

УДК 551.763.1(470.62)

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-3-42-53

УСЛОВИЯ СЕДИМЕНТАЦИИ И ЭКРАНИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНЕГО МЕЛА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Святослав Юрьевич Яковешин^{1✉}, Сергей Иванович Бордунов²,
Владимир Леонидович Косоруков³, Елена Васильевна Яковешина⁴

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; kosorukov@mail.ru

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

Аннотация. Литологический и рентгенофазовый анализ глинистых отложений нижнего мела Северо-Западного Кавказа позволил установить обстановки их формирования и источники сноса обломочного материала. Установлено, что изученные отложения сформировались в нормально морских относительно глубоководных условиях шельфа. Глины нижнего мела характеризуются как породы с высокими экранирующими свойствами, способными обеспечить сохранность не только залежей нефти, но и газообразных углеводородов.

Ключевые слова: Кавказ, нижний мел, литология, глины

Для цитирования: Яковешин С.Ю., Бордунов С.И., Косоруков В.Л., Яковешина Е.В. Условия седиментации и экранирующие свойства глинистых отложений нижнего мела Северо-Западного Кавказа // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 3. С. 42–53.

SEDIMENTATION CONDITIONS AND CONSERVATION PROPERTIES OF CLAY DEPOSITS OF THE LOWER CRETACEOUS OF THE NORTHWESTERN CAUCASUS

Svyatoslav Yu. Yakovishin^{1✉}, Sergey I. Bordunov², Vladimir L. Kosorukov³,
Elena V. Yakovishina⁴

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; kosorukov@mail.ru

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

Abstract. Lithological and X-ray phase analysis of clay deposits of the Lower Cretaceous of the Northwestern Caucasus allowed us to establish the conditions of their formation and the sources of erosion of clastic material. It has been established that the studied sediments were formed in normal marine relatively deep-sea conditions of the shelf. The clays of the Lower Cretaceous are characterized as rocks with high conservation properties capable of ensuring the safety of not only oil deposits, but also gaseous hydrocarbons.

Keywords: Caucasus, Lower Cretaceous, lithology, clays

For citation: Yakovishin S.Yu., Bordunov S.I., Kosorukov V.L., Yakovishina E.V. Sedimentation conditions and conservation properties of clay deposits of the Lower Cretaceous of the Northwestern Caucasus. *Moscow University Geol. Bull.* 2024; 3: 42–53. (In Russ.).

Введение. Нижнемеловые отложения Северо-Западного Кавказа потенциально перспективны для поисков нефтяных и газовых месторождений. Исследования проводились в междуречье рек Абин и Убин Краснодарского края. Это один из крупнейших и старейших нефтегазоносных регионов нашей страны, где поисковые работы на нефть и газ ведутся с конца XIX века. На современном этапе значительная часть месторождений утратила свою рентабельность. Поэтому поиски новых месторождений в старых нефтедобывающих районах с хорошо развитой инфраструктурой в настоящее

время особенно актуальны. Существование же уже открытых месторождений нефти и газа в породах нижнего мела в данном регионе свидетельствует о перспективах отложений данного возраста. Они сложены относительно глубоководными терригенными глинистыми и песчано-глинистыми отложениями, представленными толщами чередования темно-серых, черных глин, алевролитов и серых песчаников, имеющих иногда ритмичный флишидный характер. В разрезе преобладают глины, которые могут служить флюидоупором для залежей углеводородов (УВ).

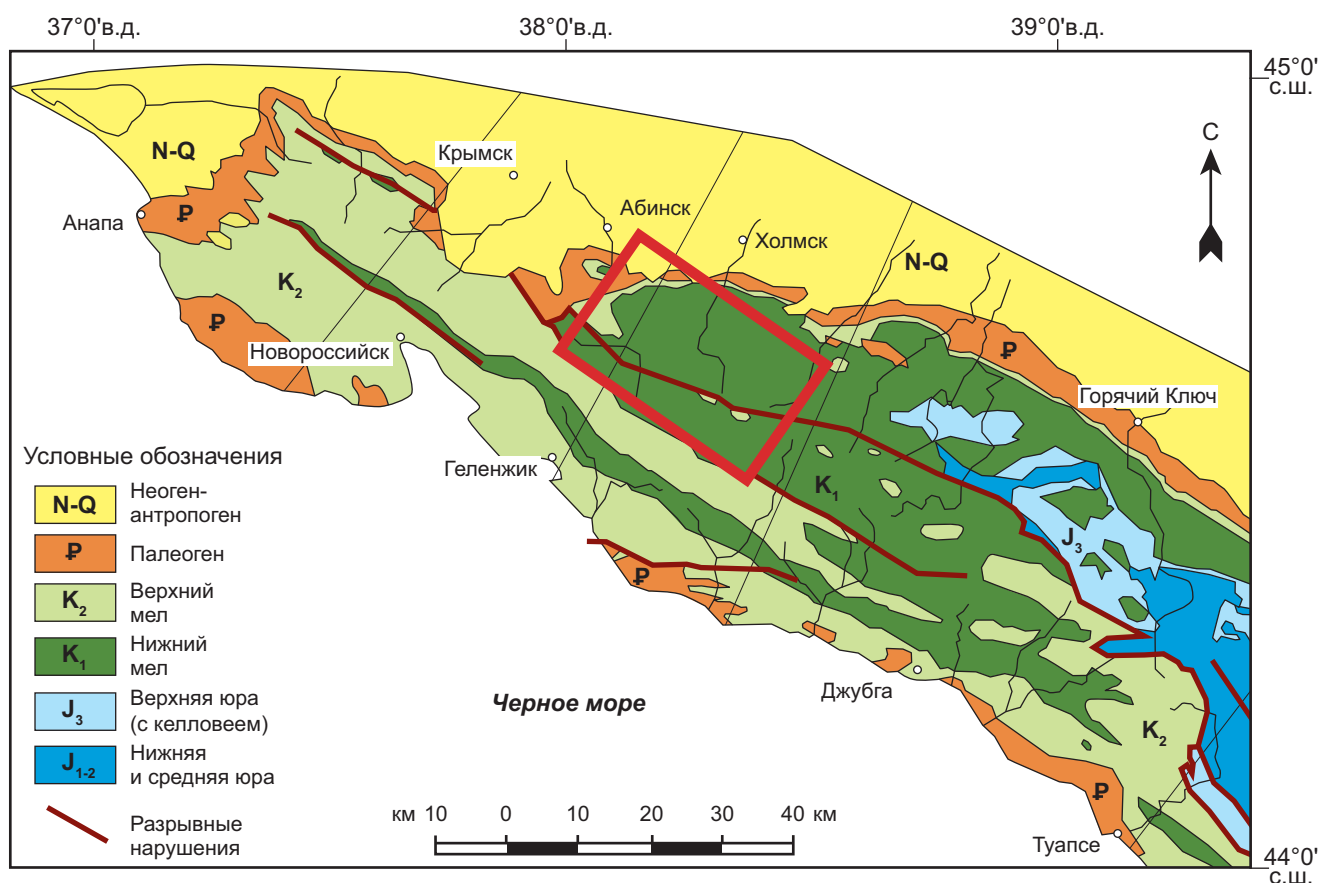


Рис. 1. Геологическая карта Северо-Западного Кавказа, по [Маринин и др., 2008] с изменениями. Красный прямоугольник — расположение района исследований

Материалы и методы исследования. Аналитические исследования проводились на геологическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова. Из толщи пород нижнего мела было отобрано более 500 образцов с интервалом отбора 5–10 м. Вещественный состав пород изучался в шлифах, которые были отобраны на разных уровнях из глинистых и песчаных разностей. Для их изучения использовался оптический микроскоп Полам-213М. В результате изучения петрографических шлифов были выделены литогенетические типы пород [Фролов, 1984], которые позволили составить представление об условиях формирования изучаемой толщи.

Исследование гранулометрического состава глинистых пород проводились на лазерном анализаторе ANALYSETTE 22 MicroTec plus, который применяется для твердых осадков и суспензий. Осадок диспергируется в жидкой среде. Диапазон измерений от 0,08 до 2000 нм обусловлен использованием двух лазеров с разной длиной волны (зеленый лазер и инфракрасный лазер). Управление осуществляется через собственное программное обеспечение MaS control.

Микроструктурные исследования (качественный анализ микроструктуры образцов) проводились с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) LEO 1450 VP с гарантийным разрешением 5 нм на кафедре инженерной геологии МГУ имени М.В. Ломоносова. Принцип действия и работа на

РЭМ описаны в специальной литературе [Гоулдстейн, 1984; Методическое..., 1984; Осипов, Соколов, 2013].

Образцы грунтов для исследований в РЭМ вырезались из монолита. Размер образцов не превышал по площади 1,5×1,5 см и по толщине — 0,5 см. После этого все образцы высушивались. Подготовка исследуемой поверхности проводилась путем раскалывания образца. После этого полученная поверхность обдувалась сжатым воздухом, и образец приклеивался на смотровой столик электропроводным клеем. Для предотвращения эффекта зарядки на поверхность исследуемых образцов в вакууме наносилась тонкая пленка золота толщиной 10–20 нм. Подготовленный образец, смонтированный на поддерживающем столике, устанавливается на специальном держателе и вводится через шлюзовую камеру в камеру образцов РЭМ, где располагается на гониометрическом устройстве, позволяющем смещать, вращать и наклонять образец. Увеличение РЭМ-изображений выбирают в зависимости от размеров изучаемых структурных элементов и целей исследований. При качественном изучении осадков тонкодисперсной глинистой фракции из суспензий необходима работа как минимум при двух увеличениях: малом (от ×1000) и большом (более ×5000). В первом случае получают обзорные изображения, дающие общие представления о микростроении образца. Во втором случае наблюдаются тонкие детали

микроструктуры, такие как тип контактов между глинистыми частицами и их микроагрегатами, размер и форма структурных элементов, характер их поверхности. Примеры описания микростроения дисперсных пород различных типов даны в литературе [Грабовская-Ольшевская и др., 1984; Осипов и др., 1989; Осипов, Соколов, 2013].

Минералогический состав глин изучен с применением рентгенофазового анализа 15 образцов при помощи рентгеновского дифрактометра ДРОН-3М на кафедре нефтегазовой седиментологии и морской геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Идентификация минералов осуществлялась на основании определения межплоскостных расстояний, которые на дифрактограммах показаны базальными рефлексами. В результате рентгенофазового анализа удалось установить наличие глинистых минералов определенных групп. Эти данные были использованы при восстановлении обстановок седиментации [Лидер, 1986].

Результаты и обсуждение. Описание разреза. Исследуемая территория находится в области северо-западного погружения складчато-глыбового сооружения Большого Кавказа и сопряженного с ним Западно-Кубанского краевого прогиба. Большой Кавказ в пределах описываемой территории включает фрагмент северного склона. Этот район относится к структурно-фациальной Абино-Гунайской подзоне зоны Северо-Западного Кавказа [Корсаков и др., 2013], где на поверхность выходят породы от позднечетвертичного до четвертичного возраста (рис. 1). Объектом исследований были отложения нижнего мела, включающие следующие местные литостратиграфические подразделения (свиты) снизу вверх.

Запорожский горизонт (K_1zr) залегает стратиграфически несогласно на отложениях пихтарской свиты и, вероятно, тектонически несогласно на более древних отложениях (рис. 2). Согласно перекрывается отложениями мацмаловской свиты. Представлен чередованием горизонтов конгломератов до 30 м и пачек 3–11 м: чередование слоев глин 5–60 см и песчаников 10–260 см. Конгломераты сложены обломками известняков до 0,4 м, реже — кварцитов, кварца, кремней, вулканических пород 3–12, реже до 40 см. Мощность до 130 м. Возраст — ранний берриас.

Мацмаловская свита (K_1mc) залегает согласно как с вышележащими, так и с нижележащими толщами. Литологический состав представлен переслаиванием известковых глин и песчаников, а также иногда встречающимся прослоями сидерита. Мощность свиты — 220–350 м. Возраст свиты — ранний берриас.

Чаталовская свита (K_1ch) представлена мергелями в основании и переслаиванием глин с песчаниками, иногда встречаются прослои гравелитов. Мощность свиты — 250 м. Возраст свиты — поздний берриас.

Горизонт Дербя (K_1db) в районе г. Медвежьей сложен пачками до 25 м и линзами конгломератов (галька и глыбы известняков, песчаников до 3 м, реже гравий и мелкая галька кварца, кремней, кварцевых порфиров) и пачками переслаивания глин 2–30 см и песчаников 2–45 см, редко до 4 м. Мощность до 145 м. Возраст — валанжин.

Свита чепси ($K_1\check{c}p$) представлена темно-серыми, зеленовато-серыми глинами с прослоями (0,01–0,03 м) сидеритов (рис. 3). Максимальная мощность до 850 м. Возраст — валанжин-ранний готерив.

Солодкинский горизонт (K_1sl) фациально изменчив. В бассейне р. Хабль в основании горизонта залегают конгломераты до 10 м (обломки известняков до 30 см), который перекрывается чередованием глин известковистых, алевролитистых, алевролитов и гравелитовых песчаников до 2 м. Мощность горизонта до 50 м. На р. Большой Хабль в ущелье Медвежьей ворота отложения горизонта представлены толщей чередующихся песчаников, алевролитов и глин, при резком преобладании песчаников. Мощность отдельных пластов достигает 1–1,2 м. На р. Малый Хабль горизонт представлен темно-серыми, черными глинами с валунами и глыбами пелитоморфных и брекчевидных известняков верхнеюрского облика, будинами песчаников. В верхней части встречены глины с черепицеобразными линзовидными тонкими частями с интервалом 1–10 см прослоями серого песчаника толщиной около 1 см, с волнистой и неровной поверхностью. Возраст — поздний готерив.

Шишанская свита ($K_1\check{s}š$) представлена темно-серыми, черными глинами с редкими прослоями более светлых алевролитов и тонко-мелкозернистых песчаников толщиной от 0,5–3 до 10 см, линзовидными прослоями (1–3 см) и конкрециями сидеритов (рис. 3). В верхней части разреза наблюдаются текстуры кон-ин-кон. Мощность — 500–900 м. Возраст — поздний готерив.

Фанарский горизонт (K_1fn) залегает согласно на шишанской свите. На большей части территории представлен внизу и вверху разреза пачками песчаников, гравелитов, конгломератов различной мощности, достигающими 15–25 м. Средняя часть горизонта сложена пачками переслаивания глин и песчаников 3–50 см с линзами конгломератов. Мощность — до 250 м. Возраст — поздний готерив-ранний баррем.

Афипская свита (K_1af) отличается более глинистым составом. Она представлена глинами темно-серыми, зеленовато-серыми с темно-фиолетовыми марганцовистыми примазками, слабо или сильно алевролитистыми, с редкими прослоями алевролитов (1–10 см), конкрециями сидеритов, иногда с текстурами кон-ин-кон (рис. 3). Мощность — 250–750 м. Возраст — баррем-ранний апт.

Убинский горизонт (K_1ub) представлен пачкой 7,5 м песчаников и конгломератов с обилием растительных остатков. Горизонт имеет небольшую

Рис. 2. Литолого-стратиграфическая колонка нижнего мела района исследований по [Корсаков и др., 2013] с изменениями

М Е Л О В О Е													
Я													
А													
И													
Б													
А													
П													
Т													
У													
Б													
И													
С													
К													
А													
Л													
О													
Т													
Е													
Р													
И													
Ж													
И													
В													
А													
Р													
Е													
М													
Б е р р и с а с			В а л а н ж и н		Г о т е р и в		Б а р р е м		А п т		А л ь б		
М а ч м а л о в - с к а я	Ч а т а - л о в с к а я	Д е р - б и	Ч е п с и	Ш и ш а н с к а я	С о п о д - к и н с к и й	200–900	50–235	400–850	0–160	250	220–350	Р о з н а ч - е в с к а я	
												У б и н - с к и й	Ф а н а - р с к и й
	З а п о - р о ж с к и й												
130												0–250	
												150–250	
												280–550	
												2–160	
												250–750	
												100–200	
												200–900	
												50–235	
												400–850	
												0–160	
												250	
												220–350	
												130	
												Глины темно-серые, черные, пластичные, с линзовидными прослоями толщиной до 50 см известняка глинистого. Редко линзовидные прослои песчаника серого, мелкозернистого	
												Глины темно-серые, черные, пластичные, с прослойками алеврита, иногда известковистые с прослоями алевролитов, песчаников, линзами сидерита. В основании песчаники, линзы конгломератов	
												Глины темно-серые, известковистые, алевритистые с прослоями и конкрециями сидеритов с текстурами кон-ин-кон. Прослои песчаников. В нижней части линзы конгломератов	
												Песчаники серые, коричневатые, от мелкозернистых до гравелитов, разной крепости, слоистые, с обуглившимся растительным детритом	
												Глины темно-серые, серые с зеленоватым оттенком, слоистые и неяснослоистые, слабо алевритистые, неизвестковистые, или слабо известковистые, линзы песчаников ожелезненных, с горизонтальной слоистостью, часто с механоглифами и знаками волновой ряби. Сидериты в виде прослоев реже конкреции диаметром 5–20 см. Встречаются текстуры кон-ин-кон. Прослои алевролитов редки и имеют линзовидный характер	
												Песчаники светло-серые, мелко-среднезернистые, известковистые, тонкослоистые до плитчатых (0,05–0,1 до 0,3 м) с тонкими прослойками глин. Глины алевритистые с линзами сидерита. В основании конгломераты светло-серые мелкогалечные	
												Глины серые, темно-серые, черные, алевритистые, встречаются известковистые, с тонкой горизонтальной слоистостью с конкрециями и прослоями сидеритов, с редкими тонкими прослоями алевролитов, тонко-мелкозернистых печаников. Встречаются текстуры кон-ин-кон. Алевролиты и песчаники серые до темно-серых, сильно известковистые	
												Глины темно-серые, черные, алевритистые, с прослоями песчаников, с линзами и валунами глыб, известняков верхнеюрского облика, размером от 0,05 до 2–3 м редко до 5 м. Толстослоистые песчаники	
												Глины серые, зеленовато-серые, известковистые, слабо алевритистые, слюдистые. С тонкими прослоями 0,5–3 см алевритов и песчаников. Алевролиты серые, сильно известковистые, песчаники мелкозернистые светло-серые. Есть прослои и линзы сидеритов караваяеобразной или неправильной округлой формы, мощность прослоев 0,01–0,03 м, реже до 0,05 м	
												Песчаники с алевролитами и известняками. Прослои глины. Встречаются глыбы известняков. Конгломераты известняковые, переходящие в обломочные известняки.	
												Глины известковистые и мергели серые и зеленые, алевритистые, с прослоями алевролитов, известняков. Вверх постепенно переходят в переслаивание глин, алевритов и известняков	
												Глины серовато-зеленые, коричневые, слабо алевритистые, аргиллитоподобные и слюдистые, с прослоями обломочного известняка. В нижней части переслаивание песчаников и глин, реже конгломератов, конглобрекчий	
												Конгломераты, конглобрекции с глыбами известняков, песчаники с прослоями глин	

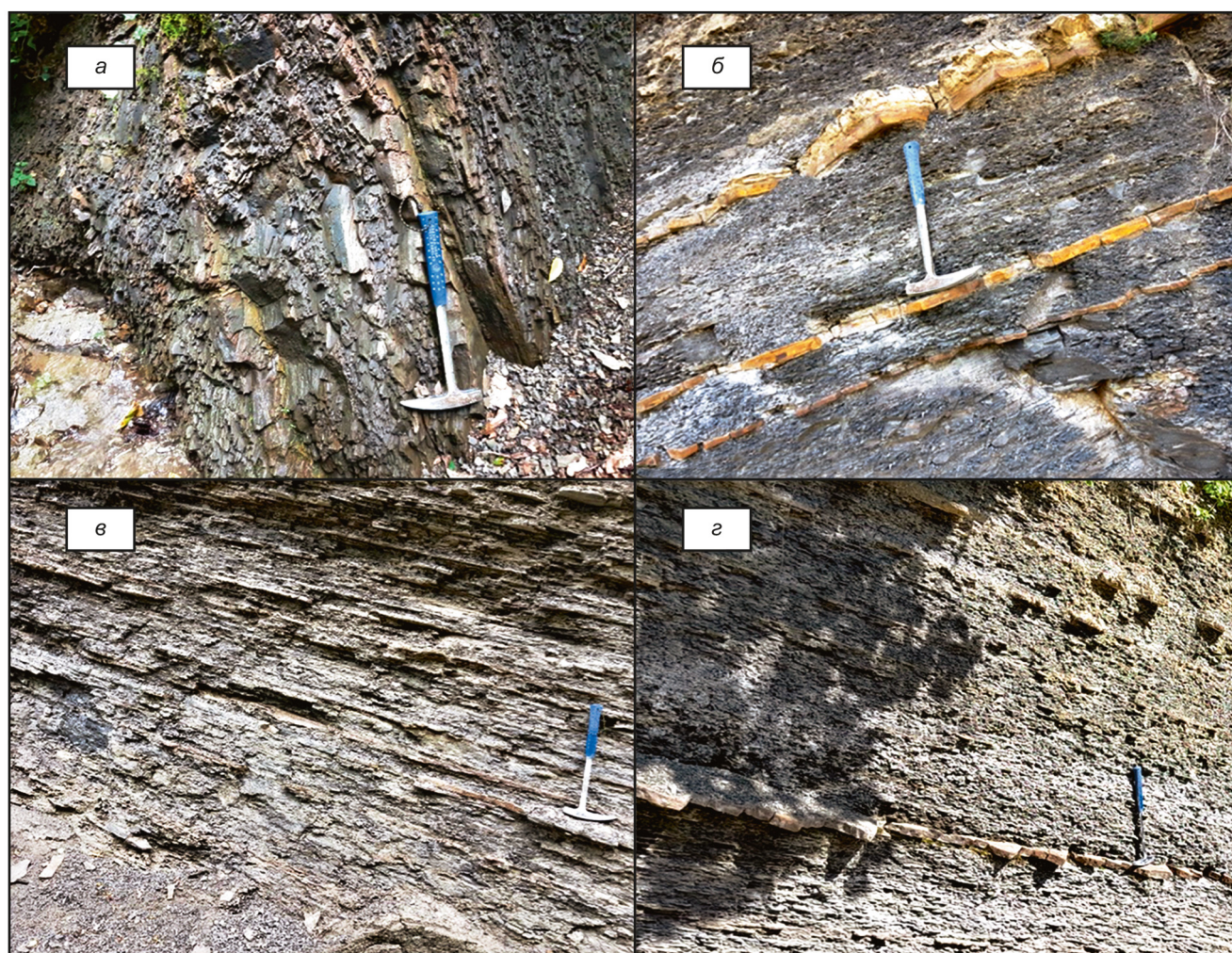


Рис. 3. Фото обнажений нижнемеловых отложений района исследований: а — свита чепси (глины с линзами сидеритов, щель Овражкина); б — шишанская свита (глины с прослоями песчаников, а также сидеритов с текстурами кон-н-кон, р. Хабль у п. Синегорье); в — афипская свита (алевритистые глины с тонкими прослоями алевролитов и песчаника, р. Хабль); з — свита шапсухо (глины с прослоями песчаника, р. Хабль)

мощность и залегает в основании убинской свиты. Мощность — до 160 м. Возраст — ранний апт.

Убинская свита (K_{1ub}) выходит в западной части района работ, представлена глинами с конкрециями и прослоями сидерита, текстурами кон-ин-кон, редкими прослоями и пачками переслаивания с алевролитами, песчаниками (от 1 до 10 см). Мощность свиты — до 750 м. Возраст — ранний апт.

Свита шапсухо ($K_{1\check{s}p}$) — глины серые, тёмно-серые до чёрных, полосчатые, пластичные, с прослоями (2–5 мм) зеленовато-серых алевролитов, есть прослой сидеритов до 2 см (рис. 3). Мощность отложений — более 150 м. Возраст — средний — поздний апт.

Розначеевская свита (K_{1rz}) отмечается лишь в бассейне р. Абин. Представлена глинами тёмно-серыми с прослоями зеленовато-серых и редкими — алевролитов 1–5 см, включающими стяжения сидеритов. Очень редко встречаются линзовидные прослой песчаника, мощностью от 0,12 до 0,4 м,

серого, мелкозернистого. Мощность — до 250 м. Возраст — альб.

Условия седиментации. Литологогенетическая типизация нижнемеловых отложений позволяет отнести изученный разрез к склоновому биогенно-хемогенному и механогенному типам [Фролов, 1984]. Отложения, как правило, имеют ритмичный характер. Практически каждая свита, как литостратиграфическое подразделение, начинается с относительно небольшой по мощности грубообломочной нижней части, представленной конгломератами, конглобрекциями, иногда с валунами и глыбами нижележащих толщ, гравелитами, толстослоистыми песчаниками. Данная нижняя часть выделяется как отдельные горизонты в составе свиты. Иногда разрез имеет флишoidное строение с преобладанием пелитового элемента ритма. Сидеритовые прослой и конкреции в составе каждой свиты, часто с текстурами кон-ин-кон в верхней части этих прослоев образовались в результате хемогенного процесса карбоната-

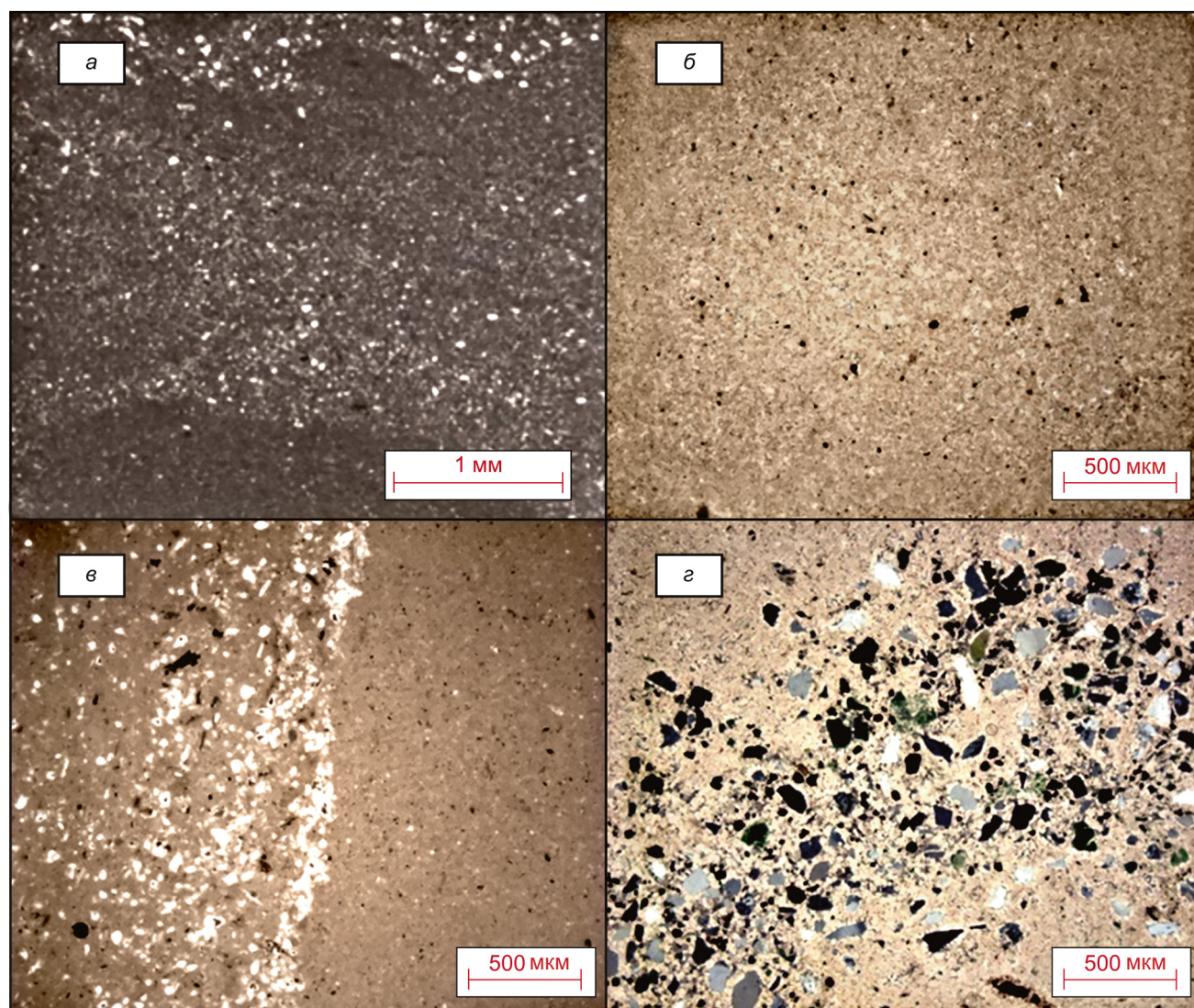


Рис. 4. Фото петрографических шлифов: а — глина, сильно известковистая, с прослойками, алевропесчаная, обр.1100/3, свита чепси; б — глина известковистая с алевроитовой примесью, обр. 1002/17, шишанская свита; в — глина с прослоями алевролита, обр. 15/5, афипская свита; г — глина сильно известковистая, прослоями сильно песчаная, обр. 1054/2, свита шапсухо

копления. Это, в свою очередь, свидетельствует о некоторой удаленности источников сноса обломочного материала в палеобассейн. Резкая смена режима осадконакопления на рубеже юры и раннего мела, возможно, обусловлена сменой тектонических процессов в данном регионе [Корсаков и др., 2013]. В дальнейшем значимое влияние, вероятно, имели эвстатические колебания уровня моря, что привело к накоплению мощных глинистых отложений с прослоями алевролитов и песчаников.

Литолого-петрографическое изучение пород в шлифах показало преимущественно мезомиктовый состав обломочного материала, его среднюю сортированность и разную степень окатанности (рис. 4). Литокласты представлены терригенными и карбонатно-терригенными породами. В глинах наблюдаются следы биотурбации, тонкая слоистость за счет алевроитистых слоев в породе, иногда примесь песчанистого материала.

Важным при анализе фациальных обстановок формирования глинистых отложений является тип преобладающего органического вещества. Гумусовое вещество характерно для прибрежно-морских мелководных обстановок, тогда как сапропелевое распространено в более глубоководных отложениях. В разрезе нижнего мела исследуемого региона сапропелевая составляющая увеличивается вверх по разрезу, что также свидетельствует о прогрессирующем влиянии обширной морской трансгрессии.

Таким образом, на протяжении раннего мела на исследуемой территории обстановки осадконакопления характеризовались постепенным углублением палеобассейна на фоне периодических эвстатических колебаний уровня моря. Наличие в глинах и сидеритовых конкрециях ихнофоссилий «медузоидного» типа *Gyrophyllites* Glocker, 1841 и *Kirklandia* Caster, 1945 — следы проедания осадка «червеобразными организмами», *Ophiomorpha*

Lundgren, 1891 — пищевые норки роющих декапод, свидетельствует о некоторой аноксийности придонных вод [Вялов, 1966]. Для поддержания такой среды палеообстановки должны быть достаточно глубоководными. Обилие терригенного материала и, в частности, глинистой фракции, а также большого количества поступающей в бассейн органики позволяет предположить наличие гумидного климата на данной территории во всем исследуемом возрастном интервале [Фролов, 1993].

Экранирующая способность глин. Экранирующая или флюидоупорная способность глин определяется, в первую очередь, структурными характеристиками, минералогическим составом и степенью постседиментационных преобразований глинистых пород [Семенов, 2012].

В формировании экранирующих свойств глинистых покрышек конкурируют две тенденции [Осипов и др., 2001]. Первая обеспечивает повышение экранирующих свойств и связана с постепенным уплотнением пород в ходе литогенеза, повышением однородности микроструктуры, снижением общей и эффективной пористости. Вторая тенденция направлена на снижение экранирующей способности глин и заключается в разрушении пород при образовании микротрещин с развитием цементации и термодинамической дегидратации. Снижение экранирующей способности глин также связано с повышением неоднородности микроструктуры при минеральных преобразованиях: иллитизации смектита и смешанослойных минералов и перекристаллизации вещества породы при ее аргиллитизации.

Одним из факторов, определяющих флюидоупорные характеристики глин, также являются фациальные условия накопления [Осипов и др., 2001]. По фациальным условиям глины можно разделить на три крупные группы: глины глубоководного шельфа, глины шельфа средних глубин и глины мелкого шельфа и прибрежного мелководья. Самыми низкими экранирующими свойствами обладают глины, сформировавшиеся в условиях мелкого шельфа и прибрежного мелководья, а наиболее высокими — сформировавшиеся в условиях глубоководного шельфа и прилегающих частей моря.

Важной характеристикой при анализе глубоководности формирования глин является их неоднородность. Наиболее однородные глинистые толщи накапливаются на максимальном удалении от берега, тогда как неоднородность свойственна прибрежным фациям с активной гидродинамикой бассейна. Это касается и колебаний мощности отложений. Наиболее постоянные, выдержанные по мощности глинистые толщи накапливаются вдали от берега. Именно такой характер имеют нижнемеловые свиты Северо-Западного Кавказа, чья мощность часто превышает 500 м.

Минералогический, а также гранулометрический составы глин напрямую зависят от глубины

бассейна, и, как следствие, от стадии трансгрессии морского бассейна. Наибольшие по мощности и имеющие в своем составе наиболее тонкодисперсные минералы глинистые толщи накапливаются в эпоху максимальных трансгрессий, тогда как наименее мощные и 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]. У глинистых покрышек, сформировавшихся в глубоководных условиях, высокие экранирующие свойства сохраняются в пределах глубин от 400 м вплоть до 4–4,5 км. У глинистых толщ, сформировавшихся в условиях среднего шельфа и периферической части дельты — в интервале глубин от 1000 м до 3000–3500 м. У глинистых покрышек мелководного происхождения сохранение наилучшей экранирующей способности наблюдается в узком интервале глубин (1000–2500 м) [Осипов и др., 2001].

Структурный фактор определяет степень дисперсности глин — чем выше дисперсность и однородность глинистой толщи, тем в большем интервале глубин она сохраняет свои наилучшие экранирующие свойства. Гранулометрический состав изученных глинистых пород характеризует их как глинистые с примесью алевритистого материала, достаточно однородные по размерному составу зерен. Структурные элементы в глинистых породах часто имеют микронный и субмикронный размер, поэтому одним из методов, позволяющих непосредственно наблюдать микроструктуру таких пород, является растровая электронная микроскопия (РЭМ) [Осипов, Соколов, 2013]. Изучение микростроения позволяет получить детальную информацию о размере, форме, взаимоотношении и степени ориентации структурных элементов (пор и частиц), слагающих глинистые породы.

Примеры результатов микроструктурных исследований образцов приведены на рис. 5 и 6. Все изученные образцы характеризуются весьма плотным для глинистых пород строением. Во всех изученных образцах при больших (16000–8000 крат) увеличениях наблюдаются анизометричные удлиненные и щелевидные микропоры, шириной 0,2–0,7 мкм и длиной 1–7 мкм; редко встречаются изометричные микропоры округлой или эллипсовидной формы размером 0,5–2 мкм (рис. 5).

Образцы для исследования были в частично дегидратированной форме. Можно предположить, что в условиях естественного залегания присутствие набухающих фаз приведет, вероятнее всего, к заполнению видимого на рисунках порового пространства.

При небольших увеличениях (1000–4000 крат) во всех изученных образцах преобладают анизометричные удлиненные поры шириной 1–3 мкм и длиной 5–25 мкм, такие поры в образцах сформированы

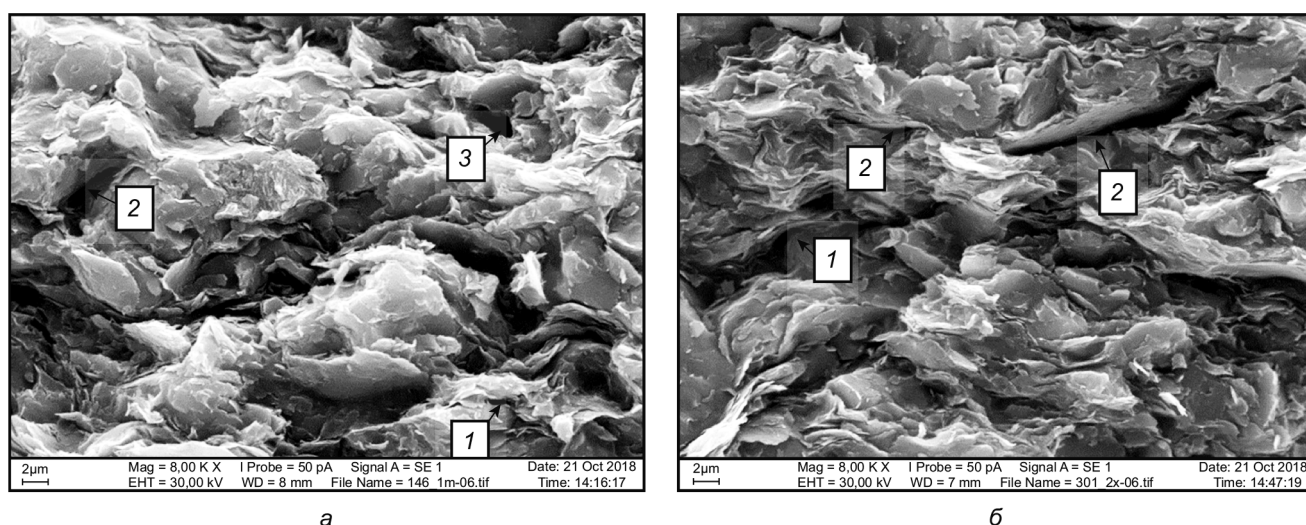


Рис. 5. РЭМ-изображения глинистых образцов при увеличении 8000 крат: а — обр. 146/1, шишанская свита; б — обр. 301/2, свита чепси. 1 — удлиненные микропоры, 2 — щелевидные микропоры, 3 — изометричные микропоры

на контактах между микроагрегатами, а также между микроагрегатами и песчано-пылевыми зернами (рис. 6).

Большое количество изометричных углублений, которые отчетливо видны при увеличении 1000–2000 крат, скорее всего, относятся не к поровому пространству строения образца, а связаны с образованием «сколов» при подготовке образцов. Такие «сколы» образуются при раскалывании образца за счет «выдергивания» из одной половины образца сравнительно крупных структурных элементов (микроагрегатов или зерен), при этом на поверхности этой половины остаются углубления, которые и можно спутать с крупными порами.

Минералогический состав глинистых покрышек, который обуславливает различную пластичность глин, является одним из главных факторов, определяющих их герметизирующие свойства. По уменьшению пластичности мономинеральные глины находятся в следующем ряду: смектитовые, смешанослойные (иллит-смектитовые), иллитовые, хлоритовые, каолиновые [Прозорович, 1972]. Среди глинистых пластов, экранирующих коллекторы месторождений УВ, преобладают глины полиминерального состава, для которых экранирующие свойства определяются соотношением различных глинистых минералов (ГМ). Наряду с пластичностью минеральный состав во многом определяет и флюидопроницаемость глинистых пород. Экспериментально установлено, что мономинеральные монтмориллонитовые глины характеризуются проницаемостью менее 10^{-5} мД, гидрослюдистые — 10^{-3} – 10^{-5} мД, каолиновые и хлоритовые — менее 10^{-3} мД. Подобная зависимость связана с особенностями дисперсности, кристаллохимического строения и степени гидратации глинистых минералов. Так, смектитовые глины, имеющие малый размер частиц, высокую площадь удельной поверхности и обладающие наибольшей способностью к разбуха-

нию, за счет раздвижной кристаллической решетки смектита, содержат значительно больший объем связанной воды, чем каолиновые и хлоритовые глины. Любое увеличение размера частиц и агрегатов, составляющие глинистые породы, приводит к увеличению размера пор, который в значительной степени зависит от минерального состава глинистых пород.

Оценка качества изолирующих свойств глинистых пород-флюидопоров осуществлялась комплексно с учетом минерального состава породы, однородности состава, соотношения глинистых минералов и их структурных особенностей. Комплексный подход к оценке свойств пород-флюидопоров предопределяется тем, что глинистые минералы обладают различными особенностями кристаллической структуры, что обуславливает их весьма разнообразные физико-химические свойства. Глинистые минералы также обладают различной способностью к набуханию. В полном соответствии с минеральным составом глин находится величина их емкости поглощения (обменной емкости), которая служит косвенным показателем способности глинистых минералов оказывать влияние на процессы, протекающие в породах, в том числе и на формирование экранирующих свойств пород. С величиной обменной емкости связаны пластичность, набухаемость, пористость, проницаемость, деформационно-прочностные и другие свойства глин. Для количественной оценки содержания глинистых минералов в породе использовался коэффициент глинистости $K_{гд}$, который отражает суммарное содержание всех глинистых минералов к сумме всех минералов породы (100%). Чем выше значение данного коэффициента, тем выше содержание глинистых минералов в породе, следовательно, порода обладает лучшими флюидо-изолирующими свойствами. По величине емкости катионного обмена глинистые минералы

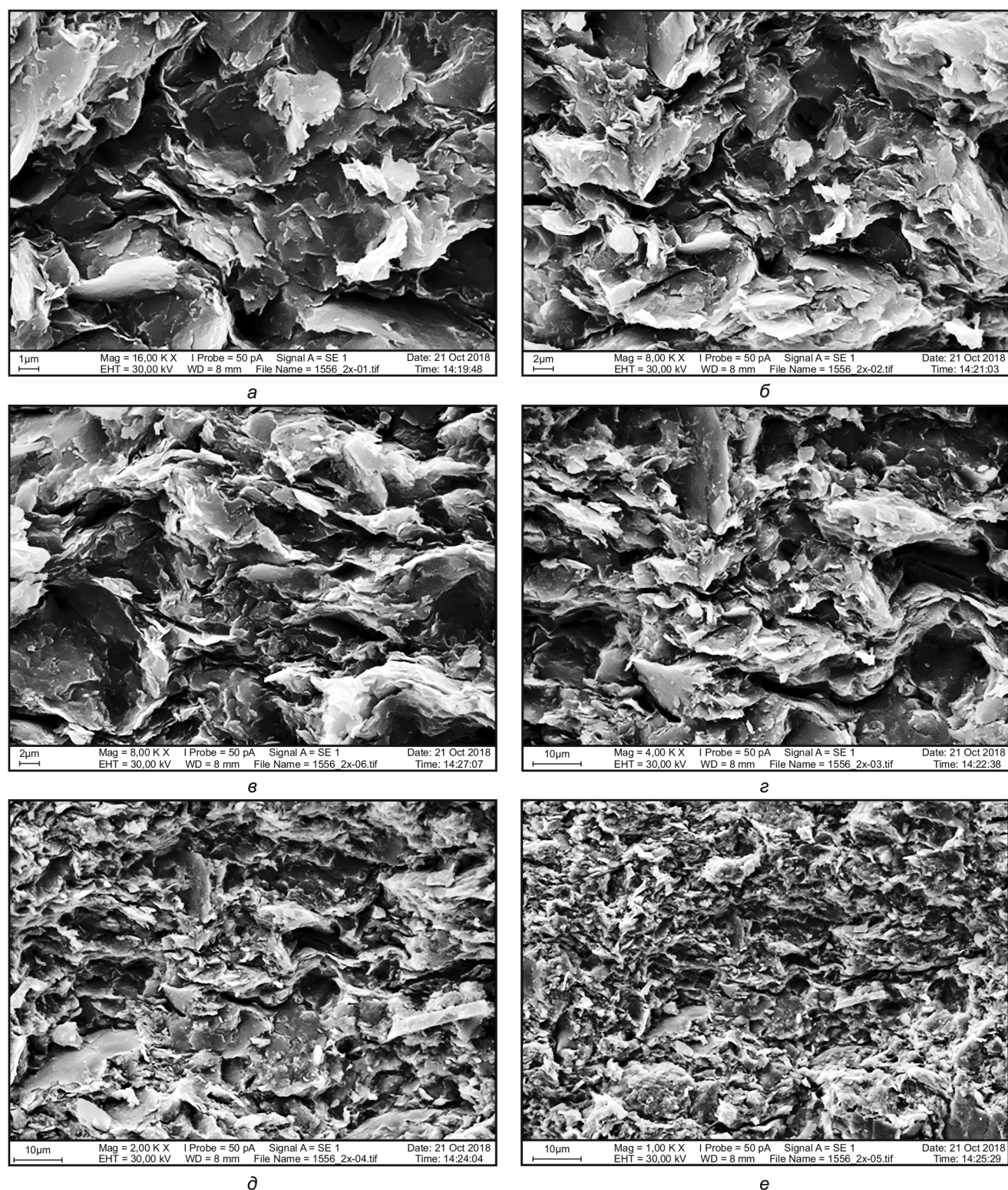


Рис. 6. РЭМ-изображения глин при разных увеличениях. Обр. 1556/2, афипская свита. Увеличения: а — 16000 крат, б — 8000 крат, в — 8000 крат, г — 4000 крат, д — 2000 крат, е — 1000 крат

образуют ряд, в котором происходит уменьшение обменной емкости: смектиты < смешанослойные минералы < иллиты < хлориты < каолинит. У глин каолинитового состава наблюдается наибольшая диффузионная и фильтрационная проницаемость, а у глин монтмориллонитового состава (смектиты) наименьшая. Каолинит и хлорит являются минера-

лами с электрически нейтральными кристаллическими структурами, имеющими низкое значение емкости катионного обмена. Для иллитов (слюды с дефицитом межслоевых катионов), смектитов и смешанослойных минералов характерно высокое значение емкости катионного обмена, так как они обладают высокой склонностью к изоморфным

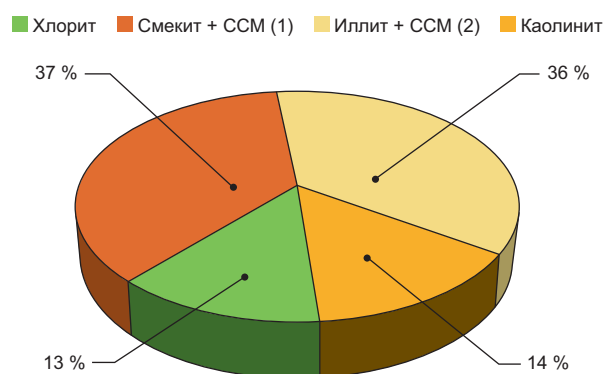


Рис. 7. Глинистые минералы в расчете на 100% содержание

замещения в кристаллической структуре, что приводит к формированию большого избытка отрицательного заряда. Для компенсации избыточного заряда используются краевые дефекты структуры и внешние поверхности базальных граней (для иллитов), а для смектитов и смешанослойных минералов дополнительно используются внутренние поверхности базальных граней, что приводит не только к образованию у минералов диффузного слоя, но и к увеличению объема (набухание).

Поскольку глинистые минералы обладают различными физико-химическими свойствами, использовался коэффициент соотношения глинистых минералов $K_{дгм}$, являющийся отношением суммарного содержания иллитов, смектитов и смешанослойных минералов к суммарному содержанию всех глинистых минералов в породе (рис. 7).

Коэффициент указывает, какая группа глинистых минералов преобладает в породе: группа хлорита и каолинита обладает низкими изолирующими свойствами, группа иллитов, смектитов и смешанослойных минералов обладает высокими изолирующими свойствами, следовательно, чем выше коэффициент соотношения глинистых минералов, тем лучшим флюидоупором будет являться глинистая порода.

Так как смектиты и смешанослойные минералы обладают свойством набухания кристаллической структуры за счет внедрения в межслоевое пространство ионов компенсаторов, то содержание данных минералов в породе будет оказывать большое влияние на изолирующие свойства пород. Для оценки этого влияния использовался коэффициент набухающих глинистых минералов $K_{наб}$, являющийся отношением суммарного содержания смектитов и смешанослойных минералов к суммарному содержанию иллитов, смектитов и смешанослойных. Высокое значение коэффициента набухающих глинистых минералов свидетельствует о высокой способности породы к набуханию, ее пластичности и высоких изолирующих свойствах — чем значение ниже, тем меньше флюидоизолирующая способность глинистых минералов в породе.

По результатам детального исследования ориентированных препаратов выявлено наличие сле-

дующих глинистых минералов: каолинит (пики 7,1 и 3,7 Å), хлорит (пики 14,2, 7,1, 4,7 и 3,4 Å), иллиты (истинные слюды и слюды с дефицитом межслоевых катионов — гидрослюды, пики 10,0 и 5,0 Å), смешанослойные минералы (пик 11,1 Å) и смектиты (14,1, 7,0, 4,6 и 3,3 Å).

Ассоциация глинистых минералов в глинах нижнего мела при незначительных отличиях в разных свитах представлена полиминеральной ассоциацией и обладает преимущественно смешанослойно-каолинит-гидрослюдистым составом с примесью хлорита и смектита (рис. 8). Такая ассоциация могла образоваться при разрушении кор выветривания каолинит-гидрослюдистого состава. Смешанослойные минералы представлены гидрослюдисто-смектитовой фазой. Они могли образоваться в результате деградации гидрослюды и каолинита в морских условиях. Наблюдается незначительное увеличение содержания более тонкодисперсных глинистых минералов вверх по разрезу. Достаточно высокое содержание хлорита и смектита свидетельствует о размыве пород среднего и основного состава. Высокий процент каолинита говорит о существовании зрелых почв. Подобное содержание глинистых минералов было бы возможным при существенном влиянии на процессы седиментогенеза сноса обломочного материала с территории нынешнего Большого Кавказа. Распределение по площади содержания глинистых минералов в изученных образцах тоже достаточно постоянное. В образцах с северной части территории наблюдается незначительное увеличение содержания смектита. Вероятно, это может быть обусловлено переходом к более глубоководным условиям осадконакопления.

По результатам рентгенофазового анализа установлено, что глинистые отложения формировались в шельфовых условиях. На протяжении раннего мела произошло незначительное углубление бассейна, вероятно, связанное с трансгрессией моря.

Минералогический состав глинистых пород, который обуславливает различную пластичность глин, является одним из главных факторов, коэффициент глинистости ($K_{гл}$) в образцах глинистых пород, отобранных в естественных обнажениях, составляет 0,52–0,62%, что определяет их как глинистые породы с примесью алевритового материала, представленного кристаллокластами кварца, плагиоклазов и калиевых полевых шпатов. Содержание глинистых минералов (ГМ) в количестве более 50%, при отсутствии или незначительном количестве песчаной фракции (менее 5%), свидетельствует о высокой однородности глин. По-видимому, формирование этих глинистых пород происходило в условиях удаленного шельфа в периоды максимальной трансгрессии раннемелового бассейна.

Соотношение различных ГМ в исследованных образцах глинистых пород также подтверждает этот вывод. В составе ГМ преобладают наиболее дисперсные: смектиты, смешанослойные иллит-смектиты и,

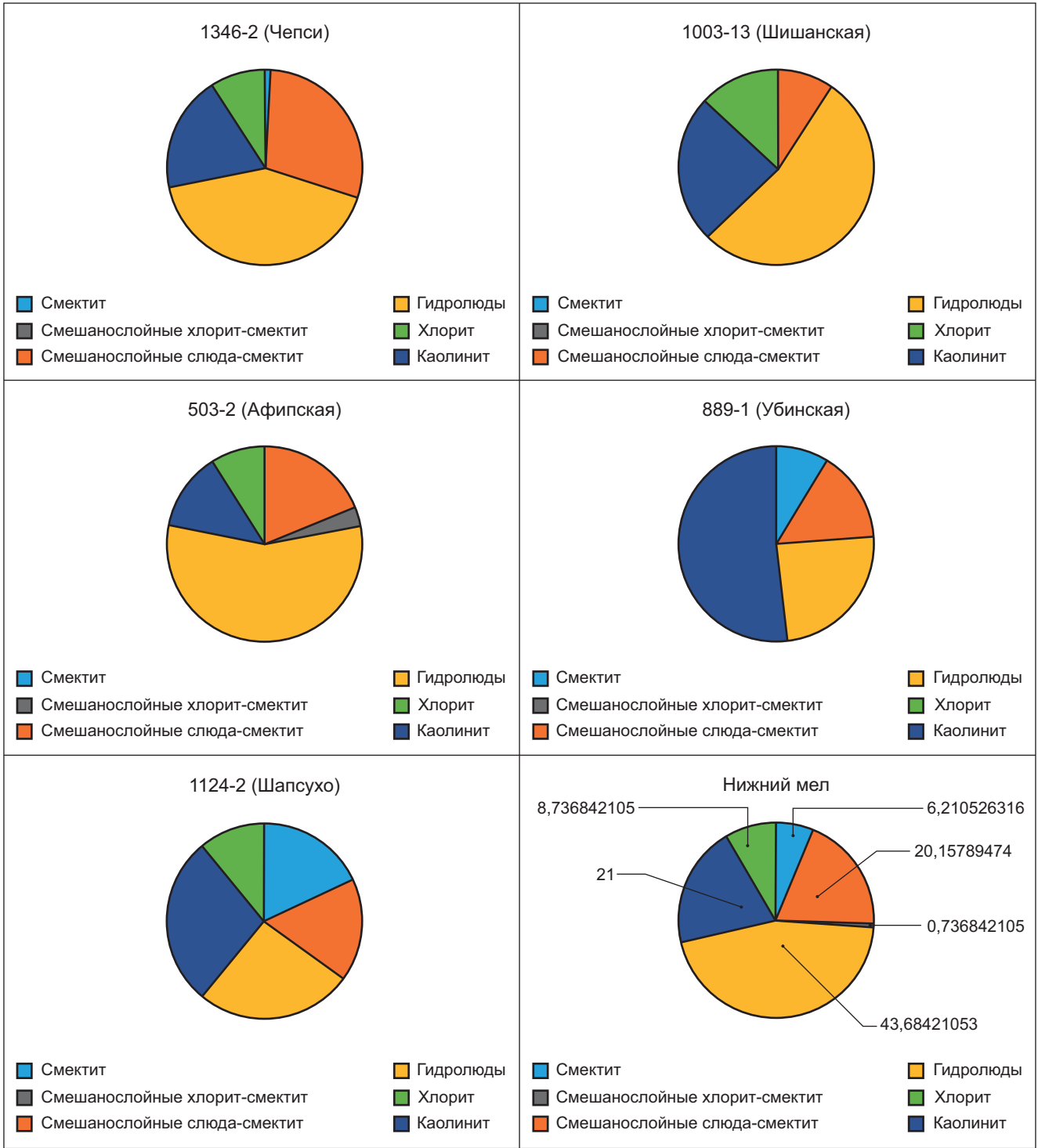


Рис. 8. Соотношение минералов в составе глинистых пород ряда свит и в целом для нижнего мела. Цифры — номера образцов

собственно, иллиты. Коэффициент набухаемости (K_n) глин изменяется от 0,45 до 0,76, а коэффициент дисперсности ($K_{дгм}$) крайне высок — от 0,65 до 0,81. Все минералы группы смектита относятся к разбухающим фазам, также разбухающими являются смешанослойные минералы ряда иллит-смектит. При этом в меньшей степени разбухают иллит-смектиты с преобладанием иллитовых межслоев и в большей степени — с преобладанием смектитовых межслоев [Семенов, 2012].

Таким образом, по данным РФА глины нижнего мела характеризуются как породы с высокими экранящими свойствами, способными обеспечить сохранность не только залежей нефти, но также и газообразных УВ.

Выводы. 1. В начале раннего мела с общим подъемом территории происходило быстрое разрушение верхнеюрских карбонатных рифогенных построек, породы которых заполняли трог Большого Кавказа в виде известняковых брекчий и кон-

гломератов (запорожский горизонт), сменяющихся карбонатно-терригенными толщами берриаса, которые к валанжину (мачмаловская и чаталовская свиты) перекрываются глубоководными флиш-идными, в основном, глинистыми отложениями (чепси, шишанская, афипская, убинская, шапсухо, розначеевская свиты) с конкрециями и линзовидными прослоями сидеритов. Все эти свиты имеют очень схожий литологический состав, в котором преобладают глинистые породы. Это свидетельствует о существовании схожих обстановок седиментации в раннемеловом бассейне данного региона.

2. По данным РФА коэффициент глинистости $K_{гл}$ в образцах глинистых пород, отобранных в естественных обнажениях, составляет 0,52–0,62%, что определяет их как глинистые породы с примесью алевритового материала представленного кристаллокластами кварца, плагиоклазов и калиевых полевых шпатов. Содержание ГМ в количестве более 50% при отсутствии или незначительном количестве песчаной фракции (менее 5%) свидетельствует о высокой однородности глин. Гранулометрический

состав пород подтверждает эти выводы. Формирование этих глинистых пород происходило в условиях удаленного шельфа в периоды максимальной трансгрессии раннемелового бассейна.

3. Соотношение различных ГМ в исследованных образцах глинистых пород также подтверждает вывод о седиментации в дистальной части палеобассейна. В составе ГМ преобладают наиболее дисперсные ГМ: смектиты, смешенослойные фазы иллит-смектита и собственно иллиты.

4. Глины нижнего мела характеризуются как породы с высокими экранирующими свойствами, способными обеспечить сохранность не только залежей нефти, но также и газообразных УВ.

Благодарности. Авторы признательны рецензентам за внимательное прочтение нашей работы, что позволило улучшить текст статьи, а также сотрудникам лабораторий геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова 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

Вялов О.С. Следы жизнедеятельности организмов и их палеонтологическое значение. Киев: Наукова думка, 1966. 220 с.

Гоулдстейн Дж., Джой Д., Лифшиин Э. и др. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. Кн. 1. М.: Мир, 1984. 303 с.

Грабовска-Ольшевска Б., Осипов В.И., Соколов В.Н. Атлас микроструктур глинистых пород. Варшава: Наука, 1984. 414 с.

Корсаков С.Г., Семенуха И.Н., Белуженко Е.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Кавказская. Лист L-37-XXVII (Краснодар). Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. 234 с.

Лидер Н.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.

Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород: В 2 т. / Под ред. Е.М. Сергеева.

2-е изд., перераб. и доп. Т. 2: Лабораторные методы. М.: Недра, 1984. 438 с.

Осипов В. И., Соколов В. Н. Глины и их свойства. М.: ГЕОС, 2013. 576 с.

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

Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А. Микроструктура глинистых пород / Под ред. акад. Е.М. Сергеева. М.: Недра, 1989. 211 с.

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

Семенов Е.О. Оценка экранирующей способности глинистых пород и критерии их герметичности при создании газохранилищ в водоносных пластах // Газовая промышленность. 2012. S (684). С. 19–23.

Фролов В.Т. Генетическая типизация морских отложений. М.: Недра, 1984. 222 с.

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

Статья поступила в редакцию 16.03.2024,
одобрена после рецензирования 21.03.2024,
принята к публикации 19.06.2024