

СТРОЕНИЕ И ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ СЕНОМАН–КОНЬЯКСКОЙ СЕКВЕНЦИИ КРЫМА

© 2024 г. С.Б. Шишлов^{1,2,*}, Е.Г. Панова^{2,**}, К.А. Дубкова^{2,3,***}, А.Б.
Кузнецов^{1,2,****}, В.А. Чеботарева^{1,2,*****}

¹ Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, наб. Макарова, 2, Санкт-Петербург, 199034
Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб., 7–9, Санкт-Петербург,
199034 Россия

³ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Средний пр.,
74, Санкт-Петербург, 199106 Россия

*e-mail: sshishlov@mail.ru

**e-mail: elena-geo@list.ru

***e-mail: ksenya-dubkova@mail.ru

****e-mail: antonbor9@mail.ru

*****e-mail: chebyschek@gmail.com

Поступила в редакцию

После доработки

Принята к публикации

Анализ результатов литологических и геохимических исследований обнажений верхнего мела оврага Аксу-Дере, гор Белая, Сельбухра, Кременная, Кизил-Чигир, рек Бодрак и Биюк-Карысу позволил установить 6 литологических типов пород, выполнить их генетическую интерпретацию и предложить седиментологическую модель условий формирования осадков в обстановках внешнего, среднего и внутреннего рампа. На этой основе в рассматриваемых разрезах установлены следы 7 региональных трансгрессивно-регрессивных циклов, которые использованы для дополнительного обоснования и уточнения корреляционных построений, выполненных ранее преимущественно по палеонтологическим критериям. Показано, что в течение сеноманского – коньякского веков образовалась осадочная секвенция, ограниченная от подстилающих и перекрывающих пород поверхностями несогласия. В ней представлены сеноманский трансгрессивный системный тракт и турон–коньякский тракт высокого стояния. Латеральные изменения слоевой структуры секвенции, выявленные при составлении субмеридионального литолого-генетического профиля, подтверждают положение о том, что позднемеловой эпиконтинентальный бассейн открывался к югу (в современных координатах), и его значительная северная часть, расположенная выше базиса волнений, была мелководной.

Ключевые слова: фациальный анализ, секвенс-стратиграфия, эпиконтинентальный палеобассейн, обстановки осадконакопления, региональные циклы седиментации, палеогеография.

DOI:

Осадочные породы верхнего мела Крыма накопились на периферии гигантского эпиконтинентального моря, затопившего в сеноманском веке значительную южную часть Восточно-Европейской платформы, Скифскую и Туранскую плиты [Алексеев и др., 2005б]. Специфику формировавшихся здесь осадков определяла произошедшая на рубеже раннего и позднего мела глобальная смена бентогенного карбонатообразования планктоногенным [Кузнецов, 2003]. Эта кардинальная перестройка способа осаждения карбонатов, вероятно, была связана с быстрым подъемом уровня моря, сочетавшимся с похолоданием, вызвавшим плотностную стратификацию водной толщи и дефицит кислорода у дна, что привело к сокращению продуктивности бентоса и расцвету планктонных фораминифер и кокколитофорид [Кузнецов, 2003; Левитан и др. 2010].

На территории Крыма сеноман–коньякский стратиграфический интервал, отделенный несогласиями от подстилающих и перекрывающих пород, можно считать результатом первого крупного этапа развития палеобассейна. Его начало связано с затоплением суши в сеномане, а завершение - с коньякской регрессией, которая в раннем сантоне привела к формированию эрозионного несогласия [Никишин и др., 2009; Барабошкин и др., 2016].

В интервале сеноманского – коньякского ярусов выделено 11 пачек [Алексеев, 1989] и установлены белогорская (сеноман), мендерская (нижний турон) и прохладненская (верхний турон – нижний коньяк) свиты [Астахова и др., 1984]. Биостратиграфическое расчленение разрезов опирается на результаты исследований планктонных фораминифер [Маслакова, 1959, 1986], белемнитов и аммонитов [Найдин, Алексеев, 1980, 1981], зональную схему по глоботрунканидам [Кобаевич, 2010]. Палеонтологическими методами показано, что подошва мендерской свиты соответствует границе сеноманского и туронского ярусов [Алексеев и др., 2007; Бадулина, 2007; Бадулина, Кобаевич, 2007; Бадулина и др., 2009].

К настоящему времени предложены три модели, объясняющие причины наблюдаемых в разрезах изменений структурно-вещественных характеристик сеноман-коньякских пород. Это «циклы разбавления», связанные с увеличением поступления терригенного материала с континента во время регрессий [Алексеев, 1989; Алексеев и др., 2007; Бадулина, 2007; Бадулина и др., 200] и/или при гумидизации климата [Габдуллин и др., 2004]; «циклы растворения», обусловленные возникновением дефицита кислорода у дна, что благоприятствовало сохранению органического вещества, продукты разложения которого снижали рН осадка и приводили к растворению карбонатов [Найдин, 1993; Котельников, Найдин, 1999; Габдуллин, 2002; Левитан и др., 2010; Барабошкин, Зибров, 2012]; «циклы биопродуктивности», причиной которых были изменения концентраций питательных веществ и CO₂ в приповерхностном эвфотическом слое обитания планктона [Левитан и др., 2010; Барабошкин, Зибров, 2012; Гаврилов и др., 2022].

В прикровельной части белогорской свиты локализуются «аксудеринские слои», для которых характерны прослои, обогащенные органическим веществом (до 7.2 %), повышенная глинистость, примесь кварц-силикатных зерен, обедненный комплекс фораминифер [Найдин, Кияшко, 1994; Кобаевич, Vishnevskaya, 2016]. Их накопление связывают с глобальным бескислородным океаническим событием (oceanic anoxic event) ОАЕ 2 [Алексеев и др., 2005а; Алексеев и др., 2007; Барабошкин и др., 2016;

Бадулина, 2007; Левитан и др. 2010; Гаврилов и др., 2022]. При этом одни специалисты полагают, что «аксудеринские слои» формировались на глубине около 500–700 м [Алексеев, 1989; Алексеев и др., 2005а; Бадулина и др., 2009; Левитан и др., 2010], а другие считают, что это отложения мелководного бассейна [Алексеев, Найдин, 1970; Котельников, Найдин, 1999; Гаврилов и др., 2022].

Отметим, что, несмотря на высокую степень изученности региона, сочетающейся с существенным интересом к особенностям позднемелового осадконакопления, авторам настоящей статьи не удалось найти ни одной публикации, посвященной региональным седиментологическим и палеогеографическим реконструкциям, выполненным на основе комплексного применения методов фациального анализа, геохимии и секвенс-стратиграфии. В этой работе предпринята попытка хоть отчасти восполнить указанный пробел, предложив модель обстановок седиментации и диагенетических преобразований пород сеноман-коньякского стратиграфического интервала Крыма, обоснованную результатами генетической интерпретации структурно-вещественных и петрохимических характеристик литологических типов слоев и особенностей их пространственно-временных взаимоотношений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Представляемая работа основана на материалах, собранных авторами в 2014–2024 годах при послойном описании естественных обнажений оврага Аксу-Дере, гор Сельбухра, Кременная, Кизил-Чигир, реки Бодрак (рис. 1). При этом тщательно проанализированы и обобщены результаты изучения перечисленных разрезов, опубликованные ранее другими исследователями [Кузьмичева, 2000; Никитин, Болотов, 2006; Алексеев и др., 2007; Бадулина, 2007; Бадулина, Копаевич, 2007; Гаврилов и др., 2022]. Кроме того, использованы характеристики пограничного интервала сеномана и турона, представленные в разрезах горы Белая [Кузьмичева, 2000; Алексеев и др., 2007; Гаврилов и др., 2022] и реки Биюк-Карысу [Латыпова и др., 2019; Гаврилов и др., 2022].

Для уточнения структурно-вещественных характеристик пород проведены петрографические исследования 77 шлифов. Их описание и фотографирование выполнено на микроскопе Leica DM4500 P с микропозиционным столиком (оборудование Научного парка СПбГУ). Количество нерастворимого остатка определено для 69 образцов (рис. 2) в ИГГД РАН.

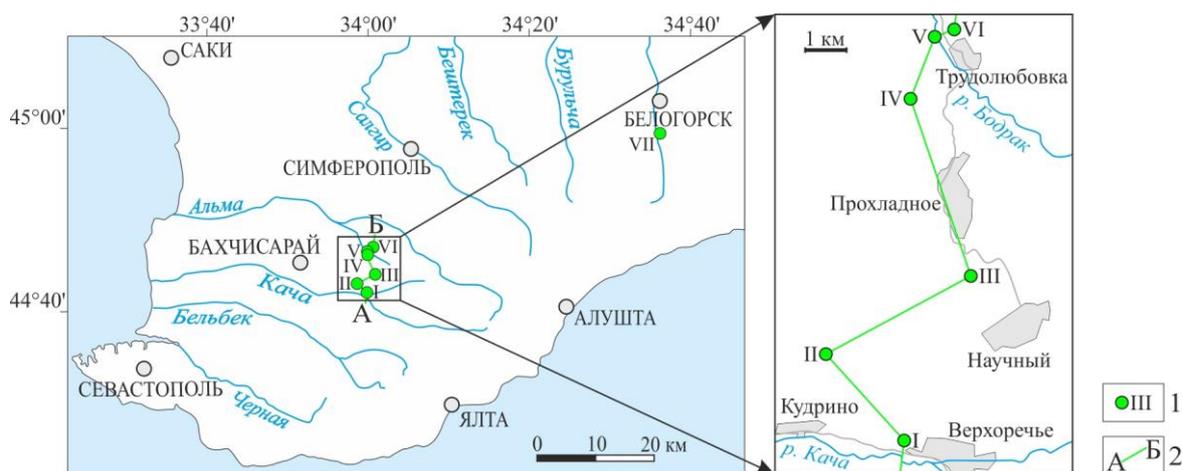


Рис. 1. Схема расположения разрезов. 1 – точки наблюдений и их номера: I – гора Белая, II – овраг Аксу-Дере, III – гора Сельбухра, IV – гора Кременная, V – река Бодрак, VI – гора Кизил-Чигир, VII – река Биюк-Карысу; 2 – линия литолого-генетического профиля.

Для 23 из них (табл.) измерены потери при прокаливании (ППП) при 900°C в лаборатории кафедры геохимии СПбГУ и выполнен силикатный анализ на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре EDX-800P (Ресурсный центр СПбГУ Методы анализа состава вещества).

Методической базой работы стали теоретические положения и подходы фациального анализа, изложенные в многочисленных монографиях [например, Wilson, 1975; Hallam, 1981; Фролов, 1984; Алексеев, 2003; Цейслер, 2009; Flügel, 2010]; седиментологическая концепция и принципы секвенс-стратиграфии [Posamentier, Allen, 1999; Жемчугова, 2014].

По устойчивым сочетаниям первичных признаков (структура, текстура, включения, новообразования, ориктоценозы, ихнофоссилии) выполнена типизация слоев, которые идентифицированы со стандартными микрофациями (СМФ) [Wilson, 1975, 1980; Flügel, 2010].

Генетическая интерпретация установленных литологических типов (ЛТ) опирается на публикации, посвященные процессам седиментации [Irwin, 1965; Busch, 1974; Reineck, Singh, 1975; Selley, 1985; Sedimentary..., 1986; Павлидис, Никифоров, 2007], и анализ установленных в разрезах последовательностей слоев с использованием фациального закона Вальтера [Walter, 1894], гласящего, что обстановки согласно залегающих друг на друге пород граничили на площади.

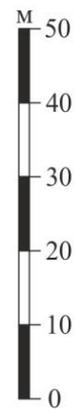
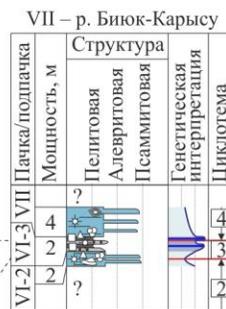
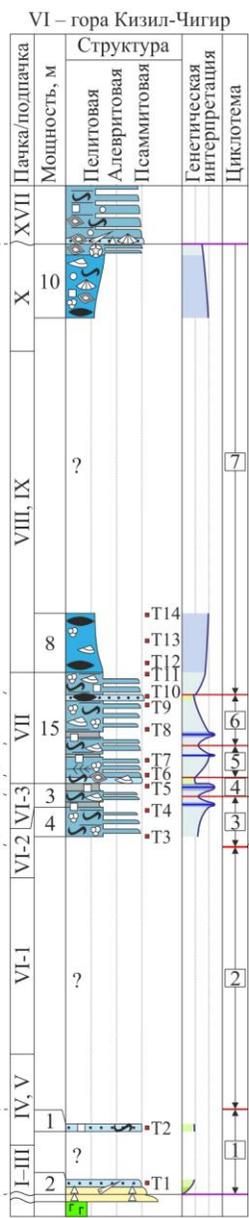
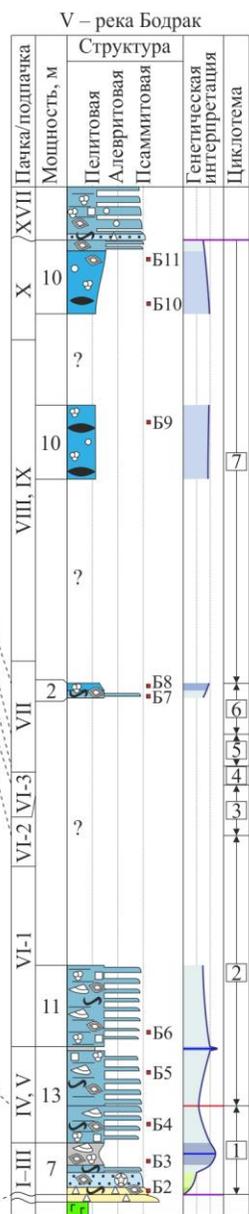
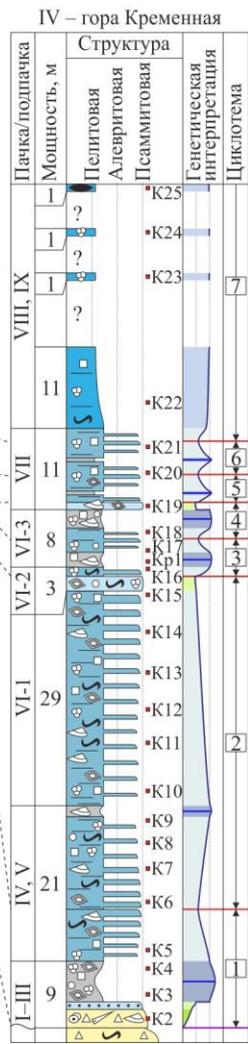
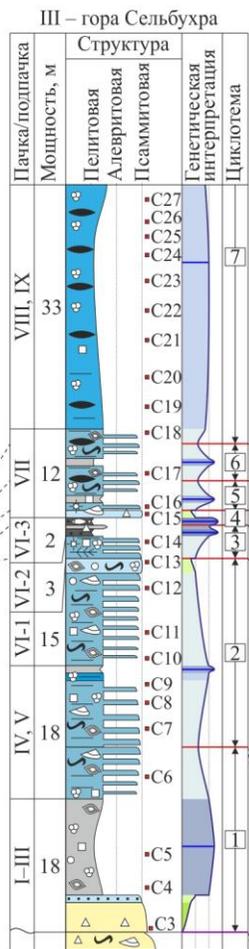
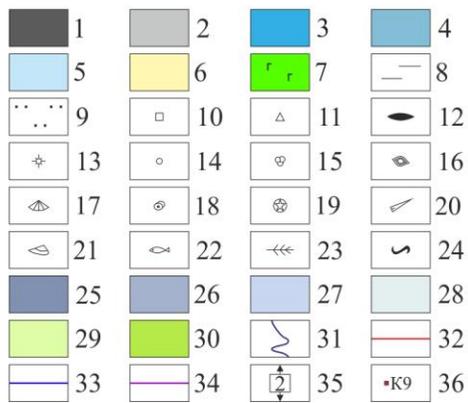
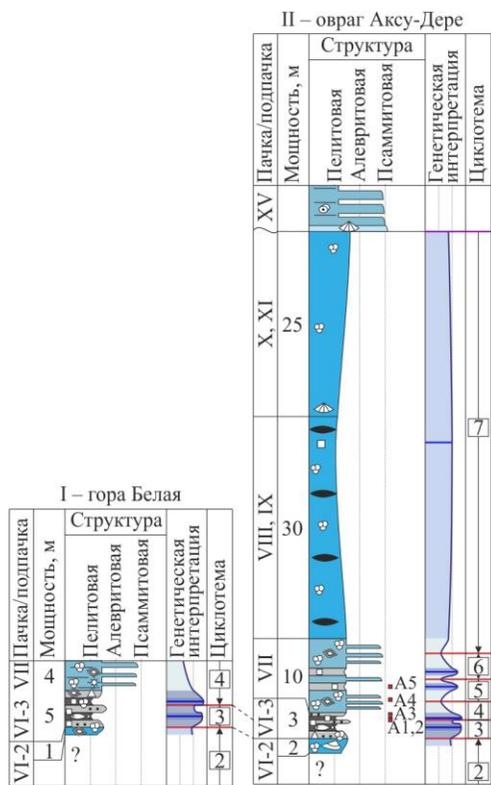


Рис. 2. Корреляция разрезов сеноман-коньякского интервала верхнего мела Юго-Западного и Центрального Крыма. 1–7 – горные породы: 1 – глины и мергели, содержащие более 0.2 % органического вещества (литотип 1), 2 – мергели (литотип 2), 3 – мадстоуны и вакстоуны (литотип 3), 4 – тонкое чередование вакстоунов и пакстоунов (литотип 4), 5 – пакстоуны (литотип 6), 6 – песчаники (литотип 6), 7 – основные эффузивы; 8, 9 – примеси: 8 – глинистость, 9 – песчаность; 10–12 – включения и новообразования: 10 – сульфиды, 11 – глауконит, 12 – кремниевые конкреции; 13–22 – органические остатки: 13 – радиолярии, 14 – кальциферы, 15 – планктонные фораминиферы, 16 – бентосные фораминиферы, 17 – брахиоподы, 18 – криноидеи, 19 – морские ежи, 20 – белемниты, 21 – двустворчатые моллюски, 22 – рыбы; 23 – растительный детрит; 24 – ихнофоссилии; 25–30 – обстановки осадконакопления: 25 – дистальная часть внешнего рампа, 26 – проксимальная часть внешнего рампа, 27 – дистальная часть среднего рампа, 28 – проксимальная часть среднего рампа, 29 – дистальная часть внутреннего рампа, 30 – проксимальная часть внутреннего рампа; 31 – кривая изменений уровня моря; 32 – трансгрессивная поверхность (TS); 33 – поверхность максимального затопления (MFS); 34 – параллельное несогласие; 35 – циклотемы и их номера; 36 – образцы и их номера.

Таблица. Содержания петрогенных оксидов, мас. %

№ образца	Литотип	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП
A1	ЛТ 1	18.83	0.81	5.02	3.35	0.01	0.03	52.35	0.05	1.1	0.01	17.97
K3	ЛТ 2	24.18	0.59	9.72	4.44	0.13	1.12	45.78	0.06	2.33	0.01	11.45
K4	ЛТ 2	32.04	0.34	5.92	2.62	0.01	0.69	51.26	0.06	1.05	0.01	5.84
K16	ЛТ 2	17.13	0.37	6.53	2.83	0.05	0.76	55.68	0.06	1.23	0.01	15.11
Б3	ЛТ 2	24.64	0.31	6.25	2.70	0.15	0.79	50.41	0.05	1.23	0.01	13.18
C20	ЛТ 3	8.64	0.01	2.57	0.91	0.10	0.03	71.00	0.06	0.42	0.01	16.18
C26	ЛТ 3	5.79	0.01	1.21	0.55	0.01	0.03	77.10	0.06	0.27	0.01	14.81
Б11	ЛТ 3	3.46	0.01	0.96	0.49	0.07	0.03	78.63	0.06	0.22	0.01	15.94
C7	ЛТ 4	8.15	0.01	2.65	1.03	0.13	0.03	76.21	0.06	0.51	0.02	11.01
C17	ЛТ 4	7.16	0.01	2.05	0.74	0.16	0.03	75.44	0.06	0.32	0.01	13.89
K5	ЛТ 4	34.96	0.31	5.30	2.11	0.01	0.52	45.60	0.05	0.91	0.01	10.12
K8	ЛТ 4	28.57	0.35	5.22	1.90	0.01	0.69	60.90	0.06	0.81	0.02	1.25
K9	ЛТ 4	26.67	0.32	5.09	1.94	0.01	0.03	60.32	0.06	0.85	0.02	4.27
K11	ЛТ 4	26.63	0.31	5.0	1.98	0.01	0.69	63.23	0.06	0.88	0.02	0.63
K12	ЛТ 4	27.12	0.23	5.11	1.95	0.01	0.63	61.80	0.06	0.86	0.02	1.88
K14	ЛТ 4	23.55	0.01	3.88	1.17	0.01	0.03	65.60	0.06	0.58	0.02	4.92
Б6	ЛТ 4	23.23	0.30	4.29	1.61	0.01	0.03	54.78	0.05	0.73	0.01	14.71
Б7	ЛТ 4	11.38	0.21	2.88	1.27	0.07	0.03	68.36	0.06	0.54	0.01	14.95
A4	ЛТ 4	20.27	0.25	3.01	1.22	0.22	0.03	60.37	0.06	0.56	0.01	13.76
C5	ЛТ 5	14.98	0.01	2.90	1.05	0.01	0.03	65.97	0.06	0.46	0.01	14.40
K2	ЛТ 6	41.56	0.84	17.68	6.89	0.08	0.92	21.74	0.06	8.32	0.01	1.73
C3	ЛТ 6	25.61	1.57	13.40	11.14	0.01	0.93	36.38	0.06	1.63	1.00	8.08
Б2	ЛТ 6	36.76	1.33	15.28	7.16	0.17	1.05	24.59	0.06	8.31	0.01	5.13

Для дополнительного обоснования выполненных реконструкций на основе методики [Юдович, Кетрис, 2000] проведены расчеты петрохимических модулей: гидролизатного (ГМ) = $(Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO + MnO) / SiO_2$; алюмокремниевый (АМ) = Al_2O_3 / SiO_2 ; отношений Fe/Mn и Ti/Mn. Для геохимической характеристики каждого из 6 установленных ЛТ взяты средние значения перечисленных выше параметров.

При разработке модели осадконакопления использованы профиль Ирвина [Irwin, 1965] и концепция карбонатного рампа [Ahr, 1973; Wright, 1986; Burchette, Wright, 1992], которая предполагает деление слабо наклонной поверхности дна на три зоны: внутреннюю, расположенную выше базиса нормальных волн, среднюю – между базисами нормальных и штормовых волн и внешнюю – ниже базиса штормовых волн (рис. 3).

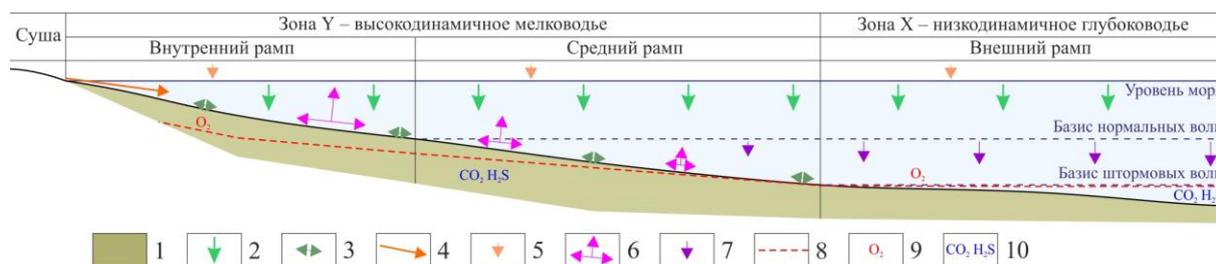


Рис. 3. Условия накопления и диагенетических преобразований осадков в поздне меловом эпиконтинентальном бассейне. 1 – субаквальные отложения; 2, 3 – источники биогенного осадочного материала: 2 – планктон (доминирует) и нектон, 3 – бентос; 4, 5 – терригенный осадочный материал, транспортируемый: 4 – водными потоками, 5 – ветром; 6 – взмучивание и сортировка осадков волнениями; 7 – осаждение алевропелитовых частиц из взвесей; 8 – окислительно-восстановительный барьер; 9 – окислительная среда (присутствие кислорода); 10 – восстановительная среда (присутствие углекислого газа и сероводорода).

Теоретической базой седиментологических построений стали современные представления об особенностях поступающего в поздне меловой эпиконтинентальный бассейн осадочный материала, его перераспределении и диагенетических изменениях (см. рис. 3). В этом палеобассейне основная масса карбонатов и органических веществ продуцировалась в приповерхностном слое воды планктоном – кокколитофоридами и фораминиферами, а нектон и бентос были второстепенными поставщиками осадочного материала [Кузнецов, 2003]. Из этого следует, что по всей площади палеобассейна, вне зависимости от глубины и расстояния от берега, количество и состав оседавших на дно планктоногенных частиц алевропелитовой размерности были приблизительно одинаковыми. Кварц-силикатный материал транспортировался в море с эродируемой суши водными потоками и ветром. Его количество, максимальное в прибрежной зоне, сокращалось по мере удаления от нее.

В высокодинамичной мелководной зоне Y под действием волн происходила сортировка осадков. Карбонатные и терригенные псаммитовые частицы, размером более 0.05 мм, концентрировались преимущественно в области внутреннего рампа (проксимальная часть зоны Y), образуя аккумулятивные положительные формы

рельефа (подводные валы, отмели, пляжи). Алевропелитовый материал (менее 0.05 мм) переходил во взвесь, которая оседала на дно в обстановках с низкой гидродинамикой. Это средний (переходная область зоны Y) и внешний рамп (зона X).

Особенности диагенетических преобразований осадков в существенной степени контролировало положение окислительно-восстановительного барьера относительно поверхности дна (см. рис. 3). Там, где он располагался в толще воды, органическое вещество подвергалось анаэробному разложению, и его значительная часть переходила в ископаемое состояние. Выделявшиеся при этом кислоты растворяли карбонаты, в первую очередь микритовые, что повышало долю нерастворимых, преимущественно кварц-силикатных, частиц [Габдуллин, 2002; Левитан и др., 2010; Барабошкин, Зибров, 2012]. В зонах бассейна, расположенных выше базиса волнений, окислительно-восстановительный барьер находился ниже поверхности дна. Здесь происходило интенсивное аэробное разложение органического вещества, которое не сохранялось в ископаемом состоянии. Выделявшиеся при этом продукты удалялись из осадков за счет перемешивания волнами и ихнофауной. В результате сохранялись щелочные значения рН, не благоприятные для растворения карбонатов.

Модель условий осадконакопления и диагенетических преобразований, разработанная на основе представленных выше положений, позволила для каждого рассматриваемого разреза построить кривую колебания уровня моря, определить локализацию трансгрессивных поверхностей (TS), при пересечении которых фиксируются признаки увеличения глубины бассейна, и поверхностей максимального затопления (MFS), над которыми появляются признаки обмеления [Posamentier, Allen, 1999]. Таким образом, в разрезах установлены трансгрессивно-регрессивные последовательности слоев – циклотемы (см. рис. 2). Они стали основой детальной корреляции разрезов. При этом были учтены результаты биостратиграфических исследований [Алексеев и др., 2007; Бадулина, 2007; Бадулина, Копаевич, 2007; Бадулина и др., 2009; Копаевич, 1997], а также диагностические характеристики пачек [Найдин, Алексеев, 1981; Алексеев, 1989] и свит [Астахова и др., 1984].

В результате получен комплексно обоснованный геохронологический каркас с изохронными уровнями, соответствующими TS и MFS. Он позволил построить субмеридиональный литологический профиль, отражающий пространственно-временные изменения рассматриваемого стратиграфического интервала.

В связи с тем, что слоевая структура циклотем обусловлена миграцией обстановок осадконакопления при повышении и понижении уровня моря [Головкинский, 1868], анализ их латеральных изменений от разреза к разрезу обеспечивает возможность реконструировать направление смены глубоководных обстановок осадконакопления мелководными, ориентировку береговой линии.

Реконструкция палеогеографической ситуации выполнена на основе интеграции генетической интерпретации ЛТ, корреляционных построений и анализа латеральных изменений изохронных интервалов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Литологические типы слоев и обстановки их формирования

В разрезах сеноман-коньякского интервала (см. рис. 2) установлено шесть литологических типов слоев (ЛТ).

ЛТ 1. Глины известковые и мергели, песчанистые, алевритистые, буровато-черные, содержащие более 0.2 % (до 8 %) органического вещества (рис. 4, а–в). В карбонатно-глиняный микрит погружены редкие раковины планктонных фораминифер, полости которых заполняет органическое вещество, мелкий раковинный детрит, зерна кварца (до 30 %) алевритовой, реже тонкопесчаной (0.05 – 0.1 мм) размерности, чешуйки слюды, выделения сульфидов, фосфатные фрагменты рыб, спикулы кремниевых губок и радиолярии. Присутствуют единичные мелкие ходы илоедов ихнофагии *Nereites*. Многочисленные линзовидные (толщина до 0.05 мм, длина до 0.25 мм) скопления тонкодисперсного органического вещества намечают горизонтальную слоистость, подчеркнутую плитчатой отдельностью.

Эти породы, относящиеся к СМФ 1, вероятно, накапливались ниже базиса волнений в застойных условиях дистальной области внешнего рампа. Здесь окислительно-восстановительный барьер располагался выше поверхности дна, и разложение органического вещества происходило в анаэробных условиях (см. рис. 3). Ее значительная часть переходила в ископаемое состояние, а кислые иловые воды растворяли карбонаты, что повышало долю глины, алевритовых и песчаных частиц, биогенных кремниевых и фосфатных фрагментов.

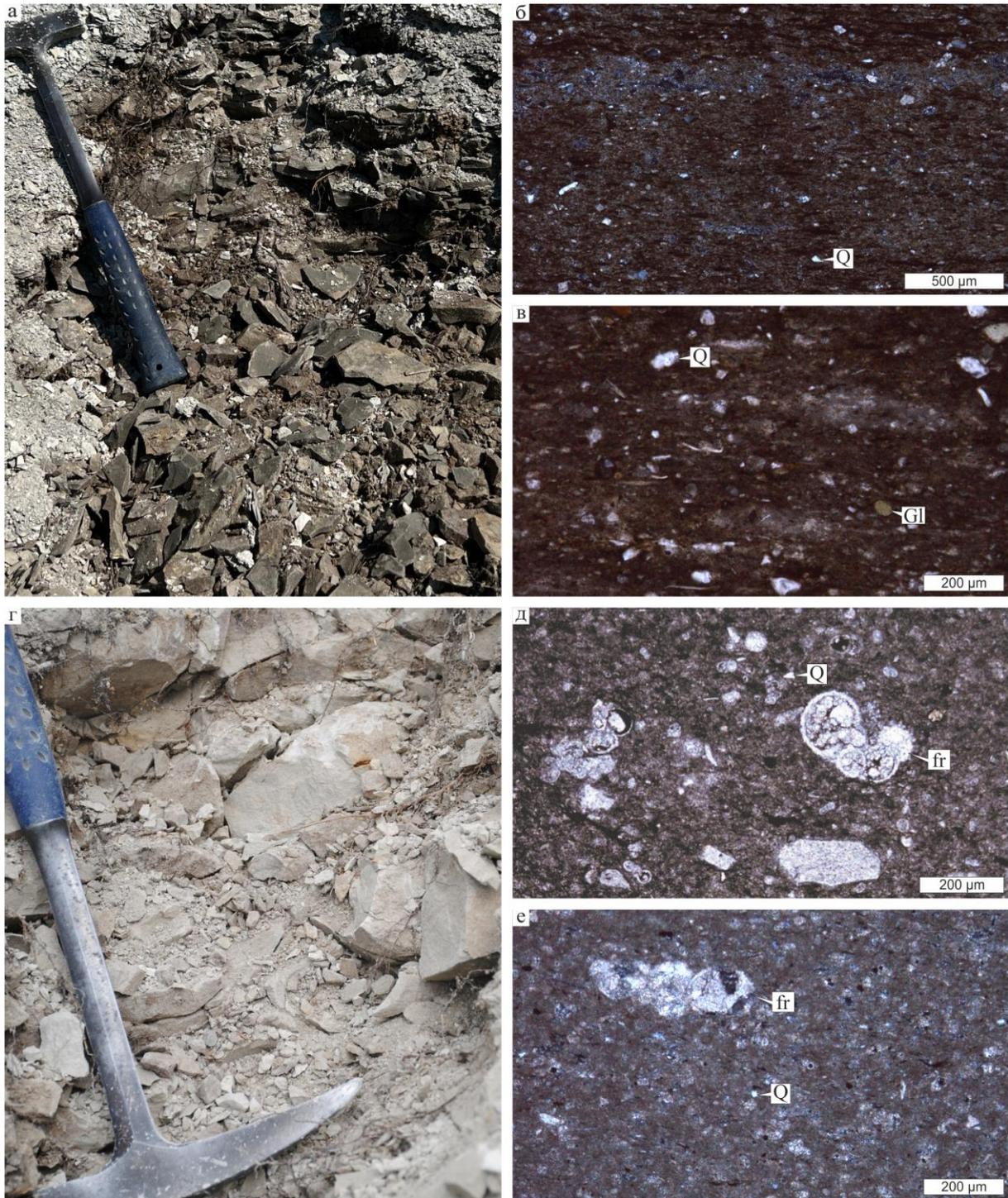


Рис. 4. Отложения внешнего рампа: глины (а–в) – ЛТ 1, мергели – ЛТ 2 (г–е) в обнажениях (а, г) и шлифах (б, е – николи X; в, д – николи II). Белогорская свита: а – гора Сельбухра; б, в, е – овраг Аксудере, г, д – гора Кременная. Q – кварц, Gl – глауконит, fr – фораминиферы.

ЛТ 2. Мергели алевритистые и песчанистые, серые и темно-серые, с горизонтальной слойчатостью, подчеркнутой плитчатой отдельностью (рис. 4, г–е). В сильно глинистый карбонатный микрит погружены раковины планктонных, реже

бентосных фораминифер, полости которых часто заполняет органическое вещество, фрагменты тонких карбонатных игл, и мелкий неопределимый раковинный детрит. Обломки кварца алевритовой и песчаной размерности (0.005–0.25 мм) составляют от 5 до 10 % породы. Присутствуют створки иноцерамов, чешуйки слюды, зерна глауконита, желваковые стяжения сульфидов, единичные ромбоэдры доломита, фосфатные фрагменты рыб, радиолярии и редкие следы ихнофагии *Nereites*.

Такие породы, относящиеся к СМФ 3, по-видимому, формировались ниже базиса волнений в обстановках проксимальной области внешней рампы, там, где окислительно-восстановительный барьер приблизительно совпадал с поверхностью дна (см. рис. 3). Присутствующего здесь кислорода хватало для жизнедеятельности бентосных организмов и почти полного разложения органического вещества. Выделявшиеся при этом углекислый газ, сероводород и органические кислоты приводили к снижению рН иловых вод и растворению кальцита. В результате в породах фиксируются низкое содержание органического вещества, повышенная доля алевритовых и тонкопесчаных терригенных зерен, кремниевых и фосфатных органогенных фрагментов.

ЛТ 3. Кальцитовые мадстоуны и вакстоуны детрито-фораминиферовые, часто глинистые, от светло-серых до белых, массивные или с пологоволнистой слойчатостью, намечаемой изменениями содержаний форменных элементов и глинистой примеси, подчеркнутой плитчатым расколом породы (рис. 5, а–в). В глинисто-карбонатную микритовую массу погружены форменные элементы (до 45 %), представленные раковинами планктонных, реже бентосных, фораминифер, размером до 0.25 мм (их полости иногда заполняет халцедон), кальцисферы, редкие фрагменты двустворок длиной до 0.5 мм, мелкий неопределимый раковинный и углефицированный растительный детрит, алевритовые (до 0.05 мм) и песчаные (0.05–0.1 мм) зерна кварца (менее 5 %). Характерны текстуры биотурбации, следы илоедов ихнофагий *Nereites* и *Zoophycos*. Присутствуют чешуйки слюды, единичные зерна глауконита и фосфатов, ромбоэдры доломита, стяжения сульфидов, желваковые и лепешковидные (длина до 80 см, высота до 5 см) конкреции темно-серых или светло-бурых кремней.

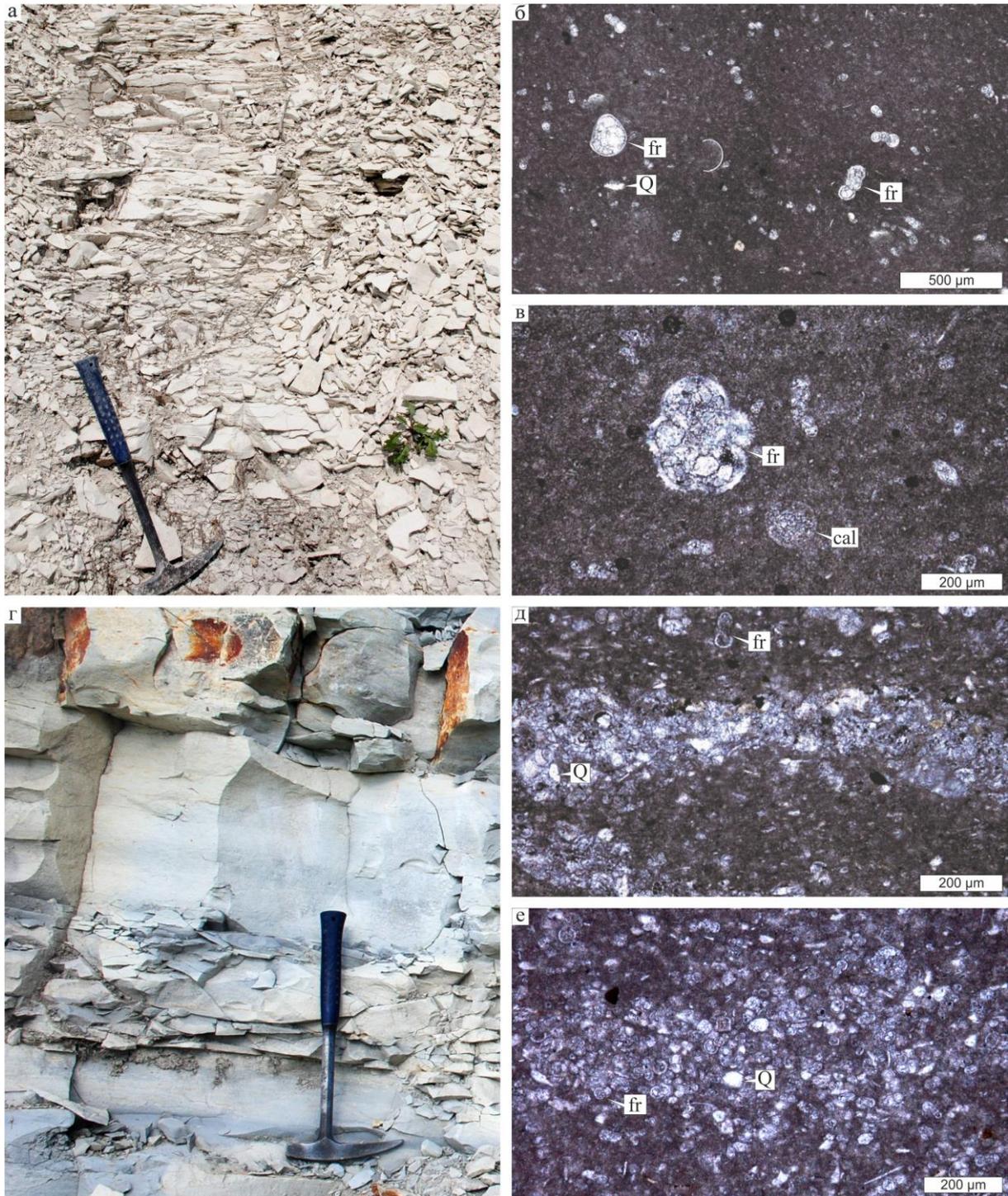


Рис. 5. Отложения среднего рампа: мадстоуны и вакстоуны (а-в) – ЛТ 3, чередование вакстоунов и пакстоунов (г-е) – ЛТ 4 в обнажениях (а, г) и шлифах (в – николи X; б, д, е – николи II). а-в – мендерская свита, гора Кременная; г, д – белогорская свита, гора Кременная; е – мендерская свита, овраг Аксу-Дере. Q – кварц, fr – фораминиферы, cal – кальцисферы.

Эти известняки, относящиеся к СМФ 8–9, по-видимому, накапливались в дистальной части переходной зоны карбонатного рампа между базисами нормальных и штормовых волн, в условиях изменчивой гидродинамики и удовлетворительной

аэрации придонных вод (см. рис. 3). Здесь слабое воздействие штормовых волн не приводило к существенному перераспределению и сортировке осаждавшегося материала, но насыщало приповерхностную часть осадков кислородом. Его хватало для активной жизнедеятельности бентоса и полного разложения органического вещества. Углекислый газ и органические кислоты при перемешивании удалялись, что приводило к сохранению относительно высоких значений рН, не благоприятных для растворения карбонатов. Можно предположить, что структурно-вещественные особенности таких осадков ближе всего к составу материала, поступавшего на дно из толщи воды. Это преимущественно микритовый планктоногенный кальцит, мелкие обломки бентоса и небольшое количество терригенных частиц.

ЛГ 4. Тонкое (масштаб до 3 см) линзовидно-полосчатое, часто интенсивно биотурбированное, чередование кальцитовых вакстоунов фораминиферовых глинистых серых и пакстоунов детритово-кальцисферово-фораминиферовых светло-серых (рис. 5, г–е). Присутствуют единичные слойки мергелей темно-серых. Линзовидно-полосчатую текстуру подчеркивает плитчатая отдельность. Породы содержат раковины планктонных и бентосных фораминифер, полости которых иногда заполнены опалом или органическим веществом, кальцисферы, фрагменты иноцерамов, иглы морских ежей диаметром до 0.05 мм, мелкий неопределимый раковинный детрит, следы ихнофагии *Zoophycos* и *Stuziana*, зерна кварца (1–15 %) преимущественно алевритовой (0.005–0.05 мм), реже тонкопесчаной (до 0.1 мм) размерности, чешуйки слюды, глауконит, стяжения сульфидов, единичные углефицированные фрагменты растений.

Эти известняки следует отнести к СМФ 10. Видимо, они накапливались в проксимальной части переходной зоны среднего рампа (см. рис. 3). Здесь штормовые волны сортировали осадки, формируя небольшие положительные формы из частиц алевритовой и псаммитовой размерности: карбонатных (доминируют) и кварцевых. В депрессиях, разделяющих подводные валы, концентрировался пелитовый карбонатный и кварц-силикатный материал.

Такие чередования образуют слои двух видов. Для первого характерно увеличение доли слойков пакстоунов от подошвы к кровле, что свидетельствует об увеличении интенсивности воздействия штормовых волн, которое можно связать с падением уровня моря, т.е. с регрессией. Слои второго вида отличаются увеличением снизу-вверх количества и толщины слойков вакстоунов. Вероятно, это следствие

постепенного снижения сортирующей активности штормовых волн за счет увеличения глубины палеобассейна во время трансгрессии.

ЛТ 5. Кальцитовые пакстоуны детрито-кальцисферово-фораминиферовые светло-серые (рис. 6, а–в). Форменные элементы, размером от 0.05 до 0.5 мм, представлены раковинами планктонных и бентосных фораминифер, кальцисферами, фрагментами (иногда до 3 мм) иноцерамов, панцирей и игл морских ежей, алевритовыми и песчаными (до 0.1 мм) зернами кварца, чешуйками слюды, глауконитом (1–2 %). Общее содержание терригенных обломков может достигать 40 %. Цемент микритовый глинисто-карбонатный поровый, участками базальный. Полости раковин фораминифер заполняют спаритовый кальцит с кристаллами доломита, глауконит, халцедон, иногда органическое вещество. Слабо выраженная ориентировка детрита и его скопления намечают волнистую и линзовидную слоичатость. Характерны текстуры биотурбации, разнонаправленные ходы илоедов ихнофагии Skolithos.

Такие слои можно отнести к СМФ 11. Их псаммитовая структура, волнистая и линзовидная слоичатость свидетельствуют о накоплении выше базиса нормальных волнений в динамичных условиях внутренней рампы с хорошей аэрацией придонных вод (см. рис. 3). Здесь пелитовая и алевритовая фракции переходили во взвеси, осаждаась в менее динамичных обстановках. Это увеличивало долю псаммитовых частиц: карбонатных биогенных (доминируют) и кварцевых. Благодаря постоянному перемешиванию, у дна и в осадках присутствовал кислород, который обеспечивал жизнедеятельность бентоса и разложение органического вещества. Выделявшиеся при этом продукты удалялись, что сохраняло щелочные значения рН.

ЛТ 6. Песчаники, от среднезернистых у основания слоя до мелкозернистых у его кровли, аркозовые глауконитистые (от 5 % внизу до 15 %верху), зеленовато-серые, с косою разнонаправленной слоичатостью (рис. 6, г–е). Их образуют хорошо и средне окатанные песчинки, полевых шпатов, кварца, кремней и основных эффузивов. Зерна глауконита часто окислены. Присутствуют мусковит, фрагменты раковин иноцерамов, ростры белемнитов, членики криноидей, бентосные фораминиферы и зубы акул, мелкий углефицированный детрит наземных растений. Снизу-вверх увеличивается содержание глинистой примеси и микритового карбоната. Цемент поровый и пленочный халцедоново-опаловый.

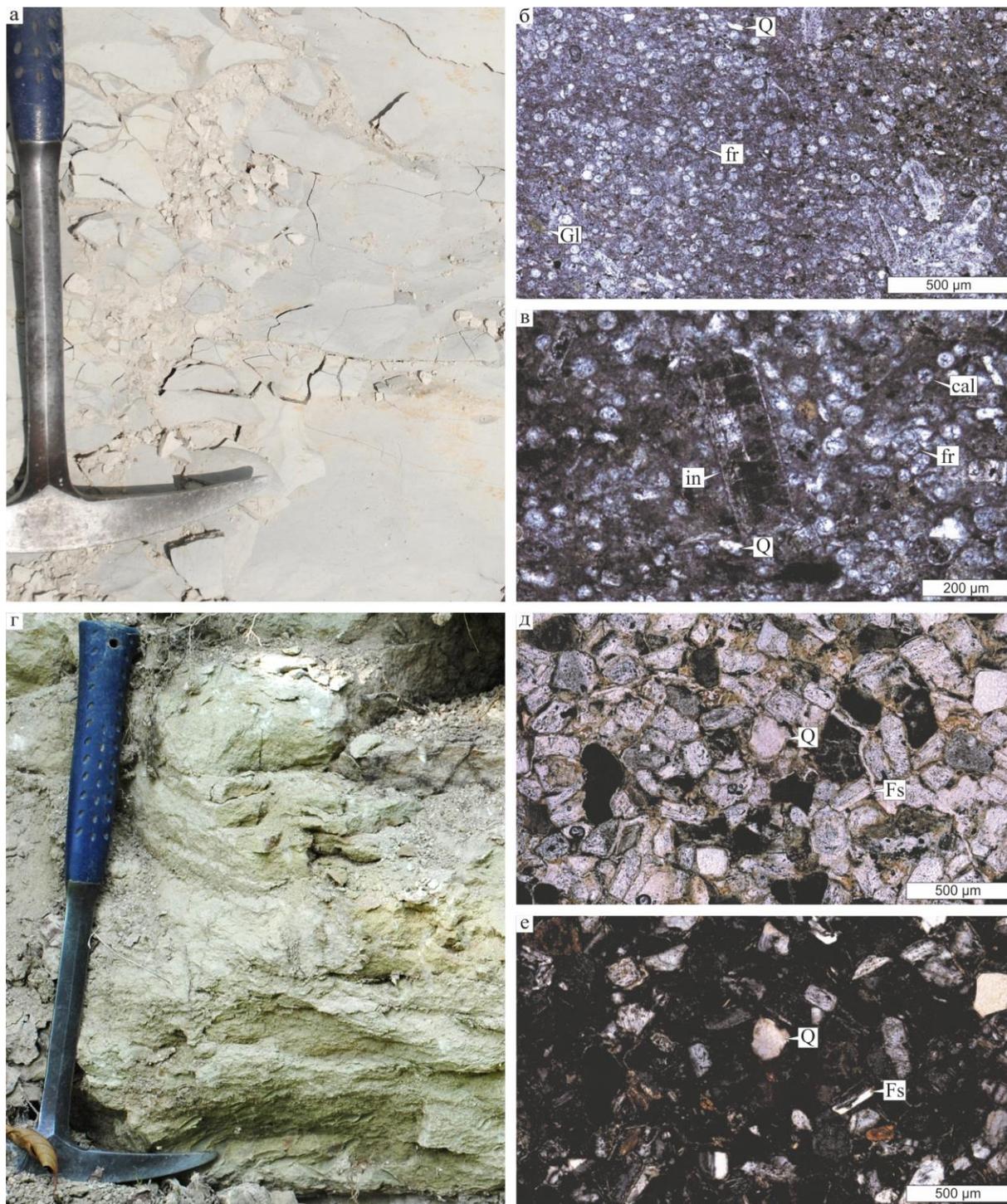


Рис. 6. Отложения внутреннего рампа: пакстоуны (а-в) – ЛТ 5, песчаники (г-е) – ЛТ 6 в обнажениях (а, г) и шлифах (б, в, д – николи II; е – николи X). Белогорская свита: а, б, в – гора Кременная; г, д, е – река Бодрак. Q – кварц, Fs – полево шпат, Gl – глауконит, fr – фораминиферы, cal – кальциферы, in – фрагмент призматического слоя раковины *Inosegatus*.

Эти осадки можно считать вариацией СМФ 14. Они, по-видимому, образуют трансгрессивный лаг, сформировавшийся при затоплении суши в начале сеноманского

века. Их псаммитовая структура и косая разнонаправленная слойчатость указывают на высокую волновую гидродинамику прибрежного мелководья внутреннего рампа (см. рис. 3). О нормальной солености свидетельствуют остатки морской фауны. Уменьшение размера частиц и увеличение доли алевропелитовой примеси от основания к кровле слоя, вероятно, являются следствием увеличения глубины.

Модель, представленная на рис. 7 а, обобщает рассмотренные выше реконструкции условий формирования установленных ЛТ, каждый из которых, по-видимому, накапливался в особой обстановке и видоизменялся специфическими процессами диагенеза. Это наиболее глубоководные дистальная (ЛТ 1) и проксимальная (ЛТ 2) области внешнего рампа; дистальная (ЛТ 3) и проксимальная (ЛТ 4) области переходной зоны; дистальная (ЛТ 5) и проксимальная (ЛТ 6) области мелководья внутреннего рампа.

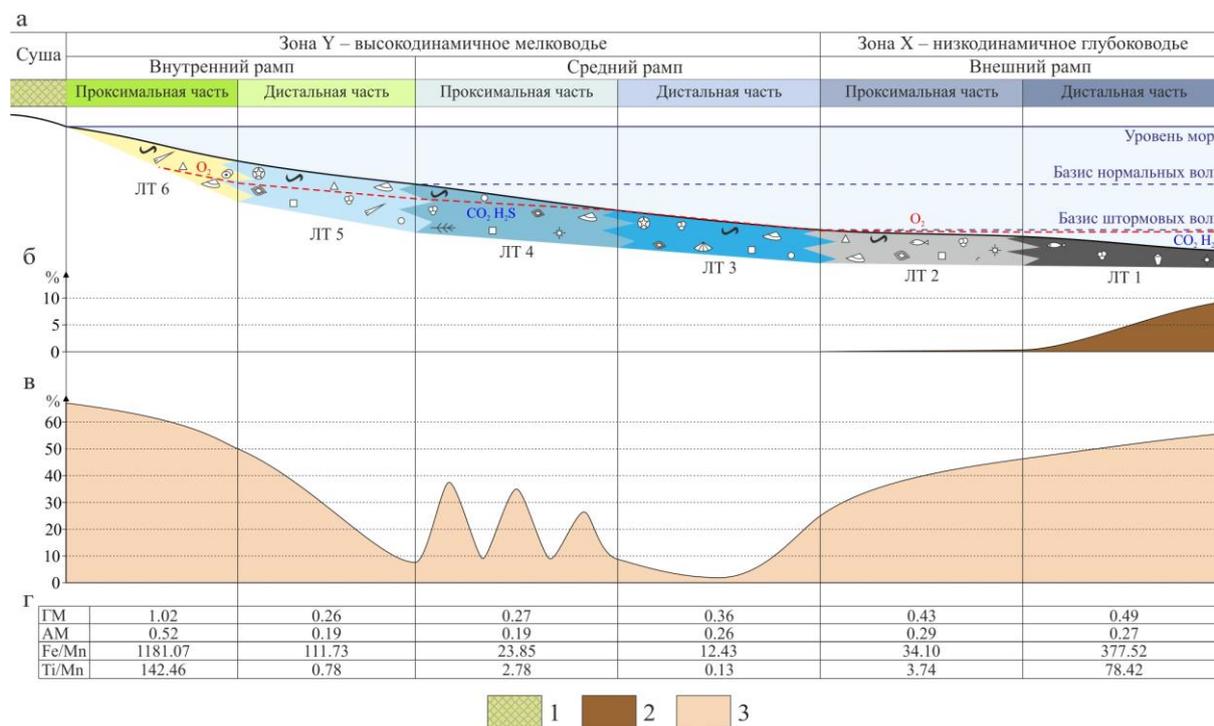


Рис. 7. Реконструкция условий накопления и диагенетических преобразований литологических типов слоев (а), объясняющая изменения содержаний органического вещества (б), нерастворимого остатка (в) и петрохимических характеристик (г) пород сеномана–коньяка Крыма. 1 – суша; 2 – органическое вещество; 3 – нерастворимый остаток. Остальные условные обозначения см. на рис. 2, 3.

Предлагаемая реконструкция хорошо объясняет особенности содержаний органического вещества (см. рис. 7 б), заимствованных из публикаций [Алексеев и др., 2007; Левитан и др., 2010; Гаврилов и др., 2022], нерастворимого остатка (см. рис. 7 в),

а также средние значения петрохимических модулей (ГМ, АМ) и отношений Fe/Mn и Ti/Mn, установленных для ЛТ (см. рис. 7 г).

Максимальное количество органического вещества (до 8 %), характерное для ЛТ 1, вероятно, связано с наиболее глубоководными анаэробными условиями дистальной части внешнего рампа. Высокую долю кварц-силикатных, кремниевых и фосфатных частиц в отложениях внешнего рампа (ЛТ 1, ЛТ 2), учитывая существенную удаленность этой зоны от суши – источника терригенного материала –, логично считать результатом диагенетического разложения (выщелачивания) карбонатов кислыми растворами.

Низкое содержание нерастворимого остатка (2–8 %), установленное для ЛТ 3, может быть следствием небольших объемов терригенного вещества, поступавшего из существенно удаленной питающей провинции, которые сочетались с сохранением в щелочных условиях диагенеза всех планктоногенных карбонатных частиц, поступавших из толщи воды на дно дистальной части среднего рампа. Существенные колебания количества нерастворимых компонентов от 7 до 38 %, установленные в слоях ЛТ 4, вероятно, являются результатом контрастных изменений гидродинамики в дистальной части среднего рампа. Здесь за счет сортировки осадочного материала штормовыми волнами формировались темпеститовые слои пакстоунов с повышенной долей кварц-силикатных песчинок, а в промежутках между штормами накапливались вакстоуны со свойствами, близкими к ЛТ 3, но часто существенно глинистые. В отложениях внутреннего рампа (ЛТ 5, ЛТ 6), формировавшихся в области постоянных волнений, количество нерастворимого остатка увеличивается по направлению к берегу от 7 до 65 % за счет приближения к питающей провинции и усиления сортирующей работы волн, которые удаляли из осадка и переводили во взвесь алевропелитовые, преимущественно карбонатные, частицы.

При сравнении ЛТ 6–ЛТ 3 внутреннего и среднего рампа, фиксируется последовательное уменьшение средних значений модулей ГМ, АМ и соотношений Fe/Mn, Ti/Mn (см. рис. 7 г), которые, по-видимому, отражают увеличение глубины палеобассейна по мере удаления от суши [Розен и др., 1994]. Эту тенденцию нарушают породы ЛТ 2 и особенно ЛТ 1, накопившиеся в обстановках внешнего рампа. Установленные для них значения рассматриваемых петрохимических параметров повышаются, что можно считать результатом диагенетических процессов анаэробного

разложения и захоронения органического вещества, выщелачивания и гидролиза [Юдович, Кетрис, 2000].

*Региональные циклы седиментации, строение секвенции и эволюция
палеогеографической ситуации*

Рассматриваемый стратиграфический интервал (см. рис. 8), ограниченный от подстилающих и перекрывающих пород несогласными поверхностями, представляет собой сеноман–коньякскую осадочную секвенцию. Она, как показывает выполненная корреляция (см. рис. 2), сформировалась в течение 7 региональных трансгрессивно-регрессивных циклов седиментации, которые образовали парасеквенсы (трехмерные геологические тела). Их одномерными сечениями являются установленные в разрезах циклотемы, идентифицированные во всех частных разрезах.

На субмеридиональном профиле секвенции (см. рис. 8) хорошо видно, что на юге доминируют отложения внешнего (ЛТ 1, ЛТ 2) и дистальной части среднего (ЛТ 3) рампа. К северу их доля постепенно сокращается за счет фациального замещения накоплениями проксимальной части среднего (ЛТ 4) и внутреннего (ЛТ 5) рампа. Эти особенности подтверждают положение о том, что палеобассейн углублялся с севера на юг¹ [Бадулина, 2007; Бадулина, Копаевич, 2007; Левитан и др., 2010], а его береговая линия простиралась приблизительно с запада на восток.

В составе секвенции представлены сеноманский трансгрессивный системный тракт (TST) и турон – коньякский тракт высокого стояния уровня моря (HST).

TST формировался в течение 1–3 циклов седиментации и трансгрессивной фазы 4 цикла (см. рис. 8). В приподошвенной части 1 циклотемы локализуются образующие трансгрессивный лаг песчаники ЛТ 6, которые накапливались при затоплении суши (см. рис. 9). В это время береговая линия мигрировала с юга – юго-востока на север – северо-запад. В результате прибрежное мелководье постепенно сменяли обстановки дистальной части внутреннего рампа (ЛТ 6), а затем и среднего рампа.

¹ Здесь и далее при описании конфигурации палеобассейна и взаимного положения обстановок осадконакопления используются современные координаты.

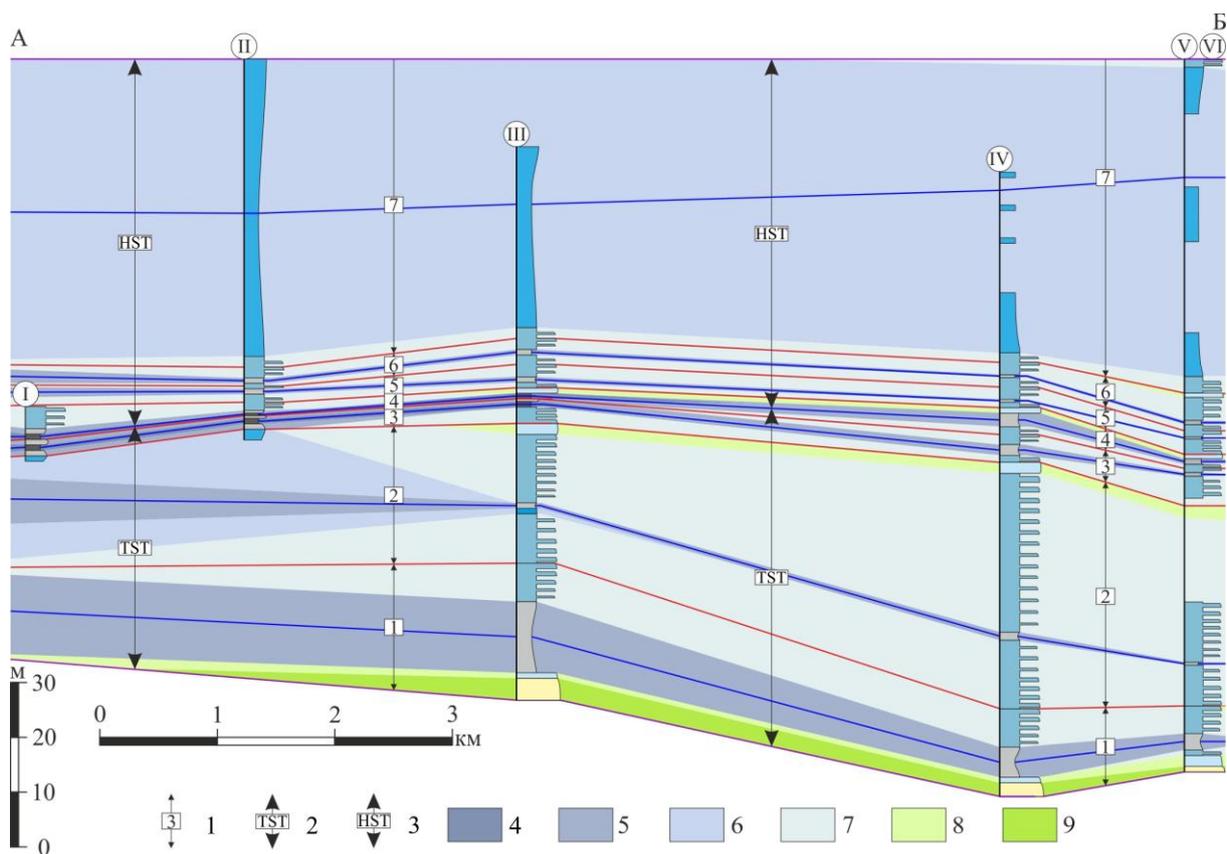


Рис. 8. Субмеридиональный литолого-генетический профиль сеноман–коньякской секвенции в междуречье Кача–Бодрак. 1 –циклотемы (парасеквенсы) и их номера; 2 – трансгрессивный системный тракт; 3 – системный тракт высокого стояния; 4–9 – обстановки накопления литологических типов слоев: 4 – дистальная часть внешнего рампа (ЛТ 1), 5 – проксимальная часть внешнего рампа (ЛТ 2), 6 – дистальная часть среднего рампа (ЛТ 3), 7 – проксимальная часть среднего рампа (ЛТ 4), 8 – дистальная часть внутреннего рампа (ЛТ 5), 9 – проксимальная часть внутреннего рампа (ЛТ 6). Остальные условные обозначения см. на рис. 2. Линию профиля и расшифровку номеров обнажений см. на рис. 1. Разрезы выровнены по кровле секвенции.

В циклотемах 1, 2 (см. рис. 8) представлено трансгрессивно-регрессивное чередование осадков дистальной части внутреннего рампа (ЛТ 5), среднего рампа (ЛТ 4, ЛТ 3) и проксимальной части внешнего рампа (ЛТ 2). Доля пакстоунов ЛТ 5 увеличивается на север, а к югу их замещают чередования пакстоунов и вакстоунов ЛТ 4. Такую слоевую структуру можно считать следствием того, что перечисленные выше обстановки при подъеме уровня моря последовательно смещались к северу – северо-западу, а при его падении мигрировали на юг – юго-восток.

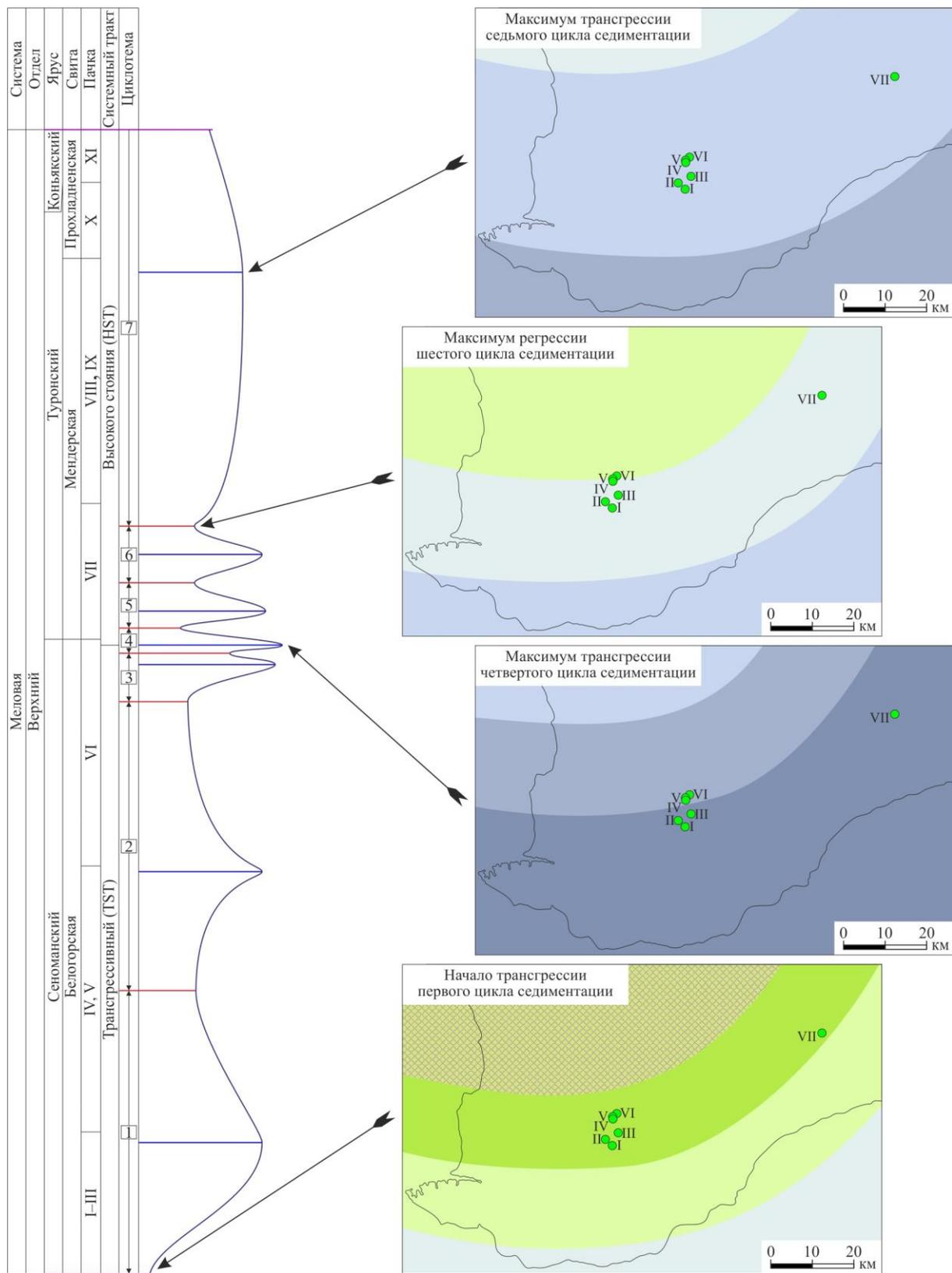


Рис. 9. Эволюция палеогеографической ситуации в поздне меловом эпиконтинентальном бассейне при формировании сеноман–коньякской секвенции Крыма. Условные обозначения см. на рис. 1, 2 и 8.

Прикровельную часть TST образуют «аксудеринские слои» (циклотема 3 и нижняя часть циклотемы 4), накопившиеся в обстановках внешнего рампа (ЛТ 2, ЛТ 1). На максимуме трансгрессии 4 цикла они занимали большую часть рассматриваемой площади (см. рис. 9). С юга на север наиболее глубоководные, обогащенные органическим веществом, отложения ЛТ 1 замещают осадки проксимальной части внешнего рампа – мергели типа ЛТ 2.

Сверху TST ограничивает поверхность максимального затопления 4 циклотемы, которая располагается немного ниже палеонтологически обоснованной границы сеномана и турона [Алексеев и др., 2007; Бадулина, 2007; Бадулина, Копаевич, 2007; Бадулина и др., 2009; Копаевич, 1997].

HST образуют осадки регрессивной фазы 4, 5–7 циклов седиментации (см. рис. 8). Здесь доминируют отложения среднего рампа – ЛТ 3 и ЛТ 4. Трансгрессивные максимумы 5, 6 циклотем маркируют мергели проксимальной части внешнего рампа. Пакстоуны ЛТ 5 внутреннего рампа, установленные в прикровельных частях 4 и 6 циклотем на севере (разрезы р. Бодрак и горы Кизил-Чигир), подчёркивают максимумы регрессий.

Палеогеографические схемы, составленные для регрессивного максимума 6 и трансгрессивного максимума 7 циклов седиментации (см. рис. 9), иллюстрируют положение о том, что наблюдаемые в обнажениях особенности слоевой структуры определяла трансгрессивно-регрессивная миграция обстановок внешнего, среднего и внутреннего рампа. При этом набор обстановок осадконакопления и направление увеличения глубины палеобассейна к югу – юго-востоку оставались неизменными.

Верхняя часть отложений 7 цикла седиментации, а, возможно, и следующих за ним циклов осадконакопления коньякского века, размыты в раннем сантоне [Барабоскин и др., 2016]. При этом глубина эрозионного вреза увеличивается с юга на север так, что в разрезе оврага Аксу-Дере сохранились породы пачки XI нижнего коньяка [Никитин, Болотов, 2006], а в разрезах р. Бодрак и горы Кизил-Чигир она и прикровельная часть X пачки верхнего турона размыты [Шишлов и др., 2020]. По-видимому, это результат первого проявления восходящих тектонических движений, совпадавших с субгерцинской фазой в Западной Европе [Никишин и др., 2009]. Можно предполагать, что они стали первым этапом образования Симферопольского поднятия, которое обычно считают палеоценовым [Копаевич и др., 2010; Лыгина и др., 2010; Дубкова и др., 2019, 2022].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Генетическая интерпретация литологических и геохимических особенностей, установленных в разрезах типов слоев в сочетании с анализом их вертикальных и латеральных взаимоотношений, позволили впервые предложить концептуальную модель обстановок формирования разрезов сеномана–коньяка и построить серию палеогеографических схем, отражающих особенности эволюции крымской части поздне мелового эпиконтинентального бассейна, глубина которого увеличивалась с севера на юг [Бадулина, 2007; Бадулина, Копаевич, 2007; Левитан и др., 2010].

Показано, что рассматриваемый стратиграфический интервал представляет собой осадочную секвенцию, ограниченную от подстилающих и перекрывающих отложений поверхностями несогласия. Она сформировалась в результате 7 региональных трансгрессивно-регрессивных циклов седиментации и состоит из сеноманского трансгрессивного системного тракта и турон-коньякского тракта высокого стояния. На её эродированной кровле залегает следующая сантон–маастрихтская секвенция – результат второго финального этапа эволюции поздне меловой седиментации.

Полученные результаты подтверждают представления о накоплении сеноман-коньякских осадков в относительно мелководном бассейне, дно которого располагалось преимущественно выше базиса штормовых волн на глубинах менее 100 м [Алексеев, Найдин, 1970; Котельников, Найдин, 1999; Гаврилов и др., 2022].

Дополнительно обосновано положение о том, что в глубоководных условиях внешнего рампа состав отложений в существенной мере изменяли диагенетические процессы, описываемые как «циклы растворения» [Найдин, 1993; Котельников, Найдин, 1999; Габдуллин, 2002; Левитан и др., 2010; Барабошкин, Зибров, 2012].

В процессе выполнения работы циклостратиграфическими методами удалось дополнительно обосновать, уточнить и детализировать корреляцию разрезов. Это, в сочетании с выводами секвентного анализа, может быть использовано для совершенствования региональной стратиграфической схемы верхнего мела Крыма [Астахова и др., 1984], в которой до настоящего времени не выделены горизонты.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00197, <https://rscf.ru/project/24-27-00197/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев А. С. Верхний мел // Геологическое строение Качинского поднятия горного Крыма. Ч. 1. Стратиграфия мезозоя / под ред. А. О. Мазаровича, В. С. Милеева. М.: МГУ. 1989. С. 123–157.

Алексеев А. С., Копаевич Л. Ф., Барабошкин Е. Ю. и др. Палеогеография юга Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления в позднем мелу. Статья 1. Введение и стратиграфическая основа // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2005а. Т. 80. Вып. 2. С. 80–92.

Алексеев А. С., Копаевич Л. Ф., Барабошкин Е. Ю. и др. Палеогеография юга Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления в позднем мелу. Статья 2. Палеогеографическая обстановка // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2005б. Т. 80, вып. 4. С. 30–44.

Алексеев А. С., Копаевич Л. Ф., Никишин А. М. и др. Пограничные сеноман-туронские отложения Юго-Западного Крыма. Статья 1. Стратиграфия // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2007. Т. 82. Вып. 3. С. 3–29.

Алексеев А. С., Найдин Д. П. Упорядоченное залегание роствов белемнитов в сеноманских отложениях юго-западной части Горного Крыма // Изв. вузов. Геология и разведка. 1970. № 9. С. 47–51.

Алексеев В. П. Литолого-фациальный анализ. Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003.

Астахова Т. В., Горак С. В., Краева Е. Я. и др. Геология шельфа УССР. Стратиграфия (шельф и побережья Черного моря). Киев: Наук. думка, 1984. 184 с.

Бадулина Н. В. Строение пограничных сеноман-туронских отложений разреза г. Сельбухра (Юго-Западный Крым) // Вест. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2007. № 5. С. 26–31.

Бадулина Н. В., Габдуллин Р. Р., Копаевич Л. Ф. Палеогеографическая модель сеноман-туронского бескислородного события в Центральном и Восточном Причерноморье (Крым, Кавказ) // Вест. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 6. С. 10–17.

Бадулина Н. В., Копаевич Л. Ф. Строение пограничных сеноман-туронских отложений разреза Аксу-Дере (Юго-Западный Крым) // Вест. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2007. № 1. С. 22–28.

Барабошкин Е. Ю., Аркадьев В. В., Копаевич Л. Ф. Опорные разрезы меловой системы Горного Крыма (путеводитель полевых экскурсий Восьмого Всероссийского совещания 26 сентября – 3 октября 2016 г) / под ред. Е. Ю. Барабошкина. Симферополь: Издательский Дом «ЧерноморПресс», 2016. 90 с.

Барабошкин Е. Ю., Зибров И. А. Характеристика ритмичной толщи среднего сеномана г. Сельбухра (Юго-Западный Крым) // Вест. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2012. № 3. С. 35–42.

Габдуллин Р. Р. Ритмичность верхнемеловых отложений Русской плиты, Северо-Западного Кавказа и Юго-Западного Крыма (строение, классификация, модели формирования). М.: МГУ, 2002. 304 с.

Габдуллин Р. Р., Бадулина Н. В., Репина О. П. Цикличность средне-верхнесеноманских отложений междуречья Бодрак Кача (Юго-Западный Крым) // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 2004. № 5. С. 7–14.

Гаврилов Ю. О., Щербинина Е. А., Щетова Е. В. и др. Позднесеноманское палеоэкологическое событие ОАЕ 2 в разрезах северного Пери-Тетиса (Крым, Восточный Кавказ): структура отложений, динамика формирования // Литология и полезные ископаемые. 2022. № 6. С. 408–418.

Головкинский Н. А. О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна. СПб.: Тип. Имп. Академии наук, 1868. 192 с. См. также: Литология и геология горючих ископаемых. Екатеринбург: Изд-во Уральск. гос. геол. ун-та, 2009. Прилож. к вып. III (19). С. 24–183 (репринтное воспроизведение).

Дубкова К. А., Шишилов С. Б., Бугрова Э. М., Закревская Е. Ю. Строение и история формирования разреза нижнего мела – эоцена в центральной части Симферопольского поднятия // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2022. Т. 164. Кн. 2. С. 297–313.

Дубкова К. А., Шишов С. Б., Черпахина А. В. Разрез палеоцена-эоцена в районе горы Ак-Кая (Центральный Крым) и его геологическая интерпретация // Вест. С.-Петерб. ун-та. Науки о Земле. 2019. Т. 64. № 1. С. 4–23.

Жемчугова В. А. Резервуарная седиментология карбонатных отложений. М.: ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2014. 232 с.

Копачевич Л. Ф. Зональная схема для верхнемеловых отложений Крымско-Кавказского региона по глоботрунканидам (планктонные фораминиферы) // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2010. Т. 85. Вып. 5. С. 40–52.

Котельников Д. Д., Найдин Д. П. Глинистые минералы пограничных отложений сеноман/турон Крыма и маастрихт/даний Мангышлака // Литология и полезные ископаемые. 1999. № 1. С. 38–45.

Кузнецов В. Г. Эволюция карбонатонакопления в истории Земли. М.: ГЕОС, 2003. 262 с.

Кузьмичева Т. А. Пограничные отложения сеномана и турона в разрезе горы Белой (Юго-Западный Крым) // Вест. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2000. № 1. С. 70–73.

Латыпова М. Р., Копачевич Л. Ф., Калмыков А. Г. и др. Новые данные об океаническом бескислородном событии (ОАЕ2) на границе сеномана и турона в разрезе р. Биюк-Карасу (Центральный Крым) // Вестник МГУ. Сер. 4. Геол. 2019. № 3. С. 21–27.

Левитан М. А., Алексеев А. С., Бадулина Н. В. и др. Геохимия пограничных сеноман-туронских отложений Горного Крыма и Северо-Западного Кавказа // Геохимия. 2010. № 6. С. 570–591.

Маслакова Н. И. Региональные стратиграфические очерки. Крым. Верхний отдел // Стратиграфия СССР. Меловая система. Полутом I. М.: Недра, 1986. С. 136–144.

Маслакова Н. И. Стратиграфия верхнего мела Крыма // Атлас верхнемеловой фауны Северного Кавказа и Крыма. М.: Гостоптехиздат, 1959. С. 60–83.

Найдин Д. П. Позднемеловые события на востоке Европейской палеобиогеографической области. Статья 2. События рубежа сеноман/турон и маастрихт/даний // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1993. Т. 68. Вып. 3. С. 33–53.

Найдин Д. П., Алексеев А. С. Значение данных океанского бурения для интерпретации обстановки накопления и условий обитания фауны сеномана Горного Крыма // Эволюция организмов и биостратиграфия середины мелового периода. Владивосток, 1981. С. 7–21.

Найдин Д. П., Алексеев А. С. Разрез отложений сеноманского яруса междуречья Качи и Бодрака (Крым) // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1980. № 4. С. 11–25.

Найдин Д. П., Кияшко С. И. Геохимическая характеристика пограничных отложений сеноман-турона Горного Крыма. Статья 2. Изотопный состав и содержание кислорода; условия накопления органического углерода // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1994. Т. 69. Вып. 2. С. 59–74.

Никитин М. Ю., Болотов С. Н. Геологическое строение Крымского учебного полигона МГУ. Альбом рисунков по второй учебной геологической практике. Ч. I. Учеб. пособие. М.: МГУ, 2006.

Никишин А. М., Алексеев А. С., Барабошкин Е. Ю. и др. Геологическая история Бахчисарайского района Горного Крыма в меловом периоде // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2009. Т. 84. № 2. С. 83–93.

Павлидис Ю. А., Никифоров С. Л. Обстановки морфолитогенеза в прибрежной зоне Мирового океана. М.: Наука, 2007.

Розен О. М., Журавлев Д. З., Ляпунов С. М. Геохимические исследования осадочных отложений Тимано-Печорской провинции // Разведка и охрана недр. 1994. № 1. С. 18–21.

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

Цейслер В. М. Основы фациального анализа. М.: КДУ, 2009.

Шишов С. Б., Дубкова К. А., Аркадьев В. В. и др. Мел и палеоген бассейна реки Бодрак (Юго-Западный Крым): учебное пособие. СПб.: Изд-во ЛЕМА, 2020. 271 с.

Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии, СПб.: Наука, 2000. 479 с.

Ahr W. The carbonate ramp: an alternative to the shelf // Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. 1973. V. 23. P. 221–225.

Burchette T. P., Wright V. P. Carbonate ramp deposition systems // Sedim. Geol. 1992. V. 79. P. 3–57.

- Busch D. A.* Stratigraphic Traps in Sandstone – Explorations Techniques. Tulsa: Am. Assoc. Petrol. Geol., 1974.
- Flügel E.* Microfacies Analysis of Limestones. Analysis, Interpretation, and Application. Berlin: Springer, 2010.
- Hallam A.* Facies Interpretation and the Stratigraphic Record. Oxford, San Francisco: Freeman, 1981.
- Irwin M. L.* General theory of epeiric clear water sedimentation // Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol. 1965. № 49. P. 445–459.
- Kopaevich L. F., Vishnevskaya V. S.* Cenomanian-Campanian (Late Cretaceous) planktonic assemblages of the Crimea-Caucasus area // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2016. Vol. 441, pt. 1. P. 493–515.
- Posamentier H. W., Allen G. P.* Siliciclastic Sequence Stratigraphy – Concepts and Applications. Tulsa: SEPM (Society for Sedimentary Geology), 1999.
- Reineck H. E., Singh I. B.* Depositional Sedimentary Environments: with Reference to Terrigenous Clastics. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1975.
- Sedimentary Environments and Facies.* Second Edition. Ed. Reading H.G. Oxford, London, Edinburgh, Boston, Palo, Alto, Melbourne: Blackwell Scientific Publications, 1986.
- Selley R. C.* Ancient Sedimentary Environments and Their Sub-Surface Diagnosis. London: Chapman and Hall, 1985.
- Walter J.* Einleitung in die Geologie als Historische Wissenschaft / J Walter. // Lithogenesis der Gegenwart. – Jena: G. Fischer, 1894. Bd. 3. Pp. 535-1055.
- Wilson J. L.* Carbonate Facies in Geologic History. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1975.
- Wright V. P.* Facies sequences on a carbonate ramp: the carboniferous limestone of South Wales // Sedimentology. 1986. V. 33 P. 221–241.

STRUCTURE AND CONDITIONS OF FORMATION OF THE CENOMANIAN- CONIAC SEQUENCE OF CRIMEA

S.B. Shishlov^{1,2,*}, E.G. Panova^{2,}, K.A. Dubkova^{2,3,***}, A.B. Kuznetsov^{1,2,****}, V.A. Chebotareva^{1,2,*****}**

¹ *Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences, Makarova Emb. 2, St. Petersburg, 199034 Russia*

² *St. Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya Emb., St. Petersburg, 199034 Russia*

³ *Karpinsky Russian Geological Research Institute, 74, Sredny Ave., St. Petersburg, 199106 Russia*

**e-mail: sshishlov@mail.ru*

***e-mail: elena-geo@list.ru*

****e-mail: ksenya-dubkova@mail.ru*

*****e-mail: antonbor9@mail.ru*

******e-mail: chebyschek@gmail.com*

The analysis of the results of lithologic and geochemical research of the Upper Cretaceous exposures of the Aksu-Dere ravine, Belaya, Selbukhra, Kremennaya and Kizil-Chigir mountains, Bodrak and Biyuk-Karysu rivers allowed to establish 6 lithologic rock types, to perform their genetic interpretation and to propose a sedimentological model of sediment formation conditions in the outer, middle and inner ramp conditions. On this basis, traces of 7 regional transgressive-regressive cycles were identified in the sections under consideration, which were used for additional validation and refinement of correlation constructions made earlier mainly on the basis of paleontological criteria. It is demonstrated that during the Cenomanian-Coniacian ages, a sedimentary sequence was formed that is bounded from the bedding and covering rocks by unconformity surfaces. The Cenomanian transgressive system tract and the Turonian-Coniacian highstand tract are represented. The lateral variations in the layer structure of the sequence, revealed by the compilation of a submeridional lithologic-genetic profile, verify the statement that the Late Cretaceous epicontinental basin extended southward (in modern coordinates), and its significant northern part, located above the base of waves, was shallow.

Keywords: facial analysis, sequence stratigraphy, epicontinental paleobasin, sedimentation environments, regional sedimentation cycles, paleogeography.

Таблица. Содержания петрогенных оксидов, мас. %**Table.** Contents of petrogenic oxides, wt. %

№ образца	Литотип	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП
A1	ЛТ 1	18.83	0.81	5.02	3.35	0.01	0.03	52.35	0.05	1.1	0.01	17.97
K3	ЛТ 2	24.18	0.59	9.72	4.44	0.13	1.12	45.78	0.06	2.33	0.01	11.45
K4	ЛТ 2	32.04	0.34	5.92	2.62	0.01	0.69	51.26	0.06	1.05	0.01	5.84
K16	ЛТ 2	17.13	0.37	6.53	2.83	0.05	0.76	55.68	0.06	1.23	0.01	15.11
Б3	ЛТ 2	24.64	0.31	6.25	2.70	0.15	0.79	50.41	0.05	1.23	0.01	13.18
C20	ЛТ 3	8.64	0.01	2.57	0.91	0.10	0.03	71.00	0.06	0.42	0.01	16.18
C26	ЛТ 3	5.79	0.01	1.21	0.55	0.01	0.03	77.10	0.06	0.27	0.01	14.81
Б11	ЛТ 3	3.46	0.01	0.96	0.49	0.07	0.03	78.63	0.06	0.22	0.01	15.94
C7	ЛТ 4	8.15	0.01	2.65	1.03	0.13	0.03	76.21	0.06	0.51	0.02	11.01
C17	ЛТ 4	7.16	0.01	2.05	0.74	0.16	0.03	75.44	0.06	0.32	0.01	13.89
K5	ЛТ 4	34.96	0.31	5.30	2.11	0.01	0.52	45.60	0.05	0.91	0.01	10.12
K8	ЛТ 4	28.57	0.35	5.22	1.90	0.01	0.69	60.90	0.06	0.81	0.02	1.25
K9	ЛТ 4	26.67	0.32	5.09	1.94	0.01	0.03	60.32	0.06	0.85	0.02	4.27
K11	ЛТ 4	26.63	0.31	5.0	1.98	0.01	0.69	63.23	0.06	0.88	0.02	0.63
K12	ЛТ 4	27.12	0.23	5.11	1.95	0.01	0.63	61.80	0.06	0.86	0.02	1.88
K14	ЛТ 4	23.55	0.01	3.88	1.17	0.01	0.03	65.60	0.06	0.58	0.02	4.92
Б6	ЛТ 4	23.23	0.30	4.29	1.61	0.01	0.03	54.78	0.05	0.73	0.01	14.71
Б7	ЛТ 4	11.38	0.21	2.88	1.27	0.07	0.03	68.36	0.06	0.54	0.01	14.95
A4	ЛТ 4	20.27	0.25	3.01	1.22	0.22	0.03	60.37	0.06	0.56	0.01	13.76
C5	ЛТ 5	14.98	0.01	2.90	1.05	0.01	0.03	65.97	0.06	0.46	0.01	14.40
K2	ЛТ 6	41.56	0.84	17.68	6.89	0.08	0.92	21.74	0.06	8.32	0.01	1.73
C3	ЛТ 6	25.61	1.57	13.40	11.14	0.01	0.93	36.38	0.06	1.63	1.00	8.08
Б2	ЛТ 6	36.76	1.33	15.28	7.16	0.17	1.05	24.59	0.06	8.31	0.01	5.13

Подрисуночные подписи

Рис. 1. Схема расположения разрезов. 1 – точки наблюдений и их номера: I – гора Белая, II – овраг Аксу-Дере, III – гора Сельбухра, IV – гора Кременная, V – река Бодрак, VI – гора Кизил-Чигир, VII – река Биюк-Карысу; 2 – линия литолого-генетического профиля.

Fig. 1. The scheme of the location of the sediment sections. 1 - observation points and their numbers: I - Belaya Mountain, II - Aksu-Dere ravine, III - Selbukhra Mountain, IV - Kremennaya Mountain, V - Bodrak River, VI - Kizil-Chigir Mountain, VII - Biyuk-Karysu River; 2 - lithologic-genetic profile line.

Рис. 2. Корреляция разрезов сеноман-коньякского интервала верхнего мела Юго-Западного и Центрального Крыма. 1–7 – горные породы: 1 – глины и мергели, содержащие более 0.2 % органического вещества (литотип 1), 2 – мергели (литотип 2), 3 – мадстоуны и вакстоуны (литотип 3), 4 – тонкое чередование вакстоунов и пакстоунов (литотип 4), 5 – пакстоуны (литотип 6), 6 – песчаники (литотип 6), 7 – основные эффузивы; 8, 9 – примеси: 8 – глинистость, 9 – песчаность; 10–12 – включения и новообразования: 10 – сульфиды, 11 – глауконит, 12 – кремниевые конкреции; 13–22 – органические остатки: 13 – радиолярии, 14 – кальцисферы, 15 – планктонные фораминиферы, 16 – бентосные фораминиферы, 17 – брахиоподы, 18 – криноидеи, 19 – морские ежи, 20 – белемниты, 21 – двустворчатые моллюски, 22 – рыбы; 23 – растительный детрит; 24 – ихнофоссилии; 25–30 – обстановки осадконакопления: 25 – дистальная часть внешнего рампа, 26 – проксимальная часть внешнего рампа, 27 – дистальная часть среднего рампа, 28 – проксимальная часть среднего рампа, 29 – дистальная часть внутреннего рампа, 30 – проксимальная часть внутреннего рампа; 31 – кривая изменений уровня моря; 32 – трансгрессивная поверхность (TS); 33 – поверхность максимального затопления (MFS); 34 – параллельное несогласие; 35 – циклотемы и их номера; 36 – образцы и их номера.

Fig. 2. Correlation of the sediment sections of the Cenomanian-Coniacian interval of the Upper Cretaceous of the Southwestern and Central Crimea. 1-7 - rocks: 1 - clays and marls containing more than 0.2 % of organic matter (lithotype 1), 2 - marls (lithotype 2), 3 - madstones and waxstones (lithotype 3), 4 - thin sequence of waxstones and paxstones (lithotype 4), 5 - paxstones (lithotype 6), 6 - sandstones (lithotype 6), 7 - basic effusives; 8, 9 - impurities: 8 - clayiness, 9 - sandiness; 10-12 - inclusions and neoplasms: 10 - sulfides, 11 - glauconite, 12 - siliceous concretions; 13-22 - organic remains: 13 - radiolarians, 14 - calcispheres, 15 - planktonic foraminifera, 16 - benthos foraminifera, 17 - brachiopods, 18 - crinoids, 19 - sea urchins, 20 - belemnites, 21 - bivalves, 22 - fish; 23 - plant detritus; 24 - ichnofossils; 25-30 - sedimentation environments: 25 - distal part of the outer ramp, 26 - proximal part of the outer ramp, 27 - distal part of the middle ramp, 28 - proximal part of the middle ramp, 29 - distal part of the inner ramp, 30 - proximal part of the inner ramp; 31 - the curve of sea level changes; 32 - the transgressive surface (TS); 33 - the maximum inundation surface (MFS); 34 - parallel unconformity; 35 - the cyclothems and their numbers; 36 - the samples and their numbers.

Рис. 3. Условия накопления и диагенетических преобразований осадков в поздне меловом эпиконтинентальном бассейне. 1 – субаквальные отложения; 2, 3 – источники биогенного осадочного материала: 2 – планктон (доминирует) и нектон, 3 – бентос; 4, 5 – терригенный осадочный материал, транспортируемый: 4 – водными потоками, 5 – ветром; 6 – взмучивание и сортировка осадков волнениями; 7 – осаждение алевропелитовых частиц из взвесей; 8 – окислительно-восстановительный барьер; 9 – окислительная среда (присутствие кислорода); 10 – восстановительная среда (присутствие углекислого газа и сероводорода).

Fig. 3. Conditions of sediment accumulation and diagenetic transformations in the Late Cretaceous epicontinental basin. 1 - subaquatic sediments; 2, 3 - sources of biogenic sediment: 2 - plankton (dominant) and nekton, 3 - benthos; 4, 5 - terrigenous sediments transported by: 4 - by water currents, 5 - by wind; 6 - turbulence and sorting of sediments by waves; 7 - sedimentation of silty-pelitic grains from suspended sediments; 8 - redox barrier; 9 - oxidizing environment (presence of oxygen); 10 - reducing environment (presence of carbon dioxide and hydrogen sulfide).

Рис. 4. Отложения внешнего рампа: глины (а–в) – ЛТ 1, мергели – ЛТ 2 (г–е) в обнажениях (а, г) и шлифах (б, е – николи X; в, д – николи II). Белогорская свита: а – гора Сельбухра; б, в, е – овраг Аксу-Дере, г, д – гора Кременная. Q – кварц, Gl – глауконит, fr – фораминиферы.

Fig. 4. Outer ramp sediments: clays (a-c) - LT 1, marls - LT 2 (d-f) in exposures (a, d) and sections (b, f) - Nichols X; c, e - Nichols II). Belogorskaya Formation: a - Selbukhra Mountain; b, c, f - Aksu-Dere ravine, d, e - Kremennaya Mountain. Q - quartz, Gl - glauconite, fr - foraminifera.

Рис. 5. Отложения среднего рампа: мадстоуны и вакстоуны (а–в) – ЛТ 3, чередование вакстоунов и пакстоунов (г–е) – ЛТ 4 в обнажениях (а, г) и шлифах (в – николи X; б, д, е – николи II). а–в – мендерская свита, гора Кременная; г, д – белогорская свита, гора Кременная; е – мендерская свита, овраг Аксу-Дере. Q – кварц, fr – фораминиферы, cal – кальцисферы.

Fig. 5. Middle Ramp sediments: madstones and waxstones (a-c) - LT 3, alternation of waxstones and paxstones (d-f) - LT 4 in exposures (a, d) and thin sections (c - Nichols X; b, e, f - Nichols II). a-c - Mender Formation, Kremennaya Mountain; d, e - Belogorsk Formation, Kremennaya Mountain; e - Mender Formation, Aksu-Dere ravine. Q - quartz, fr - foraminifers, cal - calcispheres.

Рис. 6. Отложения внутреннего рампа: пакстоуны (а–в) – ЛТ 5, песчаники (г–е) – ЛТ 6 в обнажениях (а, г) и шлифах (б, в, д – николи II; е – николи X). Белогорская свита: а, б, в – гора Кременная; г, д, е – река Бодрак. Q – кварц, Fc – полевой шпат, Gl – глауконит, fr – фораминиферы, cal – кальцисферы, in – фрагмент призматического слоя раковины *Inoceramus*.

Fig. 6. Deposits of the inner ramp: paxstones (a-c-c) - LT 5, sandstones (d-e) - LT 6 in exposures (a, d) and thin sections (b, c, e - Nichols II; f - Nichols X). Belogorskaya Formation: a, b, c - Kremennaya Mountain; d, e, f - Bodrak River. Q - quartz, Fs - feldspar, Gl - glauconite, fr - foraminifera, cal - calcispheres, in - fragment of prismatic layer of *Inoceramus* shell.

Рис. 7. Реконструкция условий накопления и диагенетических преобразований литологических типов слоев (а), объясняющая изменения содержаний органического вещества (б), нерастворимого остатка (в) и петрохимических характеристик (г) пород сеномана–коньяка Крыма. 1 – суша; 2 – органическое вещество; 3 – нерастворимый остаток. Остальные условные обозначения см. на рис. 2, 3.

Fig. 7. Reconstruction of accumulation conditions and diagenetic transformations of lithologic types of layers (a), explaining changes in the contents of organic matter (b), insoluble remains (c) and petrochemical characteristics (d) of the Cenomanian-Coniacian rocks of the Crimea. 1 - land; 2 - organic matter; 3 - insoluble remains. See Fig. 2, 3 for the rest of the conventional symbols.

Рис. 8. Субмеридиональный литолого-генетический профиль сеноман–коньякской секвенции в междуречье Кача–Бодрак. 1 – циклотемы (парасеквенсы) и их номера; 2 – трансгрессивный системный тракт; 3 – системный тракт высокого стояния; 4–9 – обстановки накопления литологических типов слоев: 4 – дистальная часть внешнего рампа (ЛТ 1), 5 – проксимальная часть внешнего рампа (ЛТ 2), 6 – дистальная часть среднего рампа (ЛТ 3), 7 – проксимальная часть среднего рампа (ЛТ 4), 8 – дистальная часть внутреннего рампа (ЛТ 5), 9 – проксимальная часть внутреннего рампа (ЛТ 6). Остальные условные обозначения см. на рис. 2. Линию профиля и расшифровку номеров обнажений см. на рис. 1. Разрезы выровнены по кровле секвенции.

Fig. 8. Submeridional lithologic-genetic profile of the Cenomanian-Coniac sequence in the Kacha-Bodrak interfluvium. 1 - the cyclothems (parasequences) and their numbers; 2 - transgressive system tract; 3 - highstand system tract; 4-9 - accumulation conditions of lithologic types of layers: 4 - distal part of the outer ramp (LT 1), 5 - proximal part of the outer ramp (LT 2), 6 - distal part of the middle ramp (LT 3), 7 - proximal part of the middle ramp (LT 4), 8 - distal part of the inner ramp (LT 5), 9 - proximal part of the inner ramp (LT 6). See Fig. 2 for the rest of the symbols. See Fig. 1 for profile line and transcription of the exposure numbers. The sediment sections are aligned with the cover of the sequences.

Рис. 9. Эволюция палеогеографической ситуации в поздне меловом эпиконтинентальном бассейне при формировании сеноман–коньякской секвенции Крыма. Условные обозначения см. на рис. 1, 2 и 8.

Fig. 9. Evolution of the paleogeographic situation in the Late Cretaceous epicontinental basin during the formation of the Cenomanian-Coniac Sequence of the Crimea. See Figs. 1, 2 and 8 for symbols.