

УДК 550.42:551.763.3(470.44)
doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-6-16-30

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТУРОН-КОНЬЯКСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Елена Васильевна Яковишина^{1✉}, Руслан Рустемович Габдуллин²,
Анна Игоревна Рыжикова³, Сергей Иванович Бордунов⁴,
Алексей Викторович Иванов⁵, Алексей Юрьевич Пузик⁶,
Константин Павлович Казымов⁷, Ирина Владиславовна Бадьянова⁸,
Людмила Федоровна Копаевич⁹

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; yakovishina@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-1021-565X>

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского, Москва, Россия; gabdullin@fgp.msu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8296-7191>

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; ryzva_ana@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Геологический институт РАН, Москва, Россия; sib-msu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1166-0496>

⁵ Институт географии РАН; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия; yashkovia@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2788-0215>

⁶ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия; alex.puzik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7148-7344>

⁷ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия; kazymov.kostya@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5411-4781>

⁸ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия; kataev7@psu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3337-6592>

⁹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; lfkopaevich@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3622-8253>

Аннотация. Представлены результаты геохимического изучения отложений туронского и коньякского ярусов на территории Саратовского Поволжья. На основе полученных геохимических данных рассчитаны соотношения и концентрации ключевых химических элементов, отражающих изменения условий седиментации: глубины бассейна, гидродинамической активности, климатических факторов и других параметров.

Ключевые слова: Саратовское Поволжье, Волгоградское Поволжье, мел, турон, коньяк, геохимия, палеогеография

Для цитирования: Яковишина Е.В., Габдуллин Р.Р., Рыжикова А.И., Бордунов С.И., Иванов А.В., Пузик А.Ю., Казымов К.П., Бадьянова И.В., Копаевич Л.Ф. Геохимическая характеристика турон-коньякских отложений Нижнего Поволжья // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 6. С. 16–30.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF TURONIAN-CONIACIAN DEPOSITS OF THE LOWER VOLGA REGION

Elena V. Yakovishina^{1✉}, Ruslan R. Gabdullin², Anna I. Ryzhikova³,
Sergey I. Bordunov⁴, Aleksey V. Ivanov⁵, Aleksey Yu. Puzik⁶,
Konstantin P. Kazymov⁷, Irina V. Badyanova⁸, Ludmila F. Kopaevich⁹

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

² Lomonosov Moscow State University; Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia; gabdullin@fgp.msu.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ryzva_ana@mail.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University; Geological Institute RAS, Moscow, Russia; sib-msu@mail.ru

⁵ Institute of Geography RAS; Lomonosov Moscow State University, Moscow; Tambov State Technical University, Tambov, Russia; yashkovia@mail.ru

⁶ Perm State University, Perm, Russia; alex.puzik@mail.ru

⁷ Perm State University, Perm, Russia; kazymov.kostya@yandex.ru

⁸ Perm State University, Perm, Russia; kataev7@psu.ru

⁹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; lfkopaevich@mail.ru

Abstract. The results of a geochemical study of deposits of the Turonian and Konyak stages in the Saratov Volga region are presented. Based on the obtained geochemical data, the ratios and concentrations of key chemical elements are calculated, reflecting changes in sedimentation conditions: basin depth, hydrodynamic activity, climatic factors, and other parameters.

Keywords: Saratov Volga region, Volgograd Volga region, Cretaceous, turonian stage, coniacian stage, geochemistry, paleogeography

For citation: Yakovishina E.V., Gabdullin R.R., Ryzhikova A.I., Bordunov S.I., Ivanov A.V., Puzik A.Yu., Kazymov K.P., Badyanova I.V., Kopaevich L.F. Geochemical characteristics of turonian-coniacian deposits of the Lower Volga Region. *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 6: 16–30. (In Russ.).

Введение. Турун-коньякский интервал представляет собой один из самых теплых климатических периодов в истории Земли, что делает его особенно интересным в контексте современных процессов глобального потепления. Отложения турун-коньякского возраста имеют сходный литологический состав и строение. Отсутствие четких визуальных маркеров для определения границ стратиграфических единиц и низкая фаунистическая насыщенность некоторых из них затрудняют прослеживание этих стратонов на большую площадь.

Изученные разрезы Юго-Западного Крыма, Северо-Западного Кавказа и Саратовского Поволжья, согласно палинспастической схеме А.Г. Смита и Дж.К. Брайдена [Smith, Briden, 1977], в турун-коньякское время находились почти на одной палеошироте и соответствовали окраинам Северо-Восточного Перитетиса. Эти области уже давно привлекают внимание геологов. Основное внимание в исследованиях традиционно уделялось вопросам стратиграфии, тогда как палеоэкологическим и палеогеографическим реконструкциям — в меньшей степени [Яковишина и др., 2022б; Копаевич и др., 2024]. Однако, несмотря на достаточно хорошую изученность региона, есть необходимость в обобщении и более широком комплексном анализе, с использованием различных современных методов.

Материалы и методика. Пробы из разрезов Саратовского Поволжья были отобраны экспедицией «Флотилия плавучих университетов–2022» в июне 2022 г. Во время экспедиции было описано 3 разреза, отобрано 94 образца. Из них было изготовлено 88 прозрачных шлифов.

Валовой химический состав 41 пробы Саратовского Поволжья анализировался на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре последовательного типа действия S8 «Tiger» фирмы «BRUKER». На основе полученных данных были рассчитаны соотношения и концентрации определенных химических элементов, которые свидетельствуют об изменении условий осадконакопления (глубины бассейна, гидродинамических процессов, климатических и других факторов).

Стратиграфическая характеристика. На территории Среднего и Нижнего Поволжья верхнемеловые отложения распространены достаточно широко. Стратиграфически наиболее полно они представлены в северных районах Ульяновского и Саратовского Поволжья, где верхнемеловые отложения также хорошо охарактеризованы фаунистическими остатками.

Турун-коньякские отложения объединяются в губкинский надгоризонт (K_2gb), который включает баниновский и вольский горизонты (рис. 2), соответ-

ствующие по объему турунскому и коньякскому ярусам [Государственная..., 2009].

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа. Для 41 образца, отобранных из турунских и коньякских отложений, был выполнен полный геохимический анализ элементов. На основе полученных данных рассчитаны соотношения и концентрации ключевых химических элементов, отражающих изменения условий седиментации: глубины бассейна, гидродинамической активности, климатических факторов и других параметров. Эти результаты позволили скорректировать ранее существовавшие представления о режиме осадконакопления в изученном разрезе.

Для анализа вариаций палеотемпературных значений использованы следующие геохимические индикаторы: титановый модуль (ТМ) и Fe/Mn. Повышенные концентрации содержания Ca, Sr и Mg указывают на аридные климатические условия, тогда как увеличение содержания Sc, Ni, Zn, Y, W, U, Cu, V и редкоземельных элементов (РЗЭ) свидетельствует о гумидном режиме седиментации. Титановый модуль ($TM = TiO_2/Al_2O_3$) отражает как динамические условия осадконакопления, так и состав петрогенного материала. Различия в значениях ТМ указывают на разные климатические условия: песчано-алевритовые породы гумидного климата характеризуются более высокими значениями ТМ по сравнению с аридными аналогами. Аналогичная

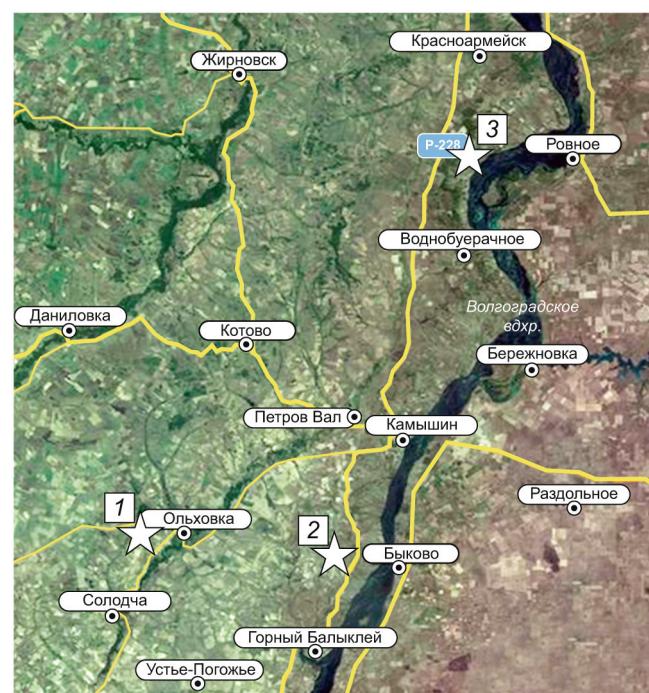


Рис. 1. Положение изученных разрезов на карте: 1 — с. Михайловка, 2 — с. Чухонастовка, 3 — Нижняя Банновка

Региональные стратиграфические подразделения						
Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Надгоризонт, горизонт	Лона и подлона по моллюскам и иглохожим	Лона по бентосным фораминиферам
МЕЛОВАЯ	ВЕРХНИЙ	КОНЬЯКСКИЙ	Губкинский	Вольский	Magadiceramus subquadratus	Gavelinella thalmanni
					Volviceramus involutus	
					Volviceramus koeneni	
					Cremnoceramus crassus - Cremnoceramus deformis	
					Cremonoceramus brongniarti	Gavelinella kelleri
					Cremonoceramus rotundatus	
				Банновский	Mytiloides scupini - Mytiloides incertus	Gavelinella moniliformis
					Mytiloides slriatoconcentricus	
					Inoceramus costelatus	
					Inoceramus lamarcki	
					Inoceramus apicalis	
				Губкинский	Mytiloides subhercynicus - Mytiloides hercynicus	Gavelinella nana
					Mytiloides labiatus - Mytiloides kossmati	
					Praeactinocamax plenus triangulus	

Рис. 2. Региональные стратиграфические подразделения по [Олферьев, Алексеев, 2005]

закономерность наблюдается и для глинистых пород. Однако применение ТМ для климатических реконструкций правомерно только при стабильном источнике сноса, поскольку динамическая сортировка материала и состав петрогенной основы часто оказывают большее влияние на величину модуля, чем климатический фактор. В целом, значения ТМ возрастают при переходе от аридных к гумидным условиям, а в пределах гумидной зоны — от глубоководных к прибрежно-морским и континентальным обстановкам [Енгалычев, Панова, 2011].

Глубину бассейна реконструируют по следующим показателям: отношения Fe/Mn, Ti/Mn, титановому (ТМ), натриевому (НМ) и калиевому (КМ) модулям, а также распределению содержания элементов Zn, Pb, Al, Mn, Cu, Sr, Ba, отражающие фациальные изменения. Отношение Fe/Mn демонстрирует обратную зависимость от глубины бассейна, уменьшаясь при переходе от шельфовых к пелагическим условиям. Это обусловлено более интенсивным поглощением марганца осадками в глубоководных обстановках. По величине Fe/Mn выделяют: глубоководные от-

ложении (<40), мелководные (<80), мелководно-прибрежные с терригенным сносом (>160). Наиболее информативно это соотношение для глинистых отложений [Скляров, 2001]. Калиевый модуль ($KM = K_2O/Al_2O_3$) отражает интенсивность химического выветривания в области сноса. Калий, связанный с полевыми шпатами, накапливается в континентальных отложениях аридных областей, тогда как в гумидном климате мигрирует в растворах и накапливается в морских осадках. Алюминий концентрируется в глинистой фракции, возрастаая к открытым частям бассейна. Минимальные значения KM характерны для континентальных отложений [Енгалычев, Панова, 2011]. Натриевый модуль ($HM = Na_2O/Al_2O_3$) достигает максимума в континентальных отложениях аридных зон и морских осадках гумидных областей, минимальные значения характерны для прибрежно-морских фаций [Енгалычев, Панова, 2011]. Содержание Sr и Ba: рост концентрации стронция указывает на удаленность от источника сноса, тогда как увеличение бария свидетельствует о его приближении. В глубоководных условиях (4–5 км) содержание Ba может достигать максимума. Палеотемпературные реконструкции по индексу выветривания CIA (Chemical Index of Alteration) основаны на соотношении:

$$CIA = 100 \cdot Al_2O_3/(Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O),$$

где CaO^* — некарбонатный CaO в силикатах [Nesbitt, Young, 1982]. Коррекция на карбонаты и фосфаты выполняется по содержанию CO_2 и P_2O_5 . При отсутствии данных CO_2 используется соотношение Ca/Na в силикатах. Значение $CIA = 70$ служит границей между отложениями теплого и холодного климата.

Установлена линейная зависимость между CIA и температурой поверхности суши

$$T(^{\circ}C) = 0,56 \cdot CIA - 25,7 (r^2 = 0,50),$$

действительная в диапазоне CIA 50–90, что соответствует температурам 3–25 °C [Yang, et al., 2014]. Полученные значения отражают температуру поверхности, а не воздуха.

Также, на основании данных рентгенофлюоресцентного анализа, был проведен расчет нормативного минерального состава с использованием программы MINLITH [Розен и др., 2000]. Погрешность расчетов в MINLITH в большинстве случаев составляет 5–15 % отн., однако при содержании минерала менее 5 % масс. ошибка может возрастать до 60–70 % отн [Розен, Аббясов, 2003]. Поскольку РФА позволил определить только процентное соотношение нерастворимого остатка, применение MINLITH дает возможность косвенно восполнить пробелы в данных о минеральном составе пород разреза. Кварц, минералы кремнезема, полевые шпаты и плагиоклаз относятся к обломочной фракции; кальцит и доломит отражают карбонатную составляющую пород, а глинистые минералы представлены монтмориллонитом, иллитом и хлоритом. Анализ

изменений процентного соотношения этих фракций на графиках позволяет делать выводы о вариациях условий осадконакопления в каждом слое.

Разрез у села Михайловка (Захаровка). Данный разрез под названием «Каменный брод» изучался ранее коллегами из Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского [Первушов и др., 2019]. Ранее нами этот разрез публиковался как «Захаровка».

Послойное описание разреза приведено ранее [Иванов и др., 2025].

«Каменный брод» — это протяженное (десятки метров) обнажение в стенах глубокой выемки под трассу газопровода в месте пересечения с автодорогой 18А-3 в 3 км к северо-востоку от села Захаровка (Солодчинское сельское поселение, Ольховский район, Волгоградская область), район Каменно-Бродских меловых возвышеностей (часть Донской гряды).

Для исследования особенностей распределения химических элементов и оксидов в турон-коньяцких терригенно-карбонатных отложениях с. Михайловка были использованы данные об их содержании в 21 образце.

В разрезе выявлена четкая положительная корреляция у Al_2O_3 с Fe_2O_3 (0,9), которые также хорошо коррелируют с TiO_2 (0,87 с Al_2O_3 и Fe_2O_3), K_2O (0,85 с Al_2O_3 и 0,75 с Fe_2O_3) и MgO (0,83 с Al_2O_3 и 0,76 Fe_2O_3). В целом практически между всеми вышеперечисленными элементами прослеживается довольно хорошая взаимосвязь. Но интересует также и обратная, отрицательная зависимость в распространенности элементов в породе — она четко прослеживается у SiO_2 с CaO (-0,96). CaO вообще заметно выделяется из ряда оксидов элементов, которые являются породообразующими в разрезе. Со всеми он имеет отрицательную корреляцию, стремящуюся к -1. Результаты рентгенофлюоресцентного анализа (табл. 1; рис. 3) образцов указывают на их преимущественно карбонатный состав, характерный для известняков или мергелей.

Основным компонентом образцов в данном разрезе является CaO (49,08–56,16 %), что подтверждает высокое содержание кальцита. Низкие концентрации оксидов SiO_2 (0,62–13,21 %) и Al_2O_3 (0,16–1,67 %) свидетельствуют о незначительных примесях глинистых минералов или кварца, за исключением отдельных образцов (например, проба 3,50 с 13,21 % SiO_2 , где возможны кремнистые включения). Высокие значения отношения Fe/Mn (7,5–40,6) указывают на формирование в условиях достаточного доступа кислорода, что характерно для мелководных морских бассейнов или зон с активной циркуляцией вод. Индекс CIA (Chemical Index of Alteration = 36,25–43,56) соответствует слабой степени химического преобразования исходного материала, что типично для аридных или умеренно-влажных климатических условий. Низкие содержания K_2O (0,03–0,54 %) и Na_2O

Таблица 1

Матрица корреляции химических элементов и оксидов элементов для турон-коньякских отложений разреза с. Михайловка

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	SrO	ZnO	ZrO ₂
SiO ₂	1														
TiO ₂	0,56	1													
Al ₂ O ₃	0,49	0,87	1												
CaO	-0,96	-0,64	-0,64	1											
Fe ₂ O ₃	0,33	0,87	0,9	-0,47	1										
K ₂ O	0,64	0,8	0,85	-0,72	0,75	1									
Na ₂ O	0,61	0,48	0,57	-0,67	0,43	0,85	1								
MgO	0,12	0,64	0,83	-0,32	0,76	0,5	0,25	1							
MnO	-0,1	0,26	0,24	0,06	0,35	0,14	0,13	0,281	1						
P ₂ O ₅	-0,02	0,37	0,5	-0,12	0,45	0,16	0,03	0,71	0,61	1					
SO ₃	0,26	0,21	0,33	-0,38	0,17	0,23	0,29	0,41	-0,15	0,29	1				
Cl	0,29	0,13	0,25	-0,35	0,24	0,2	0,16	0,23	-0,01	0,13	0,45	1			
SrO	0,53	0,42	0,49	-0,68	0,45	0,63	0,75	0,28	0	-0,02	0,43	0,38	1		
ZnO	0,18	0,31	0,55	-0,3	0,43	0,33	0,08	0,42	-0,04	0,32	0,17	-0,01	0,111	1	
ZrO ₂	-0,03	0	0,08	-0,03	-0,05	-0,13	-0,19	0,38	0,03	0,48	0,33	0,25	-0,12	-0,11	1

Примечания. Красный цвет — максимальная положительная корреляция, синий с курсивными цифрами — максимальная отрицательная корреляция, белый — отсутствие корреляции.

(0–0,127 %) исключают активное участие полевых шпатов, что согласуется с карбонатным осадконакоплением. Преобладание CaO и низкие концентрации MgO (0,11–0,31 %) указывают на морские условия с ограниченным влиянием доломитизации. Следовые количества P₂O₅ (до 0,15 %) могут быть связаны с биогенными процессами, например, остатками организмов. Отсутствие значительных сульфидов (низкое SO₃ — до 0,09 %) подтверждает окислительную обстановку. Образец 3.50 резко выделяется повышенным содержанием SiO₂ (13,21 %), что может указывать на примеси кремнистых пород, например, опок, диатомитов.

На основе результатов рентгенофлуоресцентного анализа был выполнен расчет нормативного минерального состава с применением программы MINLITH (рис. 4). Минеральный состав представлен преимущественно карбонатными компонентами. Кальцит (Cc) является доминирующим минералом с содержанием 84,58–98,48 %, что характерно для известняков и мергелей. Доломит (Dl) присутствует в подчиненных количествах (до 4 %), свидетельствуя об ограниченных процессах доломитизации. Анкерит (Ank) встречается в следовых количествах (до 2,24 %), что может указывать на диагенетические изменения. Кремнезём представлен кварцем (Q) с вариациями содержания от 0,43 % до 11,93 %, причем повышенные значения в отдельных образцах (например, 11,93 % в пробе 3.5) могут быть связаны с биогенным кремнем или тонкодисперсными глинистыми минералами. Среди глинистых минералов преобладает иллит (Ill, 0,54–3,39 %), что типично для

морских осадков, а хлорит (Chl) присутствует в незначительных количествах (до 2,16 %). Минералы терригенного генезиса характеризуются по разрезу относительно стабильными концентрациями. Максимум их содержания приходится на образец 3.4. Карбонатные минералы слагают большую часть пород. Можно заметить плавное уменьшении их концентрации вверх по разрезу. Результаты расчета нормативного минерального состава позволяют также уточнить границы ранее выделенных слоев по выделенным карбонатным пикам — они будут совпадать с ранее выделенными границами по результатам расчета кларковых значений. Предполагаемые границы возможно провести на уровне 3.13, 3.28 и 3.48 образцов.

Карбонатные отложения, изученные в разрезе с Михайловка, сформировались в мелководном морском бассейне с окислительными условиями, слабым поступлением терригенной составляющей и умеренно-аридным климатом. Преобладание карбонатного материала (известняки) с минимальными глинистыми примесями указывает на стабильные условия осадконакопления.

Из-за небольшого количества терригенной примеси можно говорить о том, что накопление отложений происходила на достаточно удаленном расстоянии от источника сноса. Источник сноса был единственным и оставался неизменным на протяжении всего времени формирования осадков этого разреза. Максимум трансгрессии наблюдается в позднетуронское время. Уменьшение концентрации карбонатных материалов вверх по разрезу

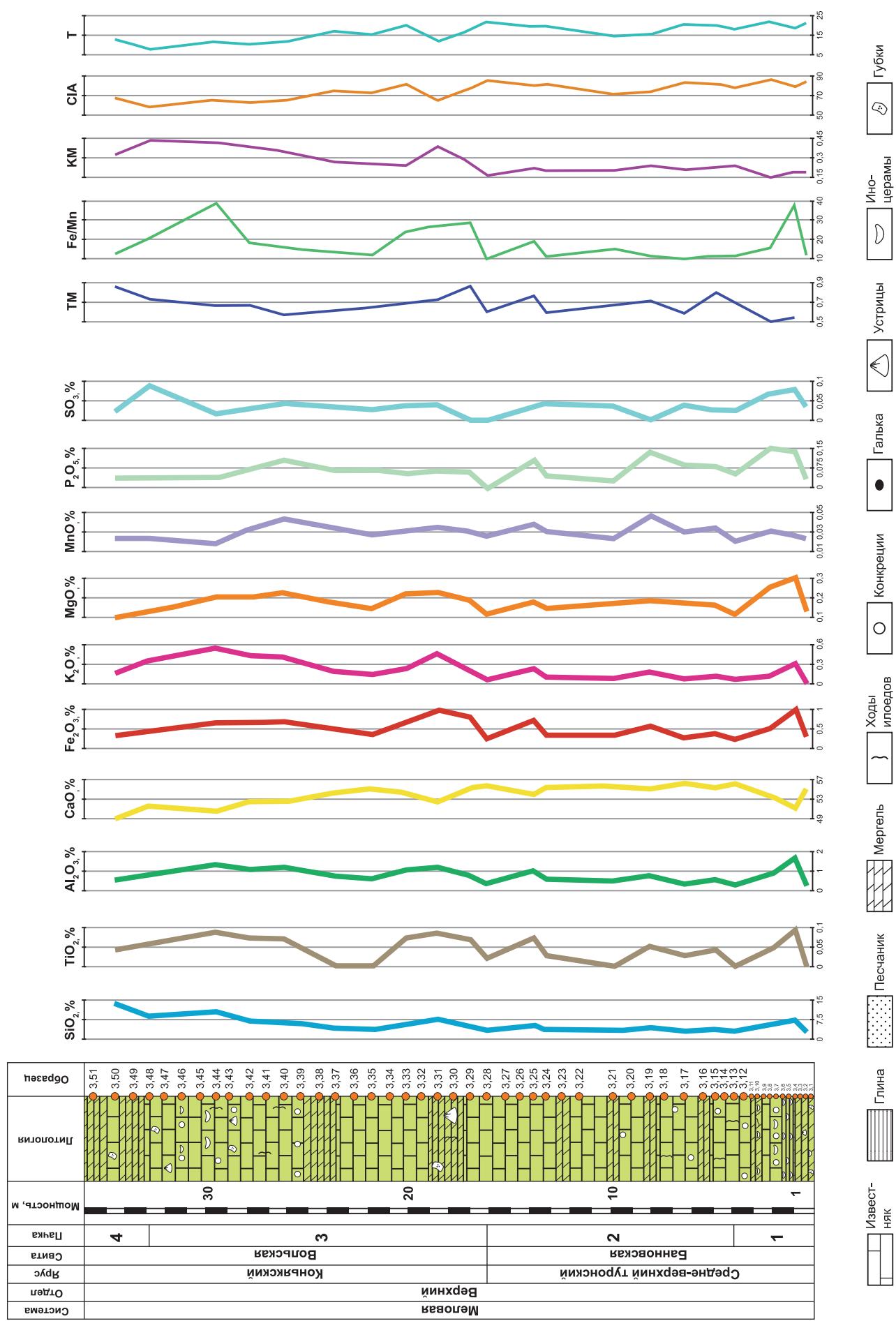


Рис. 3. Сводная литологическая колонка с вынесенными содержаниями основных оксидов разреза с. Михайловка

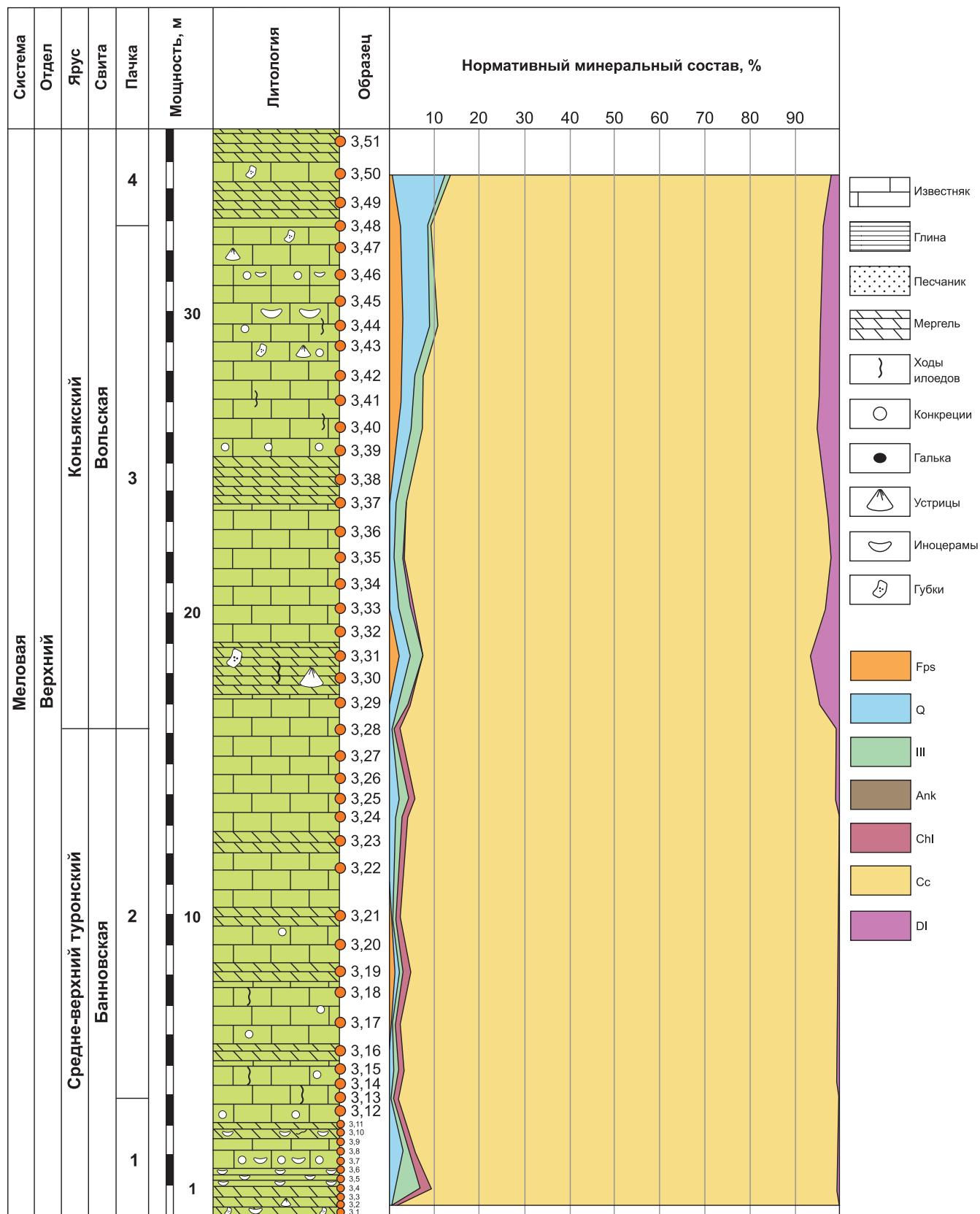


Рис. 4. Сводная литологическая колонка и нормативный минеральный состав по расчетам программы MINLITH разреза с. Михайловка (Захаровка): Q — кварц, минералы кремнезема, III — иллит, Ch — хлорит, Cc — кальцит, DI — доломит, Fsp — полевые шпаты (плагиоклаз+ортоклаз), Ank — анкерит

Таблица 2

Матрица корреляции химических элементов и оксидов элементов для турон-коньякских отложений разреза с. Чухонастовка

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	SrO	ZnO	ZnO
SiO ₂	1													
TiO ₂	0,97	1												
Al ₂ O ₃	0,96	0,92	1											
CaO	-0,01	-0,01	-0,29	1										
Fe ₂ O ₃	1	0,97	0,96	-0,01	1									
K ₂ O	0,8	0,75	0,62	0,54	0,8	1								
MgO	0,91	0,86	0,99	-0,41	0,91	0,5	1							
MnO	0,26	0,18	0,03	0,83	0,28	0,73	-0,07	1						
P ₂ O ₅	0,38	0,44	0,14	0,72	0,39	0,68	0,05	0,72	1					
SO ₃	0,66	0,68	0,7	-0,3	0,68	0,31	0,75	-0,01	0,38	1				
Cl	-0,25	-0,21	-0,21	-0,13	-0,24	-0,44	-0,15	-0,39	-0,12	0,2	1			
SrO	0,86	0,83	0,75	0,26	0,86	0,9	0,65	0,43	0,42	0,31	-0,5	1		
ZnO	0,57	0,43	0,64	-0,21	0,59	0,33	0,67	0,05	-0,1	0,51	0,34	0,32	1	
ZrO ₂	0,9	0,86	0,99	-0,45	0,89	0,47	1	-0,12	-0,01	0,7	-0,16	0,65	0,64	1

Примечания. Красный цвет — максимальная положительная корреляция, синий с курсивными цифрами — максимальная отрицательная корреляция, белый — отсутствие корреляции.

может говорить о снижении уровня моря, т. е. о начале регрессии.

Разрез у села Чухонастовка. Данный разрез изучался ранее коллегами из Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского [Первушов и др., 2019].

Для исследования особенностей распределения химических элементов и оксидов в турон-коньякских карбонатных породах разреза в с. Чухонастовка были использованы данные об их содержании в 8 образцах.

СаO имеет отрицательный коэффициент корреляции почти со всеми оксидами кроме P₂O₅ (0,71) и MnO (0,83). SiO₂ с Al₂O₃ имеют высокие значения корреляции друг с другом (0,95), а также с TiO₂ (0,97 с SiO₂ и 0,91 Al₂O₃) и Fe₂O₃ (0,99 с SiO₂ и 0,95 Al₂O₃) и характеризуют объем вклада терригенной фракции в формирование пород. Также с этими оксидами высокие коэффициенты корреляции имеют SrO и ZrO₂. Между остальными оксидами в разрезе корреляционные связи не устанавливаются. Образец 1.11 выделяется на фоне остальных меньшими значениями содержания оксидов, имеющих связь с терригенно-глинистыми материалами (SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, K₂O), и повышенными значениями содержания элементов, приуроченных к образованию карбонатных пород (CaO).

Минералого-геохимические особенности образцов демонстрируют ярко выраженный карбонатный состав с преобладанием кальцита (CaO 55,38–63,48 %) (табл. 2, рис. 5). Низкие содержания SiO₂ (0,57–6,62 %) и Al₂O₃ (0,13–1,8 %) указывают на минимальное количество терригенных примесей. Особого внимания заслуживает образец 1.11

с аномально высокими содержаниями SiO₂ (6,62 %) и Al₂O₃ (1,8 %), что может свидетельствовать либо о привносе обломочного материала, либо о наличии биогенного кремнезема. Содержания минорных элементов (Fe₂O₃ 0,24–0,91 %, MgO 0,12–0,52 %) соответствуют типичным морским карбонатным осадкам. Условия осадконакопления реконструируются как мелководный морской бассейн с окислительной средой, о чем свидетельствуют высокие содержания CaO (>55 %), характерные для чистых известняков, высокие значения отношения Fe/Mn (7,69–28,44), присутствие Fe³⁺ при отсутствии сульфидов, низкое содержание органического вещества (ППП 31,19–43,13 %). Основная часть осадков формировалась в карбонатной среде, что подтверждается высоким содержанием кальцита — от 89,52 % до 98,12 % в большинстве образцов. Такие значения характерны для морских или лагунных обстановок, где преобладает химическое или биогенное осаждение карбонатов. Однако в некоторых образцах (например, 1,11 и 1,5) наблюдается повышенное содержание кварца (Q — до 4,11 %) и хлорита (Chl — до 2,75 %), что указывает на примесь терригенного материала. Это может быть связано с периодическим поступлением обломочных частиц с континента или размывом близлежащих пород. Особый интерес представляет образец 1.7, в котором зафиксированы отрицательные значения для плагиоклазов (Ab, An, Pl), что может быть свидетельствовать о некорректных результатах анализа. Присутствие иллита (Ill), хлорита (Chl) и их ассоциаций (например, Ill+Kn — до 3,16 %) в ряде образцов может указывать на влияние гидротермальных процессов или постседиментационные преобразования. Это согласуется с наличием

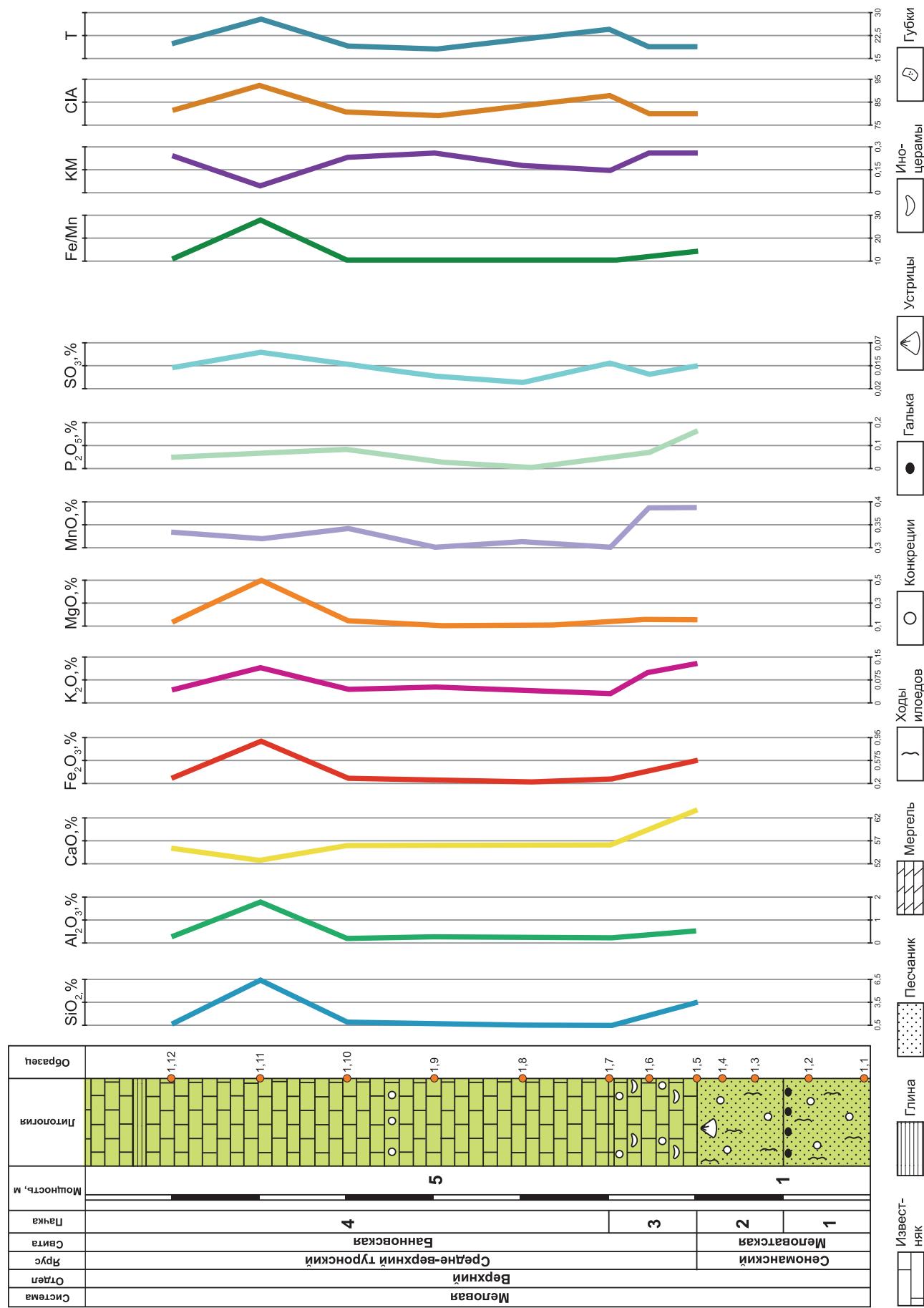


Таблица 3

Матрица корреляции химических элементов и оксидов элементов для турон-коньякских отложений разреза с. Нижняя Банновка

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	SrO	ZnO	ZrO ₂	Rb ₂ O
SiO ₂	1															
TiO ₂	0,6	1														
Al ₂ O ₃	0,77	0,87	1													
CaO	-0,84	-0,75	-0,95	1												
Fe ₂ O ₃	0,72	0,93	0,98	-0,9	1											
K ₂ O	0,68	0,88	0,96	-0,86	0,98	1										
Na ₂ O	0,63	0,4	0,58	-0,76	0,48	0,381	1									
MgO	0,82	0,82	0,96	-0,97	0,92	0,85	0,76	1								
MnO	-0,79	-0,52	-0,79	0,88	0,7	-0,63	-0,81	-0,86	1							
P ₂ O ₅	-0,32	0,08	0,16	0,2	0,07	-0,12	0,21	-0,19	0,35	1						
SO ₃	0,52	0,53	0,77	-0,79	0,7	0,67	0,72	0,76	-0,7	-0,21	1					
Cl	0,06	0,03	-0,09	0,08	-0,03	0,03	-0,32	-0,15	0,35	0,34	-0,26	1				
SrO	0,33	0,52	0,68	-0,6	0,63	0,67	0,4	0,65	0,41	-0,48	0,6	-0,28	1			
ZnO	0,24	0,58	0,43	-0,36	0,5	0,5	0,08	0,41	-0,29	0	-0,09	0,03	0,19	1		
ZrO ₂	-0,02	0,52	0,1	0	0,24	0,19	-0,09	0,06	0,17	0,35	-0,1	0,38	-0,15	0,39	1	
Rb ₂ O	0,67	0,9	0,91	-0,84	0,94	0,95	0,39	0,8	-0,56	0,02	0,61	0,18	0,54	0,51	0,37	1

Примечания. Красный цвет — максимальная положительная корреляция, синий с курсивными цифрами — максимальная отрицательная корреляция, белый — отсутствие корреляции.

небольших количеств пелитоморфных минералов (Pel, PelFsp — 0,45–3,87 %), которые часто формируются в условиях переменного окислительно-восстановительного режима, возможно, связанного с флюктуациями уровня кислорода в воде.

Результаты расчета нормативного минерального состава позволяют также уточнить границы ранее выделенных слоев по выделенным пикам — они будут совпадать с ранее установленными границами по результатам расчета кларковых значений. Предполагаемую границу можно провести на уровне образца 1.7 (рис. 6).

Таким образом, отложения разреза возле с. Чухонастовка относятся к карбонатному типу осадконакопления. Условия осадконакопления реконструируются как мелководный морской бассейн с окислительной средой. Практическое отсутствие терригенной примеси говорит о том, что накопление отложений происходило на достаточно удаленном расстоянии от источника сноса. Источник сноса был единственным и оставался неизменным на протяжении всего формирования разреза. Средне-верхнетуронское время характеризуется максимумом трансгрессии, о чем говорят стабильные повышенные концентрации карбонатных минералов по всему разрезу.

Разрез у села Нижняя Банновка. Разрез верхнего мела в районе села Нижняя Банновка Саратовской области считается классическим и изучается со времен И.Ф. Синцова и А.П. Павлова. Послойные описа-

ния приводились в разное время Н.В. Милановским [1940], А.Е. Глазуновой [1972], Е.М. Первушовым, М.С. Архангельским и А.В. Ивановым [1999] и др.

Специально турон-коньякский интервал анализировался с позиций биостратиграфии, палеоэкологии, ритмостратиграфии, вариаций мощностей [Габдуллин, Иванов, 2002; Габдуллин и др., 2010; Харитонов и др., 2001], а также био- и магнитостратиграфии [Pervushov, et al., 2023].

Для исследования особенностей распределения химических элементов и оксидов в турон-коньякских карбонатных породах разреза в с. Нижняя Банновка были использованы данные об их содержании в 12 образцах.

CaO имеет отрицательный коэффициент корреляции почти со всеми оксидами, кроме MnO (0,83), с которым он имеет высокий коэффициент корреляции. Al₂O₃ имеет высокие значения корреляции с TiO₂ (0,87), Fe₂O₃ (0,87) а также с K₂O (0,96). Эти оксиды также имеют высокие коэффициенты корреляции друг с другом, что подчеркивает роль терригенной фракции в формирование пород. Между остальными оксидами в разрезе корреляционные связи не устанавливаются. Основная масса проб характеризуется высоким содержанием CaO (51,58–55,53 %) (табл. 3, рис. 7), что указывает на карбонатный состав, типичный для известняков или мергелей. При этом в пробах 10.27, 10.29 и 10.31 наблюдается повышенное содержание SiO₂ (до 29,34 %) и Al₂O₃ (до 4,26 %), что может свидетель-

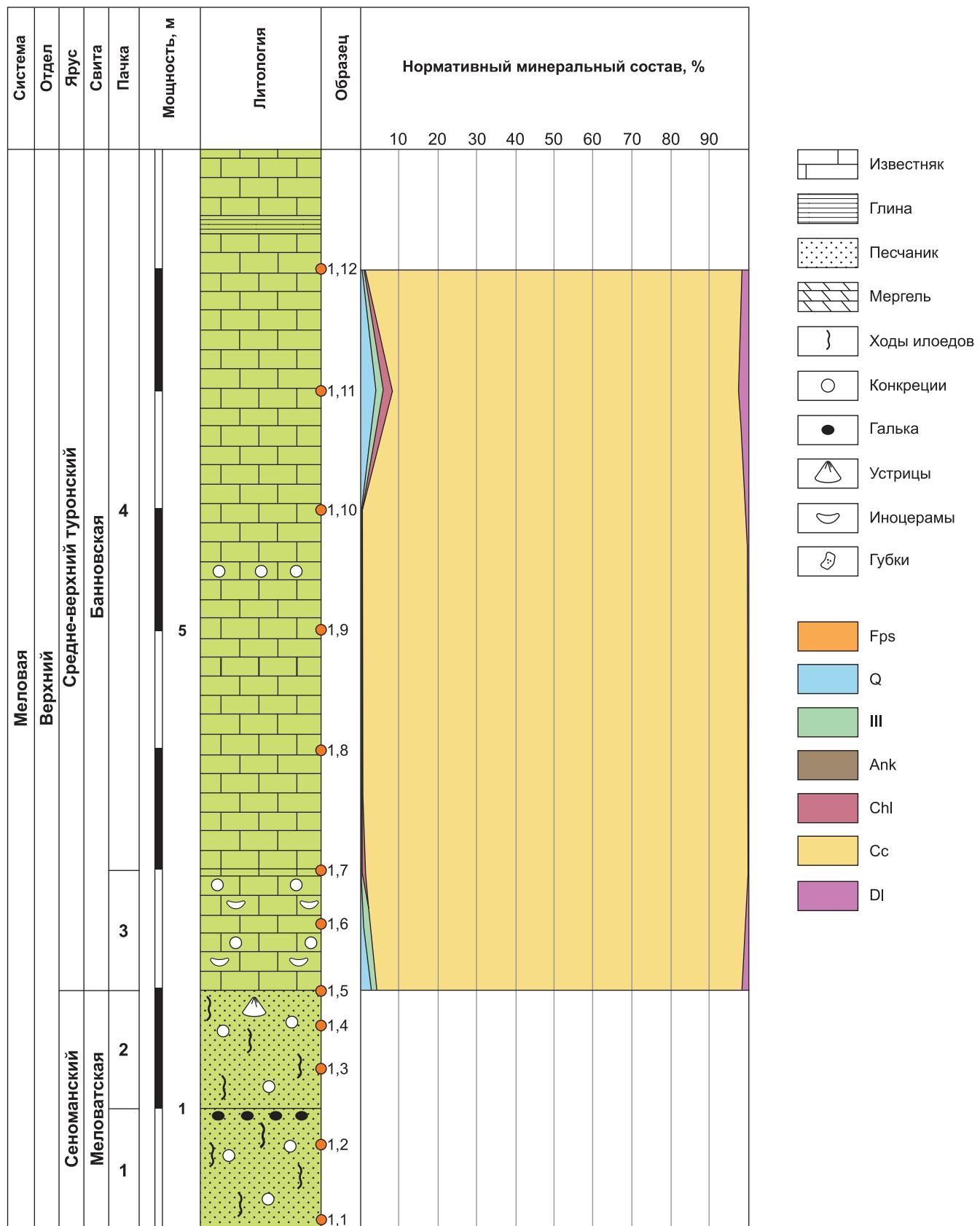


Рис. 6. Сводная литологическая колонка и нормативный минеральный состав по расчетам программы MINLITH разреза с.Чуконастовка: Q — кварц, минералы кремнезема, III — иллит, Ch — хлорит, Cc — кальцит, Di — доломит, Fsp — полевые шпаты (плагиоклаз+ортоклаз), Ank — анкерит

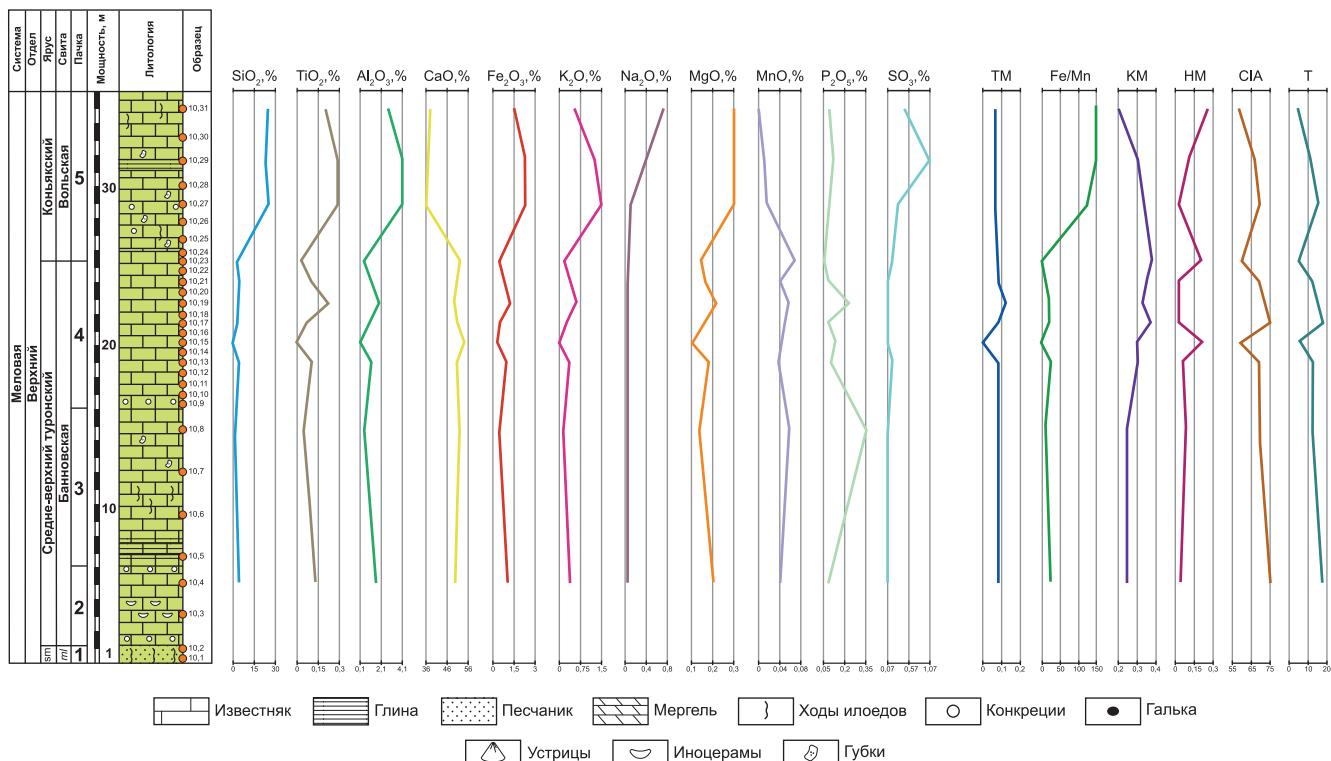


Рис. 7. Сводная литологическая колонка с вынесенными содержаниями основных оксидов разреза с.Нижняя Банновка

ствовать о наличии кремнистого материала или глинистой примеси. Низкие значения K_2O и Na_2O (за исключением пробы 10.31, где Na_2O достигает 0,736 %) подтверждают преобладание карбонатного материала с минимальным вкладом терригенных компонентов. Расчетные модули также поддерживают эту интерпретацию. Титановый модуль (TiO_2/Al_2O_3) имеет низкие значения (до 0,8), что характерно для карбонатных пород с незначительной терригенной примесью. Высокие значения Fe/Mn (от 9 до 138) указывают на окислительные условия осадконакопления. Калиевый и натриевый модули демонстрируют низкие значения, за исключением пробы 10.31, где повышенный натриевый модуль может быть связан с повышением солености морских вод. Индекс химического выветривания (CIA) варьируется от 24,83 до 42,84, что отражает слабую степень выветрелости и соответствует аридным или субаридным условиям.

По нормативному минеральному составу можно сделать следующие выводы о минеральном составе пород и условиях их формирования (рис. 8). Основу исследуемых образцов составляют карбонатные минералы, преимущественно кальцит (57,76–97,5 %), с подчиненным содержанием доломита (0,71–2,97 %) и анкерита (0,34–4,96 %). Такое минералогическое соотношение характерно для известняков и мергелей, формирующихся в морских условиях.

Особенности минерального состава позволяют реконструировать палеосреду осадконакопления. Высокое содержание карбонатов (особенно в пробах 10.15, 10.23 и 10.8, где содержание кальцита превышает 95 %) свидетельствует о формировании

отложений в спокойных условиях карбонатной платформы или лагунных обстановок. Присутствие кварца в количестве до 20,88 % (пробы 10.27–10.31) указывает на периодическое поступление терригенного материала, возможно, связанное с речным стоком или усилением волновой активности.

Анализ глинистых минералов показывает преобладание иллита (0,2–10,21 %) при практически полном отсутствии монтмориллонита, что характерно для стабильных морских условий. Локальное появление хлорита в пробах 10.8 и 10.4 (1,36 % и 2,22 % соответственно) может свидетельствовать о широком развитии процессов выветривания.

Минералы терригенного генезиса характеризуются плавным увеличением концентрации вверх по разрезу. Максимум их содержания приходится на образец 10.27. Отмечается уменьшении концентрации карбонатов вверх по разрезу. Результаты расчета нормативного минерального состава позволяют также уточнить границы ранее выделенных слоев по выделенным карбонатным пикам — они будут совпадать с ранее выделенными границами по результатам расчета кларковых значений. Предполагаемую границу можно провести на уровне образца 10.23.

Таким образом, комплексный анализ минерального состава позволяет сделать вывод о формировании данных отложений в условиях мелководного морского бассейна с преобладанием карбонатного седиментогенеза, периодически осложняемого поступлением терригенного материала. Стабильные условия осадконакопления, характерные для карбонатных платформ, временно нарушались локальными эпизодическим увеличением количества

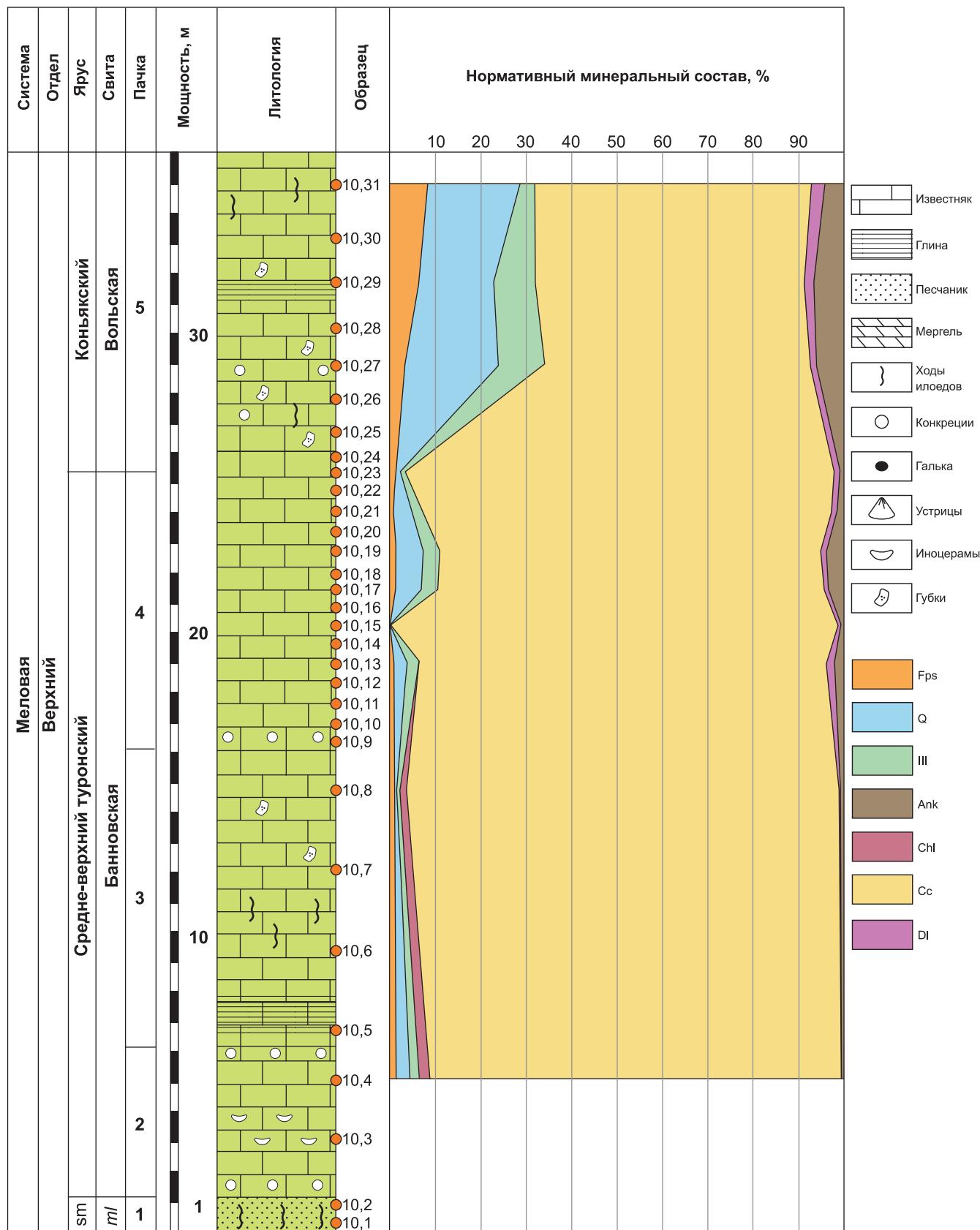


Рис. 8. Сводная литологическая колонка и нормативный минеральный состав по расчетам программы MINLITH разреза с.Нижняя Банновка: Q — кварц, минералы кремнезема, III — иллит, Ch — хлорит, Cc — кальцит, Dl — доломит, Fsp — полевые шпаты (плагиоклаз+ортоклаз), Ank — анкерит

кластического материала. Отложения разреза с. Нижняя Банновка накапливались ближе к источнику сноса обломочного материала относительно других рассматриваемых разрезов, о чем говорит увеличенные концентрации терригенной примеси. В среднетуронское время наблюдается повышение уровня моря, а затем в позднем туроне можно выделить его колебания более мелкого ранга, отражающиеся в локальном увеличении содержания глинистой фракции в отложениях. Коньякское время характеризуется началом регressive этапа в осадконакоплении.

Заключение. Осадки разрезов сел Михайловка и Чухонастовка формировались в мелководном морском бассейне с окислительными условиями с карбонатным типом осадконакопления, незначительным поступлением терригенного материала и умеренно-аридным климатом. Преобладание карбонатного материала (известняки) с минимальными глинистыми примесями указывает на стабильные условия осадконакопления. Из-за небольшого количества терригенной примеси можно говорить о том, что накопление отложений происходило на достаточно удаленном расстоянии от источника сноса, который был единственным и оставался неизменным на протяжении всего времени накопления осадков. Максимум трансгрессии наблюдается в позднетуронское время. Уменьшение содержания карбонатных минералов с одновременным увеличением доли терригенных минералов вверх по разрезу может говорить о снижении уровня моря и о начале регрессии в коньякское время.

В отличие от осадков разреза в с. Михайловка и Чухонастовка осадки у разреза с. Нижняя Банновка накапливались ближе к источнику сноса, о чем говорит увеличение содержания терригенной примеси. В среднетуронское время наблюдается подъем уровня моря, затем в позднетуронское время можно выделить флюктуации уровня моря более низкого ранга, отражающиеся в локальном увеличении доли глинистой фракции в разрезах. Частичный размыв и смыв осадков происходил в подводных условиях. В карбонатных осадках повышалась концентрация нерастворимого остатка. Не исключен эоловый привнос некоторых его компонентов. Ритмичность отложений в разрезе может быть тесно связана с глобальными флюктуациями инсоляции, определяющими тепловое состояние земной поверхности, возможно по типу циклов Миланковича [Найдин, Копаевич, 1988; Габдуллин, Иванов, 2002; Яковишина

и др., 2022a]. В коньякское время отмечается начало регressive этапа.

Отмечена закономерность, что в слоях, содержащих скелетные остатки макрофауны, в том числе и относительно мелководных — устриц и губок, или иноцерамов, отмечается увеличение терригенной составляющей, в том числе кварца, иллита и полевых шпатов. Для них характерны высокие значения отношения Fe/Mn (23–162), указывающие на формирование в условиях достаточного доступа кислорода, что характерно для мелководных морских бассейнов или зон с активной циркуляцией вод, а также значения индекса CIA в диапазоне 58–76, что соответствует слабой степени химического преобразования исходного материала, что типично для аридных или умеренно-влажных климатических условий. Значения TM составляют 0,09–0,18.

Прослои, лишенные макрофауны предположительно, формировались в более глубоководных условиях, что подтверждается низкими значениями отношения Fe/Mn (5–20), указывающие на формирование в условиях ограниченного доступа кислорода, а также значения индекса CIA в диапазоне 78–94, что соответствует умеренной степени химического преобразования исходного материала, что типично для гумидных климатических условий. Значения TM составляют 0,05–0,09.

Показательность верхнемелового разреза, выраженность ритмостратиграфических и литостратиграфических особенностей, насыщенность ископаемыми остатками позволяют позиционировать район села Нижняя Банновка как научно-образовательный полигон для проведения полевых учебных практик [Яшков и др., 2014] и проведения научно-просветительских мероприятий экспедиции «Флотилия плавучих университетов» [Иванов и др., 2021].

Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность проекту «Флотилия плавучих университетов» за предоставленные материалы, которые легли в основу данного исследования. Особая признательность направлена Пермскому государственному национальному исследовательскому университету за проведение рентгенофлуоресцентного анализа и предоставленные результаты. Также благодарим С.И. Меренкову за ценные консультации и помочь в интерпретации данных результатов, что значительно способствовало успешному завершению работы.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 24-27-00139.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Габдуллин Р.Р., Иванов А.В. Ритмичность карбонатных толщ. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2002. 52 с.

Габдуллин Р.Р., Иванов А.В., Шешинев А.С. Микрорельеф дна — причина изменчивости мощности турон-коньякской карбонатной толщи на участке Меловое — Нижняя Банновка (Саратовская область) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2010. № 2. С. 20–27.

Глазунова А.Е. Палеонтологическое обоснование стратиграфического расчленения меловых отложений Поволжья. Верхний мел. М.: Недра, 1972. 202 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист М-38 — Волгоград. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 399 с.

Енгалычев С.Ю., Панова Е.Г. Геохимия и генезис песчаников восточной части главного девонского поля на северо-западе Русской плиты // Литосфера. 2011. № 5. С. 16–29.

Иванов А.В., Габдуллин Р.Р., Сенников А.Г. и др. Палеоэкологические и палеогеографические реконструкции условий формирования позднемеловых осадков Ульяновско-Саратовского прогиба, содержащих ядра нор червей-полихет // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 2. С. 33–50.

Иванов А.В., Яиков И.А., Захаров Е.Е. Экспедиции по Поволжью и Прикаспию. Этюды половины тысячелетия. От первых путешественников до «Флотилии плавучих университетов». М.: Русский Миръ, 2021. 264 с. (Труды Флотилии плавучих университетов. Т. 1).

Копаевич Л.Ф., Бордунов С.И., Яковишина Е.В. и др. Туровский и коньякский ярусы на территории Восточного Перитетиса — биостратиграфия и палеогеография // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 6. С. 72–81.

Милановский Е.В. Очерк геологии Среднего и Нижнего Поволжья. М.; Л.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1940. 308 с.

Найдин Д.П., Копаевич Л.Ф. Внутриформационные перерывы верхнего мела Мангышлака. М.: Изд-во МГУ, 1988. 141 с.

Олферьев А.Г., Алексеев А.В. Стратиграфическая схема верхнемеловых отложений Восточно-Европейской платформы. Объяснительная записка. М.: Палеонтологический институт РАН, 2005. 104 с.

Первушиов Е.М., Архангельский М.С., Иванов А.В. Каталог местонахождений остатков морских рептилий в юрских и меловых отложениях Нижнего Поволжья. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1999. 230 с.

Первушиов Е.М., Сельцер В.Б., Калякин Е.А. и др. Туровские-коньякские отложения юго-западной части Ульяновско-Саратовского прогиба // Известия вузов. Геология и разведка. 2019. № 5. С. 10–27.

Розен О.М., Аббасов А.А. Количественный минеральный состав осадочных пород: расчет по петрохимическим данным, анализ достоверности результатов: (компьютерная программа MINLITH) // Литология и полезные ископаемые. 2003. № 3. С. 299–312.

Розен О.М., Аббасов А.А., Мигдисов А.А., Ярошевский А.А. Программа MINLITH для расчета минерального

состава осадочных пород: достоверность результатов в применении к отложениям древних платформ // Геохимия. 2000. № 4. С. 431–444.

Скляров Е.В. Интерпретация геохимических данных. М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 288 с.

Харитонов В.М., Сельцер В.Б., Иванов А.В. К вопросу о расчленении турово-коньякских отложений в классическом разрезе «Нижняя Банновка» (Саратовское Поволжье) // Тр. НИИ Геологии Сарат. ун-та. Новая серия. Т. 8. Саратов: Научная книга, 2001. С. 21–28.

Яковишина Е.В., Бордунов С.И., Копаевич Л.Ф. и др. Климатические флуктуации и условия седиментации турово-коньякских отложений северо-западного Кавказа // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2022а. Т. 30, № 3. С. 41–61.

Яковишина Е.В., Бордунов С.И., Копаевич Л.Ф. и др. О границе туровского и коньякского ярусов Северо-Западного Кавказа // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022б. № 4. С. 34–42.

Яиков И.А., Виноградова Т.Н., Иванов А.В. Банновский научно-образовательный полигон СГТУ имени Ю.А. Гагарина: полевая практика студентов направления «Землеустройство и кадастры». Учеб. пособие. Саратов: Изд-во Сарат. гос. техн. ун-та, 2014. 60 с.

Nesbitt H. W., Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. Vol. 299, N 5885. P. 715–717.

Neuhuber S., Wagreich M., Wendler I., Spoetl C. Turonian oceanic red beds in the eastern Alps: Concepts for palaeoceanographic changes in the Mediterranean Tethys // Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol. 2007. Vol. 251, N 2. P. 222–238.

O'Neil J.R., Adami L.H., Epstein S. Revised value for the ^{18}O fractionation between CO_2 and H_2O at 25°C // J. Res. U.S. Geol. Surv. 1975. Vol. 3. P. 623–624.

Pervushov E. M., Ryabov I. P., Guzhikov A. Yu., et al. Bio-magnetostratigraphy of the Turonian-Coniacian deposits of the Lower Bannovka section, South-East of the Russian Plate // Stratigraphy and geological correlation. 2023. Vol. 31, Suppl. 1. P. 52–85.

Smith A.G., Briend J.C. Mesozoic and Cenozoic paleocontinental maps. Cambridge: Cambridge University Press, 1977.

Yang J., Cawood P.A., Du Y., et al. Global continental weathering trends across the Early Permian glacial to postglacial transition: correlating highland low-paleolatitude sedimentary records // Geology. 2014. Vol. 42, N 10. P. 835–838.

Статья поступила в редакцию 25.04.2025, одобрена после рецензирования 23.05.2025, принята к публикации 26.12.2025