

УДК 551.763.32/.33:550.4(470.44)

**ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ, ГЕОХИМИЯ И УСЛОВИЯ
ОБРАЗОВАНИЯ ВЕРХНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РАЗРЕЗА
«МЕЗИНО-ЛАПШИНОВКА» (ВОСТОК РУССКОЙ ПЛИТЫ)**

*С.О. Зорина¹, Л.С. Хабипьянов¹, Н.И. Афанасьева², Н.В. Сокерина³,
И.А. Перовский³, Б.М. Галиуллин¹, В.П. Морозов¹, А.А. Ескин¹*

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия

²ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», 420097, г. Казань, Россия

³Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар, 167982, Россия

Аннотация

Разрез «Мезино-Лапшиновка» (восток Русской плиты), представленный верхнемеловой карбонатно-глинисто-кремнистой последовательностью, был исследован методами сканирующей электронной микроскопии, микрозондового, рентгенофазового и геохимического анализов для реконструкции событий, повлиявших на формирования данной толщи. По результатам проведенных исследований предложен возможный механизм образования верхнемеловых опок, предполагающий перенос кремнистого ила в активную зону субдукции Афро-Аравийской плиты из открытого Тетиса, с последующим осаждением кремнистых толщ в мелководном бассейне северо-восточного Пери-Тетиса. Сделано предположение, что бентонитовые прослои в опоках образовались в результате диагенетического преобразования вулканического пепла. В сантонском-кампанском веках в морском бассейне преобладали кислородные условия, которые в раннем сантоне и раннем кампане были осложнены криптоаноксическими обстановками. Раннекампанский эпизод предположительно является проявлением глобального аноксического события ОАЕ 3. Аномальные концентрации Mn в кампанской части разреза и одновременное увеличение $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ свидетельствуют о росте уровня моря в бассейне седиментации, который является отражением глобального эвстатического подъема в кампанском веке.

Ключевые слова: верхний мел, хроностратиграфия, опока, аноксия, ОАЕ 3, восток Русской плиты, геохимия, изменения уровня моря

Введение

В последние годы верхнемеловые отложения Русской плиты привлекают внимание исследователей в основном как объекты биостратиграфического изучения [1–3] и реконструкции палеогеографии региона в позднем мелу [4]. Между тем карбонатно-глинисто-кремнистые толщи верхнего мела представляют собой источник целого спектра полезных ископаемых (цементное, адсорбционное, керамическое, теплоизоляционное сырье), прогнозирование которых требует детального изучения вещественного состава, геохимических особенностей и условий образования [5]. Комплексное литолого-генетическое исследование этих

отложений с применением современной событийно-стратиграфической методики до последнего времени не проводилось.

В настоящей статье приведены результаты изучения разреза верхнего мела «Мезино-Лапшиновка», опробованного авторами в 2012 г. и исследованного методами сканирующей электронной микроскопии, микрозондового, количественного рентгенофазового и геохимического анализов. Целью исследования была реконструкция геологических процессов и событий, происходивших в сантонском-кампанском веках в восточном Пери-Тетисе, повлиявших на формирование рассматриваемой карбонатно-глинисто-кремнистой толщи.

2. Геологическое строение и хроностратиграфия

Разрез «Мезино-Лапшиновка» расположен на востоке Русской плиты (ВРП), которая в позднем мелу была частью северо-восточного Пери-Тетиса (рис. 1, а) [6]. Бореальный бассейн ВРП был связан с Туранской плитой Тургайским проливом, а с Западно-Сибирским бассейном – системой малых уральских проливов [4]. Изученный участок расположен в зоне наложения субмеридианального мезозойского Ульяновско-Саратовского прогиба на субширотный рифейский Пачелмский авлакоген и структуры докембрийской Волго-Уральской антеклизы (рис. 1, б) [1].

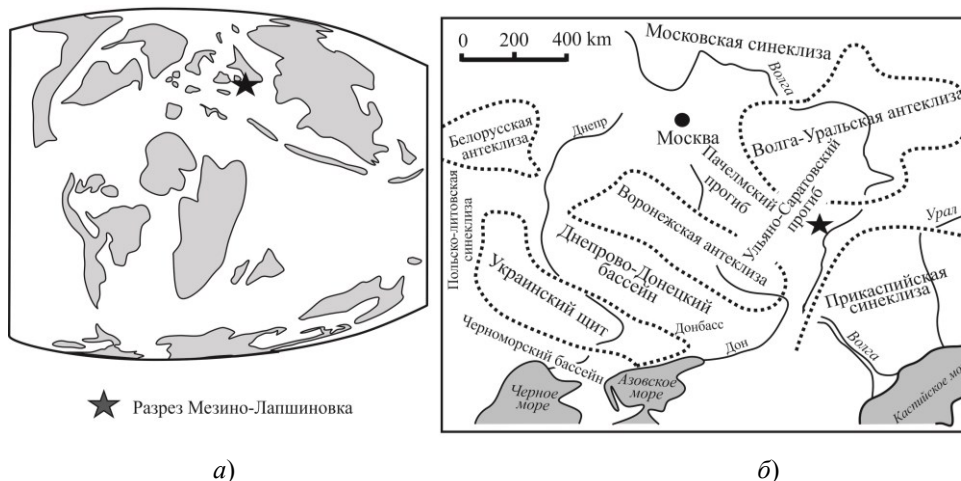


Рис. 1. Расположение разреза «Мезино-Лапшиновка»: а) на палеографической карте позднего мела – на северо-востоке Пери-Тетиса (упрощено по [6]); б) на тектонической схеме ВРП – в пределах Ульяновско-Саратовского прогиба ([1] с изменениями)

В 2004 г. разрез «Мезино-Лапшиновка» был подвергнут комплексному палеонтологическому изучению, по результатам которого он был расчленен на биостратиграфические зоны [2], на основе которых датирован ранним сантонским – поздним кампаном, и соотнесен с зональной стратиграфической схемой верхнего мела Восточно-Европейской платформы [1].

залегает зеленовато-серые глауконитовые песчаники (мощностью 1 м) со скоплением белемнитов (рис. 2).

Нижнекампанская часть разреза состоит из вышеупомянутых песчаников, которые перекрыты светло-серыми опоками (мощностью 3 м). Верхний кампан представлен светло-серыми мергелями с темно-серыми кремнистыми прослоями (мощностью 6 м).

3. Материал и методы

Разрез «Мезино-Лапшиновка» был опробован для комплексного изучения минерального состава, микроструктуры и геохимических особенностей основных литологических разновидностей пород (12 проб), составляющих стратоны разного возраста (рис. 2).

В лабораториях Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета были проведены аналитические исследования проб методами количественного рентгенофазового анализа (РФА), сканирующей электронной микроскопии и микрозондового анализа.

РФА традиционно считается основным методом определения минерального состава многокомпонентных осадочных пород. При определении глинистых минералов использовалось насыщение глицерином. РФА проводился на рентгеновском дифрактометре D2 Phaser (Bruker, Германия). Условия регистрации дифракционных спектров с монохроматизированным излучением Cu-K α ($\lambda = 1.54178 \text{ \AA}$) были следующими: напряжение – 30 кВ, ток – 30 мА, шаг сканирования – $0.02^\circ 2\theta$, время экспозиции – 3 с, диапазон углов сканирования – $3\text{--}40^\circ$.

Метод сканирующей электронной микроскопии применен для выявления особенностей микроструктуры пород и морфологии микрокомпонентов. Образцы исследовались на сканирующем электронном микроскопе XL-30 ESEM. Микрозондовый анализ с определением элементного состава отдельных участков породы проводился с применением энергодисперсионного рентгеновского спектрометра EDAX.

Поскольку породы разреза подвержены достаточно интенсивным диагенетическим преобразованиям, изотопный анализ кислорода не может обеспечить достоверные результаты. Изотопное соотношение углерода гораздо меньше реагирует на диагенетические изменения, так как вода в порах морских карбонатных отложений содержит мало органического вещества. Поэтому в породах разреза было определено изотопное соотношение $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$.

Элементный и изотопный анализ углеродного соотношения $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ проводился в Центре коллективного пользования «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). Значения основных элементов измерялись с использованием спектрометра ICP Vista MPX Rad. Анализ изотопного соотношения углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ был проведен с использованием аналитического комплекса Thermo Fisher Scientific (г. Бремен, Германия), включающего в себя масс-спектрометр DELTA V, устройство автоматической пробоподготовки для карбонатов Gas Bench II. Аналитическая точность измерительной системы составила $\pm 0.15 \text{ ‰}$ (1σ) для $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$.

Табл. 1

Минеральный состав верхнемеловых отложений разреза «Мезино-Лапшиновка»

Ярус/ Подъярус	Свитта	№ проб	Литология	Рентгенофазовый анализ, % масс.								
				Смектит	Гидро-слода	Кварц	ПШ	Цеолит	ОКТ	Кальцит	Другие минералы	
Кампанский	Верхний	Ардымская	1	Светло-серый мергель	13		10	1	12	21	43	
			3	Светло-серая глина	29	3	3	2	8	2	53	
	Нижний	Рыбуш-кинская	4	Светло-серая опока	4	19	3		6	43	23	Сидерит – 2
Сантонский	Верхний	Мезиолап-шиновская	5	Темно-серая глина	46	2	17	3	26		6	
			6	Темно-серая опока			7	1	5	79	8	
			7	Светло-серая опока			8		4	67	21	
	Верхний	Можевеловражная	8	Зеленоватосерая глина	8	31	5		4	31	18	Сидерит – 2; Гематит – 1
			9	Светло-серая опока			4			77	19	
			10	Темно-серая глина	48	2	2	2	1	27	18	
			11	Светло-серая опока	15	1	2	2	4	52	24	
			12	Светло-серая опока			2		5	65	23	

4. Результаты

4.1. Минеральный состав. По данным РФА (табл. 1), минеральный состав опок в интервале разреза от нижнего сантона до нижнего кампана представлен опал-кристаллит-тридимитом (ОКТ) (52–79%), кальцитом (8–24%), гидрослюдой (0–19%), смектитом (0–15%), клиноптилолитом (0–6%), кварцем (2–8%), полевым шпатом (0–2%) и сидеритом (0–2%).

Глины, встреченные в опоках в виде прослоев, содержат смектит (8–48%), гидрослюду (2–31%), ОКТ (0–31%), клиноптилолит (1–26%), кальцит (6–18%), кварц (2–17%), полевой шпат (0–3%), сидерит (0–2%), гематит (0–1%).

Кампанские мергели состоят из кальцита (43–53%), смектита + гидрослюды (13–32%), клиноптилолита (8–12%), кварца (3–10%), полевого шпата (1–2%), ОКТ (2–21%).

4.2. Микроструктура. Электронно-микроскопическое изучение и микронзондовый анализ показывают, что опоки в основном состоят из ОКТ глобуль размером 5–10 мк (рис. 3, а, б). Стоит отметить, что расположенные в скоплениях этих кремнистых шаровидных образований кокколлиты имеют свежий облик (рис. 3, б) и не несут признаков вторичных изменений.

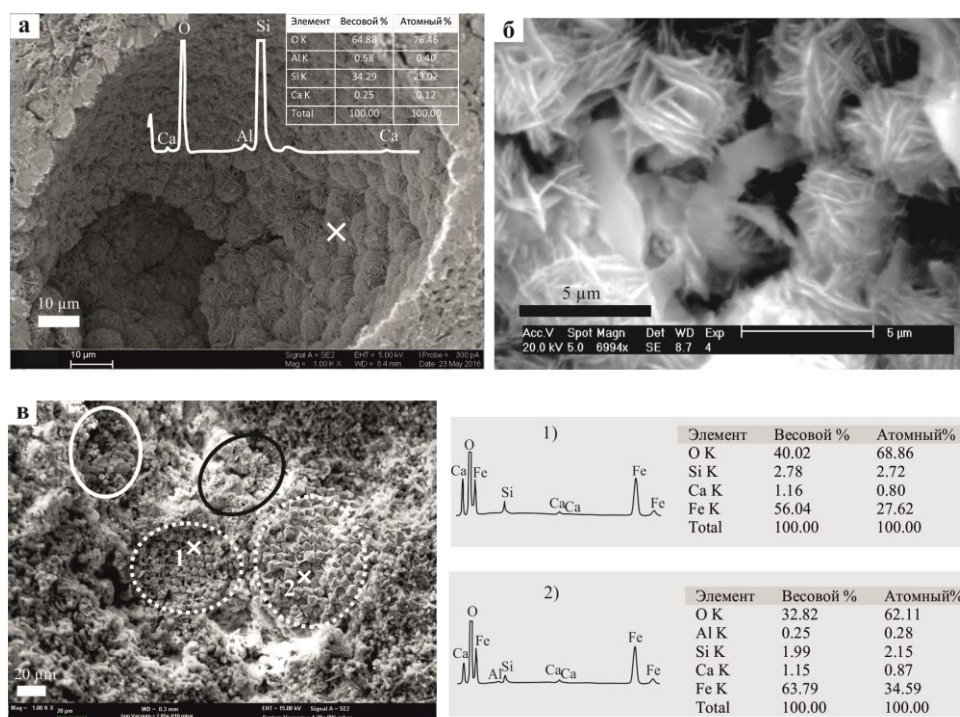


Рис. 3. Электронно-микроскопические изображения опок из разреза «Мезино-Лапшиновка»: а, б – глобулы ОКТ и ЭДС-спектр кремнистых глобуль в указанной точке (крест); в – скопления шаровидных и октаэдрических образований предположительно бактериального происхождения, сложенные сидеритом. Пунктирными линиями выделены области скоплений образований октаэдрической формы, сплошными – шаровидной

Наиболее интересными компонентами микроструктуры опок являются скопления необычных, некристаллических образований, состоящих, согласно микрозондовому анализу, из сидерита (рис. 3, в). Они встречаются в двух различных формах – в виде пустых октаэдрических «коробочек» (размером 5–8 мк) и шаровидных образований (размером 2–3 мк) с небольшим отверстием в каждом из них. Эти образования, предположительно, имеют бактериальную природу.

4.3. Геохимические данные. Сантонские опоки характеризуются относительно низкими концентрациями марганца (Mn) – 77–154 ppm (табл. 2, рис. 4). В глинах концентрация Mn несколько увеличивается до 77–387 ppm. В кампанских породах выявлена значительная положительная аномалия Mn (387–542 ppm).

Концентрация железа (Fe) в сантонских опоках варьируется от 4480 до 34300 ppm. Глины показали самое высокое содержание Fe в разрезе – 49350 ppm. Кампанские опоки характеризуются высоким содержанием Fe – 39830 ppm, в мергелях концентрация Fe снижается до 9660 ppm. Значения отношений концентраций железа и алюминия (Fe/Al) и концентрации железа (Fe) показывают схожую тенденцию (табл. 2, рис. 4).

Табл. 2

Результаты геохимических исследований разреза «Мезино-Лапшиновка»

Пробы	$\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ (‰ PDB)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Al (ppm)	Fe/Al
1	1.98	542.12	13020	31500	0.41
	1.94				
	1.94				
3	1.85	542.12	9660	54424	0.18
	1.96				
	1.91				
4	0.32	387.23	39830	25676	1.55
	0.17				
	0.31				
5	2.57	77.45	34300	97094	0.35
	2.98				
	2.7				
6	3.17	77.45	8540	23718	0.36
	3.13				
	3.29				
7	2.5	154.89	9870	28747	0.34
	2.46				
	2.38				
8	-3.32	387.23	49350	25147	1.96
	-3.84				
	-3.6				
9	2.52	77.45	4480	15035	0.3
	2.49				
	2.47				
10	3.68	77.45	16730	53047	0.32
	3.62				
	3.57				
11	3.6	77.45	12040	37165	0.32
	3.57				
	3.6				
12	3.75	77.45	6650	15618	0.43
	3.73				
	3.65				

Значения изотопного соотношения углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ изменяются незначительно в сантонской части разреза от 2.38‰ до 3.75‰, резко уменьшаясь в глинах до -3.84‰ (рис. 4).

В кампане наблюдается плавное увеличение $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ от 0.17‰ до 1.98‰ (рис. 4).

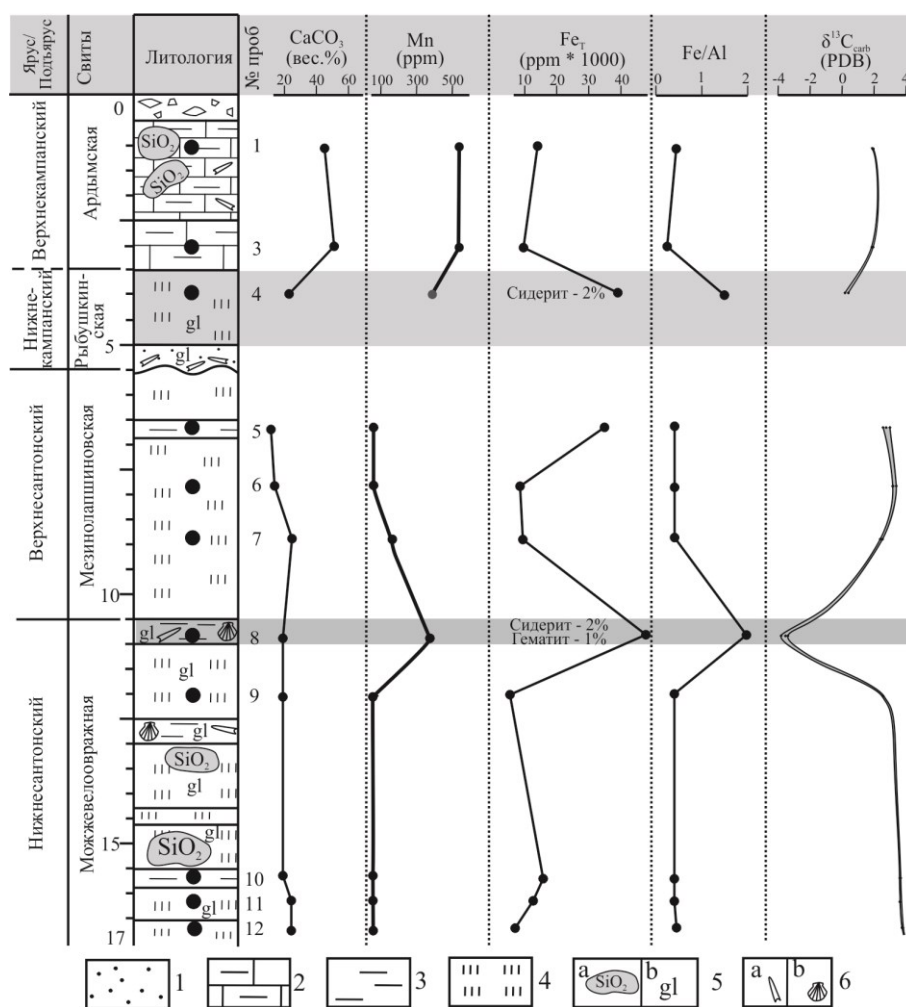


Рис. 4. Геохимические данные разреза «Мезино-Лапшиновка». Условные обозначения см. на рис. 2

5. Обсуждение результатов

5.1. Условия осадконакопления на востоке Русской плиты в турон-кампанское время. Как известно, в позднем мелу в осадочных бассейнах Западной и Восточной Европы преобладал режим карбонатного осадконакопления. Между тем на ВРП сформировались мощные толщи опок, фациально замещающих писчий мел. Опoki, преобладающим компонентом которых является скрытокристаллическая разновидность кремнезема, формируют массивные толщи только на Русской плите, тогда как в западной Европе в толщах писчего мела отмечаются отдельные линзы, прослои и конкреции кремней. Несмотря на длительную историю изучения [7–9], вопрос происхождения массивных опок остается дискуссионным. Очевидным является лишь факт мощного привноса кремнезема в бассейн седиментации ВРП на отдельных этапах позднемеловой истории, и данный процесс оказался преобладающим над карбонатонакоплением.

В 2012 г. были опубликованы результаты изучения генезиса коньяк-кампанских глинисто-кремнистых пород разреза «Вишневое» [10], расположенного в 50 км к северу от разреза «Мезино-Лапшиновка». В минеральном составе опок и глин разреза «Вишневое» выявлена «камуфлированная» пирокластика – парагенез аутигенных минералов (ОКТ, смектит, клиноптилолит и глауконит) в сочетании с полуразрушенными вулканическими стеклами. По результатам проведенного исследования было сделано заключение, что исследованные опоки и глины могли образоваться путем диагенетического преобразования вулканического пепла [10].

Данные выводы согласуются с вулканическим происхождением глин, прослой которых встречаются в толщах туронского и коньякского мела в восточной Англии и на севере Германии [11]. По результатам минералогического и геохимического изучения этих верхнемеловых отложений сделано предположение о распространении пеплового материала во всей северо-западной Европе, источники которого связывались с активизацией рифтогенеза в Северной Атлантике [12].

В разрезе «Мезино-Лапшиновка» во всех литотипах выявлена «камуфлированная» пирокластика (ОКТ, смектит, клиноптилолит и глауконит). В качестве возможного механизма формирования значительных по мощности толщ опок в северо-восточном Пери-Тетисе предполагается следующий. Кремнистый ил из областей открытого океана мог перемещаться в активную зону субдукции северной части Афро-Аравийской плиты [13]. В связи с тем, что мелководный бассейн Пери-Тетиса был соединен с зоной субдукции и вовлечен в субдукционный меланж, кремнистый материал доставлялся в северо-восточные области Пери-Тетиса, где и отлагался в виде мощных опоковых толщ.

Позднемеловая субдукция Афро-Аравийской плиты сопровождалась активными вулканическими извержениями в Черноморском регионе [14], на Малом Кавказе [5] и в Баскиле [13]. Данные эксплозии могут быть рассмотрены как потенциальные источники пеплового материала, переносимого воздушными потоками стратосферы в северо-восточные области Пери-Тетиса. После разгрузки пепловых туч пирокластический материал осаждался в морском бассейне, где впоследствии был преобразован в бентонитовые глины [5], прослой которых встречаются по всему разрезу «Мезино-Лапшиновка».

5.2. Аноксические события в коньяк-кампанское время. Известно, что коньяк-сантонское время отмечено проявлением последнего мелового океанского аноксического события (Oceanic Anoxic Event, ОАЕ 3) [15]. В отличие от средне-меловых аноксических событий (ОАЕ 1 и 2), ОАЕ 3 произошло в период похолодания, которое случилось на фоне очень теплого климата в позднем мелу [16].

Предполагается [16], что ОАЕ 3 не прослеживается глобально, а только в отдельных регионах: его воздействие ограничивается низкими и средними широтами Атлантического океана и некоторыми внутренними бассейнами, таким, например, как Западный Внутренний бассейн Северной Америки.

Что касается осадочных бассейнов Тетиса и его окраин, включая северо-восточный Пери-Тетис, имеющиеся литолого-геохимические данные указывают на то, что седиментация на ВРП в сантоне происходила в условиях оксидизации

[16], а признаков аноксических обстановок не установлено. На это указывают следующие данные: а) карбонатно-глинисто-кремнистые последовательности имеют преимущественно светло-серый цвет; б) в разрезах отсутствуют черные сланцы; в) в породах не обнаружен пирит.

Несмотря на отсутствие явных признаков аноксии, в разрезах могут присутствовать неявные или слабые ее проявления. Недавно был предложен метод, способный различать криптоаноксию, которая выражена в так называемых бескислородных несурьфидных (железистых) состояниях среды [17]. Их появление связано с ограниченным потоком органического углерода, способствующим восстановлению сульфида, накапливающегося в водной толще. Такие условия среды согласуются с отсутствием богатых органикой черных сланцев и не выделяются положительными экскурсами $\delta^{13}\text{C}$ [17]. Разработчиками данной методики было установлено, что обедненная кислородом среда может быть идентифицирована повышенным содержанием высокорекреакционного железа (Fe) и повышенным соотношением железа к алюминию (Fe/Al) [17]. Благодаря применению качественных методов определения окислительно-восстановительных условий в морской воде удалось установить, что такие криптоаноксические несурьфидные (железистые) условия чрезвычайно распространены в истории Земли [17].

В основе вышеописанного метода [17] лежит способность ряда железосодержащих минералов к высокорекреакционному биологическому и абиологическому восстановлению. Такими минералами являются карбонат железа (например, сидерит), оксиды железа (например, гематит), магнетитовое железо и железо-сульфидные минералы (например, пирит). Железо, которое входит в состав данных минералов, считается высокорекреакционным.

В разрезе «Мезино-Лапшиновка» обнаружены два уровня, обогащенных высокорекреакционным железом. Нижнесантонские глины содержат 2% сидерита и 1% гематита, а нижнекампанские опоки – 2% сидерита. Оба уровня отмечены высокой концентрацией Fe (49350 и 39830 ppm соответственно) и увеличением отношения Fe/Al (до 1.96 и 1.55 соответственно) (рис. 4).

В изученном разрезе соотношение Fe/Al варьируется от 0.18 до 0.43 (исключая два вышеупомянутых уровня). Учитывая, что насыщенные кислородом морские осадки имеют средние отношения Fe/Al – 0.55 ± 0.11 [15], кислородные условия в северо-восточной части Пери-Тетиса действительно существовали в сантонском и кампанском веках. Однако условия оксидизации дважды (в раннем сантоне и раннем кампане) прерывались кратковременными криптоаноксическими обстановками.

5.3. Свидетельства колебания уровня моря. Индикатором колебаний уровня моря в бассейне седиментации может служить кривая изменений концентраций Mn. Исследованиями [19] было показано, что положительные экскурсы связаны с повышениями уровня моря.

В разрезе «Мезино-Лапшиновка» выявлены (рис. 3) две отчетливо выраженные положительные аномалии Mn в нижнесантонской (387 ppm) и кампанской (387–542 ppm) частях разреза (рис. 4).

Кампанская аномалия Mn, вероятно, связана с ростом уровня моря, что согласуется с данными, полученными [19]. Такая же аномалия Mn, связанная

с трансгрессивным эпизодом, выделена на границе нижнего и верхнего кампана в бассейне Монса и Англо-Парижском бассейне [20]. Данный эпизод является следствием эвстатического подъема в кампане [21].

Кампанская трансгрессия подтверждается и увеличением $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ от 0.17 до 1.98 в изученном разрезе. Считается, что взаимосвязь между повышениями уровня моря в меловом периоде и положительными сдвигами $\delta^{13}\text{C}$ обусловлена изменениями в распределении углерода между органическими и карбонатными его поглотителями, которые происходят при повышении уровня моря [22].

Заключение

Одним из возможных механизмов образования верхнемеловых опок на ВРП мог быть привнос кремнистого ила в активную конвейерную зону субдукции Афро-Аравийской плиты из открытого Тетиса, а затем его осаждение в мелководном бассейне северо-восточного Пери-Тетиса.

Активные эксплозии по крайней мере трех вулканических зон (Черноморский регион, вулканические дуги Малого Кавказа и Баскиля) могли быть позднемеловыми источниками пеплового материала, обнаруженного в опоках, глинах и мергелях изученного разреза. Кислый (легкий) пепловый материал, вероятно, переносился стратосферными воздушными потоками в северо-восточную часть Пери-Тетиса и способствовал появлению в осадочных последовательностях «камуфлированной» пирокластики и прослоев бентонитовых глин.

Проведенное изучение минерального и элементного состава пород разреза «Мезино-Лапшиновка» позволило установить, что в сантонском и кампанском веках в морском бассейне на ВРП были кислородные условия, которые дважды (в раннем сантоне и раннем кампане) осложнялись кратковременными криптоаноксическими обстановками. Раннесантонский эпизод предположительно является проявлением глобального аноксического события ОАЕ 3.

Аномальные концентрации Mn в кампанской части разреза «Мезино-Лапшиновка» и одновременное увеличение $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ свидетельствуют о росте уровня моря в бассейне седиментации. Данное повышение согласуется с эвстатическим ростом уровня моря в кампанском веке.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственной программы повышения конкурентоспособности Казанского (Приволжского) федерального университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров. Исследования проведены за счет средств субсидии, выделенной Казанскому (Приволжскому) федеральному университету для выполнения государственного задания № 5.2192.2017/4.6 в сфере научной деятельности. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по договору № 14.Y26.31.0029 в рамках реализации постановления Правительства № 220.

Литература

1. Олферьев А.Г., Алексеев А.С. Зональная стратиграфическая шкала верхнего мела Восточно-Европейской платформы // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2003. – Т. 11, № 2. – С. 75–101.

2. *Олферьев А.Г., Алексеев А.С., Беньямовский В.Н., Вишневецкая В.С., Иванов А.В., Первушов Е.М., Сельцер В.Б., Харитонов В.М., Шербинина Е.А.* Опорный разрез верхнего мела у села Мезино-Лапшиновка и проблемы границ сантона и кампана в Саратовском Поволжье // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2004. – Т. 12, № 6. – С. 69–102.
3. *Олферьев А.Г., Беньямовский В.Н., Вишневецкая В.С., Иванов А.В., Копачевич Л.Ф., Овечкина М.Н., Первушов Е.М., Сельцер В.Б., Тесакова Е.М., Харитонов В.М., Щербинина Е.А.* Верхнемеловые отложения северо-запада Саратовской области. Статья 2. Проблемы хроностратиграфической корреляции и геологической истории региона // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2008. – Т. 16, № 3. – С. 47–74.
4. *Varaboshkin E.Yu., Alekseev A.A., Kopaevich L.F.* Cretaceous palaeogeography of the North-Eastern Peri-Tethys // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* – 2003. – V. 196, No 1–2 – P. 177–208. – doi: 10.1016/S0031-0182(03)00318-3.
5. *Зорина С.О., Афанасьева Н.И.* «Камуфлированная» пирокластика в верхнемеловых–миоценовых толщах юго-востока Русской плиты // Докл. РАН. – 2015. – Т. 463, № 4. – P. 443–445. – doi: 10.7868/S0869565215220235.
6. *Scotese C.R.* Atlas of Late Cretaceous Maps. PALEOMAP Atlas for ArcGIS. V. 2: The Cretaceous. Maps 16–22. – Mollweide Projection. PALEOMAP Project. Evanston, IL. – 2014. – doi: 10.13140/2.1.4691.3284.
7. *Ахлестина Е.Ф.* Литофации позднего мела Нижнего Поволжья // Изв. Саратов. ун-та. Новая серия. Сер. Науки о Земле. – 2012. – Т. 12, Вып. 2. – С. 44–50.
8. *Ахлестина Е.Ф., Бондаренко Н.А., Гуцаки В.А., Курлаев В.И.* Состав, парагенетические связи и генезис силицитов верхнего мела и палеогена Нижнего Поволжья // Осадочные породы и руды: Материалы науч. совещ. – Киев, 1980. – С. 212–219.
9. *Бондаренко Н.А.* Минералого-петрографическая характеристика верхнемеловых пород Саратовско-Волгоградского междуречья Волги и Медведицы // Вопр. стратиграфии и палеонтологии. – Саратов, 1980. – Вып. 5. – С. 89–107.
10. *Зорина С.О., Афанасьева Н.И., Жабин А.В.* Следы пирокластики в сантон-кампанских отложениях разреза «Вишневое» (Среднее Поволжье) // Литосфера. – 2012. – № 3. – С. 3–13.
11. *Pacey N.R.* Bentonites in the Chalk of central eastern England and their relation to the opening of the northeast Atlantic // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 1984. – V. 67, No 1. – P. 48–60. – doi: 10.1016/0012-821X(84)90037-2.
12. *Wray D.S., Gale A.S.* The palaeoenvironment and stratigraphy of Late Cretaceous Chalks // *Proc. Geol. Assoc.* – 2006. – V. 117, No 2. – P. 145–162. – doi: 10.1016/S0016-7878(06)80006-4.
13. *Kuşcu I., Kuşcu G.G., Tosdal R.M., Ulrich T.D., Friedman R.* Magmatism in the south-eastern Anatolian orogenic belt: Transition from arc to post-collisional setting in an evolving orogen // *Geological Society, London. Special Publications.* – 2010. – V. 340. – P. 437–460. – doi: 0.1144/SP340.19.
14. *Nikishin A.M., Khotylev A.O., Bychkov A.Yu., Kopaevich L.F., Petrov E.I.* Cretaceous volcanic belts and the evolution of the Black Sea Basin // *Moscow Univ. Geol. Bull.* – 2013. – V. 68, No 3. – P. 141–154. – doi: 10.3103/S0145875213030058.
15. *Hofmann P., Wagner T., Beckmann B.* Millennial- to centennial-scale record of African climate variability and organic carbon accumulation in the Coniacian-Santonian eastern tropical Atlantic (Ocean Drilling Program Site 959, off Ivory Coast and Ghana) // *Geology.* – 2003. – V. 31, No 2. – P. 135–138. – doi: 10.1130/0091-7613(2003)031<0135:MTCSRO>2.0.CO;2.
16. *Wagreich M.* “OAE 3” – regional Atlantic organic carbon burial during the Coniacian–Santonian // *Clim. Past.* – 2012. – V. 8, No 5. – P. 1447–1455. – doi: 10.5194/cp-8-1447-2012.

17. *Clarkson M.O., Poulton S.W., Guilbaud R., Wood R.* Assessing the utility of Fe/Al and Fe-speciation to record water column redox conditions in carbonate-rich sediments // *Chem. Geol.* – 2014. – V. 382. – P. 111–122. – doi: 10.1016/j.chemgeo.2014.05.031.
18. *Clarkson M.O., Wood R.A., Poulton S.W., Richoz S., Newton R.J., Kasemann S.A., Bowyer F., Krystyn L.* Dynamic anoxic ferruginous conditions during the end-Permian mass extinction and recovery // *Nat. Commun.* – 2016. – V. 7. – Art 12236, P. 1–9. – doi: 10.1038/ncomms12236.
19. *Emmanuel L., Renard M.* Carbonate geochemistry (Mn, d¹³C, d¹⁸O) of the late Tithonian–Berriasian pelagic limestone of the Vocontian trough (SE France) // *Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine.* – 1993. – V. 17. – P. 205–221.
20. *Richard J., Sizun J.-P., Machhour L.* Environmental and diagenetic records from a new reference section for the Boreal realm: The Campanian chalk of the Mons basin (Belgium) // *Sediment. Geol.* – 2005. – V. 178, No 1–2. – P. 99–111. – doi: 10.1016/j.sedgeo.2005.04.001.
21. *Haq B.U.* Cretaceous eustasy revisited // *Global Planet. Change.* – 2014. – V. 113. – P. 44–58. – doi: 10.1016/j.gloplacha.2013.12.007.
22. *Jenkyns H.C., Gale A.S., Corfield R.M.* Carbon- and oxygen-isotope stratigraphy of the English Chalk and Italian Scaglia and its palaeoclimatic significance // *Geol. Mag.* – 1994. – V. 131. – P. 1–34.

Поступила в редакцию
29.09.17

Зорина Светлана Олеговна, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры палеонтологии и стратиграфии

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: svzorina@yandex.ru

Хабибянов Ленар Сиреневич, студент Института геологии и нефтегазовых технологий

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: lenar_hb@mail.ru

Афанасьева Надежда Иосифовна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник

ФГУП «ЦНИИГеолнеруд»
ул. Зинина, д. 4, г. Казань, 420097, Россия
E-mail: n-afanasieva@rambler.ru

Сокерина Наталья Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник

Институт геологии имени академика Н.П.Юшкина Коми НЦ УрО РАН
ул. Первомайская, д. 54, г. Сыктывкар, 167982, Россия
E-mail: sokerina@geo.komisc.ru

Перовский Игорь Андреевич, младший научный сотрудник

Институт геологии имени академика Н.П.Юшкина Коми НЦ УрО РАН
ул. Первомайская, д. 54, г. Сыктывкар, 167982, Россия
E-mail: igor-perovskij@yandex.ru

Галиуллин Булат Марсович, ведущий инженер Института геологии и нефтегазовых технологий

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: bulat.galiullin@kpfu.ru

Морозов Владимир Петрович, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой минералогии и литологии

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: Vladimir.morozov@kpfu.ru

Ескин Алексей Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры минералогии и литологии

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: eskin.aleksey@gmail.com

ISSN 2542-064X (Print)

ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2018, vol. 160, no. 3, pp. 484–499

**Lithostratigraphy, Geochemistry, and Depositional Environments
of the Upper Cretaceous Succession from the Mezino-Lapshinovka Section
(Eastern Russian Platform)**

S.O. Zorina^{a*}, *L.S. Khabipyanov*^{a**}, *N.I. Afanasieva*^{b***}, *N.V. Sokerina*^{c****},
I.A. Perovskiy^{c*****}, *B.M. Galiullin*^{a*****}, *V.P. Morozov*^{a*****}, *A.A. Eskin*^{a*****}

^a*Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia*

^b*FSUE TSNIIGEOLNERUD, Kazan, 420097 Russia*

^c*N.P. Yushkin Institute of Geology, Komi Science Center, Ural Branch, Russian of Academy of Sciences,
Syktyvkar, 167982 Russia*

E-mail: ^{*}svzorina@yandex.ru, ^{**}lenar_hb@mail.ru, ^{***}n-afanasieva@rambler.ru,
^{****}sokerina@geo.komisc.ru, ^{*****}igor-perovskij@yandex.ru, ^{*****}bulat.galiullin@kpfu.ru,
^{*****}Vladimir.morozov@kpfu.ru, ^{*****}eskin.aleksey@gmail.com

Received September 29, 2017

Abstract

The Mezino-Lapshinovka section is constituted by the Upper Cretaceous carbonate clayey siliceous succession. It has been studied by XRD, SEM, microprobe, and geochemical analyses in order to reconstruct the main geologic events that influenced the formation of gaizes in the NE Peri-Tethys. A new scenario for their formation proposes that open-ocean siliceous ooze might have been delivered to the active subduction zone of the African-Arabian plate and then deposited in the shallow basin of NE Peri-Tethys. The bentonite interbeds were probably formed due to diagenetic alteration of the volcanic ash. It has been suggested that the sea water during the Santonian- Campanian was characterized by the oxic conditions, while there were two short episodes of anoxia or so-called anoxic non-sulfidic conditions. The early Santonian anoxic episode can be linked to the global anoxic event OAE 3 in the NE Peri-Tethys. The Campanian Mn anomaly coupled with the simultaneous increase in $\delta^{13}\text{C}$ is considered to be a manifestation the Campanian eustatic rise.

Keywords: Upper Cretaceous, chronostratigraphy, gaizes, anoxia, OAE 3, Eastern Russian Platform, geochemistry, sea level changes

Acknowledgments. The work is performed according to the Russian Government Program of Competitive Growth of Kazan Federal University. The study was funded by the subsidy allocated to Kazan Federal University for the state assignment in the sphere of scientific activities (project no. 5.2192.2017/4.6). The work was also supported by the Ministry of Science and Higher Education of

the Russian Federation (contract no. 14.Y26.31.0029) in the framework of the Resolution no. 220 of the Government of the Russian Federation.

Figure Captions

- Fig. 1. The location of the Mezino–Lapshinovka section: *a*) on the palaeogeographical map of the Late Cretaceous – in the NE Peri-Tethys (simplified according to [6]); *b*) on the tectonic map of the ERP – within the boundaries of the Ulyanovsk–Saratov trough ([1] with modifications).
- Fig. 2. The lithology and chronostratigraphy of the Mezino–Lapshinovka section. Key: 1 – sandstones; 2 – marlstones; 3 – clays; 4 – gaizes; 5a – silicified patches; 5b – glauconite; 6a – belemnites; 6b – bivalves; 7 – sampling sites.
- Fig. 3. The electron microscope images of gaizes from the Mezino–Lapshinovka section: *a, b* – OCT globules and the EDS spectrum of silicified globules at the selected point (cross); *c* – accumulations of spherical and octahedral formations of a presumably bacterial origin and constituted by siderite. Dashed lines show the areas of octahedral formations, solid lines are spherical formations.
- Fig. 4. The geochemical data on the Mezino–Lapshinovka section. See Fig. 2 for Key.

References

1. Olfer'ev A.G., Alekseev A.S. Biostratigraphic zonation of the Upper Cretaceous in the East European Platform. *Stratigr. Geol. Correl.*, 2003, vol. 11, no. 2, pp. 172–198.
2. Olfer'ev A.G., Alekseev A.S., Beniamovskii V.N., Vishnevskaya V.S., Ivanov A.V., Pervushov E.M., Sel'tser V.B., Kharitonov V.M., Shcherbinina E.A. The Mezino-Lapshinovka reference section of the Upper Cretaceous and problems of Santonian-Campanian boundary in Saratov area near the Volga River. *Stratigr. Geol. Correl.*, 2004, vol. 12, no. 6, pp. 603–636.
3. Olfer'ev A.G., Beniamovski V.N., Vishnevskaya V.S., Ivanov A.V., Kopaevich L.F., Ovechkina M.N., Pervushov E.M., Sel'tser V.B., Tesakova E.M., Kharitonov V.M., Shcherbinina E.A. Upper Cretaceous deposits in the northwest of Saratov region, Part 2: Problems of chronostratigraphy and regional geological history. *Stratigr. Geol. Correl.*, 2008, vol. 16, no. 3, pp. 267–294. doi: 10.1134/S0869593808030040.
4. Baraboshkin E.Yu., Alekseev A.A., Kopaevich L.F. Cretaceous palaeogeography of the North-Eastern Peri-Tethys. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 2003, vol. 196, nos. 1–2, pp. 177–208. doi: 10.1016/S0031-0182(03)00318-3.
5. Zorina S.O., Afanas'eva N.I. “Camouflaged” pyroclastic material in the Upper Cretaceous–Miocene deposits of the southeastern East European Craton. *Dokl. Earth Sci.*, 2015, vol. 463, no. 2, pp. 770–772. doi: 10.1134/S1028334X15080085.
6. Scotese C.R. *Atlas of Late Cretaceous Maps. PALEOMAP Atlas for ArcGIS. Vol. 2: The Cretaceous. Maps 16–22. Mollweide Projection. PALEOMAP Project. Evanston, IL. 2014.* doi: 10.13140/2.1.4691.3284.
7. Akhlestina E.F. The Late Cretaceous lithofacies of the Lower Volga region. *Izv. Sarat. Univ. Nov. Ser. Ser. Nauki Zemle*, 2012, vol. 12, no. 2, pp. 44–50. (In Russian)
8. Akhlestina E.F., Bondarenko N.A., Gutsaki V.A., Kurlaev V.A., Kurlaev V.I. Mineral composition, paragenesis, and origin of the upper Cretaceous and Paleogene silicites of the Lower Volga region. *Osadochnye porody i rudy: Materialy nauch. soveshch.* [Sedimentary Rocks and Ores: Proc. Sci. Conf.]. Kiev, 1980, pp. 212–219. (In Russian)
9. Bondarenko N.A. Mineralogy and petrography of the Upper Cretaceous rocks of the Saratov and Volgograd regions between the Volga and Medveditsa Rivers, *Vopr. Stratigr. Paleontol.*, 1980, no. 5, pp. 89–107. (In Russian)
10. Zorina S.O., Afanas'eva N.I., Zhabin A.V. Traces of pyroclastics in the Santonian–Campanian deposits of the Vishnevoe section (Middle Volga region). *Litosfera*, 2012, no. 3, pp. 3–13. (In Russian)
11. Pacey N.R. Bentonites in the Chalk of central eastern England and their relation to the opening of the northeast Atlantic. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1984, vol. 67, no. 1, pp. 48–60. doi: 10.1016/0012-821X(84)90037-2.
12. Wray D.S., Gale A.S. The palaeoenvironment and stratigraphy of Late Cretaceous Chalks. *Proc. Geol. Assoc.*, 2006, vol. 117, no. 2, pp. 145–162. doi: 10.1016/S0016-7878(06)80006-4.

13. Kuşçu I., Kuşçu G.G., Tosdal R.M., Ulrich T.D., Friedman R. Magmatism in the southeastern Anatolian orogenic belt: Transition from arc to post-collisional setting in an evolving orogen. *Geol. Soc., London. Spec. Publ.*, 2010, vol. 340, pp. 437–460. doi: 0.1144/SP340.19.
14. Nikishin A.M., Khotylev A.O., Bychkov A.Yu., Kopaevich L.F., Petrov E.I. Cretaceous volcanic belts and the evolution of the Black Sea Basin. *Moscow Univ. Geol. Bull.*, 2013, vol. 68, no. 3, pp. 141–154. doi: 10.3103/S0145875213030058.
15. Hofmann P., Wagner T., Beckmann B. Millennial- to centennial-scale record of African climate variability and organic carbon accumulation in the Coniacian-Santonian eastern tropical Atlantic (Ocean Drilling Program Site 959, off Ivory Coast and Ghana). *Geology*, 2003, vol. 31, no. 2, pp. 135–138. doi: 10.1130/0091-7613(2003)031<0135:MTCSRO>2.0.CO;2.
16. Wägrich M. “OAE 3” – regional Atlantic organic carbon burial during the Coniacian–Santonian. *Clim. Past*, 2012, vol. 8, no. 5, pp. 1447–1455. doi: 10.5194/cp-8-1447-2012.
17. Clarkson M.O., Poulton S.W., Guilbaud R., Wood R. Assessing the utility of Fe/Al and Fe-speciation to record water column redox conditions in carbonate-rich sediments. *Chem. Geol.*, 2014, vol. 382, pp. 111–122. doi: 10.1016/j.chemgeo.2014.05.031.
18. Clarkson M.O., Wood R.A., Poulton S.W., Richoz S., Newton R.J., Kasemann S.A., Bowyer F., Krystyn L. Dynamic anoxic ferruginous conditions during the end-Permian mass extinction and recovery. *Nat. Commun.*, 2016, vol. 7, art. 12236, pp. 1–9. doi: 10.1038/ncomms12236.
19. Emmanuel L., Renard M. Carbonate geochemistry (Mn, d¹³C, d¹⁸O) of the Late Tithonian–Berriasian pelagic limestone of the Vocontian Trough (SE France). *Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 1993, vol. 17, pp. 205–221.
20. Richard J., Sizun J.-P., Machhour L. Environmental and diagenetic records from a new reference section for the Boreal realm: The Campanian chalk of the Mons basin (Belgium). *Sediment. Geol.*, 2005, vol. 178, nos. 1–2, pp. 99–111. doi: 10.1016/j.sedgeo.2005.04.001.
21. Haq B.U. Cretaceous eustasy revisited. *Global Planet. Change*, 2014, vol. 113, pp. 44–58. doi: 10.1016/j.gloplacha.2013.12.007.
22. Jenkyns H.C., Gale A.S., Corfield R.M. Carbon- and oxygen-isotope stratigraphy of the English Chalk and Italian Scaglia and its palaeoclimatic significance. *Geol. Mag.*, 1994, vol. 131, pp. 1–34.

Для цитирования: Зорина С.О., Хабипьянов Л.С., Афанасьева Н.И., Сокерина Н.В., Перовский И.А., Галиуллин Б.М., Морозов В.П., Ескин А.А. Литостратиграфия, геохимия и условия образования верхнемеловых отложений разреза «Мезино-Лапшиновка» (восток Русской плиты) // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2018. – Т. 160, кн. 3. – С. 484–499.

For citation: Zorina S.O., Khabipyanov L.S., Afanasieva N.I., Sokerina N.V., Perovskiy I.A., Galiullin B.M., Morozov V.P., Eskin A.A. Lithostratigraphy, geochemistry, and depositional environments of the Upper Cretaceous succession from the Mezino-Lapshinovka section (Eastern Russian Platform). *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2018, vol. 160, no. 3, pp. 484–499. (In Russian)