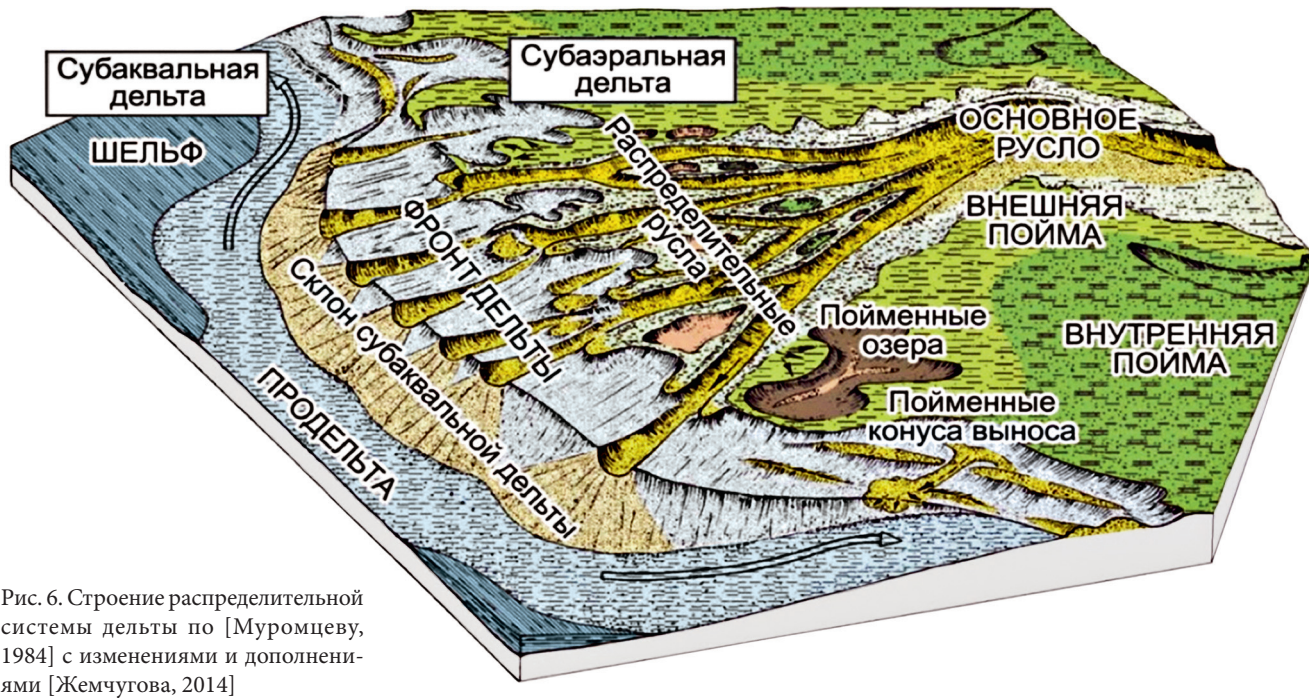


Рис. 6. Строение распределительной системы дельты по [Муромцеву, 1984] с изменениями и дополнениями [Жемчугова, 2014]

ях, так и наличие линзовидной, косой и волнистой слоистости в песчаниках, распространенной, однако, локально, не на всей площади и не на всех стратиграфических уровнях. В целом, в этой части разреза отложений горизонта преобладают массивные песчаники. Последний факт является дополнительным аргументом в пользу именно обстановки фронта

дельты, а не русел дельтовой равнины [Бижу-Дюваль, 2012]. Также в пользу обстановки фронта дельты говорит и наличие в песчаниках биотурбации и ихнофоссилий. Подобные образования практически отсутствуют в отложениях дельтовой равнины [Барабоскин, 2007]. Вероятно, косослоистые тела песчаников маркируют моменты перемещения рас-

пределительных русел дельты. Образование отложен- ний фронта дельты происходило как при участии течений, существовавших в бассейне, так и при гидродинамической активности потоков продельты [Аллен и др., 1990; Лидер, 1986].

Глинистые отложения фанарского горизонта, увеличивающиеся в мощности вверх по разрезу, имеют каолинит-гидрослюдистый состав, преоб- ладающий гумусовый тип органического вещества с присутствием некоторого количества сапропеле- вого. Литологически глины неоднородные. Такой со- став глинистой фракции отвечает обстановкам обла- сти мелкого шельфа с глубинами 50–70 м и активной гидродинамикой или обстановке периферической части дельты с глубинами до 100 м и слабым влия- нием мутьевых потоков [Еремеев и др., 2001]. Таким образом, состав и соотношение в породах глинистых минералов хорошо коррелируются с полученными результатами литолого-фациальных исследований.

Предположительно к концу фанарского времени (ранний баррем) продолжалась трансгрессия моря, сопровождавшаяся незначительным углублением бассейна, однако осадконакопление все еще проис- ходило на небольших глубинах (порядка 50–70 м) и при активной гидродинамике бассейна. Смена доминирующих песчаных отложений на глини- стые, вероятно, связана с отмиранием на некоторых участках или некоторым их смещением подводных распределительных русел. Этим фактором также обусловлена фациальная и мощностная неоднород- ность фанарского горизонта.

В конце раннего баррема на исследуемой тер- ритории сменился тип осадконакопления — преоб- ладавшие ранее песчаники фанарского горизонта сменились глинами афипской свиты, содержащими в нижней части разреза линзы и прослои песчаного и алевритистого материала в нижней части разреза. Минералогический состав глин остался примерно таким же, произошло лишь незначительное увеличе- ние количества тонкодисперсного материала. Соот- ношение гумусового и сапропелевого органического вещества также сместилось в сторону последнего. Степень сортировки зерен в песчаниках афипской свиты по сравнению с фанарскими также улучшилась.

Вероятно, в результате продолжающейся транс- грессии в афипском времени поднялся уровень моря, а обстановки фронтальной части авандельты реки, расположенной к северо-востоку, сменились на об- становки продельты. Средние глубины увеличились, гидродинамика бассейна снизилась. Об углублении бассейна, увеличении солености и уменьшении влия- ния речного стока также свидетельствует присут- ствие в афипской свите нормально-морской макро и микрофауны.

Площадная неоднородность литологического состава нижней части афипской свиты, выражающая- ся в присутствии в центральной и северной части территории прослоев и линз песчаников, позволяет предполагать, что в начале баррема к востоку от

антиклинали Поник и Западно-Убинской синкли- нали располагались наиболее крупные распределительные русла авандельты.

Таким образом, с позднего готерива — начала раннего баррема и по его завершение обстановки осадконакопления на исследуемой территории по- степенно сменялись от субаэральной дельты (конец позднего готерива) на обстановки фронта авандель- ты (ранний баррем) и до обстановок продельты (баррем — ранний апт). Влияние находившейся к северо-востоку от территории речной системы на процессы осадконакопления к началу апта (конец афипского времени) почти сошло на нет.

Обилие терригенного материала, большого ко- личество поступавшей в бассейн органики (облом- ков древесины, листьев), а также карбонатно-гли- нистый цемент песчаников позволяет предполагать существование в позднем готериве — раннем бар- реме на изученной территории теплого гумидного климата [Фролов, 1993].

Средняя степень окатанности обломочного ма- териала песчаников позволяет говорить о близком расположении источников сноса. В песчаниках верх- ней части фанарского горизонта до 25% увеличивает- ся содержание обломков полевых шпатов, что поз- воляет предполагать эрозионное вскрытие в области сноса массивов гранитоидов. В целом в песчаниках, среди обломков магматических пород, преобладают граниты и гранодиориты, вероятно являющиеся продуктами разрушения ядра будущего Большого Кавказа, находившегося в современных координатах юго-восточнее от исследуемой территории.

Фанарский горизонт имеет невыдержанную по площади мощность, колеблющуюся от 20 до 250 м [Корсаков и др., 2013]. Наибольшая она в цент- ральной части Западно-Убинской синклинали, а также на отдельных участках северо-восточной части района исследований. Увеличение мощности, вероятно, приурочено к наиболее крупным руслам дельтовой равнины в низах фанарского горизонта и разгрузочным каналам авандельты в вышележа- щих отложениях.

Неоднородность в мощности пластов на отно- сительно небольшой площади может быть обуслов- лена флювиальным типом дельты, когда отдельные множественные русла и каналы вдаются вглубь мор- ского бассейна при преобладании энергии речного стока над волновыми и приливными процессами, в то время как промежутки между руслами имеют меньшую мощность и сложены более тонкозер- нистым материалом [Galloway, 1975; Жемчугова, 2014]. Такие дельты имеют, как правило, небольшой уклон, поэтому в разрезе дельтовых отложений от- мечается влияние эвстатических колебаний уровня моря. Это находит отражение в присутствии среди песчаников прослоев тонкозернистых пород. Также можно отметить, что обилие сидеритовых прослоев и конкреций наиболее характерно именно для дельт флювиального типа [Барабошкин, 2007].

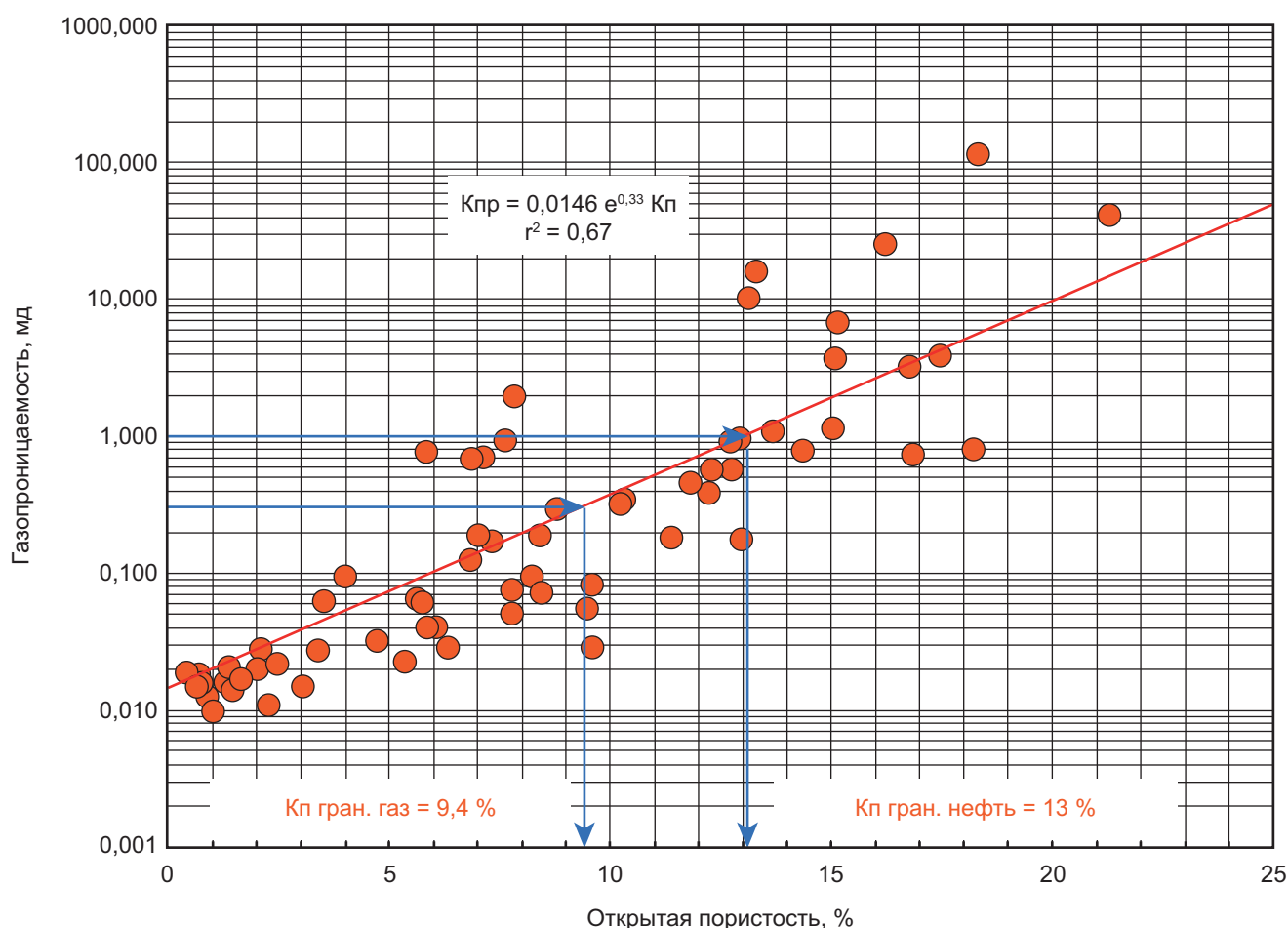


Рис. 7. Зависимость газопроницаемости от открытой пористости для отложений фанарского горизонта

Коллекторские свойства. Для определения качества коллекторов и покрышек природного резервуара используется набор параметров, наиболее значимых для установления его аккумулирующих и экранирующих свойств. Для коллекторов — это коэффициенты открытой пористости (K_p), проницаемости ($K_{пр}$), эффективные толщины ($H_{эфф}$), характеристики трещиноватости (трещинная пористость и проницаемость, плотность трещин) и др.; для покрышек — мощность пласта, минеральный состав глинистых пород, коэффициент однородности и др. Качество слагающих коллекторы и покрышки элементов определяется условиями осадконакопления, а также морфологией и характеристиками природных резервуаров.

Результаты определения фильтрационно-емкостных характеристик образцов песчаников фанарского горизонта свидетельствуют о преобладании межзернового типа порового пространства. Для коллекторов с межзерновым типом пустотного пространства характерна четкая тенденция возрастания газопроницаемости с увеличением порового объема образцов.

В изученном интервале связь газопроницаемости с открытой пористостью выражается экспоненциальной зависимостью $K_{пр} = 0,146 \cdot e^{0,33 K_p}$

с высокой степенью достоверности аппроксимации $r^2 = 0,67$ (рис. 7).

Зависимость проницаемости от пористости, полученная по данным исследования цилиндрических образцов, позволяет оценить граничное значение пористости для газонасыщенных коллекторов, которое при газопроницаемости 0,3 мД составляет 9,4%. Для нефтенасыщенных коллекторов граничное значение пористости при проницаемости 1 мД составляет 13%.

Полученная связь проницаемости и пористости позволяет использовать ее для количественной оценки фильтрационных характеристик пластов песчаников при интерпретации промыслово-геофизических данных, полученных при геофизических исследованиях скважин.

Песчаники фанарского горизонта обладают наилучшими фильтрационно-емкостными свойствами среди нижнемеловых пород района исследований. Максимальные значения пористости достигают 21,3%, а проницаемости 41,62 мД. Таким образом, они способны накапливать и удерживать как газобразные, так и жидкие углеводородные флюиды.

Выводы. По результатам реконструкции условий осадконакопления фанарского горизонта нижнего мела установлены палеообстановки седи-

ментации в раннебарремском бассейне Северо-Западного Кавказа.

В конце позднего готерива — начале раннего баррема территория представляла собой субаэральную дельтовую равнину флювиального типа, в которой накапливались крупнообломочные плохо- и среднесортированные песчано-галечные отложения. Территория в результате обширной морской трансгрессии достаточно быстро погрузилась под воду и представляла собой фронтальную область дельты, где в отдельных распределяющих каналах накапливались песчаные и песчано-глинистые отложения. Между каналами накапливались более тонкие песчаные и глинисто-алевритистые разности.

На протяжении всего позднего готерива — раннего баррема на территории преобладал гумидный климат. Основным источником сноса обломочного

вещества находился к северо-востоку от изучаемой территории в районе Скифской плиты, однако существовал еще источник на юго-востоке в районе выходов древнего ядра Большого Кавказа.

Песчаники фанарского горизонта обладают хорошими коллекторскими свойствами, что позволяет им накапливать и удерживать как газообразные, так и жидкие углеводородные флюиды.

Благодарности. Авторы признательны рецензентам за внимательное прочтение нашей статьи, что позволило нам улучшить ее текст, а также сотрудникам лабораторий геологического факультета МГУ за помощь в обработке и интерпретации полученного материала.

Финансирование. Работа выполнена по теме госзадания геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, а также госзадания ГИН РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аллен Ф.А., Болдуин К.Т., Дженкинс Х.К. и др. Обстановки осадконакопления и фации. Т. 1. М.: Мир, 1990. 384 с.

Барaboшкин Е.Ю. Практическая седиментология (терригенные коллектора). Центр проф. переподготовки спец-в нефтегаз. дела ТПУ. Томск, 2007. 154 с.

Барaboшкин Е.Ю., Бондаренко Н.А., Любимова Т.В. Уникальные геологические объекты Северо-Западного Кавказа. Путеводитель экскурсий Шестого Всероссийского совещания «Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии». Краснодар: КубГУ, 2012. 28 с.

Бижу-Дюваль, Б. Седиментационная геология. М.; Ижевск: Ин-т комп.иссл-й, 2012. 704 с.

Бхаттачария Д.П., Уолкер Р.Д. Дельты // Фациальные модели / Под ред. Р.Д. Уолкера. М.; Ижевск: Ин-т комп. иссл-й, 2017. С. 346–393.

ГОСТ 26450.0-85-ГОСТ 26450.2-85. Породы горные. Методы определения коллекторских свойств. М.: Изд-во стандартов, 1985. 6 с.

Жемчужова В.А. Практическое применение резервуарной седиментологии при моделировании углеводородных систем: Учебное пособие для вузов. М.: Рос. гос. у-т нефти и газа имени И.М. Губкина, 2014. 344 с.

Еремеев В.В., Осипов В.И., Соколов В.Н. Глинистые покрывки нефтяных и газовых месторождений. М.: Наука, 2001. 238 с.

Корсаков С.Г., Семенуха И.Н., Белуженко Е.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. 2-е изд. Серия Кавказская, Лист L-37-XXVII, Объяснительная записка. М., 2013. 2016 с.

Лидер М. Р. Седиментология. Процессы и продукты. М.: Мир, 1986. 439 с.

Маринин А.В., Расцветаев Л.М. Структурные парагенезы Северо-Западного Кавказа // Проблемы тектонофизики. М.: Изд-во Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 2008. С. 191–224.

Маслов А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных. Екатеринбург: Уральский гос. горный ун-т, 2005. 289 с.

Муромцев В. С. Электрометрическая геология песчаных тел — литологических ловушек нефти и газа. Л.: Недра, 1984. 260 с.

Назаров Г.К., Гусев А.В., Яковичина Е.В. Обстановки осадконакопления фанарского горизонта нижнего мела Западного Кавказа // Литология осадочных комплексов Евразии и шельфовых областей: Материалы IX Всероссийского литологического совещания, Казань, 2019. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2019. С. 315–316.

Недоливко Н.М., Ежова А.В. Петрографические исследования терригенных и карбонатных пород-коллекторов: Учебное пособие. Томск: Изд-во Томск. политех. ун-та, 2012. 172 с.

Прозорович Г.Э. Основные свойства глинистых пластов и глин как непроницаемых экранов для нефти и газа // Геология и нефтегазоносность юго-востока Западно-Сибирской плиты. Тр. СНИИГТиМС. Вып. 65. Новосибирск: Изд-во СНИИГТиМС, 1967. С. 43–64.

Прозорович Г.Э. Покрывки залежей нефти и газа // Тр. Зап.-Сиб. НИГНИ. Вып. 49. М.: Недра, 1972. 120 с.

Фролов В.Т. Генетическая типизация морских отложений. М.: Изд-во МГУ, 1984. 222 с.

Фролов В.Т. Литология: Учебное пособие. Кн. 2. М.: Изд-во МГУ, 1993. 432 с.

Шванов В.Н., Фролов В.Т., Сергеева Э.И. и др. Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов. СПб.: Недра, 1998. 352 с.

Швецов М.С. Петрография осадочных пород. Харьков: Гос. науч.-техн. изд-во, 1958. 415 с.

Шутов В.Д. Минеральные парагенезы граувакковых комплексов. М.: Наука, 1975. 115 с.

Galloway W.E. Process framework for distributing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems // Deltas, models for exploration / Ed. M.I. Broussard. Houston TX, Houston Geological Society. 1975. P. 87–98.

Статья поступила в редакцию 30.05.2024,
одобрена после рецензирования 03.06.2024,
принята к публикации 25.10.2024