






СТРОЕНИЕ И ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ
СЕНОМАН-КОНЬЯКСКОЙ СЕКВЕНЦИИ КРЫМАС. Б. Шишлов^{1,2*} , В. В. Иванова¹ , Е. Г. Панова², К. А. Дубкова^{1,2} ,
А. Б. Кузнецов^{1,2}  и В. А. Чеботарева² ¹Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, Россия²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия* **Контакт:** Сергей Борисович Шишлов, sshishlov@mail.ru

Представлены результаты фацеального анализа верхнего мела Юго-Западного и Центрального Крыма и характеристика сеноман-коньякской секвенции. Это геологическое тело, ограниченное поверхностями параллельных несогласий, образуют слои шести литологических типов, каждый из которых формировался в особой обстановке рампа. Их миграция при трансгрессивно-регрессивных колебаниях уровня моря привела к образованию семи парасеквенсов, пространственно-временные изменения которых позволили установить сеноманский трансгрессивный системный тракт и турон-коньякский тракт высокого стояния. Реконструкция эволюции палеогеографической ситуации при их формировании показала, что в крымском сегменте поздне мелового эпиконтинентального моря большую часть времени поверхность дна располагалась выше базиса штормовых волн. Выполненные исследования дополнительно обосновывают и уточняют корреляционные построения. Они могут быть использованы для совершенствования региональной стратиграфической схемы верхнего мела Крыма.

Ключевые слова: фацеальный анализ, секвенс-стратиграфия, эпиконтинентальный бассейн, терригенно-карбонатный рамп, обстановки осадконакопления, палеогеография.

Цитирование: Шишлов С. Б., Иванова В. В., Панова Е. Г., Дубкова К. А., Кузнецов А. Б. и Чеботарева В. А. Строение и обстановки формирования сеноман-коньякской секвенции Крыма // Russian Journal of Earth Sciences. — 2025. — Т. 25. — ES5020. — DOI: 10.2205/2025es001068 — EDN: ORHNPR

Введение

Терригенно-карбонатные породы сеноманского, туронского и коньякского ярусов Крыма мощностью от 120–200 м на юго-западе до 700 м на северо-востоке, входят в состав моноклинали мел-палеогенового чехла Скифской платформы, которая погружается на северо-северо-запад. Их выходы протягиваются вдоль Второй гряды Крымских гор от Севастополя до Симферополя. В пределах Симферопольского поднятия верхний мел эродирован за счет восходящих тектонических движений в палеоцене. Восточнее р. Бурульча он появляется вновь в пределах Центрального Крыма.

Сеноман-коньякская секвенция, ограниченная поверхностями региональных параллельных несогласий, является результатом первого крупного этапа поздне меловой седиментации [Цейслер и др., 1999]. Его начало связано с затоплением альбской суши в сеномане, а завершение – с коньякской регрессией, которая в раннем сантоне привела к размытию сформировавшихся ранее отложений [Никишин и др., 2009]. Накопление осадков происходило на периферии гигантского эпиконтинентального моря, занимавшего южную часть Восточно-Европейской платформы, Скифскую и Туранскую плиты [Scotese, 2014].

Специфику седиментации в этом бассейне определяла произошедшая на рубеже раннего и позднего мела глобальная смена бенитогенного карбонатообразования планктонным. Вероятно, это было связано с быстрым подъемом уровня моря, сочетавшимся с похолоданием, вызвавшим плотностную стратификацию воды и дефицит кислорода у дна, что привело к сокращению продуктивности бентоса и расцвету планктонных фораминифер и кокколитофорид [Кузнецов, 2003; Левитан и др., 2010].

<https://elibrary.ru/ORHNPR>

Получено: 12 сентября 2025 г.

Принято: 23 октября 2025 г.

Опубликовано: 11 ноября 2025 г.



© 2025. Коллектив авторов.

В настоящее время существенные успехи в решении проблем стратиграфии верхнего мела Крыма достигнуты преимущественно на основе применения био- и магнито-стратиграфических методов, обзор которых дан в статье [Baraboshkin et al., 2024].

На этом фоне достаточно скромно выглядит уровень разработки вопросов секвентной стратиграфии, рассматриваемых в работах [Шишлов и др., 2025; Gale et al., 1999; Shcherbinina and Gavrilov, 2025]. Представляемая публикация, посвященная особенностям строения и обстановкам формирования сеноман-коньякской секвенции, является продолжением этого направления исследований.

Материалы и методы

Работа основана на материалах, собранных авторами в 2014–2025 годах при описании обнажений оврага Аксу-Дере, гор Белая, Сельбухра, Кременная, Кизил-Чигир, рек Бодрак и Биюк-Карасу (рис. 1). Кроме того, обобщены и тщательно проанализированы результаты изучения этих разрезов, опубликованные ранее другими исследователями [Алексеев и др., 2007; Бадулина, 2007; Бадулина и Копаевич, 2007; Гаврилов и др., 2022; Кузьмичева, 2000; Латыпова и др., 2019; Никитин и Болотов, 2006].



Рис. 1. Палеогеография туронского века позднего мела [Scotese, 2014] (а) и схемы расположения разрезов (б, в). 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-Карасу; 2 – линия литолого-генетического профиля.

Для уточнения структурно-вещественных характеристик пород проведены петрографические исследования и фотографирование около 100 шлифов на микроскопе Leica DM4500 P с микропозиционным столиком (Ресурсный центр СПбГУ Рентгенодифракционные методы исследования). Количество нерастворимого остатка (НМО) определено в 78 образцах (ИГГД РАН). Для 23 из них (рис. 2; табл. 1) измерены потери при прокаливании (ППП) и выполнен силикатный анализ на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре EDX-800P (Ресурсный центр СПбГУ Методы анализа состава вещества).

Методической базой работы стали: принципы секвенс-стратиграфии [Жемчужова, 2014; Posamentier and Allen, 1999]; подходы фациального анализа, изложенные в многочисленных монографиях [например, Цейслер, 2009; Hallam, 1981; Irwin, 1965]; стандартные микрофашии (СМФ) [Flügel, 2010; Wilson, 1975]; модель карбонатного рампа [Ahr, 1973; Burchette and Wright, 1992].

При характеристике сеноман-коньякской секвенции использованы литологические типы слоев (ЛТ) верхнего мела Крыма и реконструкция обстановок их накопления, учитывающая диагенетические преобразования отложений в бескислородных условиях внешнего рампа [Шишлов и др., 2025].

Для дополнительного обоснования условий осадконакопления проведены расчеты петрохимических модулей: титанового (ТМ) = TiO_2/Al_2O_3 ; алюмокремниевый (АМ) = Al_2O_3/SiO_2 ; отношений Fe/Mn и Ti/Mn [Юдович и Кетрис, 2000].

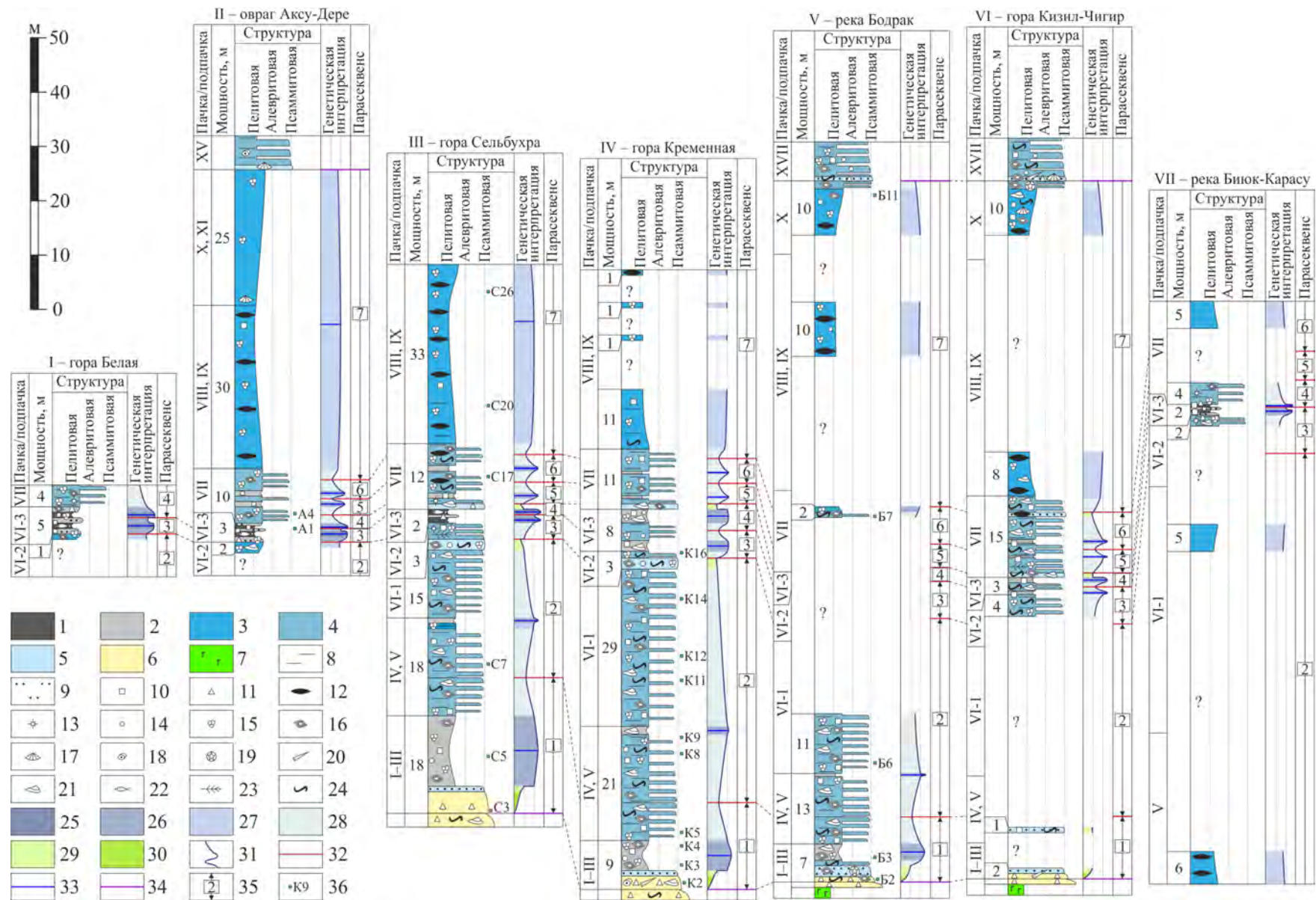


Рис. 2. Корреляция разрезов сеноман-коньякского интервала верхнего мела Юго-Западного и Центрального Крыма. 1–7 – горные породы: 1 – глины и мергели, содержащие >1 мас. % органического вещества (ЛТ1), 2 – мергели (ЛТ2), 3 – мадстоуны и вакстоуны (ЛТ3), 4 – чередование вакстоунов и пакстоунов (ЛТ4), 5 – пакстоуны (ЛТ5), 6 – песчаники (ЛТ6), 7 – основные эффузивы; 8, 9 – примеси: 8 – глинистость, 9 – песчанность; 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 – парасеквенсы и их номера; 36 – образцы и их номера.

Принятая седиментологическая модель позволила построить кривую колебания уровня моря, определить локализацию трансгрессивных поверхностей (TS) и поверхностей максимального затопления (MFS). Таким образом, в разрезах установлены трансгрессивно-регрессивные последовательности слоёв – парасеквенсы. Они стали основой детальной корреляции разрезов (см. рис. 2). При этом учтены результаты биостратиграфических исследований [Baraboshkin et al., 2024; Kopaevich and Vishnevskaya, 2016; Shcherbinina and Gavrillov, 2025], а также диагностические характеристики пачек [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 литолого-генетический профиль, отражающий пространственно-временные изменения парасеквенсов; установить границы и особенности строения системных трактов секвенции и составить серию палеогеографических схем, отражающих эволюцию обстановок осадконакопления при ее формировании.

Результаты

Литологические типы слоев и их генетическая интерпретация

В разрезах сеномана-коньяка представлены слои шести литологических типов (ЛТ), детальные характеристики которых опубликованы ранее [Шишлов и др., 2025], поэтому ниже приведены только их краткие описания.

ЛТ1 (рис. 3). Глины известковые (CaCO_3 25–50 мас. %) и мергели (CaCO_3 50–75 мас. %), песчанисто-алевритистые, буровато-черные, содержащие > 1 мас. % органического вещества. Присутствуют зерна кварца, многочисленные фрамбоидальные сульфиды, глауконит, редкие раковины планктонных фораминифер, радиолярий, фрагменты рыб, кремниевые спиккулы губок и мелкие ходы илоедов. Горизонтальную слоистость подчеркивает плитчатая отдельность. Мощность 0,5–1 м.

Эти слои представлены в подпачке VI-3 белогорской свиты обнажений: Белая, Сельбухра, Аксу-Дере и Биюк-Карасу (см. рис. 2). Они являются маркером «аксудеринских слоев», которые связывают с глобальным бескислородным событием OAE 2. При этом одни специалисты полагают, что такие породы формировались на глубине около 500–700 м [Алексеев и др., 2005; Алексеев, 1989; Левитан и др., 2010], а другие считают мелководными [Гаврилов и др., 2022; Котельников и Найдин, 1999].

По нашему мнению, породы ЛТ1, которые можно отнести к СМФ 1, накапливались ниже базиса волнений в застойных условиях дистальной области внешнего рампа. Здесь окислительно-восстановительный барьер располагался выше поверхности дна и преобразование органического вещества происходило в анаэробных условиях. Его значительная часть переходила в ископаемое состояние, а кислые иловые воды, содержащие CO_2 и H_2S (обилие сульфидов), способствовали интенсивному растворению микритовых карбонатов, что повышало долю кварц-силикатных частиц, биогенных кремниевых и фосфатных фрагментов.

Таблица 1. Содержания петрогенных оксидов, мас. %.

№ обр.	Литотип	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ общ.	MnO	MgO	CaO _{sil}	CaO _{carb}	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SrO	SO ₂	ППП	Сумма	HMO	CaCO ₃
A1	ЛТ1	22,67	0,98	6,05	4,03	0,01	0,03	26,83	21,3	0,06	1,33	0,02	0,18	0,01	16,7	100,2	62,0	38,0
K3	ЛТ2	24,31	0,67	10,98	5,01	0,15	1,25	0,00	31,0	0,06	2,60	0,02	0,39	0,01	24,4	100,3	44,6	55,4
K4	ЛТ2	30,03	0,36	6,24	2,78	0,01	0,74	0,00	33,5	0,06	1,11	0,02	0,33	0,01	26,3	101,0	40,3	59,7
K16	ЛТ2	20,18	0,43	7,69	3,33	0,05	0,90	37,29	16,0	0,07	1,45	0,02	0,20	0,14	12,6	100,3	61,4	38,6
B3	ЛТ2	26,38	0,36	7,19	3,10	0,17	0,91	0,00	34,0	0,06	1,42	0,02	0,36	0,22	26,7	100,9	39,3	60,7
C20	ЛТ3	10,31	0,01	3,07	1,08	0,12	0,03	8,96	42,5	0,07	0,50	0,02	0,29	0,02	33,4	100,3	24,2	75,8
C26	ЛТ3	6,79	0,01	1,42	0,65	0,01	0,03	1,31	50,0	0,07	0,31	0,02	1,45	0,06	39,3	101,1	10,6	89,4
B11	ЛТ3	4,11	0,01	1,14	0,59	0,09	0,04	10,99	46,3	0,07	0,26	0,02	0,91	0,50	36,1	101,1	17,3	82,7
A4	ЛТ4	23,50	0,29	3,49	1,42	0,26	0,03	46,08	13,6	0,07	0,64	0,02	0,22	0,10	10,6	100,3	75,8	24,2
C7	ЛТ4	9,16	0,01	2,97	1,16	0,14	0,03	16,99	38,6	0,07	0,57	0,02	0,61	0,02	30,3	100,6	31,1	68,9
C17	ЛТ4	8,31	0,01	2,36	0,85	0,18	0,03	0,00	52,0	0,07	0,37	0,02	1,00	0,05	35,9	101,0	7,1	92,9
K5	ЛТ4	34,90	0,34	5,90	2,35	0,01	0,58	0,00	30,8	0,06	1,01	0,02	0,18	0,01	24,2	100,4	44,9	55,1
K8	ЛТ4	25,93	0,35	5,28	1,93	0,01	0,70	0,00	36,5	0,06	0,82	0,02	0,27	0,32	28,6	100,8	34,9	65,1
K9	ЛТ4	25,85	0,34	5,31	2,03	0,01	0,03	0,00	38,1	0,06	0,89	0,02	0,53	0,59	27,9	100,7	32,0	68,0
K11	ЛТ4	25,80	0,32	5,33	1,99	0,01	0,70	0,00	36,6	0,06	0,87	0,02	0,43	0,27	27,8	100,1	34,6	65,4
K12	ЛТ4	25,64	0,23	5,21	1,99	0,01	0,64	0,00	38,8	0,06	0,87	0,02	0,50	0,43	26,5	100,8	30,8	69,2
K14	ЛТ4	24,77	0,01	4,08	1,24	0,01	0,03	0,00	39,8	0,06	0,61	0,02	0,52	0,02	29,3	100,4	28,9	71,1
B6	ЛТ4	25,24	0,35	5,04	1,89	0,01	0,03	0,00	39,1	0,06	0,85	0,02	0,22	0,02	27,7	100,6	30,1	69,9
B7	ЛТ4	13,38	0,24	3,39	1,50	0,09	0,03	0,00	48,1	0,07	0,63	0,02	0,75	0,64	31,8	100,6	14,1	85,9
C5	ЛТ5	12,50	0,01	3,38	1,23	0,01	0,03	0,00	48,8	0,07	0,54	0,02	0,49	0,03	33,4	100,5	12,8	87,2
K2	ЛТ6	42,30	0,85	17,99	7,02	0,08	0,94	2,12	11,3	0,06	8,46	0,01	0,14	0,01	8,9	100,1	79,83	20,2
C3	ЛТ6	27,86	1,71	14,57	12,12	0,01	1,01	3,16	20,5	0,06	1,77	1,08	0,24	0,01	16,1	100,3	63,4	36,6
B2	ЛТ6	37,75	1,40	16,10	7,55	0,18	1,11	1,38	13,8	0,06	8,76	0,02	0,28	1,62	10,9	100,9	75,31	24,7

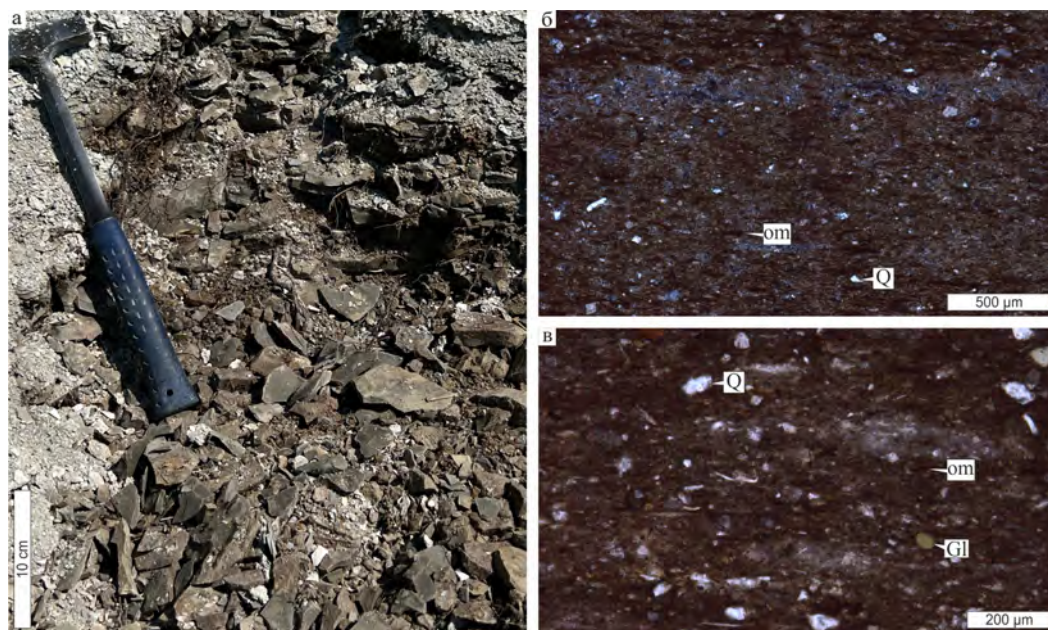


Рис. 3. ЛТ1 – глины белогорской свиты в обнажении г. Сельбухра (а) и шлифах из овр. Аксу-Дере: б – николи X; в – николи II. Q – кварц, Gl – глауконит, om – органическое вещество.

ЛТ2 (рис. 4). Мергели алевритистые и песчанистые, серые и темно-серые, содержащие < 1 мас. % органического вещества. Присутствуют зерна кварца, глауконит, сульфиды, планктонные, иногда бентосные фораминиферы, радиолярии, створки иноцерамов, фрагменты рыб, ходы илоедов. Породы массивные или с горизонтальной слойчатостью. Мощность от 0,5 до 12 м.

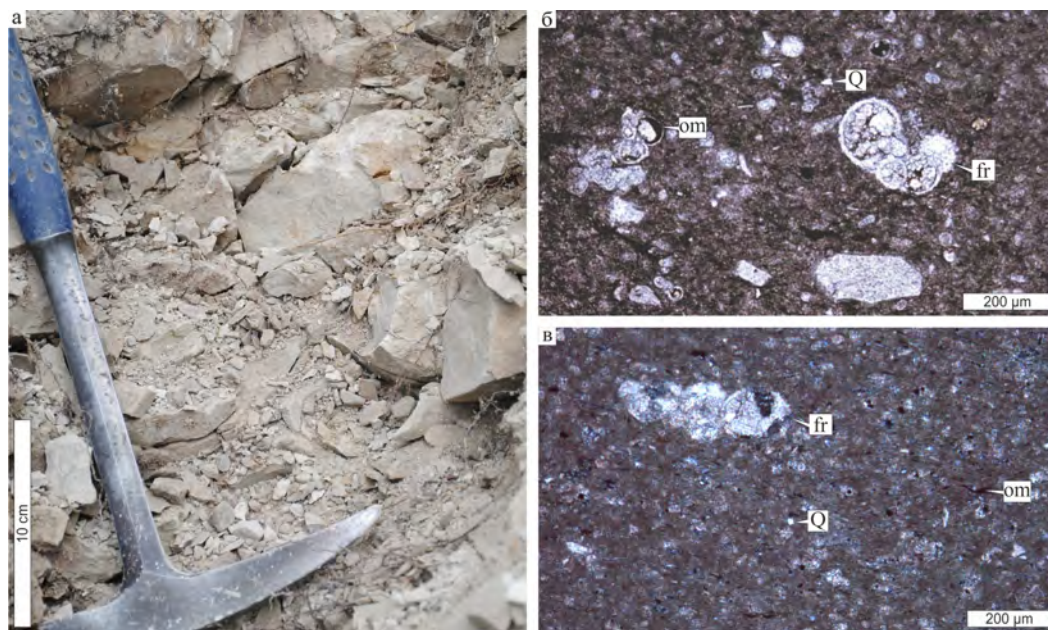


Рис. 4. ЛТ 2 – мергели белогорской свиты в обнажении г. Кременная (а) и шлифах: б – г. Кременная, николи II; в – овр. Аксу-Дере, николи X. Q – кварц, fr – фораминиферы, om – органическое вещество.

Этот тип установлен в белогорской (пачках III, V и VI) и мендерской (пачка VII) свитах. В «аксудеринских слоях», представленных в разрезах Кременная и Кизил-Чигир, породы ЛТ2 являются возрастными аналогами распространенных южнее и восточнее слоев ЛТ1 (см. рис. 2).

Такие отложения, относящиеся к СМФ 3, вероятно, формировались ниже базиса штормовых волнений в проксимальной области внешнего рампа, там, где окислительно-восстановительный барьер приблизительно совпадал с поверхностью дна. Здесь кислорода хватало для почти полного разложения органического вещества. Низкие значения рН приводили к растворению кальцита. В результате породы содержат мало органического вещества, но отличаются повышенной долей терригенных частиц, кремниевых и фосфатных органогенных фрагментов.

ЛТ3 (рис. 5). Известняки (CaCO_3 75–100 мас. %), мадстоуны и вакстоуны детритово-фораминиферовые, часто глинистые, от светло-серых до белых. Форменные элементы представлены раковинами планктонных, реже бентосных фораминифер, кальцисферами и редкими фрагментами двустворок. Присутствуют зерна кварца и глауконит. Характерны ихнотекстуры (признаки биотурбации) и следы илоедов, конкреции кремней. Породы массивные или с пологоволнистой слоистостью. Мощность от 1 до 60 м.

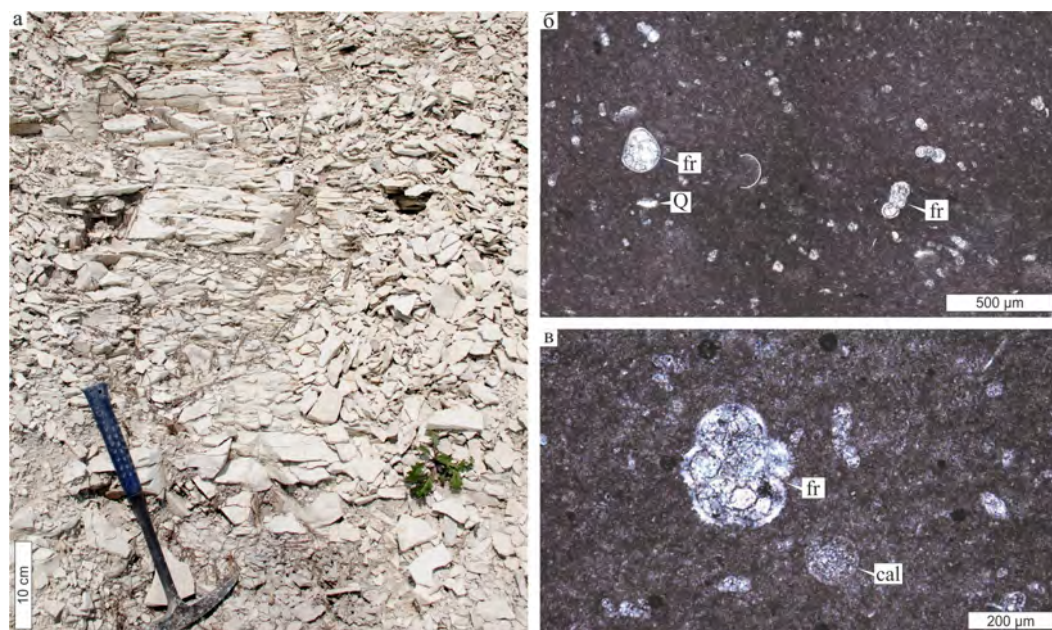


Рис. 5. ЛТ3 – известняки, вакстоуны мендерской свиты, г. Кременная: а – в обнажении, б, в – в шлифах (б – николи II, в – николи X). Q – кварц, fr – фораминиферы, cal – кальцисферы.

Эти слои характерны для мендерской и прохладненской свит. В белогорской свите на юго-западе они присутствуют редко, но на востоке в разрезе Биюк-Карасу их доля существенно увеличивается (см. рис. 2).

Такие известняки, относящиеся к СМФ 8 и 9, накапливались в дистальной части среднего рампа. Здесь слабое воздействие штормов не приводило к существенному перераспределению и сортировке осаждавшихся частиц, но насыщало приповерхностную часть осадков кислородом. Его хватало для жизнедеятельности бентоса и разложения органики. Благодаря перемешиванию осадков при биотурбации и во время штормов сохранялись высокие значения рН, неблагоприятные для растворения карбонатов.

ЛТ4 (рис. 6). Тонкое, линзовидно-полосчатое, часто интенсивно биотурбированное чередование известняков – вакстоунов фораминиферовых глинистых серых и пакстоунов детритово-кальцисферово-фораминиферовых светло-серых. Породы содержат раковины планктонных и бентосных фораминифер, кальцисферы, фрагменты иноцеромов, ихнофоссилии, зерна кварца и глауконит. Мощность от 0,5 до 40,0 м.

Такие чередования играют ведущую роль в белогорской свите (пачки IV–VI) и нижней части (пачка VII) мендерской свиты. Кроме того, они образуют прикровельную часть прохладненской свиты (пачка X) в разрезах Бодрак и Кизил-Чигир (см. рис. 2).

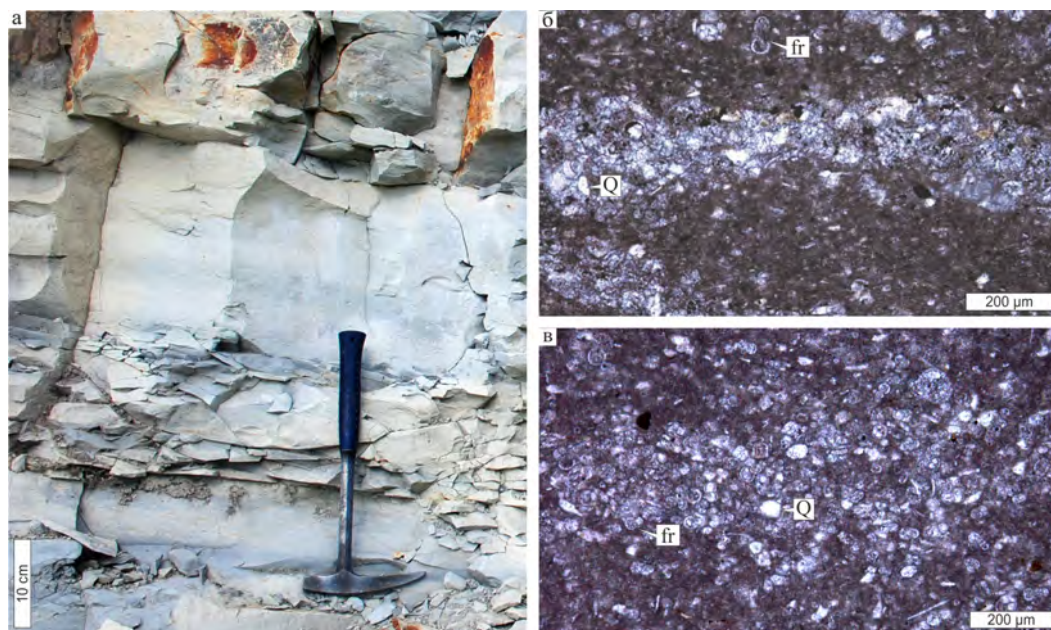


Рис. 6. ЛТ4 – чередование известняков: кальцитовых вакстоунов и пакстоунов. а, б – белогорская свита, г. Кременная: а – обнажение, б – шлиф (николи II); в – мендерская свита, овр. Аксу-Дере, шлиф (николи II). Q – кварц, fr – фораминиферы.

Часто их считают периодитами, связанными с циклами Миланковича, сформировавшимися в пелагических обстановках [например, *Барабощкин и Зибров, 2012; Габдуллин и др., 2004; Найдун, 2004*]. Однако такая интерпретация вызывает сомнения, поскольку одновременно с изменениями соотношений силикатной и карбонатной составляющих здесь чередуются слои с алевропелитовой и псаммитовой структурами (см. *рис. 6, б, в*), что, вероятнее всего, отражает процессы сортировки осадков волнениями.

Тогда слои ЛТ4 стоит отнести к СМФ 10, увязывая их накопление с проксимальной частью переходной зоны среднего рампа. Здесь штормовые волны сортировали осадки, формируя небольшие валы из псаммитовых частиц [*Павлидис и Никифоров, 2007; Sedimentary... , 1986*]. В разделяющих их депрессиях концентрировался алевропелитовый материал, который продолжал накапливаться и между штормами, когда условия седиментации мало отличались от обстановок внешнего рампа.

ЛТ5 (рис. 7). Известняки, пакстоуны детритово-кальциферово-фораминиферовые, часто песчанистые, светло-серые. Форменные элементы представлены раковинами планктонных и бентосных фораминифер, кальциферами, фрагментами иноцерамов и морских ежей. Присутствуют зерна кварца и глауконита. Характерны ихнофоссилии, текстуры биотурбации и волнистая слойчатость. Мощность 1–3 м.

Слои ЛТ5 присутствуют в белогорской (пачки II, VI) и мендерской (пачка VII) свитах.

Их можно отнести к СМФ 11. Псаммитовая структура, волнистая слойчатость, многочисленные ихнофоссилии и остатки бентоса свидетельствуют о накоплении в динамичных условиях внутреннего рампа с хорошей аэрацией придонных вод. Благодаря постоянному воздействию волн в осадках присутствовал кислород, который обеспечивал активную жизнедеятельность бентоса, интенсивное разложение органического вещества и щелочные значения pH, неблагоприятные для растворения карбонатов.

ЛТ6 (рис. 8). Песчаники средне- и мелкозернистые, аркозовые, глауконитистые зеленовато-серые, с раковинами иноцерамов, рострами белемнитов, члениками криноидей, бентосными фораминиферами. К верху увеличиваются содержания глинистой примеси и микритового карбоната. Проявлена косая разнонаправленная слойчатость. Мощность 1–5 м.

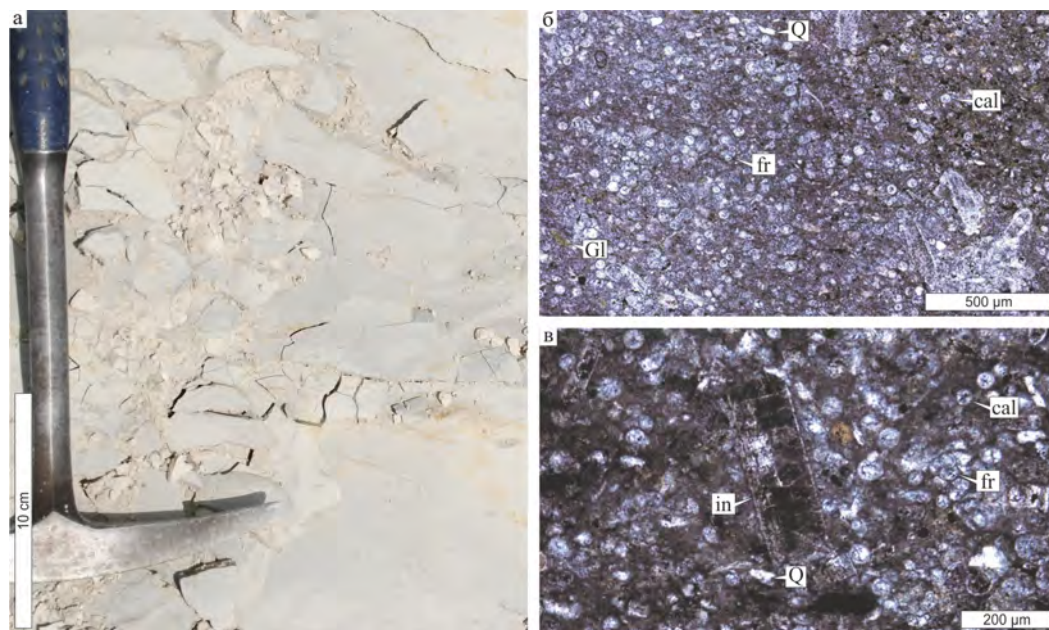


Рис. 7. ЛТ5 – известняки, пакстоуны белогорской свиты, г. Кременная: а – в обнажении, б, в – в шлифах (николи II), Q – кварц, Gl – глауконит, fr – фораминиферы, cal – кальцисферы, in – фрагмент призматического слоя раковины *Inosegatus*.

Эти отложения, образующие трансгрессивный лаг (пачка I белогорской свиты), можно считать терригенной вариацией СМФ 14. Псаммитовая структура и косая разнонаправленная слойчатость указывают на высокую гидродинамику прибрежного мелководья внутреннего рампа. О нормальной солености свидетельствуют остатки морской фауны.

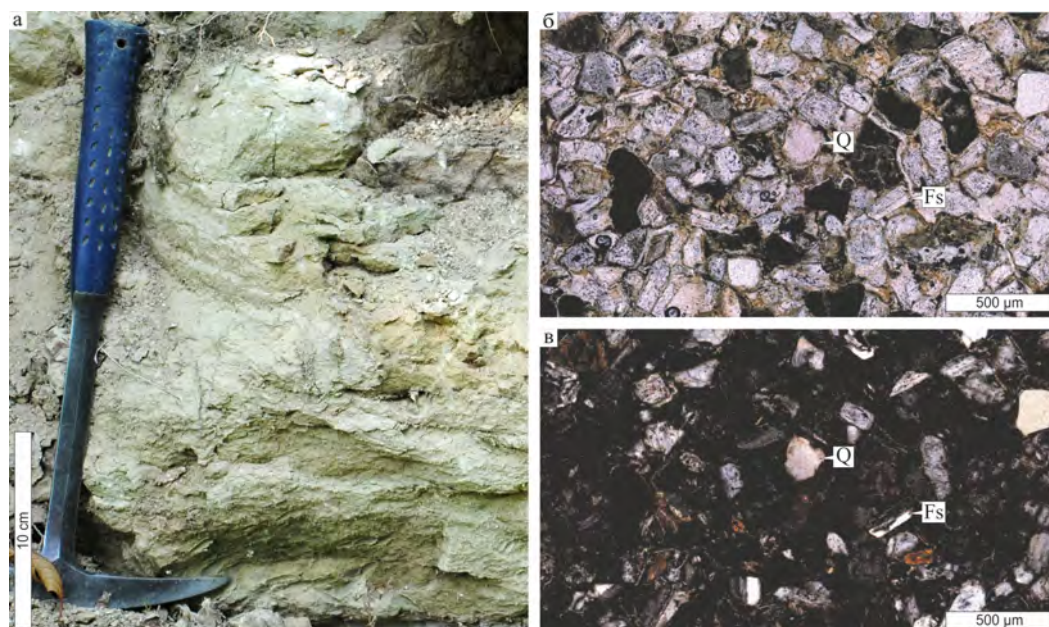


Рис. 8. ЛТ6 – песчаники белогорской свиты, р. Бодрак: а – в обнажении, б, в – в шлифе (б – николи II, в – николи X). Q – кварц, Fs – полевоы шпат.

Модель седиментации, представленная на рис. 9, обобщает рассмотренные выше генетические интерпретации ЛТ. Она хорошо объясняет вариации содержания органического вещества и нерастворимого остатка особенностями динамических и окислительно-восстановительных условий [Шишлов и др., 2025].

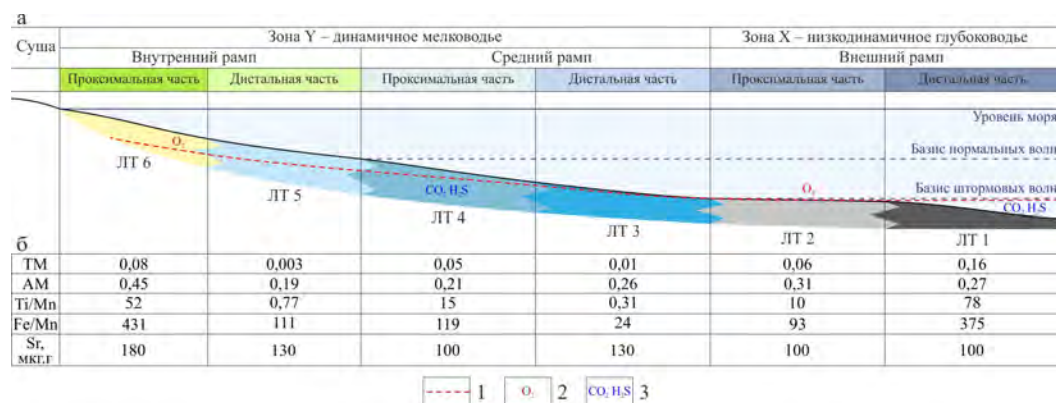


Рис. 9. Реконструкция обстановок накопления литологических типов слоев верхнего мела (а) и их петрохимические характеристики (б). 1 – окислительно-восстановительный барьер; 2 – присутствие кислорода; 3 – присутствие углекислого газа и сероводорода. Остальные условные обозначения см. на рис. 2.

Эту реконструкцию подтверждают и геохимические критерии (см. рис. 9, б). При сравнении пород внутреннего (ЛТ6, ЛТ5) и среднего (ЛТ4, ЛТ3) рампа фиксируется общий тренд уменьшения средних значений модулей ТМ, АМ и соотношений Fe/Mn, Ti/Mn, которые отражают увеличение глубины палеобассейна по мере удаления от суши [Розен и др., 1994]. Рост этих параметров для ЛТ2 и ЛТ1 можно считать результатом диагенетических процессов анаэробных преобразований органического вещества, выщелачивания и гидролиза в обстановках внешнего рампа [Юдович и Кетрис, 2000]. Снижение содержания стронция от ЛТ6 к ЛТ1 свидетельствует об увеличении расстояния до источника терригенного материала.

При анализе строения частных разрезов принятая реконструкция (см. рис. 9, а) позволила, используя миграционную модель слоеобразования [Головкинский, 1868; Романовский, 1985], определить границы парасеквенсов – TS и положение MFS, которые делят их на трансгрессивную и регрессивную части (см. рис. 2).

Региональные циклы седиментации, строение секвенции и эволюция палеогеографической ситуации

Выполненная корреляция (см. рис. 2) показывает, что сеноман-коньякская секвенция сформировалась в течение 7 региональных трансгрессивно-регрессивных циклов седиментации, которые образовали парасеквенсы.

На субмеридиональном профиле (рис. 10) видно, что на юге доминируют отложения внешнего (ЛТ1, ЛТ2) и дистальной части среднего (ЛТ3) рампа. К северу их доля постепенно сокращается за счет фациального замещения осадками проксимальной части среднего (ЛТ4) и внутреннего (ЛТ5) рампа. Это подтверждает, что палеобассейн углублялся с севера на юг¹ [Бадюлина, 2007; Бадюлина и Копаевич, 2007; Левитан и др., 2010], а его береговая линия простиралась с запада на восток (рис. 11).

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

TST образовался в течение 1–3 циклов седиментации и трансгрессивной фазы 4 цикла (см. рис. 10). В приподошвенной части первого парасеквенса локализуется трансгрессивный лаг (ЛТ6), который формировался благодаря миграции береговой линии с юга – юго-востока на север – северо-запад (см. рис. 11).

В парасеквенсах 1, 2 (см. рис. 10) представлено трансгрессивно-регрессивное чередование осадков дистальной части внутреннего рампа (ЛТ5), среднего рампа (ЛТ4, ЛТ3) и проксимальной части внешнего рампа (ЛТ2). Доля пакстоунов ЛТ5

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

увеличивается к северу, а к югу их замещают чередования пакстоунов и вакстоунов ЛТ4. Это можно считать следствием того, что обстановки осадконакопления при подъеме уровня моря последовательно смещались к северу – северо-западу, а при его падении мигрировали на юг – юго-восток.

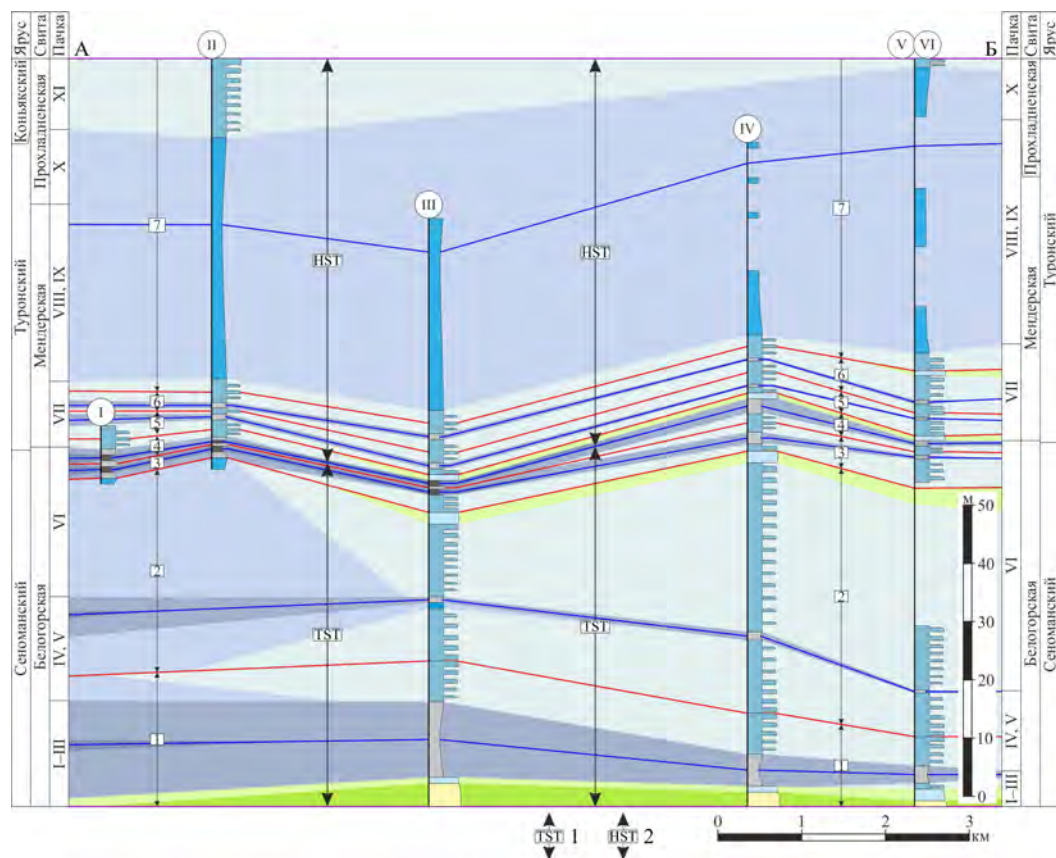


Рис. 10. Литолого-генетический профиль сеноман-коньякской секвенции. 1 – трансгрессивный системный тракт (TST); 2 – системный тракт высокого стояния (HST). Остальные условные обозначения см. на рис. 2, 9. Линию профиля А–Б и расшифровку номеров обнажений см. на рис. 1.

Прикровельную часть TST образуют «аксудеринские слои» (парасеквенс 3 и нижняя часть парасеквенса 4), накопившиеся в обстановках внешнего рампа. На максимуме трансгрессии 4 цикла они занимали большую часть рассматриваемой площади (см. рис. 11). С юга на север наиболее глубоководные, обогащенные органическим веществом ЛТ1 замещают осадки проксимальной части внешнего рампа – ЛТ2. Сверху TST ограничивает MFS парасеквенса 4, расположенная немного ниже палеонтологически обоснованной границы сеномана и турона [Алексеев и др., 2007; Бадулина, 2007; Бадулина и Копяевич, 2007].

HST образуют осадки регрессивной фазы 4 и 5–7 циклов седиментации (см. рис. 10). Здесь доминируют отложения среднего рампа – ЛТ3 и ЛТ4. MFS парасеквенсов 5 и 6 маркируют мергели проксимальной части внешнего рампа. Пакстоуны ЛТ5 внутреннего рампа, установленные в прикровельных частях 4 и 6 парасеквенсов на севере (Бодрак и Кизил-Чигир), подчёркивают положение TS.

Палеогеографические схемы, составленные для регрессивного максимума 6 и трансгрессивного максимума 7 циклов седиментации (см. рис. 11), иллюстрируют положение о том, что наблюдаемые в обнажениях особенности слоевой структуры определяла трансгрессивно-регрессивная миграция обстановок терригенно-карбонатного рампа. При этом их набор и наклон дна палеобассейна на юг – юго-восток оставались неизменными.

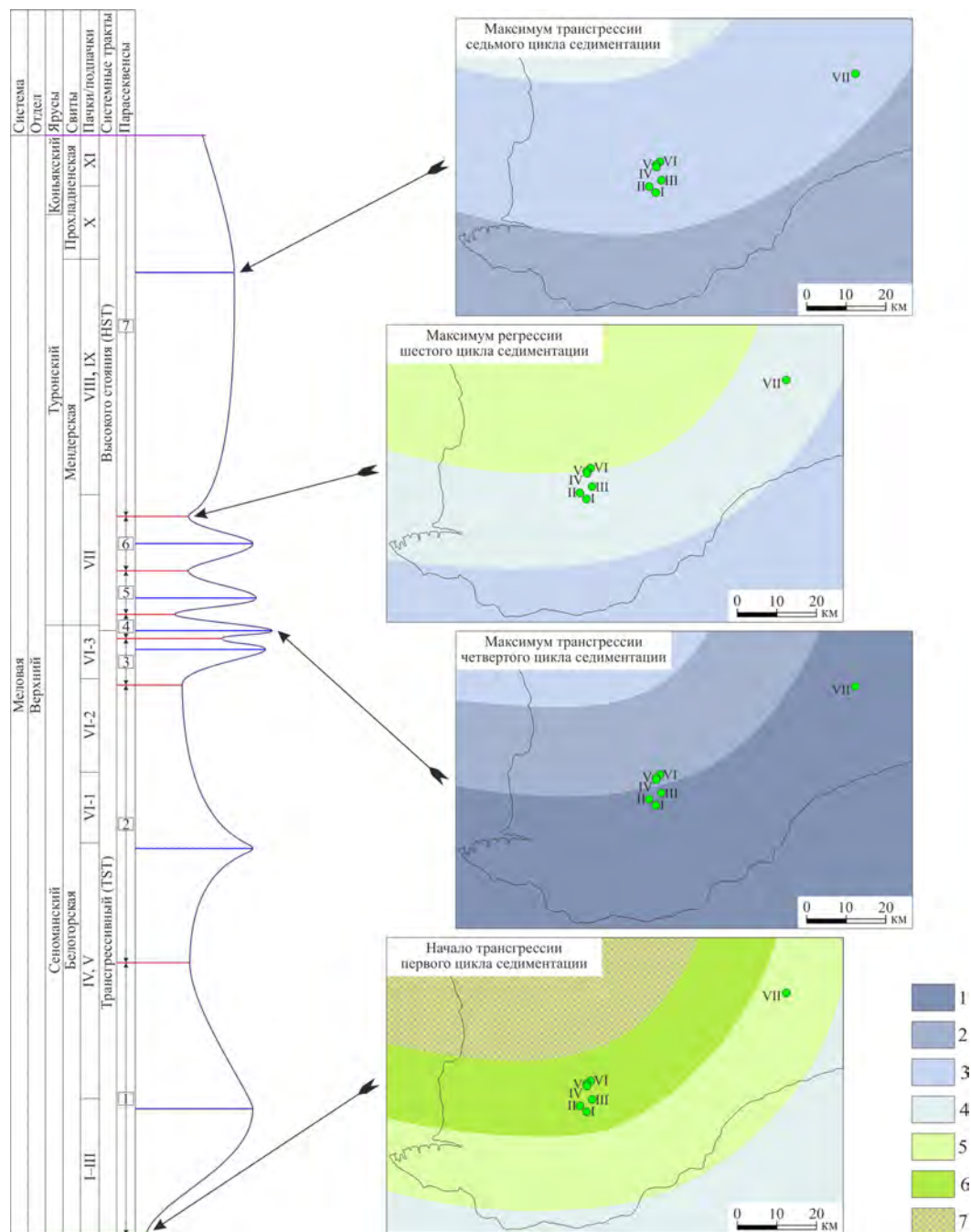


Рис. 11. Эволюция палеогеографической ситуации при формировании сеноман–коньякской секвенции Крыма. 1 – дистальная часть внешнего рампа, 2 – проксимальная часть внешнего рампа, 3 – дистальная часть среднего рампа, 4 – проксимальная часть среднего рампа, 5 – дистальная часть внутреннего рампа, 6 – проксимальная часть внутреннего рампа, 7 – эродируемая суша. Остальные условные обозначения см. на рис. 1, 2.

Верхняя часть отложений 7 цикла седиментации (см. рис. 11), а, возможно, и следующих за ним циклов осадконакопления коньякского века, размыты в раннем сантоне [Никишин и др., 2009]. При этом глубина эрозионного вреза увеличивается с юга на север так, что в разрезе Аксу-Дере сохранились породы пачки XI [Никитин и Болотов, 2006], а в разрезах Бодрак и Кизил-Чигир она и верхняя часть X пачки размыты [Шишлов и др., 2020]. По-видимому, это результат 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 [Дубкова и др., 2022, 2019; Копаевич и др., 2010].

Отложения среднего рампа, подстилающие эрозионную поверхность, представленные в обнажениях Аксу-Дере (ЛТ4), Бодрак и Кизил-Чигир (ЛТ3), образуют “твердое дно” (hardground). Здесь повышено содержание оксидов железа, присутствуют норки камнеточцев и трещины, заполненные перекрывающими осадками. Отсутствие явных следов субаэральной экспозиции позволяет предполагать, что эрозия происходила в пределах подводной отмели, хотя не исключено и полное осушение отдельных участков [Никишин и др., 2009].

Обсуждение результатов

Сеноман-коньякская секвенция Крыма, в соответствии с геохронологической шкалой мелового периода [Gradstein et al., 2020], формировалась около 14 млн лет и является результатом колебания уровня моря II порядка [The sedimentary. . ., 2003; Tucker and Wright, 1990]. Установленные в ее составе парасеквенсы, продолжительность накопления которых можно оценить в 1,5–2,5 млн лет, соответствуют секвенциям III порядка. К этому же иерархическому уровню принадлежат секвенции, выделенные [Gale et al., 1999; Shcherbinina and Gavrilov, 2025]. Отметим, что вопрос об использовании терминов парасеквенс или секвенс не имеет существенного смыслового значения. Мы предпочли первый, поскольку в разрезах Крыма это простейшие трансгрессивно-регрессивные последовательности слоев, дальнейшее деление которых невозможно с использованием принятых критериев.

При сравнении предложенных вариантов секвентного расчленения рассматриваемого интервала видны их существенные отличия (табл. 2). Причины этого стоит обсудить подробнее.

В статье [Gale et al., 1999] рассмотрены разрезы сеномана правого берега р. Кача, г. Сельбухра и овра. Аксу-Дере. При их интерпретации использована седиментологическая модель, разработанная для сеномана Англо-Парижского бассейна [Owen, 1996]. Здесь TST обычно залегает на эрозионной поверхности, которую перекрывает трансгрессивный лаг, образованный песком с глауконитом. Положение MFS определяют по уменьшению содержания глины и увеличению доли карбонатов, рассматривая это как признак удаления от источников терригенного материала во время трансгрессии. К HST относят интервалы, сложенные преимущественно карбонатными породами. Выше выделяют следующую секвенцию. Повышенное содержание глин у ее основания интерпретируют как результат низкого стояния уровня моря (LST).

Мы полагаем, что высокое содержание глины в разрезах Крыма не стоит считать признаком близости суши, поскольку для возникновения мелководных низкодинамичных обстановок, необходимых для осаждения алевропелитовых частиц, должны существовать разрушающие волны бары. Их признаки в разрезах отсутствуют (см. рис. 2). Кроме того, если принять модель, используемую [Gale et al., 1999], то при анализе литолого-генетического профиля (см. рис. 10), демонстрирующего сокращение доли глин к северу, необходимо сделать вывод о том, что суша располагалась на юге, а это противоречит представлениям о палеогеографии позднего мела (см. рис. 1, а) [Scotese, 2014]. В этой ситуации уместно считать глины и мергели результатом диагенетического растворения карбонатов в обстановках внешнего рампа.

Стоит обратить внимание на то, что положение ключевых поверхностей, установленных нами и [Gale et al., 1999], приблизительно совпадает (см. табл. 2). Однако их интерпретация, связанная с различиями принятых моделей седиментации, оказывается диаметрально противоположной: MFS [Gale et al., 1999] мы считаем TS, а TS – MFS. При этом важно подчеркнуть совпадение стратиграфических объемов интервалов, сформировавшихся в течение единого этапа изменения уровня моря (вне зависимости от его трансгрессивной или регрессивной интерпретации), следы которых идентифицированы в разрезах, удалённых на тысячи км [Gale et al., 1999]. Это позволяет предполагать их эвстатическую природу, а, следовательно, глобальный корреляционный потенциал.

В статье [Shcherbinina and Gavrilov, 2025] при секвенс-стратиграфическом расчленении разрезов Аксу-Дере и Сельбухра седиментологические критерии не использованы. Границы секвенций установлены по перерывам, которые локализуются внутри или на границах смежных зон по нанопланктону и по планктонным фораминиферам (см.

Таблица 2. Стратиграфия сеноман-коньякских отложения Крыма

Общая стратиграфическая шкала			Биостратиграфические зоны				Секвенс-стратиграфические подразделения										
Система	Отдел	Ярусы	[Baraboshkin et al., 2024]		По планктонным фораминиферам [Kopaevich and Vishnevskaya, 2016]	По нанопланктону [Shcherbinina and Gavrilov, 2025]	Свиты [Астахова и др., 1984]	Пачки / подпачки [Алексеев, 1989]	[Gale et al., 1999]		[Эта статья]						
			По белемнитам	По аммонитам					Секвенные тракты	Секвенции	Секвенции и их границы [Shcherbinina and Gavrilov, 2025]	Парасеквенсы	Секвенные тракты	Секвенция			
Меловая	Верхний	Коньякский	Средний	?	Concovatotruncana concavata	UC9	Прохладинская	XI			Tu 4	7	Высокого стояния (HST)				
			Нижний		Marginotruncana coronata						SB ²						
			Верхний		Слой с <i>Tongoboryceras rhodanicum</i> ?						M. pseudolinneiana			Tu 3?	SB ²		
		Туронский	Средний		Kamerunoceras turoniense	UC8		Мендерская	IX	VIII	HST ?	?	Tu 2	SB ³			
			Нижний		?	Whiteinella archaeocretacea							UC7	VII	TST	Tu 1	6
			Сеноманский		Верхний	Calycoceras (C.) naviculare							UC6b	VI-3	HST	SB ³ ?	5
					Средний	?							Rotalipora cushman	UC5-6a	VI-2	HST	Ce 5
	Нижний	Слой с <i>Calycoceras (Gent.) gentoni</i>		Thalmaninella deecke		UC4	VI-1	TST	Ce 4								
	Сеноманский	Средний	Neohibolites excelsus – N. repentinus	Turrilites costatus	UC3a	Белогорская	V	HST	4	Ce 3	2						
			Отсутствует	Отсутствует	UC2c					IV		TST	SB ³				
			Neohibolites menjailenkoi	Mantelliceras dixoni	UC1d-2b					III		HST	Ce 2	1			
		Нижний	Нижний	Mantelliceras mantelli / Mantelliceras saxbii	Thalmaninella globotruncanoides					UC1a-c	II	TST	3	SB ³	Трансгрессивный (TST)		
											I	TST	Ce 1	SB ³			

Примечание. Цветные линии: фиолетовые – региональные несогласия, синие – MFS, красные – TS. Границы секвенций по [Shcherbinina and Gavrilov, 2025]: SB¹ – фациальные изменения и короткие перерывы, SB² – возможные перерывы, SB³ – перерывы с выраженной эрозией.

табл. 2). Ссылки на то, что некоторые из этих несогласий подтверждает отсутствие аммонитовых зон, представляются неубедительными, поскольку современная зональная шкала Крыма по аммонитам, как и по белемнитам, не разработана [Baraboshkin et al., 2024].

В целом есть основания предполагать, что многочисленные несогласия (отчетливые межслоевые границы), описанные в сеноман-коньякской последовательности Крыма [Алексеев и др., 2007; Baraboshkin et al., 2024; Gale et al., 1999; Shcherbinina and Gavrilov, 2025] являются диастемами – кратковременными перерывами, которые не фиксируют методы биостратиграфии. Для определения площади их распространения необходимы детальные корреляционные построения. Так, сопоставление разрезов пограничного сеноман-туронского интервала в междуречье Кача-Бодрак [Шишлов и Дубкова, 2021] показало, что эрозионная поверхность в основании пачки V и размыв большей верхней части подпачки IV-3 в обнажении горы Мендер на протяжении первых километров к югу (Сельбухра) и северу (Кременная) сменяет согласная граница между пачками IV и V. По-видимому, этот локальный размыв произошел в пределах отмели [Котельников и Найдин, 1999]. Вероятно, и другие диастемы связаны со сложным рельефом дна, в пределах которого одновременно существовали и участки, на которых происходила седиментация, и формировались перерывы (хардграунды, эрозионные поверхности).

На основании вышеизложенного можно считать, что представленная нами секвентная интерпретация сеноман-коньякских разрезов Крыма имеет право на существование. Вместе с тем очевидно, что для дальнейшего приближения к истине необходимы детальные комплексные литологические и палеонтологические исследования.

Заключение

Генетическая интерпретация литологических и геохимических особенностей установленных в разрезах типов слоев в сочетании с анализом их вертикальных и латеральных взаимоотношений, позволили обосновать концептуальную модель обстановок формирования сеноман-коньякских разрезов. Она использована для выявления следов трансгрессивно-регрессивных циклов колебания уровня моря, определения положения ключевых поверхностей TS и MFS.

Показано, что рассматриваемый стратиграфический интервал представляет собой первую (снизу) осадочную секвенцию верхнего мела, ограниченную поверхностями несогласия. Ее образуют 7 парасеквенсов, каждый из которых является результатом региональных, а возможно и глобальных – эвстатических – трансгрессивно-регрессивных циклов колебания уровня моря. Парасеквенсы образуют сеноманский TST и турон-коньякский HST.

Субмеридиональный литолого-генетический профиль отражает особенности пространственно-временных изменений сеноман-коньякской секвенции, а серия палеогеографических схем – эволюцию обстановок ее формирования.

Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования региональной стратиграфической схемы верхнего мела Крыма [Астахова и др., 1984], в которой до настоящего времени не выделены горизонты. В качестве их прообразов целесообразно рассмотреть системные тракты, формирование которых связано с крупными этапами геологической истории палеобассейна. Тогда можно установить два горизонта: белогорский (по белогорской свите), соответствующий TST, и трудолюбовский (по селу Трудолюбовка), приуроченный к HST и объединяющий мендерскую и прохладненскую свиты.

Благодарности. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 24-27-00197, <https://rscf.ru/project/24-27-00197/>. Авторы выражают признательность рецензентам RJES за содержательные замечания, позволившие улучшить работу.

Список литературы

- 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 // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. — 2005. — Т. 80, № 2. — С. 80–92. — EDN: [HSAEFZ](#).
- Алексеев А. С. Верхний отдел // Геологическое строение Качинского поднятия горного Крыма. Стратиграфия мезозоя. — М.: МГУ, 1989. — С. 123–157.
- Алексеев А. С., Копаевич Л. Ф., Никишин А. М. и др. Пограничные сеноман-туронские отложения Юго-Западного Крыма. Статья 1. Стратиграфия // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. — 2007. — Т. 82, № 3. — С. 3–29. — EDN: [KWEQAN](#).
- Астахова Т. В., Горак С. В., Краева Е. Я. и др. Геология шельфа УССР. Стратиграфия (шельф и побережья Черного моря). — Киев: Наукова Думка, 1984. — 184 с.
- Бадулина Н. В. Строение пограничных сеноман-туронских отложений разреза г. Сельбухры (Юго-Западный Крым) // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2007. — № 5. — С. 26–31. — EDN: [PWUJOJ](#).
- Бадулина Н. В. и Копаевич Л. Ф. Строение пограничных сеноман-туронских отложений разреза Аксу-Дере (Юго-Западный Крым) // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2007. — № 1. — С. 22–28. — EDN: [HYYUXB](#).
- Барабошкин Е. Ю. и Зибров И. А. Характеристика ритмичной толщи среднего сеномана г. Сельбухра (Юго-Западный Крым) // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2012. — № 3. — С. 35–42. — EDN: [PCXNWJ](#).
- Габдуллин Р. Р., Бадулина Н. В. и Репина О. П. Цикличность средне-верхнесеноманских отложений между речья Бодрак Кача (Юго-Западный Крым) // Известия Высших Учебных Заведений. Геология и Разведка. — 2004. — № 5. — С. 7–14. — EDN: [RBGYSN](#).

- Гаврилов Ю. О., Щербинина Е. А., Щепетова 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. 519–542. — <https://doi.org/10.31857/S0024497X22060039>.
- Головкинский Н. А. О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна // Материалы для геологии России. Издание Императорского С.-Петербургского Минералогического общества. Том 1. — СПб. : Типография Императорской Академии наук, 1868. — С. 273–422.
- Дубкова К. А., Шишлов С. Б., Бугрова Э. М. и др. Строение и история формирования разреза нижнего мела–эоцена в центральной части Симферопольского поднятия // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные Науки. — 2022. — Т. 164, № 2. — С. 297–313. — <https://doi.org/10.26907/2542-064x.2022.2.297-317>.
- Дубкова К. А., Шишлов С. Б. и Черепихина А. В. Разрез палеоэоцена–эоцена в районе горы Ак-Кая (Центральный Крым) и его геосторическая интерпретация // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. — 2019. — Т. 64, № 1. — С. 4–23. — <https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.101>.
- Жемчугова В. А. Резервуарная седиментология карбонатных отложений. — М. : ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2014. — 232 с.
- Кобаевич Л. Ф., Лыгина Е. А., Яковишина Е. В. и др. Датские отложения Крымского полуострова: фациальные особенности и условия осадконакопления // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2010. — № 5. — С. 12–20. — EDN: [NCFEPP](#).
- Котельников Д. Д. и 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 карбонатакопления в истории Земли. — М. : ГЕОС, 2003. — 262 с. — EDN: [LMNWGI](#).
- Кузьмичева Т. А. Пограничные отложения сеномана и турона в разрезе горы Белой (Юго-Западный Крым) // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2000. — № 1. — С. 70–73.
- Латышова М. Р., Кобаевич 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 Московского университета. Серия 4: Геология. — 2019. — № 3. — С. 21–27. — EDN: [MCIYWW](#).
- 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. — EDN: [MSQIWX](#).
- Найдин Д. П. Пара известняк–мергель ритмичной карбонатной толщи сеномана Крыма – показатель различных палеогеографических режимов полуциклов прецессии // Известия Высших Учебных Заведений. Геология и Разведка. — 2004. — № 4. — С. 11–25. — EDN: [RBFNWL](#).
- Никитин М. Ю. и Болотов С. Н. Геологическое строение Крымского учебного полигона МГУ. Альбом рисунков по второй учебной геологической практике. Ч. I. — М. : МГУ, 2006. — 135 с.
- Никишин А. М., Алексеев А. С., Барабошкин Е. Ю. и др. Геологическая история Бахчисарайского района Горного Крыма в меловом периоде // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. — 2009. — Т. 84, № 2. — С. 83–93.
- Павлидис Ю. А. и Никифоров С. Л. Обстановки морфолитогеनेза в прибрежной зоне Мирового океана. — М. : Наука, 2007. — 455 с. — EDN: [QKHEIJ](#).
- Розен О. М., Журавлев Д. З. и Ляпунов С. М. Геохимические исследования осадочных отложений Тимано-Печорской провинции // Разведка и охрана недр. — 1994. — № 1. — С. 18–21.
- Романовский С. И. Динамические режимы осадконакопления. Циклогенез. — Л. : Недра, 1985. — 263 с.
- Цейслер В. М. Основы фациального анализа. — М. : КДУ, 2009. — 147 с. — EDN: [QKHWGD](#).
- Цейслер В. М., Караулов В. Б., Туров А. В. и др. О местных стратиграфических подразделениях в восточной части Бахчисарайского района Крыма // Известия Высших Учебных Заведений. Геология и Разведка. — 1999. — № 6. — С. 8–18. — EDN: [PXHSRJ](#).
- Шишлов С. Б. и Дубкова К. А. Структурно-вещественные особенности, строение и генезис пограничного сеноман-туронского интервала разреза междуречья Кача – Бодрак (Юго-Западный Крым) // Геология Крыма. Ученые записки кафедры осадочной геологии. Выпуск 3. — Издательство «ЛЕМА», 2021. — С. 97–110. — EDN: [EHFAHL](#).
- Шишлов С. Б., Дубкова К. А., Аркадьев В. В. и др. Мел и палеоген бассейна реки Бодрак (Юго-Западный Крым). — СПб : Издательство «ЛЕМА», 2020. — 271 с. — EDN: [EEBOOI](#).
- Шишлов С. Б., Дубкова К. А. и Чеботарева В. А. Обстановки накопления отложений верхнего мела Юго-Западного и Центрального Крыма // Литосфера. — 2025. — Т. 25, № 4. — С. 907–930. — <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2025-25-4-907-930>.
- Юдович Я. Э. и Кетрис М. П. Основы литохимии. — СПб. : Наука, 2000. — 479 с.

- Ahr W. M. The carbonate ramp: an alternative to the shelf model // *GCAGS Transactions*. — 1973. — Vol. 23. — P. 221–225.
- Baraboshkin E. Yu., Guzhikov A. Yu., Ryabov I. P., et al. Developments in the Cretaceous Stratigraphy of Crimea. Part 2. Upper Cretaceous and Conclusions // *Stratigraphy and Geological Correlation*. — 2024. — Vol. 32, no. 6. — P. 733–777. — <https://doi.org/10.1134/s0869593824700217>.
- Burchette T. P. and Wright V. P. Carbonate ramp depositional systems // *Sedimentary Geology*. — 1992. — Vol. 79, no. 1–4. — P. 3–57. — [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90003-a](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90003-a).
- Flügel E. *Microfacies Analysis of Limestones. Analysis, Interpretation, and Application*. — Berlin : Springer, 2010. — P. 633.
- Gale A. S., Hancock J. M. and Kennedy W. J. Biostratigraphical and sequence correlation of the Cenomanian successions in Mangyshlak (W. Kazakhstan) and Crimea (Ukraine) with those in southern England // *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Sciences de la Terre*. — 1999. — Vol. 69–Supp. A. — P. 67–86.
- Gradstein F. M., Ogg J. G., Schmitz M. D., et al. *Geologic Time Scale*. Vol. 2. — Elsevier, 2020. — 1357 p. — <https://doi.org/10.1016/c2020-1-02369-3>.
- Hallam A. *Facies Interpretation and the Stratigraphic Record*. — Oxford; San Francisco : Freeman, 1981. — 291 p.
- Irwin M. L. General Theory of Epeiric Clear Water Sedimentation // *AAPG Bulletin*. — 1965. — Vol. 49. — P. 445–459. — <https://doi.org/10.1306/a6633632-16c0-11d7-8645000102c1865d>.
- Kopaevich L. F. and Vishnevskaya V. S. Cenomanian-Campanian (Late Cretaceous) planktonic assemblages of the Crimea-Caucasus area: Palaeoceanography, palaeoclimate and sea level changes // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. — 2016. — Vol. 441. — P. 493–515. — <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.09.024>.
- Owen D. Interbasinal correlation of the Cenomanian Stage; testing the lateral continuity of sequence boundaries // *Geological Society, London, Special Publications*. — 1996. — Vol. 104, no. 1. — P. 269–293. — <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1996.104.01.16>.
- Posamentier H. W. and Allen G. P. *Siliciclastic Sequence Stratigraphy – Concepts and Applications*. — Tulsa : SEPM (Society for Sedimentary Geology), 1999. — 204 p. — <https://doi.org/10.2110/csp.99.07>.
- Scotese C. R. Atlas of Late Cretaceous Maps, PALEOMAP Atlas for ArcGIS, volume 2, The Cretaceous, Maps 16 – 22, Mollweide Projection. — Evanston, IL : PALEOMAP Project, 2014. — <https://doi.org/10.13140/2.1.4691.3284>.
- Sedimentary Environments and Facies*. Second Edition / ed. by H. G. Reading. — Oxford : Blackwell Scientific Inc Publications, 1986. — 615 p.
- Shcherbinina E. and Gavrilov Y. Upper Cretaceous (Cenomanian–lower Campanian) nannofossils and sequence stratigraphy of southwestern Crimea // *Palaeoworld*. — 2025. — Vol. 34, no. 4. — P. 100902. — <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2024.11.010>.
- The sedimentary record of Sea-Level Change*. Volume 1. Vol. 1 / ed. by A. L. Coe. — Cambridge University Press, 2003.
- Tucker M. E. and Wright V. P. *Carbonate Sedimentology*. — Oxford : Wiley, 1990. — 482 p. — <https://doi.org/10.1002/9781444314175>.
- Wilson J. L. *Carbonate Facies in Geologic History*. — Berlin; Heidelberg; NY : Springer New York, 1975. — 471 p. — <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-6383-8>.

STRUCTURE AND DEPOSITIONAL ENVIRONMENTS OF THE CENOMANIAN–CONIACIAN SEQUENCE IN CRIMEA

S. B. Shishlov^{1,2**} , V. V. Ivanova¹ , E. G. Panova², K. A. Dubkova^{1,2} ,
A. B. Kuznetsov^{1,2} , and V. A. Chebotareva² 

¹Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

²St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

**Correspondence to: Sergey Shishlov, sshishlov@mail.ru

This paper presents the results of a facies analysis of the Upper Cretaceous deposits in Southwestern and Central Crimea and a characterization of the Cenomanian–Coniacian sequence. This geological body, bounded by surfaces of parallel unconformities, comprises beds of six lithological types, each formed in a specific ramp setting. Their migration due to transgressive-regressive sea-level fluctuations resulted in the formation of seven parasequences. The spatio-temporal changes within these parasequences allowed for the identification of a Cenomanian transgressive systems tract and a Turonian–Coniacian highstand systems tract. The reconstruction of the paleogeographic evolution during their formation showed that for most of the time, the seafloor in the Crimean segment of the Late Cretaceous epicontinental sea was located above the storm wave base. The conducted research provides additional justification and refinement for correlation frameworks. The results can be used to improve the regional stratigraphic scheme of the Upper Cretaceous of Crimea.

Keywords: facies analysis, sequence stratigraphy, epicontinental basin, mixed siliciclastic-carbonate ramp, depositional environments, paleogeography.

Received: September 12, 2025

Accepted: October 23, 2025

Published: November 11, 2025



© 2025. The Authors.

Citation: Shishlov S. B., Ivanova V. V., Panova E. G., Dubkova K. A., Kuznetsov A. B., and Chebotareva V. A. (2025), Structure and Depositional Environments of the Cenomanian–Coniacian Sequence in Crimea, *Russian Journal of Earth Sciences*, 25, ES5020, <https://doi.org/10.2205/2025ES001068>, EDN: ORHNPR

References

- Ahr W. M. The carbonate ramp: an alternative to the shelf model // *GCAGS Transactions*. — 1973. — Vol. 23. — P. 221–225.
- Alekseev A. S. Upper Series // *Geological Structure of the Kacha Uplift of the Mountainous Crimea. Mesozoic Stratigraphy*. — M.: MGU, 1989. — P. 123–157. — (In Russian).
- Alekseev A. S., Kopaevich L. F., Baraboshkin E. Yu., et al. Late Cretaceous Palaeogeography of Southern Part of East-European Platform and Adjacent Folded Belts. 1. Introduction and Stratigraphical Basis // *Byulleten' Moskovskogo Obshchestva Ispytateley Prirody. Otdel Geologicheskiiy*. — 2005. — Vol. 80, no. 2. — P. 80–92. — EDN: [HSAEFZ](https://doi.org/10.2205/2005ES001068); (in Russian).
- Alekseev A. S., Kopaevich L. F., Nikishin A. M., et al. Cenomanian–Turonian Boundary Interval in Southwestern Crimea. 1. Stratigraphy // *Byulleten' Moskovskogo Obshchestva Ispytateley Prirody. Otdel Geologicheskiiy*. — 2007. — Vol. 82, no. 3. — P. 3–29. — EDN: [KWEQAH](https://doi.org/10.2205/2007ES001068); (in Russian).
- Astakhova T. V., Gorak S. V., Kraeva E. Ya., et al. *Geology of the Shelf of the Ukrainian SSR. Stratigraphy (Shelf and Coasts of the Black Sea)*. — Kiev: Naukova Dumka, 1984. — 184 p. — (In Russian).
- Badulina N. V. Structure of the Cenomanian–Turonian Boundary Deposits of the Mount Sel'bukhry Section (Southwestern Crimea) // *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*. — 2007. — No. 5. — P. 26–31. — EDN: [PWUJOJ](https://doi.org/10.2205/2007ES001068); (in Russian).
- Badulina N. V. and Kopaevich L. F. Structure of the Cenomanian–Turonian Boundary Deposits of the Aksu-Dere Section (Southwestern Crimea) // *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*. — 2007. — No. 1. — P. 22–28. — EDN: [HYUUXB](https://doi.org/10.2205/2007ES001068); (in Russian).

- Baraboshkin E. Yu., Guzhikov A. Yu., Ryabov I. P., et al. Developments in the Cretaceous Stratigraphy of Crimea. Part 2. Upper Cretaceous and Conclusions // Stratigraphy and Geological Correlation. — 2024. — Vol. 32, no. 6. — P. 733–777. — <https://doi.org/10.1134/s0869593824700217>.
- Baraboshkin E. Yu. and Zibrov I. A. Characteristics of the Middle Cenomanian rhythmic sequence from Mount Selbukhra in southwest Crimea // Moscow University Geology Bulletin. — 2012. — Vol. 67, no. 3. — P. 176–184. — <https://doi.org/10.3103/s0145875212030027>.
- Burchette T. P. and Wright V. P. Carbonate ramp depositional systems // Sedimentary Geology. — 1992. — Vol. 79, no. 1–4. — P. 3–57. — [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90003-a](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90003-a).
- Dubkova K. A., Shishlov S. B., Bugrova E. M., et al. Structure and Formation of the Lower Cretaceous-Eocene Section in the Central Part of the Simferopol Uplift // Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki. — 2022. — Vol. 164, no. 2. — P. 297–317. — <https://doi.org/10.26907/2542-064x.2022.2.297-317>. — (In Russian).
- Dubkova K. A., Shishlov S. B. and Cherepakhina A. V. Section of the Paleocene-Eocene in the region of the Ak-Kaya Mountain (Central Crimea) and its geohistorical interpretation // Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences. — 2019. — Vol. 64, no. 1. — P. 4–23. — <https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.101>. — (In Russian).
- Flügel E. Microfacies Analysis of Limestones. Analysis, Interpretation, and Application. — Berlin : Springer, 2010. — P. 633.
- Gabdullin R. R., Badulina N. V. and Repina O. P. Cyclic Recurrence of Middle Upper Cenomanian Deposits in the Bodrak-Kacha Interfluvium (South-Western Crimea) // Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration. — 2004. — No. 5. — P. 7–14. — EDN: [RBGYSN](https://doi.org/10.26907/2542-064x.2022.2.297-317) ; (in Russian).
- Gale A. S., Hancock J. M. and Kennedy W. J. Biostratigraphical and sequence correlation of the Cenomanian successions in Mangyshlak (W. Kazakhstan) and Crimea (Ukraine) with those in southern England // Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Sciences de la Terre. — 1999. — Vol. 69–Supp. A. — P. 67–86.
- Gavrilov Yu. O., Shcherbinina E. A., Shchepetova E. V., et al. Late Cenomanian Paleocological Event OAE 2 in the Sections of the Northern Peri-Tethys (Crimea, Eastern Caucasus): Sediment Structure and Dynamics of their Accumulation // Lithology and Mineral Resources. — 2022. — Vol. 57, no. 6. — P. 473–493. — <https://doi.org/10.1134/s0024490222060037>.
- Golovkinsky N. A. On the Permian Formation in the Central Part of the Kama-Volga Basin // Materials for the Geology of Russia. Publication of the Imperial St. Petersburg Mineralogical Society. Volume 1. — SPb. : Tipografiya Imperatorskoy Akademii Nauk, 1868. — P. 273–422. — (In Russian).
- Gradstein F. M., Ogg J. G., Schmitz M. D., et al. Geologic Time Scale. Vol. 2. — Elsevier, 2020. — 1357 p. — <https://doi.org/10.1016/c2020-1-02369-3>.
- Hallam A. Facies Interpretation and the Stratigraphic Record. — Oxford; San Francisco : Freeman, 1981. — 291 p.
- Irwin M. L. General Theory of Epeiric Clear Water Sedimentation // AAPG Bulletin. — 1965. — Vol. 49. — P. 445–459. — <https://doi.org/10.1306/a6633632-16c0-11d7-8645000102c1865d>.
- Kopaevich L. F., Lygina E. A., Yakovishina E. V., et al. Danian of the Crimea: Facial Features and Depositional Environments // Moscow University Bulletin. Series 4. Geology. — 2010. — No. 5. — P. 12–20. — EDN: [NCFEPP](https://doi.org/10.26907/2542-064x.2022.2.297-317) ; (in Russian).
- Kopaevich L. F. and Vishnevskaya V. S. Cenomanian-Campanian (Late Cretaceous) planktonic assemblages of the Crimea-Caucasus area: Palaeoceanography, palaeoclimate and sea level changes // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. — 2016. — Vol. 441. — P. 493–515. — <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.09.024>.
- Kotel'nikov D. D. and Naydin D. P. Clay Minerals of the Cenomanian/Turonian Boundary Deposits of Crimea and the Maastrichtian/Danian of Mangyshlak // Litologiya i Poleznye Iskopaemye. — 1999. — No. 1. — P. 38–45. — (In Russian).
- Kuzmicheva T. A. Cenomanian-Turonian Boundary Deposits in the Mount Belaya Section (Southwestern Crimea) // Moscow University Bulletin. Series 4. Geology. — 2000. — No. 1. — P. 70–73. — (In Russian).
- Kuznetsov V. G. Evolution of the carbonate formation in the Earth's history. — M. : GEOS, 2003. — 262 p. — EDN: [LMNWGI](https://doi.org/10.26907/2542-064x.2022.2.297-317) ; (in Russian).
- Latypova M. R., Kopaevich L. F., Kalmykov A. G., et al. New Data on the Cenomanian-Turonian Boundary Oceanic Anoxic Event in the Biyuk-Karasu River Section (Central Crimea) // Moscow University Geology Bulletin. — 2019. — Vol. 74, no. 4. — P. 349–356. — <https://doi.org/10.3103/s0145875219040082>.
- Levitan M. A., Alekseev A. S., Badulina N. V., et al. Geochemistry of Cenomanian/Turonian boundary sediments in the mountainous part of Crimea and the northwestern Caucasus // Geochemistry International. — 2010. — Vol. 48, no. 6. — P. 534–554. — <https://doi.org/10.1134/s0016702910060029>.

- Naydin D. P. Paralimestone-Marl of Rhythmic Carbonaceous Formation of Crimean Cenomanian - the Indicator of Various Paleogeographic Regimes Of Precession Semi-Cycles // Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration. — 2004. — No. 4. — P. 11–25. — EDN: [RBFNWL](#) ; (in Russian).
- Nikishin A. M., Alekseev A. S., Baraboshkin E. Yu., et al. Geological History of Bakhchisaray Area of Mountain Crimea During Cretaceous Period // Byulleten' Moskovskogo Obshchestva Ispytateley Prirody. Otdel Geologicheskiiy. — 2009. — Vol. 84, no. 2. — P. 83–93. — (In Russian).
- Nikitin M. Yu. and Bolotov S. N. Geological Structure of the Moscow State University Crimean Training Ground. Album of Drawings for the Second Educational Geological Practice. Part I. — M. : MGU, 2006. — 135 p. — (In Russian).
- Owen D. Interbasinal correlation of the Cenomanian Stage; testing the lateral continuity of sequence boundaries // Geological Society, London, Special Publications. — 1996. — Vol. 104, no. 1. — P. 269–293. — <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1996.104.01.16>.
- Pavlidis Yu. A. and Nikiforov S. L. Morpholithogenesis Environments in the Coastal Zone of the World Ocean. — M. : Nauka, 2007. — 455 p. — EDN: [QKHEIJ](#) ; (in Russian).
- Posamentier H. W. and Allen G. P. Siliciclastic Sequence Stratigraphy - Concepts and Applications. — Tulsa : SEPM (Society for Sedimentary Geology), 1999. — 204 p. — <https://doi.org/10.2110/csp.99.07>.
- Romanovsky S. I. Dynamic Regimes of Sedimentation. Cyclogenesis. — L. : Nedra, 1985. — 263 p. — (In Russian).
- Rozen O. M., Zhuravlev D. Z. and Lyapunov S. M. Geochemical Studies of Sedimentary Deposits of the Timan-Pechora Province // Razvedka i Okhrana Nedr. — 1994. — No. 1. — P. 18–21. — (In Russian).
- Scotese C. R. Atlas of Late Cretaceous Maps, PALEOMAP Atlas for ArcGIS, volume 2, The Cretaceous, Maps 16 - 22, Mollweide Projection. — Evanston, IL : PALEOMAP Project, 2014. — <https://doi.org/10.13140/2.1.4691.3284>.
- Sedimentary Environments and Facies. Second Edition / ed. by H. G. Reading. — Oxford : Blackwell Scientific Inc Publications, 1986. — 615 p.
- Shcherbinina E. and Gavrilov Y. Upper Cretaceous (Cenomanian-lower Campanian) nannofossils and sequence stratigraphy of southwestern Crimea // Palaeoworld. — 2025. — Vol. 34, no. 4. — P. 100902. — <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2024.11.010>.
- Shishlov S. B. and Dubkova K. A. Structural-Substantial Characteristics, Structure and Genesis of the Cenomanian-Turonian Boundary Interval from the Interfluvium of the Kacha and Bodrak Rivers (South-Western Crimea) // Geology of Crimea: Scientific Notes of the Department of Sedimentary Geology. Issue 3. — Izdatel'stvo «LEMA», 2021. — P. 97–110. — EDN: [EHFAHL](#) ; (in Russian).
- Shishlov S. B., Dubkova K. A., Arkadiev V. V., et al. Cretaceous and Paleogene of the Bodrak River Basin (Southwestern Crimea). — SPb : Izdatel'stvo «LEMA», 2020. — 271 p. — EDN: [EEBOOI](#) ; (in Russian).
- Shishlov S. B., Dubkova K. A. and Chebotareva V. A. Sedimentary environments of the Upper Cretaceous in the Southwestern and Central Crimea // LITHOSPHERE (Russia). — 2025. — Vol. 25, no. 4. — P. 907–930. — <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2025-25-4-907-930>. — (In Russian).
- The sedimentary record of Sea-Level Change. Volume 1. Vol. 1 / ed. by A. L. Coe. — Cambridge University Press, 2003.
- Tseysler V. M. Fundamentals of Facies Analysis. — M. : KDU, 2009. — 147 p. — EDN: [QKHWGD](#) ; (in Russian).
- Tseysler V. M., Karaulov V. B., Turov A. V., et al. On Local Stratigraphic Units in the Eastern Part of the Bakhchisarai District of Crimea // Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration. — 1999. — No. 6. — P. 8–18. — EDN: [PXHSRJ](#) ; (in Russian).
- Tucker M. E. and Wright V. P. Carbonate Sedimentology. — Oxford : Wiley, 1990. — 482 p. — <https://doi.org/10.1002/9781444314175>.
- Wilson J. L. Carbonate Facies in Geologic History. — Berlin; Heidelberg; NY : Springer New York, 1975. — 471 p. — <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-6383-8>.
- Yudovich Ya. E. and Ketris M. P. Fundamentals of Lithochemistry. — SPb. : Nauka, 2000. — 479 p. — (In Russian).
- Zhemchugova V. A. Reservoir Sedimentology of Carbonate Rocks. — M. : OOO «EAGE Geomodel'», 2014. — 232 p. — (In Russian).