

Литологические модели пород-коллекторов для верхнемеловых отложений Восточного Предкавказья

О.В. Сивальнева^{1*}, А.С. Рахматуллина¹, А.В. Постников¹, О.В. Постникова¹, О.А. Зуева¹,
Е.К. Идрисова², В.В. Пошибаев³

¹Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия

²Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия

³ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Москва, Россия

В статье приводятся результаты комплекса литолого-петрофизических исследований, на основании которых составлена характеристика пород-коллекторов верхнемеловых отложений: изучение петрографических шлифов, результаты растровой электронной микроскопии и исследований с помощью метода ядерно-магнитного резонанса. Выявлено, что качество пород-коллекторов определяется тремя основными факторами: 1) седиментационным – преобладанием в составе отложений кокколитофоридовых известняков; 2) степенью вторичных преобразований пород в катагенезе – уплотнением и перекристаллизацией; 3) интенсивностью развития трещиноватости.

Ключевые слова: верхнемеловые отложения, Восточное Предкавказье, мелоподобные известняки, порово-трещинный коллектор

Для цитирования: Сивальнева О.В., Рахматуллина А.С., Постников А.В., Постникова О.В., Зуева О.А., Идрисова Е.К., Пошибаев В.В. (2021). Литологические модели пород-коллекторов для верхнемеловых отложений Восточного Предкавказья. *Георесурсы*, 23(3), с. 83–89. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.11>

Введение

Территория Восточного Предкавказья на сегодняшний день характеризуется высокой степенью геолого-геофизической изученности и разведанности ресурсов углеводородного сырья (Горкушин, Найденова, 1978; Ликов и др., 1980; Папоротная, 2011, Постников и др., 2016). Результаты изучения региона за период в 100 лет отражены во многих публикациях известных ученых: В.Е. Хаина, И.О. Брода, Н.А. Крылова, Б.А. Соколова, Н.А. Еременко, А.И. Летавина, М.Ф. Мирчинка, А.Н. Шарданова и многих других.

Высокопродуктивным комплексом, обеспечивающим значительную долю добычи, является комплекс верхнемеловых отложений. Но к настоящему моменту большинство эксплуатируемых месторождений достигли максимальной степени выработки запасов, и обострилась проблема пополнения ресурсной базы как за счет выявления новых объектов, так и за счет интенсификации разработки уже известных.

С этой точки зрения актуальным является пересмотр, дополнение и детализация геолого-геофизических моделей залежей в верхнемеловых отложениях. В первую очередь с целью выявления прогнозных характеристик объекта важно создать полную литолого-петрофизическую модель пород-коллекторов в интервалах верхнемелового комплекса.

В результате литологических исследований керна-вого материала и пород из естественных обнажений

установлено, что породы верхнемеловых отложений представлены в основном известняками, состоящими преимущественно из частиц глинистой размерности – менее 0,005 мм. Это мелоподобные известняки и различные типы микрозернистых известняков с редкими остатками фораминифер и других организмов.

В настоящее время в оценке коллекторских свойств мелоподобных известняков преобладает убеждение, что они не обладают эффективным пустотным пространством порового типа, и формирование в них коллекторов возможно лишь в результате интенсивного трещинообразования (Борисенко и др., 2007). Но изменчивость результатов разработки залежей (непостоянство притоков, разные соотношения нефти и воды в получаемой продукции) приводит к необходимости получения новых характеристик структуры, вещественного состава пород, их пустотного пространства для уточнения существующих и формирования новых моделей коллекторов. Это возможно сделать на основании результатов комплекса современных аналитических исследований.

Такой комплекс исследований пород верхнемеловых отложений проведен по материалам бурения скважины Советско-Курской зоны поднятий и образцам из естественных обнажений Белгородской области, Ставропольского края, Республики Дагестан и Карачаево-Черкессии.

Материалы и методы

В ходе работ по характеристике вещественного состава и структуры пустотного пространства пород верхнемеловых отложений изучены 46 образцов из разреза скважины Советско-Курской зоны поднятий и 11 образцов из обнажений (рис. 1).

* Ответственный автор: Ольга Владимировна Сивальнева
e-mail: sivalneva.o@gubkin.ru

© 2021 Коллектив авторов

Определение текстурных характеристик проводилось по образцам, структурных и вещественных – по сколам пород, а также специальным аналитическим и петрографическим шлифам.

Сколы пород (размер 0,5 см) и аналитические шлифы (без покрытия) изучались в растровом электронном микроскопе JSM 6610 LV (JEOL, Япония), оборудованном энергодисперсионным спектрометром IE350 (OXFORD INSTRUMENTS, Великобритания). Съемка образцов производилась в двух режимах – режиме вторичных электронов («secondary electrons image», сокращенно «SEI») и режиме обратно рассеянных электронов («back scattered electrons», сокращенно «BSE»). Основной режим съемки – режим во вторичных электронах, так как в этом режиме четко виден топографический контраст поверхности образца, и достигается максимальное разрешение. Основные характеристики съемки исследуемых образцов: ускоряющее напряжение 20–30 кВ; spot size 40–45; рабочее расстояние 10–12 мм.

Петрографические шлифы изготавливались с использованием окрашенной смолы и изучались в оптическом поляризационном микроскопе исследовательского класса Axio Imager A2m (Carl Zeiss MicroImaging GmbH).

Для оценки пустотного пространства пород помимо литологических исследований использованы результаты петрофизических исследований методом ядерно-магнитного резонанса (ЯМР), из которых рассчитывались параметры открытой, эффективной пористости, среднего диаметра пор и остаточной водонасыщенности образцов.

Результаты

Структурные параметры пород

Проведение исследований в оптическом и растровом микроскопах показало, что основными составляющими частями пород верхнемелового комплекса являются:

- микритовый кальцит, имеющий, вероятно, в некоторых участках цианобактериальную природу;
- раковины и обломки раковин кокколитофорид;
- раковины и обломки раковин фораминифер.

Количество и взаимное сочетание этих компонент позволяет выделить три основных типа пород по следующему преобладанию:

- раковин фораминифер и кокколитофорид – известняки микритовые фораминиферовые;
- раковин кокколитофорид и микритового кальцита – известняки мелоподобные кокколитофоридовые;
- микритового кальцита – известняки микритовые биотурбированные.

Породы с преобладанием микритового кальцита содержат небольшое количество глинистой примеси – до 5 %.

Неоднородность микроструктуры обусловлена изменением количества компонент и биотурбацией.

В породах с преобладанием кокколитофорид ориентировка раковин хаотична, контакты отдельных скелетов точечные, и эти породы обладают очень высокой пористостью, достигающей 30 %. Однако размеры этих пор составляют от 1 до 10 мкм (рис. 2–4).

Такая высокопористая структура была установлена только для пород, взятых из естественных обнажений, которые, по всей видимости, не претерпевали значительных катагенетических преобразований, свойственных глубокозалегающим горизонтам.

Образцы из разреза скважины Советско-Курской зоны поднятий, с глубин порядка 3–4 км (скважина), а также образцы из естественных обнажений, которые в геологическом прошлом испытывали погружение, характеризуются иными структурными параметрами. Сохранность биоморфных элементов весьма различна: в некоторых случаях они практически полностью замещаются кристалломорфной массой кальцита, по-видимому, в результате перекристаллизации раковин и участков, вероятно, частично цианейного происхождения (рис. 4). В этих породах снижается объём пустотного пространства, и они становятся неравномерно-проницаемыми. Последнее иллюстрируется при насыщении исследуемых образцов окрашенной эпоксидной смолой, которое происходит либо равномерно по всему образцу, либо по трещинам, либо неясными пятнами, иногда внутри ходов илоедов (рис. 5–8).

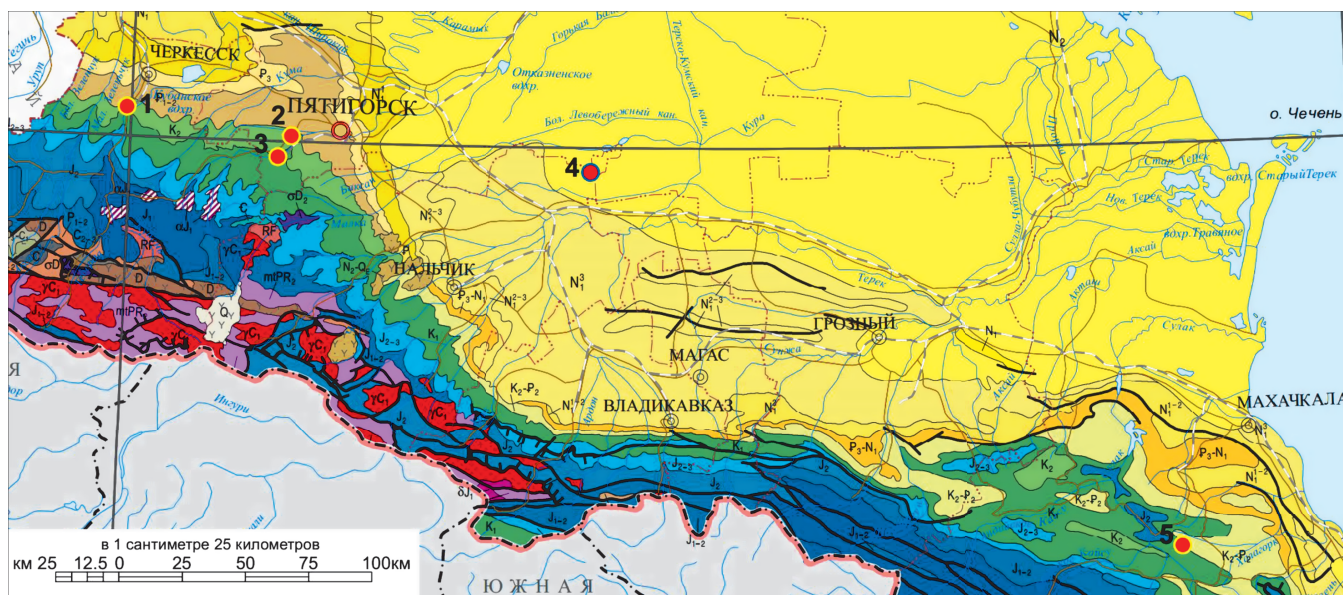


Рис. 1. Расположение точек отбора образцов на геологической карте Северо-Кавказского региона (ВСЕГЕИ, 2018): 1,2,3 – обнажения в Ставропольском крае и Карачаево-Черкесии, 4 – скважина в Советско-Курской зоне поднятий, 5 – обнажение Охли-Аймаки, Южный Дагестан

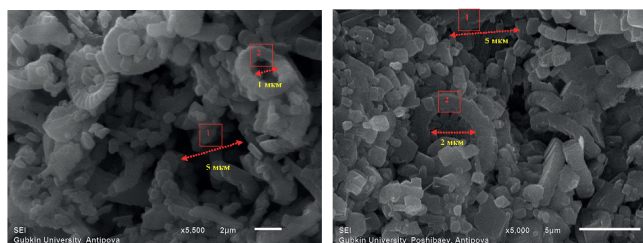


Рис. 2. Меж- (1) и внутриформенные (2) пустоты размером от 1 до 5 мкм. Верхнемеловые отложения. Фото в РЭМ, режим отражённых электронов: слева – образец из обнажения. Белгородская область; справа – образец с гл. 3419,55 м разреза скважины Советско-Курской зоны поднятий.

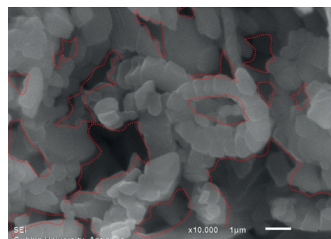


Рис. 3. Меж- и внутриформенные пустоты размером от 1 до 5 микрон. Писчий мел. Образец из обнажения Белгородской области. Фото в РЭМ, режим отражённых электронов.

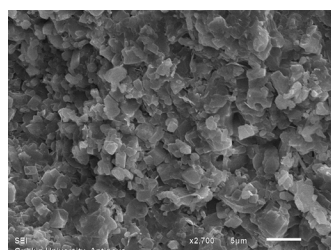


Рис. 4. Кристалломорфная масса кальцита (вероятно, цианобактериального генезиса). Образец с гл. 3476,40 м разреза скв. Советско-Курской зоны поднятий. Фото в РЭМ, режим отражённых электронов.

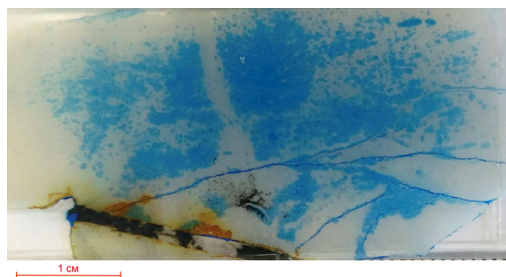


Рис. 5. Пятнистое насыщение породы окрашенной смолой: синий цвет – пористая насыщенная часть. Трещина с насыщением битумоидом. Образец с гл. 3463,33 м разреза скважины Советско-Курской зоны поднятий. Фото шлифа.

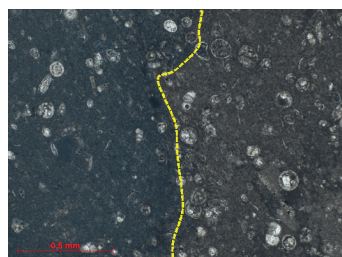


Рис. 6. Пятнистое насыщение породы окрашенной смолой: справа – пористая насыщенная часть, слева – плотная. Образец с гл. 3463,33 м разреза скважины Советско-Курской зоны поднятий. Фото породы в шлифе без анализатора.

Характеристика пустотного пространства и вторичных преобразований пород

Изменения свойств пород в соответствии с глубиной погружения и степенью вторичных преобразований отражаются в вариациях пористости и остаточной водонасыщенности, определенных по методу ЯМР.

Известняки мелоподобные кокколитофоридовые и микритовые биотурбированные, характеризуются

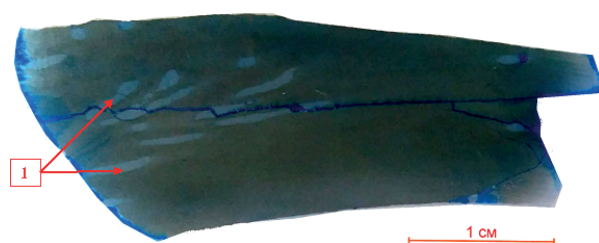


Рис. 7. Насыщение более пористых ходов илоедов окрашенной смолой. Образец из естественного обнажения. № 280, Охли-Аймаки, Южный Дагестан. Фото шлифа.

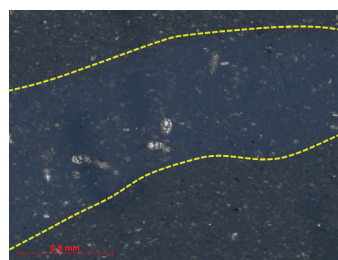


Рис. 8. Насыщение хода илоеда окрашенной смолой – в центре. Образец из естественного обнажения. № 280, Охли-Аймаки, Южный Дагестан. Фото породы в шлифе без анализатора.

разными показателями пористости и остаточной водонасыщенности, в связи с разной степенью уплотнения и перекристаллизации. Это было выявлено при сравнении результатов исследований 5 образцов из разреза скважины и 1 образца из обнажений.

Наибольшей интенсивностью таких преобразований характеризуются образцы с гл. 3476,40; 3721,16; 3729,77 м (рис. 9). Для этих образцов характерны и меньшие значения пористости наряду с увеличением остаточной водонасыщенности, за исключением образца с гл. 3476,40 м. Но это связано, скорее всего с тем, что измерения по методу ЯМР делались из участка с трещиной, поэтому расчетные данные среднего радиуса пор (трещин) увеличились, и это привело к увеличению значения пористости и снижению расчетных данных водонасыщенности (табл. 1).

Можно сделать вывод, что первичные структурные параметры, а именно, соотношение количества остатков раковин и микритового кальцита, определяют направленность вторичных изменений.

Наиболее пористая структура отмечается при увеличении количества слабо преобразованных остатков кокколитофорид. Общее снижение пористости за счет уплотнения и перекристаллизации наблюдается в образцах с увеличением количества остатков раковин фораминифер и интенсивности биотурбации. При этом оставшиеся пустоты достаточно изометричны, следовательно, не было последующих процессов растворения выщелачивания.

Обобщение результатов оптических и дополнительных исследований в РЭМ позволяет выделить в структуре пустотного пространства три основных вида пустот:

- остаточные внутриформенные пустоты (внутри раковин фораминифер) размером в среднем 0,20 мм;
- внутриформенные пустоты (внутри раковин кокколитофорид) размером в среднем 3 мкм;
- межформенные пустоты размером в среднем 5 мкм.

Количество пустот второго и третьего типа зависит от соотношения кокколитофорид и микритового кальцита в породе: чем меньше кокколитофорид, тем меньше внутри- и межформенных пустот.

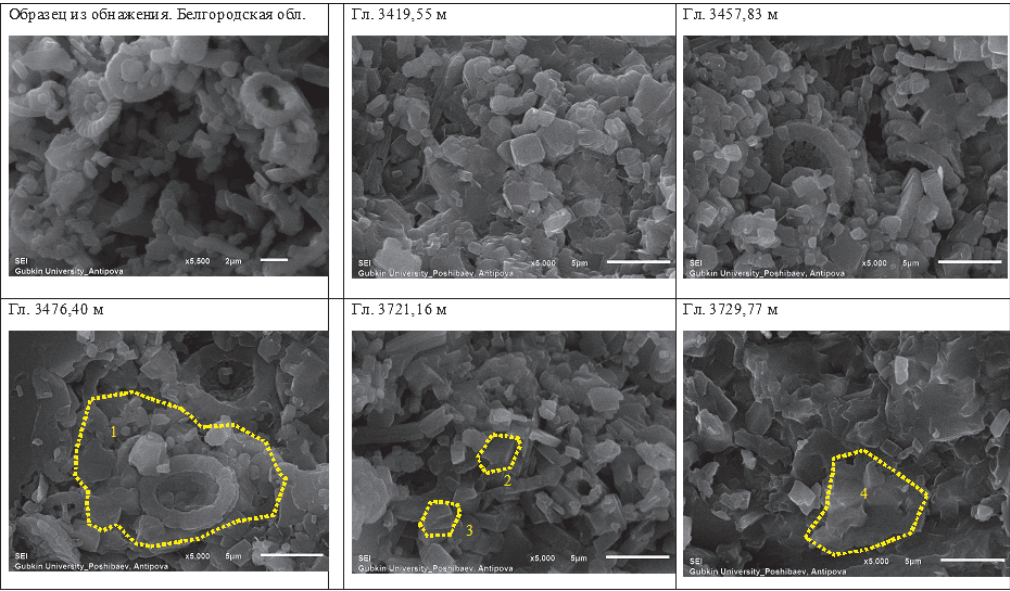


Рис. 9. Вторичные преобразования пород верхнемеловых отложений: слева направо – увеличение степени уплотнения. 1 – участок уплотнения и вторичной кальцитизации; 2, 3, 4 – кристаллы вторичного (новообразованного) кальцита

Несмотря на то, что остаточные пустоты в раковинах фораминифер обладают более крупными размерами, количество их невелико и не вносит существенный вклад в пористость пород.

Также в образцах с большим количеством микрита интенсивнее проявляются процессы перекристаллизации и уплотнения, что в целом сказывается на снижении количества пор. Интенсивная биотурбация в микритовых известняках не привела к увеличению общей и эффективной пористости пород, поскольку пористые в отдельных случаях ходы илоедов располагаются в более плотном микритовом матриксе.

Модель структуры коллектора при описанных размерах пустот подразумевает рассмотрение большей части породы как водонасыщенной матрицы (рис. 10–12). Эффективная емкость в таких породах приурочена к трещинному пространству. Но в изученных образцах были обнаружены зоны проникновения углеводородов, приуроченные к трещинам.

По всей видимости, наряду с трещинной пустотностью, вклад в эффективную емкость будут вносить и эти около-трещинные зоны шириной в среднем 0,30 мм (рис. 12).

Закключение

Из результатов проведенных исследований можно сделать выводы, что существует три основных фактора, определяющих окончательное качество верхнемеловых пород-коллекторов:

- 1) седиментационный – преобладание в составе отложений кокколитофоридовых известняков;
- 2) степень вторичных преобразований пород в катагенезе – уплотнения и перекристаллизации;
- 3) интенсивность развития трещиноватости.

Хотя меловые отложения характеризуются низким разнообразием фациальных типов, тем не менее седиментационный фактор, а именно состав первично осаждаемого материала в определенной обстановке, является предопределяющим для степени вторичных катагенетических преобразований. Как показано в эмпирических зависимостях (Bramwell, 1999) переотложенные кокколитофоридовые известняки сохраняют наибольшую пористость даже при совокупном влиянии множественных факторов вторичных преобразований. Следовательно, диагностика по керновым данным фациальных особенностей, определяющих первичное преобладание кокколитофорид,

Глубина отбора, м	Возраст	Литотип	Открытая пористость, %	Эффективная пористость, %	Остаточная водонасыщенность, %	Средний радиус пор (трещин), мкм
3419,55	K ₂ m	Известняки мелоподобные кокколитофоридовые	20,4	11,0	46,1	0,83
3457,83	K ₂ m	Известняки мелоподобные кокколитофоридовые	19,9	13,8	30,7	1,70
3476,40	K ₂ m	Известняки мелоподобные кокколитофоридовые	15,0	10,7	28,4	2,03
3721,16	K ₂ km+st	Известняки микритовые биотурбированные	11,0	4,3	61,1	0,54
3729,77	K ₂ km+st	Известняки микритовые биотурбированные	1,8	0,0	100,0	0,20

Табл. 1. Результаты исследований методом ЯМР пяти образцов пород верхнемеловых отложений разреза скважины Советско-Курской зоны поднятий

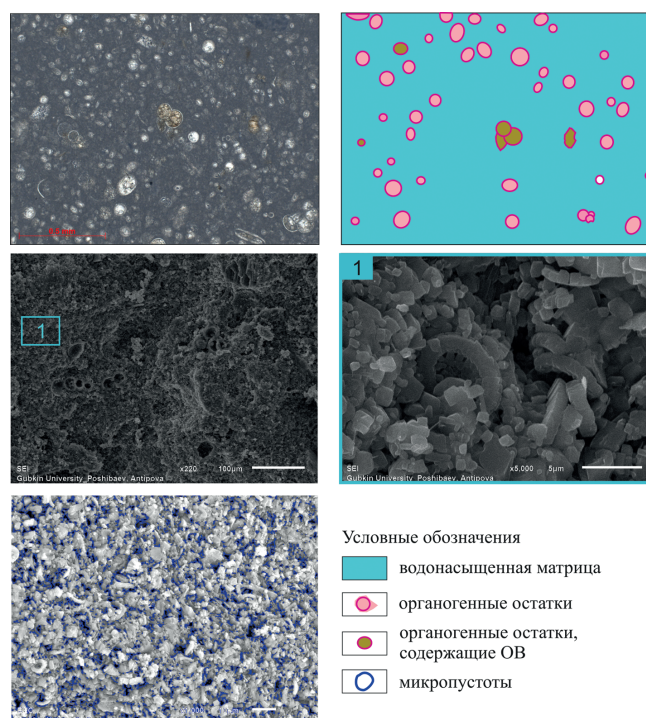


Рис. 10. Принципиальная модель структуры коллектора маастрихтских мелоподобных кокколитовых известняков. Фото породы в шлифе, схема структуры породы и три фотоизображения в РЭМ с выделением микропустот в матрице породы.

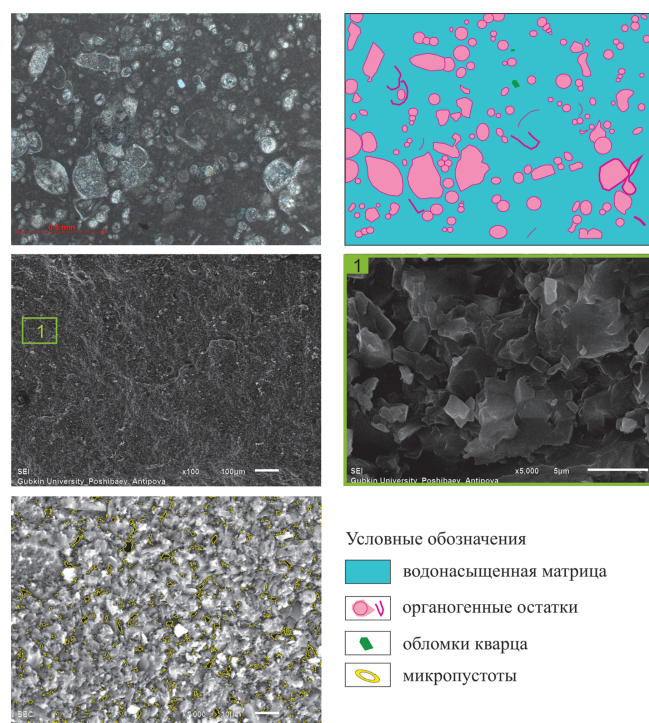


Рис. 11. Принципиальная модель структуры коллектора маастрихтских микритовых известняков. Фото породы в шлифе, схема структуры породы и три фотоизображения в РЭМ с выделением микропустот в матрице породы.

является важным признаком для прогноза наличия коллекторов лучшего качества.

По данным исследований, проведенных зарубежными специалистами (Scholle, 1977) на образцах керна месторождений Северного моря, Мексиканского залива, шельфовых областей запада США и обнажений на территории

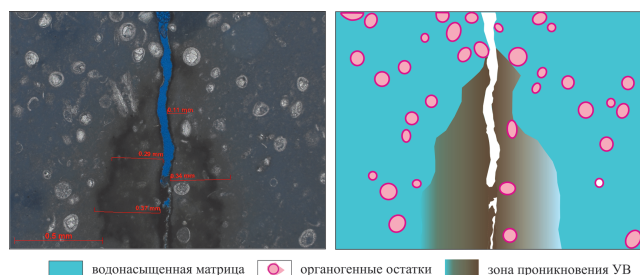


Рис. 12. Принципиальная модель структуры зоны проникновения УВ вдоль трещины. Фото породы в шлифе, схема структуры породы.

Европы, изменение пористости в общем является функцией глубины погружения.

В большинстве случаев проявляется линейная зависимость – чем большая глубина погружения отложений, тем меньше процент пористости. В целом на глубинах 2000–3000 м снижение пористости происходит до 10–20 %. Такое снижение пористости обусловлено увеличением степени механического уплотнения, при котором происходит растворение зерен на контактах и последующая кристаллизация растворенного материала в виде новообразованного цемента.

При этом чистые кокколитофоридовые известняки обладают большим объемом пористости, чем другие типы известняков. Это обусловлено первичными факторами, такими как хаотическое расположение зерен и присутствие достаточно большого количества свободной воды в осадке, что обуславливает снижение эффекта уплотнения при хаотической упаковке и высоком внутривертикальном давлении (Glennie, 1998).

В микритовых известняках структуры вак-пакстоунов, с большим количеством других раковинных остатков и интенсивной биотурбацией, упаковка частиц более ориентированная. Это приводит к более интенсивному проявлению уплотнения и сокращению вертикальной проницаемости (Glennie, 1998; Fabricius, 2003).

Увеличение глинистой компоненты в таких типах известняков также является дополнительным фактором снижения пористости: процессы растворения происходят активнее на контактах глинистых и карбонатных минералов, а высвобожденный материал осаждается здесь же в виде новообразованного кальцитового цемента (Scholle, 1977).

Изученные в данной работе образцы подтверждают эти выводы. Менее уплотненные кокколитофоридовые известняки обладают наибольшей пористостью (20,4 % на гл. 3419,55 м, скв. Советско-Курской зоны поднятий).

При увеличении в структуре количества детрита, нарушении биотурбацией и появлении глинистой компоненты процессы перекристаллизации проявляются более интенсивно и значения пористости в этих образцах значительно ниже (1,8–11,0 %). Изометричность пустот указывает на отсутствие обратных процессов – растворения и выщелачивания.

Количество остаточных пустот в раковинах фораминифер (детрите) невелико и не вносит существенных вклад в пористость пород. Но увеличение количества таких раковин как правило сопровождается и увеличением количества миритового кальцита, снижающего показатели пористости.

Интенсивность биотурбации по большей части коррелируется со снижением пористости. По всей видимости, из-за того, что она наблюдается в микритовых известняках и пористые в отдельных случаях ходы илоедов располагаются в более плотном микритовом матриксе.

Поэтому наиболее перспективными следует рассматривать зоны развития мелоподобных кокколитофоридовых известняков, характеризующиеся интенсивной трещиноватостью. В этих зонах будет формироваться порово-трещинный тип коллекторов.

Для корректной количественной оценки эффективной пористости в этом типе коллектора следует провести дополнительные исследования кернового материала, чтобы набрать статистически значимое количество измерений не только трещинной пустотности, но и добавочного объема пор в зоне проникновения вдоль трещин.

Литература

Борисенко З.Г., Данилин В.П., Литвинов С.А. (2007). Особенности пространственного размещения залежей нефти и газа верхнемеловых отложений Центрального и Восточного Предкавказья. *Вестник Российской академии естественных наук*, 2, с. 8–13.

Геология и нефтегазоносность Восточного Предкавказья. (2001). Ред. В.Е. Орел. Москва: ГЕОС, 299 с.

Горкушин А.С., Найденова Л.А. (1978). Некоторые аспекты поисков и разведки залежей нефти в верхнемеловых отложениях Восточного Ставрополя. *Нефтегазовая геология и геофизика*, 12, с. 17–21.

Ликов А.Г., Чепак Г.Н., Шапошников В.М. (1980). Особенности строения залежей нефти в карбонатных породах верхнего мела Прикумского нефтегазоносного района. *Нефтегазовая геология и геофизика*, 5, с. 18–20.

Папоротная А.А. (2011). Гелогического-геохимические условия нефтегазоносности мезозойских отложений Восточно-Ставропольской впадины. Автореф. дисс. Ставрополь, 23 с.

Постников А.В., Мусихин А.Д., Осинцева Н.А., Сивальнева О.В., Рахматуллина А.С. (2016). Влияние структуры пустотного пространства пород на разработку залежей в хадумских отложениях Восточного Предкавказья. *Геофизика*, 6, с. 30–37.

Bramwell N.P. et al. (1999). Chalk exploration, the search for a subtle trap. *Proc. 5th Conference: Petroleum Geology of Northwest Europe*. Published by the Geological Society, London, pp. 911–937. <https://doi.org/10.1144/0050911>

Fabricius I.L. (2003). How burial diagenesis of chalk sediments controls sonic velocity and porosity. *AAPG Bulletin*, 87(11), pp. 1755–1778. <https://doi.org/10.1306/06230301113>

Glennie K.W. (ed.) (1998). *Petroleum Geology of the North Sea. Basic Concepts and Recent Advances*, 4ed. Blackwell, pp. 324–349. <https://doi.org/10.1002/9781444313413>

Scholle P.A. (1977). Chalk Diagenesis and Its Relation to Petroleum Exploration: Oil from Chalks, a Modern Miracle? *AAPG Bulletin*, 61(7), pp. 982–1009. <https://doi.org/10.1306/C1EA43B5-16C9-11D7-8645000102C1865D>

Сведения об авторах

Ольга Владимировна Сивальнева – доцент кафедры литологии, кандидат геол.-мин. наук, Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Россия, 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 65
e-mail: sivalneva.o@gubkin.ru

Айсылу Салаватовна Рахматуллина – ассистент кафедры литологии, кандидат геол.-мин. наук, Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Россия, 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 65

Александр Васильевич Постников – заведующий кафедрой литологии, доктор геол.-мин. наук, профессор, Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Россия, 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 65

Ольга Васильевна Постникова – декан факультета геологии и геофизики нефти и газа, доктор геол.-мин. наук, профессор, Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Россия, 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 65

Ольга Алексеевна Зуева – ассистент кафедры литологии, Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Россия, 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 65

Елизавета Камилевна Идрисова – аспирант Центра добычи углеводородов, Сколковский институт науки и технологий

Россия, 121205, Москва, Большой бульвар, д. 30, стр.1, Территория Инновационного Центра «Сколково»

Владимир Владимирович Пошибаев – ведущий специалист отдела геофизических исследований, кандидат геол.-мин. наук, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»

Россия, 109028, Москва, ул. Покровский бул., д. 3, стр.1

Статья поступила в редакцию 20.08.2020;

Принята к публикации 08.04.2021; Опубликована 30.09.2021

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Lithological models of reservoir rocks for upper cretaceous deposits in East Caucasian Region

O.V. Sivalneva^{1*}, A.S. Rakhmatullina¹, A.V. Postnikov¹, O.V. Postnikova¹, O.A. Zueva¹, E.K. Idrisova², V.V. Poshibaev³

¹ Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russian Federation

² Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russian Federation

³ LUKOIL-Engineering, Moscow, Russian Federation

*Corresponding author: Olga V. Sivalneva, e-mail: sivalneva.o@gubkin.ru

Abstract. The article describes the results of lithological and petrophysical investigations that would be a base for

characterization of reservoir rocks in Upper Cretaceous deposits. These investigations include thin sections description,

SEM and NMR analysis. As found that three main factors have constrained final quality of reservoir rocks: 1) depositional settings favorable for coccoliths and chalk sedimentation; 2) late diagenesis changes – compaction and recrystallization degree; 3) fracture intensity.

Keywords: Upper Cretaceous deposits, East Caucasian region, chalk limestones, pore and fractured reservoir rocks

Recommended citation: Sivalneva O.V., Rakhmatullina A.S., Postnikov A.V., Postnikova O.V., Zueva O.A., Idrisova E.K., Poshibaev V.V. (2021). Lithological models of reservoir rocks for upper cretaceous deposits in East Caucasian Region. *Georesursy = Georesources*, 23(3), pp. 83–89. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.11>

References

- Borisenko Z.G., Danilin V.P., Litvinov S.A. (2007). Features of the spatial distribution of oil and gas deposits of the Upper Cretaceous sediments of the Central and Eastern Ciscaucasia. *Vestnik Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk*, 2007/2, pp. 8–13. (In Russ.)
- Bramwell N.P. et al. (1999). Chalk exploration, the search for a subtle trap. *Proc. 5th Conference: Petroleum Geology of Northwest Europe*. Published by the Geological Society, London, pp. 911–937. <https://doi.org/10.1144/0050911>
- Fabricius I.L. (2003). How burial diagenesis of chalk sediments controls sonic velocity and porosity. *AAPG Bulletin*, 87(11), pp. 1755–1778. <https://doi.org/10.1306/06230301113>
- Geology and oil and gas potential of the Eastern Ciscaucasia. (2001). Ed. V.E. Orel. Moscow: GEOS, 299 p. (In Russ.)
- Glennie K.W. (ed.) (1998). *Petroleum Geology of the North Sea. Basic Concepts and Recent Advances*, 4ed. Blackwell, pp. 324–349. <https://doi.org/10.1002/9781444313413>
- Gorkushin A.S., Naidenova L.A. (1978). Some aspects of prospecting and exploration of oil deposits in the Upper Cretaceous deposits of the Eastern Stavropol region. *Neftegazovaya geologiya i geofizika*, 1978/12, pp. 17–21. (In Russ.)
- Likov A.G., Chepak G.N., Shaposhnikov V.M. (1980). Features of the structure of oil deposits in carbonate rocks of the Upper Cretaceous of the Prikum oil and gas region. *Neftegazovaya geologiya i geofizika*, 1980/5, pp. 18–20. (In Russ.)
- Papornotnaya A.A. (2011). Geological-geochemical conditions of oil and gas content of the Mesozoic deposits of the East Stavropol depression. Abstract Sci. Diss. Stavropol, 23 p. (In Russ.)
- Postnikov A.V., Musikhin A.D., Osintseva N.A., Sival'neva O.V., Rakhmatullina A.S. (2016). Influence of rock pore structure on deposits development of Khadum formation in East Caucasian Region. *Geofizika*, 6, pp. 30–37. (In Russ.)
- Scholle P.A. (1977). Chalk Diagenesis and Its Relation to Petroleum Exploration: Oil from Chalks, a Modern Miracle? *AAPG Bulletin*, 61(7), pp. 982–1009. <https://doi.org/10.1306/C1EA43B5-16C9-11D7-8645000102C1865D>

About the Authors

Olga V. Sivalneva – Associate Professor, Department of Lithology, PhD (Geology and Mineralogy)

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)

65 Leninsky Av., Moscow, 119991, Russian Federation

e-mail: sivalneva.o@gubkin.ru

Aysylu S. Rakhmatullina – Research Assistant, Department of Lithology, PhD (Geology and Mineralogy)

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)

65 Leninsky Av., Moscow, 119991, Russian Federation

Alexander V. Postnikov – Head of the Lithology Department, DSc (Geology and Mineralogy), Professor

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)

65 Leninsky Av., Moscow, 119991, Russian Federation

Olga V. Postnikova – Dean of the Faculty of Oil and Gas Geology and Geophysics, DSc (Geology and Mineralogy), Professor

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)

65 Leninsky Av., Moscow, 119991, Russian Federation

Olga A. Zueva – Research Assistant, Department of Lithology

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)

65 Leninsky Av., Moscow, 119991, Russian Federation

Elizaveta K. Idrisova – Postgraduate student, Hydrocarbon Production Centre

Skolkovo Institute of Science and Technology

30, bld. 1, Bolshoy Boul., Moscow, 121205, Russian Federation

Vladimir V. Poshibaev – Leading Specialist in Geophysical Research, PhD (Geology and Mineralogy)

LUKOIL-Engineering

3, bld.1., Pokrovsky Boul., Moscow, 109028, Russian Federation

Manuscript received 20 August 2020;

Accepted 8 April 2021; Published 30 September 2021