

УДК 551.583.7: 551.763.3

Р.Р. Габдуллин¹, А.Ю. Пузик², С.И. Меренкова³, И.Р. Мигранов⁴,
Н.В. Бадзулина⁵, М.Д. Казуров⁶

ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТУРОН-САНТОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЭПИКОНТИНЕНТАЛЬНОГО БАСЕЙНА РУССКОЙ ПЛИТЫ В РАЙОНЕ ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1

ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,
614090, Пермский край, Пермь, ул. Генкеля, 4

Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва, Нахимовский проспект, 36

Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1

Perm State National Research University, 614990, Perm, Genkel st., 4

Shirshov Institute of Oceanology RAS, 117997, Moscow, Nahimovskiy av., 36

Впервые приведены результаты геохимического исследования и их палеогеографическая, палеоклиматическая интерпретация для циклично построенного разреза верхнемеловых отложений у г. Старый Оскол в Белгородской области.

Ключевые слова: меловой период, цикличность, геохимия, климатическая система, Старый Оскол.

The results of geochemical research of the cyclic section of the Upper Cretaceous deposits near Saryi Oskol town at Belgorod province and paleogeographical and paleoclimatic interpretation of these data were given for the first time.

Key words: Cretaceous, cyclicity, geochemistry, climatic system, Saryi Oskol.

Введение. В разрезе карьера Стойленского горно-обогатительного комбината (СГОК) Курской магнитной аномалии в г. Старый Оскол (Белгородская область) вскрыты фанерозойские отложения чехла Восточно-Европейской платформы. Верхнемеловая часть разреза включает терригенные образования сеномана и карбонатные образования турона—нижнего сантона.

Ранее [Габдуллин, 2002; Габдуллин, Иванов, 2002] этот разрез был изучен комплексом методов, определены ключевые факторы, генерировавшие цикличность в турон-раннесантонское время — циклы биопродуктивности, связанные с вариациями климата, в свою очередь вызванными циклами эксцентриситета 2-го (продолжительностью около 400 тыс. лет) и 4-го (продолжительностью около 2030 тыс. лет) порядка. Это находит подтверждение в распределении числа *ихнотаксонов*, площади

(объема) биотурбации, содержания органического углерода ($C_{\text{орг}}$), карбоната кальция (CaCO_3), разрушающего поля остаточной намагниченности насыщения, а также естественной остаточной намагниченности и остаточной намагниченности насыщения.

Приводятся данные об изменении температуры, глубины, солености и типа климата для всего интервала верхнемеловой части разреза. Построены кривые изменения этих параметров. Такие данные для этого разреза ранее не публиковались, и они интересны с позиции реконструкции климатической и палеогеографической истории развития эпиконтинентальных морей, покрывавших Русскую плиту в районе Воронежской антеклизы.

Материалы и методы исследования. Геологический разрез был изучен комплексом методов. Обзор результатов этих исследований и их интер-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, доцент; e-mail: mosgorsun@rambler.ru

² Пермский государственный национальный исследовательский университет, Естественнонаучный институт, лаборатория биогеохимии техногенных ландшафтов, мл. науч. с.; кафедра минералогии и петрографии, ст. преп.; сектор наноминералогии, инженер; e-mail: alex.puzik@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, аспирант; Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, лаборатория палеоэкологии и биостратиграфии, мл. науч. с.; e-mail: koshelevasof@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, студент; e-mail: iskandermig@mail.ru

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, ст. науч. с.; e-mail: nvbadulina@mail.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, аспирант; e-mail: max.kazurov@yandex.ru

претации был опубликован ранее в [Габдуллин, 2002; Габдуллин, Иванов, 2002].

Акцент в нашей работе сделан на результатах геохимических исследований изучаемого разреза по образцам горных пород, ранее отобранных Р.Р. Габдуллиным, и их палеогеографической и палеоклиматической интерпретации.

Полный геохимический анализ элементов 47 образцов туронских, коньякских и сантонских отложений из циклически построенного разреза выполнен на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре последовательного типа действия S8 «Tiger» фирмы «BRUKER» (аналитик А.Ю. Пузик).

По полученным результатам были подсчитаны соотношения и значения содержания некоторых химических элементов, указывающих на изменение условий осадконакопления (глубина бассейна, гидродинамика, климат и др.), что позволило уточнить сформулированные ранее представления о режиме седиментации. Кратко охарактеризуем эти параметры, ранее подробно описанные в ряде работ [Бадулина и др., 2016; Меренкова и др., 2020; Габдуллин и др., 2021 и др.].

Для анализа **вариаций значений палеотемпературы** использованы следующие значения концентрации элементов и их отношения: V, Ca, Ni, Ca/Sr, титановый модуль (ТМ), Mn, Si/Al, Ca/Mg, Sr/Ba, Zn/Nb, (Ce, Nd, La, Ba)/Yb (Y, Zr). Рост концентрации Ca, Sr, Mg может указывать на аридный тип климата, а увеличение содержания Sc, Ni, Zn, Y, W, U, Cu, V и редкоземельных элементов (РЗЭ) — на гумидные условия седиментации [Енгальцев, Панова, 2011; Климат..., 2004].

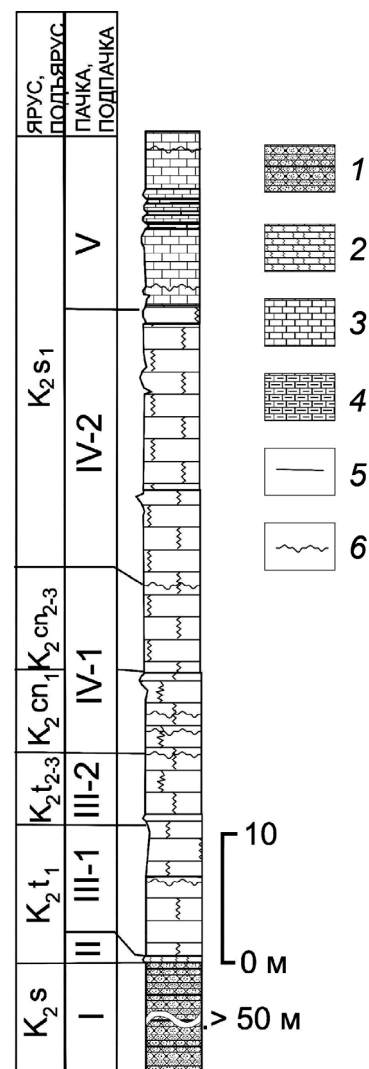
К **показателям изменения глубины бассейна** относятся отношения Fe/Mn, Ti/Mn, титановый модуль (ТМ), натриевый модуль (НМ), калиевый модуль (КМ), а также элементы Zn, Pb, Al, Mn, Cu, Sr, Ba, показывающие смещение фаций [Бадулина и др., 2016; Меренкова и др., 2020; Габдуллин и др., 2021].

Для **анализа изменения солености** использованы значения отношений Sr/Ba и Ca/Sr. Их увеличение свидетельствует о повышении солености раствора. Концентрация В, Ba, S, Cr, Cu, Ga, Ni и V в морских осадках выше, чем в пресноводных, а содержание Zn и Cu в морских осадках ниже, чем в пресноводных [Бадулина и др., 2016; Меренкова и др., 2020; Габдуллин и др., 2021].

Определение палеотемпературы по индексу выветривания [там же]. Индексы выветривания обычно показывают степень истощения пород подвижными элементами относительно неподвижных в процессе химического выветривания. Индекс CIA был впервые предложен в работе [Nesbitt, Young, 1982] и широко используется как показатель интенсивности химического выветривания

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

Рис. 1. Разрез верхнемеловых отложений карьера Стойленского ГОКа г. Старый Оскол Белгородской области: 1 — песчаники; 2 — писчий мел; 3 — известняки; 4 — глинистые известняки (мергели); 5 — согласные стратиграфические границы; 6 — несогласные стратиграфические границы



где CaO^* — некарбонатный CaO , все переменные представляют молярные количества оксидов основных элементов.

$$T = 0,56 \cdot CIA - 25,7 \quad (r^2 = 0,50),$$

где T — температура, °C

Подробнее об этом методе написано в [Меренкова и др., 2020; Габдуллин и др., 2021].

Литолого-палеонтологическая характеристика разреза. Разрез (рис. 1) расположен в северо-западном борту карьера Стойленского ГОКа КМА в г. Старый Оскол (Белгородская область). Разрез описан и изучен в ряде работ [Габдуллин, 2002; Габдуллин, Иванов, 2002].

Сеноманский ярус. Нижний и средний (?) подъярусы. Пачка I. Пески зеленовато-сероватые, бурые, среднезернистые, глауконитовые. Песчаники бурые, ожелезненные, плотные. Пачка содержит 2 или 3 горизонта фосфоритовых конкреций. Макрофоссилии представлены двустворчатыми моллюсками, в том числе устрицами, образующими банки; обилием остатков акул, химеровых и костистых рыб, рострами белемнитов, редкими аммонитами. Встречаются окаменевшие стволы деревьев рода *Cupressinoxylon* и копролиты боль-

ших морских рептилий. Мощность пачки до 50 м [Габдуллин, 2002].

В разрезе сеноманских отложений доминирует пачка ритмичного переслаивания песчаников серых, серо-зеленых с бурыми ожеженными плотными песчаниками (7–8 м). Макрофауна: зубы химер *Ischyodus «bifurcatus»* Case и акул *Protosquales sp.*; раковины *Neithea sp.*; ростры *Praeactinocamax primus* Arkh. Микрофауна представлена сеноман-маастрихтскими формами известкового нанопланктона *Manivitella redimiculata* (Stover), *Prediscosphaera cretacea* (Arb.) и сеноман-туронскими *Broisonia matalosa* (Stover), и др. Эти отложения подстилаются линзообразными прослоями глин, глинистых песков с фосфоритами (0–2,5 м), которые залегают выше сеноман-туронской границы. Ниже этого уровня залегает пачка песков и песчаников верхнего альба, из которых происходит найденный одним из авторов *Mortoniceras inflatum*. Таким образом, граница верхнего альба и нижнего сеномана проходит по подошве линзообразных песков с фосфоритами [Габдуллин, 2002].

В пачке прослеживается цикличность (четыре циклита типа плотный песчаник (0,2–0,3 м)—песок, песчаник (0,5–0,7 м).

Туронский ярус. Нижний подъярус, пачки II и III. Пачка II (мощность 0,7–1 м), «сурка». Песчанистый мел с равномерно рассеянными фосфоритовыми желвачками и горизонтами обломков призматического слоя иноцерам. В основании пачки присутствует «фосфоритовая плита» (ее мощность 0,2 м) — сильно сконденсированный прослой сцементированных фосфоритовых желваков различных формы и степени окатанности, черного и коричневого цвета с глауконитом. Туронский возраст «сурки» в этом разрезе подтверждается находками кальцисфер *Broisonia matalosa* (Stover), *Br. parca* (Strad.), *Zygodiscus chelmiensis* (Gor.), *Prediscosphaera spinosa* (Bramlette et Martini), совместно существовавших в туроне. Макрофоссилии представлены раковинами устриц, кубками губок рода *Ventriculites*, окатанными зубами и позвонками акул. Цикличность не установлена [Габдуллин, 2002].

Пачка III. Писчий мел белый, светло-серый, желтовато-сероватый. Пачка содержит многочисленные макрофоссилии: белемниты, иноцерамы, брахиоподы, морские ежи, зубы акул, чешуя рыб, копролиты и ихнофоссилии. В нижней части (*подпачка III-1*), отвечающей нижнему турону, отмечены два бентонитовых прослоя и панциря (Воронежская антеклиза) [Габдуллин, 2002].

Подпачка III-1. Писчий мел (13 м) с двумя прослоями бентонита и тремя поверхностями размыва. Второй прослой маркирует границу с основанием верхнего турона. Нижний турон — зона *Gavelinella nana*. Возможно выделение одного циклита мел-глина и одного циклита мел-мер-

гель, или трех циклитов типа мел-«хард граунд» [Габдуллин, 2002].

Средний и верхний подъярусы. Подпачка III-2. Чистый писчий мел без бентонитовых прослоев, мощность 6,5–7 м, с *Inoceramus lamarcki* Park., что подтверждает присутствие отложений среднего турона. По микрофауне эта толща соответствует зоне *Gavelinella moniliformis* (средний и верхний турон). Выделены три поверхности типа «твердое дно» (панциря). Цикличность представлена переслаиванием пластов плотного и рыхлого мела. Мощность слоев плотного мела всегда в 2–3 раза меньше мощности пластов рыхлого мела и составляет (0,4–0,5 м) [Габдуллин, 2002].

Пачка III содержит богатый комплекс фауны: двустворки *Dianchora spinosa* (Sow.), устрицы «*Ostrea*» sp., пектениды, морские ежи-цидароиды, акулы *Cretoxyrhina* sp. Встречены следы жизнедеятельности *Teichichnus* и *Planolites*. Отложения нижнего турона содержат два пластовых циклита, а среднего и верхнего турона — один циклит [Габдуллин, 2002].

Коньякский ярус. Писчий мел *пачки IV* соответствует в разрезе нижнему и верхнему коньяку (*подпачка IV-1*), а также нижнему сантону (*подпачка IV-2*). Деление этой пачки на подпачки основано не столько на литологических, сколько на биостратиграфических критериях [Габдуллин, 2002].

Подпачка IV-1. Писчий мел, микроскопически — известняк тонкозернистый. В разрезе представлены отложения нижнего и верхнего подъяруса. Нижнеконьякские отложения (зона *Gavelinella kelleri*) выполнены писчим мелом (6,5 м) с одной поверхностью размыва. Эрозионный контакт и вышележащий горизонт обломков призматического слоя иноцерам маркируют несогласную границу нижнего и верхнего коньяка. Верхний коньяк (зона *Gavelinella thalmanni*) представлен писчим мелом (9 м). Отсюда происходят находки *Volviceras involutus* Sow. [Габдуллин, 2002].

Встречен следующий комплекс макрофауны: спатангоидные ежи *Micraster rogalae* Nowak, цидароидные ежи, устрицы рода *Ostrea*. В коньякских отложениях СГОКа установлены следы жизнедеятельности *Thalassinoides*, *Teichichnus* и *Planolites* [Габдуллин, 2002].

Цикличность установлена только в породах верхнего коньяка: один циклит типа плотный мел (1 м)—рыхлый мел (5,5 м) [Габдуллин, 2002].

Сантонский ярус. Нижний подъярус. Карбонатные породы представлены в нижней части писчим мелом (*подпачка IV-2*), а в верхней — мергелями и известняками (*пачка V*). Они согласно залегают на подстилающих их породах коньяка, это отложения нижнего сантона (зона *Gavelinella infrasantonica*). Отмечены находки *Sphenoceras cardisoides* (Goldf.), что также подтверждает присутствие отложений нижнего сантона [Габдуллин, 2002].

Подпачка IV-2. Писчий мел микроскопически представляет собой тонкозернистый известняк. В основании подпачки наблюдали 5 горизонтов обломков призматического слоя иноцерам. Мощность прослоев до 10 см, интервал составляет 30–50 см. В кровле подпачки за несколько дециметров до границы с пачкой V отмечена поверхность размыва. Мощность подпачки 21 м [Габдуллин, 2002].

Пачка V ритмичного переслаивания белых тонкозернистых известняков и мергелей мощностью 10 м. В верхней части пачки наблюдается поверхность перерыва. Установлены ихнофоссилии *Thalassinoides*, *Teichichnus*, *Chondrites*, *Zoophycos* и *Planolites* [Габдуллин, 2002].

В отложениях нижнего сантона присутствует цикличность двух типов. Подпачка IV-2 содержит два цикла. Пачка переслаивания мелоподобных мергелей и известняков содержит четыре цикла: мелоподобный мергель (0,3–0,5 м)–известняк (0,6–0,75 м). Цикличность хорошо подчеркнута профилем выветривания [Габдуллин, 2002].

Результаты исследований и их обсуждение.

Геохимическая характеристика разреза. Геохимические данные позволили рассчитать значения концентрации (ppm) 29 элементов и соединений, а также 6 их отношений (модулей), необходимых для уточнения условий седиментации и генезиса цикличности карбонатной части разреза начиная с пачки II. Описание этой методики представлено в ряде работ [Енгальчев, Панова, 2011; Климат..., 2004; Складов, 2001]. Полученные нами данные в контексте их палеогеографической интерпретации противоречивы, что требует их сравнения с результатами других исследований.

Кратко и выборочно охарактеризуем концентрацию элементов, соединений и их отношения.

Вариации значений палеоглубины (рис. 2) видны на кривых концентрации Zn, Sr и титанового модуля (ТМ). Кривые содержания Zn и ТМ показывают среднюю корреляцию. Вместе с тем они демонстрируют слабую корреляцию с содержанием Sr. Распределение Ti/Mn и Fe/Mn показывает хорошую корреляцию этих отношений между собой и с распределением содержания Zn. Эпохи относительного обмеления и углубления бассейна фиксируются на графиках всех параметров.

По распределению этих параметров можно выделить четыре эвстатических цикла: первый — в туронское, второй — в коньякское, третий и четвертый — в сантонское время. Циклы начинаются с трансгрессивной эпохи (углубление, трансгрессивная система трактов), затем следует эпоха стабилизации глубины (первая половина тракта высокого стояния), а после нее — регрессивная эпоха (вторая половина тракта высокого стояния).

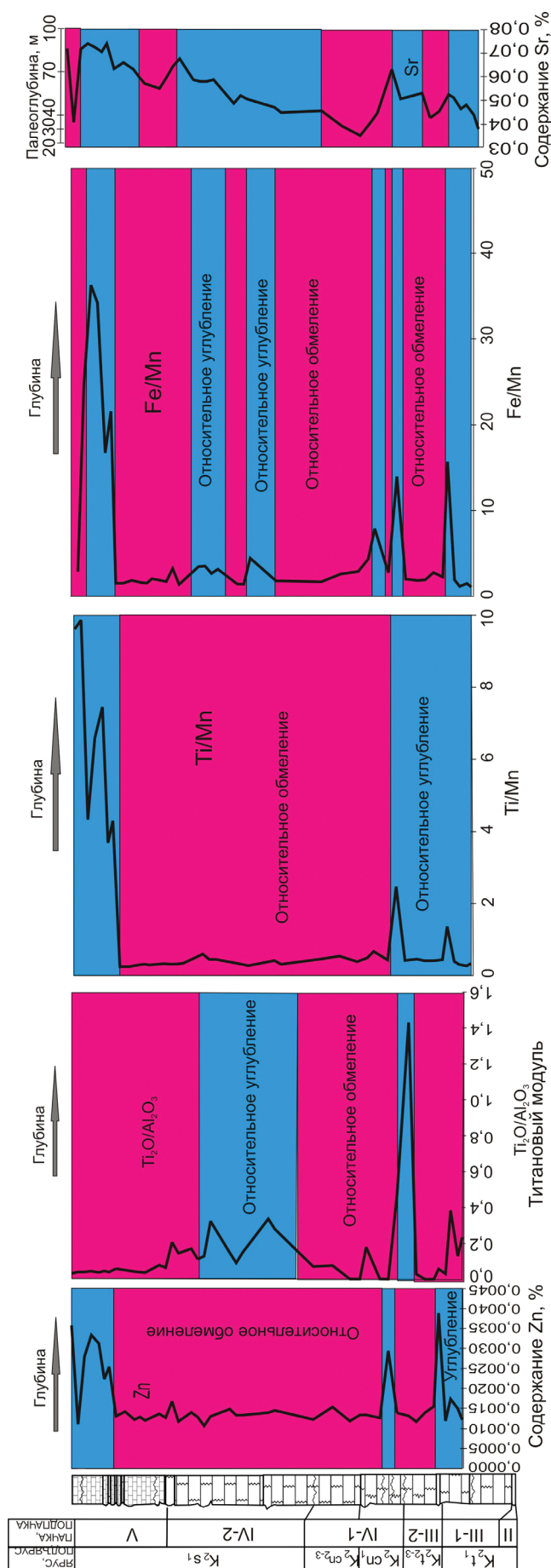


Рис. 2. Соотношение кривых палеобатиметрии для турон-ран-несантонского времени для Воронежской антеклизы, полученных по геохимическим данным

Установлена корреляция между уменьшением палеоглубины (в условиях регрессии) и повышением ряда параметров, определенных ранее [Габдуллин, 2002; Габдуллин, Иванов, 2002]: концентрации $C_{орг.}$ и распределения ихнофоссилий (числа ихнотаксонов, максимального диаметра норок и площади (объема) биотурбации по разрезу). В частности, содержание Zn хорошо коррелирует с распределением ихнофоссилий за исключением нижней части пачки V (начало раннего сантона), в отличие от концентрации Sr. Вариации ТМ хорошо коррелируют с содержанием $C_{орг.}$ и распределением ихнофоссилий, вариации содержания Sr наилучшим образом — с распределением ископаемых организмов. Плохую корреляцию Sr с распределением ихнофоссилий по разрезу можно объяснить вариациями газового режима в придонных водах и/или солености и глубины. Трансформация кривой содержания Sr в палеобатиметрическую кривую со шкалой глубин выполнена с учетом данных палеоэкологии ископаемых организмов — индикаторов сложной системы (палеосреды).

В туронское время палеоглубина бассейна оценивается в диапазоне 40–100 м, около 40–50 м в раннем туроне и по мере развития трансгрессии до 100 м во второй половине турона. Этому интервалу разреза соответствует один эвстатический цикл. Он был относительно мелководным. В составе палеоценоза доминировали планктон с карбонатным скелетом, бентосные формы животных (пелециподы, брахиоподы) над нектонными (белемниты, акуловые (*Cretoxyrhina* sp.) и костистые рыбы). Присутствие губок *Ventriculites* указывает на сравнительно большую глубину: несколько сотен метров—несколько километров. Находки цидароидных ежей обычно характеризуют глубину 75–100 м. Многочисленные устрицы, в том числе рода *Ostrea*, обычно обитают не глубже 40–100 м. Ежи-цидароиды питаются морскими губками, соответственно, эти организмы сосуществовали вместе на глубине более 80–100 м (сублитораль, пелагиаль). Наиболее мелководные представители этого сообщества: пектениды (10–50 м) и устрицы — пикнодонты (30–40 м) [Габдуллин, 2002].

Для коньякского времени палеоглубина бассейна также оценивается в диапазоне 40–100 м. Этому интервалу разреза соответствует один эвстатический цикл. Около 40–50 м в раннем коньяке и по мере развития трансгрессии до 100 м во второй половине коньякского века. В составе палеоценоза присутствует планктон с карбонатным скелетом, а также ракообразные (следы *Thalassinoides*), иноцерамы и морские ежи. Находок нектонных форм макрофауны нет. Комплекс фораминифер представлен аномалинами [Габдуллин, 2002].

В раннесантонское время диапазон палеоглубины не превышал 100 м, а к концу раннего сантона уменьшился. Этому диапазону разреза отвечают два эвстатических цикла. Палеоценоз включает

планктон с карбонатным скелетом, бентосные формы — иноцерамы, нектонные формы — белемниты и костные рыбы. Среди микрофоссилий встречаются раковины фораминифер *Trochammina borealis* Keller, обычно обитающие в пределах среднего шельфа (60–100 м, сублитораль). К концу раннего сантона глубина бассейна уменьшилась. На это указывает смена фации писчего мела на известняк-мергельную фацию [Габдуллин, 2002].

Вариации значений палеотемпературы установлены по содержанию элементов V, Cu, Ni, Mn и отношению Si/Al (рис. 3), которые по-разному коррелируют между собой.

За кривую вариации палеотемпературы была выбрана кривая содержания Cu, как наиболее хорошо коррелирующая с распределением ихнофоссилий. В частности, эпохи относительного потепления по концентрации Cu хорошо увязываются с увеличением числа ихнотаксонов, диаметром норок и площадью (объемом) биотурбации и одновременно с понижением содержания $C_{орг.}$

Перейти от «качественного» графика к кривой с количественными значениями стало возможно по результатам определения значений палеотемпературы по индексу выветривания (таблица), рассчитанных для нижесантонских отложений. Полученный диапазон палеотемпературы земной поверхности в 18–21 °C на палеоподнятиях (в областях денудации) можно аппроксимировать с температурой водной поверхности и верхних неглубоких слоев водной толщи, так как с глубиной (до 100 м) температура снижается. Это косвенно подтверждается присутствием в ископаемом сообществе турона теплолюбивых амфидонт, острей и пектенид, что позволяет сделать вывод о тепловодности бассейна (рис. 3), поэтому для шкалы палеотемпературы был выбран диапазон значений 18–21 °C.

Диапазон 18–21 °C «теплее» значений, ранее полученных методами изотопной палеотермометрии по нектонным формам (белемнитам) [Тейс, Найдин, 1973] для сравнительно более глубоководных частей эпиконтинентальных бассейнов Русской плиты во второй половине турона (14–15 °C) или второй половине коньяка (13–15 °C) [Габдуллин, 2002].

Можно выделить шесть климатических циклов, начинающихся с фазы похолодания. Первый — в раннетуронское время (подпачка III-1), второй — в поздне-туронское—раннеконьякское время (подпачка III-2 и нижняя половина подпачки IV-1). Третий цикл охватывает время со среднего коньяка по начало раннего сантона (верх подпачки IV-1 и низ подпачки IV-2). Четвертый, пятый и шестой циклы характеризуют интервал разреза, отвечающий самому верху подпачки IV-2 и пачке V. Таким образом, времена относительного потепления тяготеют к границам пачек (хотя могут быть и внутри них), это конец раннего турона

(18–21 °С), поздний турон–ранний коньяк (18–19 °С) и три фазы потепления в раннем сantonе (18,5–21 °С). Время относительного похолодания — конец раннего турона и средний турон (17,5–18,5 °С), средний коньяк–ранний сanton (17,5–18 °С), а также еще три эпизода похолодания в раннем сantonе (17,5–18 °С).

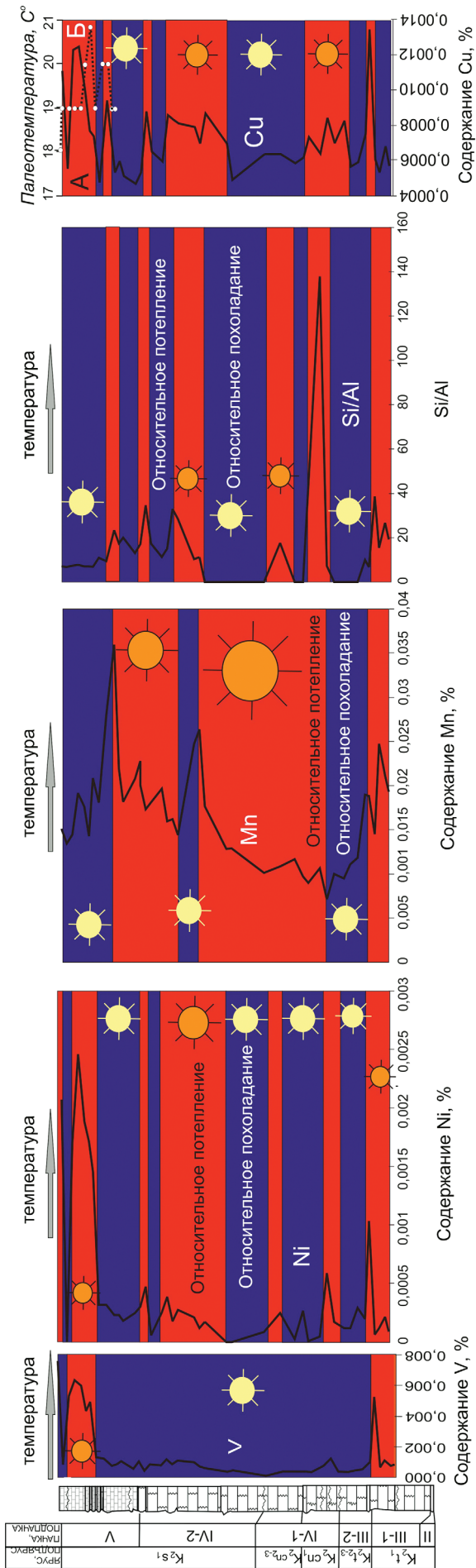
Величины палеотемпературы, рассчитанные по индексу выветривания

Номер п/п	Номер лабораторного образца	Образец	CIA	T, °C
1	X10818	Оскол 62	80	19
2	X10819	Оскол 63	80	19
3	X10820	Оскол 64	81	20
4	X10821	Оскол 65	81	20
5	X10822	Оскол 66	80	19
6	X10823	Оскол 67	83	21
7	X10824	Оскол 68	81	20
8	X10825	Оскол 71	79	19
9	X10826	Оскол 72	79	19
10	X10827	Оскол 73	79	19
11	X10828	Оскол 74	79	19
12	X10829	Оскол 76	78	18

Примечание. В изучаемых отложениях для расчета CIA и палеотемпературы использованы образцы с наибольшим количеством терригенной примеси. В качестве критерия принято содержание $\text{SiO}_2 \geq 5\%$ и $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 1\%$.

Кривая содержания Cu, принятая за палеотемпературную кривую (кривая «А») и скорректированная с учетом значений палеотемпературы обитания ископаемых организмов, подобна кривой значений палеотемпературы, рассчитанных по индексам выветривания («кривая «Б», рис. 3). Учитывая значения палеотемпературы по индексам выветривания (которые выше приблизительно на 1 °С), проведена коррекция положения палеотемпературной кривой — график сдвинут в сторону более высоких значений (рис. 4) тоже приблизительно на 1 °С (кривая «В»), т.е. для шести климатических циклов были скорректированы значения палеотемпературы. Относительно более теплые эпохи — конец раннего турона (19–22 °С), поздний турон–ранний коньяк (19–20 °С) и три фазы потепления в раннем сantonе (19–22 °С). К относительно более холодным эпохам относятся конец раннего турона и средний турон (18,5–19,5 °С), средний коньяк–ранний сanton (18,5–19 °С) и еще три эпизода похолодания в раннем сantonе (18,5–19 °С).

Рис. 3. Вариации палеотемпературы для турон-раннесантонского времени для Воронежской антеклизы, полученные по геохимическим данным: А — палеотемпературная кривая (по содержанию Cu); Б — палеотемпературная кривая для раннесантонского времени (рассчитанная по индексам выветривания)



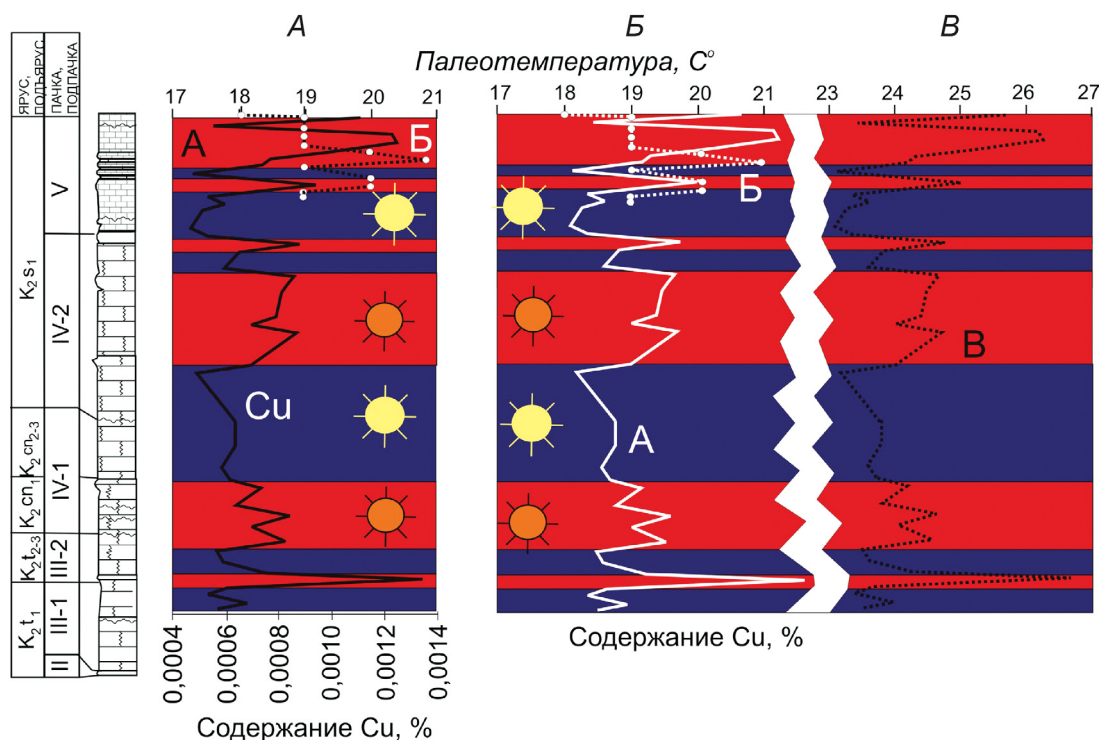


Рис. 4. Палеотемпературные кривые для турон-раннесантонского времени: А — скорректированная палеотемпературная кривая для суши (аналог среднегодовой температуры (по содержанию Cu)) с учетом значений палеотемператур по устрицам; Б — то же самое, скорректированное с учетом значений палеотемператур, полученных по индексам выветривания; В (В) — предполагаемая палеотемпературная кривая для поверхностных вод морского бассейна; А — скорректированная палеотемпературная кривая (по содержанию Cu); Б — палеотемпературная кривая для раннесантонского времени (рассчитанная по индексам выветривания)

Предложена предполагаемая кривая палеотемпературы поверхностных вод (рис. 4, кривая «В»). В условиях поздне меловой талассократии и высокого уровня стояния океана температура морских вод оценивается выше температуры суши приблизительно на 5 °C (при сопоставлении среднегодовой температуры (MAT), среднегодовой температуры воздуха (MAAT) [Burgener, Nyland, Huntington et al., 2019] с температурой поверхностных вод (SST) [O'Brian et al., 2017], например, для кампанской формации Кайпарович (США)). Эти значения не противоречат величинам палеотемпературы Мирового океана для бассейнов умеренных палеоширот в турон-раннесантонское время — 20–25 °C, причем отмечено понижение глобальной температуры в указанном интервале времени [O'Brian et al., 2017].

Вариации влажности климата прослеживаются на кривых Sr, Mg, V, KM, HM и TM (рис. 5). Графики модулей (KM, HM и TM) слабо коррелируют между собой (отдельные их интервалы вообще не коррелируют). Кривые вариаций содержания V, Sr и KM демонстрируют наилучшую корреляцию между собой. В качестве параметра для оценки влажности климата был выбран KM, который обнаруживает прямую корреляцию с распределением ихнофоссилий (площадью биотурбированных пород, максимальным диаметром норок, числом ихнотаксонов), содержанием $S_{орг.}$ и разрушающим полем остаточной намагниченности насыщения,

определенными ранее [Габдуллин, 2002]. В эпохи гумидизации климата в турон-коньякское время повышалось содержание $S_{орг.}$ и разрушающее поле остаточной намагниченности насыщения, появилось больше ихнофоссилий, а в эпохи аридизации — уменьшалось.

В итоге можно выделить два интервала относительно гумидного климата (турон—ранний коньяк и вторая половина раннего сантона — время формирования пачки V) и интервал аридного климата (средний коньяк—начало раннего сантона, время формирования второй половины подпачки IV-1 и подпачки IV-2).

Вариации значений палеосолёности прослеживаются на кривой отношения Sr/Ba, которую можно построить только для фрагментов рассматриваемого разреза. Для конца раннего сантона отмечено локальное понижение солёности (отношение Sr/Ba), коррелирующее с уменьшением глубины бассейна. Присутствие иглокожих (помимо ракообразных и пелеципод) в турон-коньякское время и иноцерам и головоногих моллюсков в раннесантонское время свидетельствует о нормальной солёности эпиконтинентального морского бассейна, покрывавшего район Воронежской антеклизы.

Заключение. Проанализированы вариации температуры, глубины и солёности эпиконтинентального бассейна, а также влажности климата в поздне меловое (турон-раннесантонское) время

на примере разреза Воронежской антеклизы — карьера Стойленского ГОКа в г. Старый Оскол (Белгородская область) (рис. 6).

Выделено четыре эвстатических цикла: первый — в туронское, второй — в коньякское, третий и четвертый — в сantonское время. Циклы начинаются с трансгрессивной эпохи (углубление, трансгрессивная система трактов), затем следует эпоха стабилизации глубины (первая половина тракта высокого стояния), а после нее — регрессивная эпоха (вторая половина тракта высокого стояния).

Для туронского времени палеоглубина бассейна оценивается в диапазоне 40–100 м, около 40–50 м в раннем туроне и по мере развития трансгрессии — до 100 м во второй половине турона. Для коньякского времени палеоглубина бассейна также оценивается в диапазоне 40–100 м. Этому интервалу разреза соответствует один эвстатический цикл, палеоглубина составляла около 40–50 м в раннем коньяке и по мере развития трансгрессии увеличилась до 100 м во второй половине коньякского века. В ранне-сantonское время диапазон палеоглубины не превышал 100 м, а к концу раннего сantonа еще уменьшился. Этому диапазону разреза отвечают два эвстатических цикла.

Выделено шесть климатических циклов, начинающихся с фазы похолодания. Относительно более теплые эпохи — конец раннего турона (19–22 °С), поздний турон–ранний коньяк (19–20 °С) и три фазы потепления в раннем сantonе (19–22 °С). К относительно более холодным эпохам относятся конец раннего турона и средний турон (18,5–19,5 °С), средний коньяк–ранний сanton (18,5–19 °С) и еще три эпизода похолодания в раннем сantonе (18,5–19 °С).

Выделено два интервала относительно гумидного климата (турон–ранний коньяк и вторая половина раннего сantonа — время формирования пачки V) и интервал аридного климата (средний коньяк–начало раннего сantonа, время формирования второй половины подпачки IV-1 и подпачки IV-2).

На протяжении турон–раннесantonского времени эпиконтинентальный морской бассейн, покрывавший район Воронежской антеклизы, характеризовался нормальной соленостью, о чем свидетельствуют находки иглокожих, ракообразных и пелеципод, живших в турон–коньякское время, а также иноцерам и головоногих моллюсков, обитавших тут в раннесantonское время. Для конца раннего сantonа отмечено и локальное понижение солености (отношение Sr/Ba), связанное с уменьшением глубины бассейна.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы «Математические методы

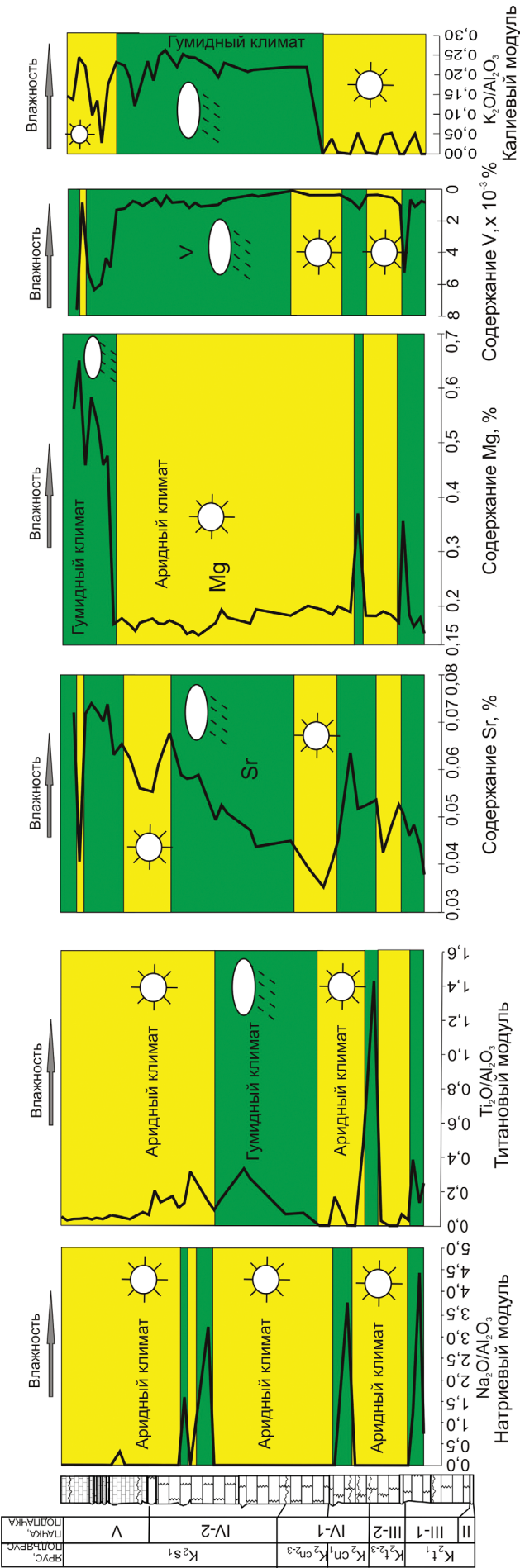


Рис. 5. Изменение типа климата (аридный/гумидный) на исследуемой территории для турон–раннесantonского времени

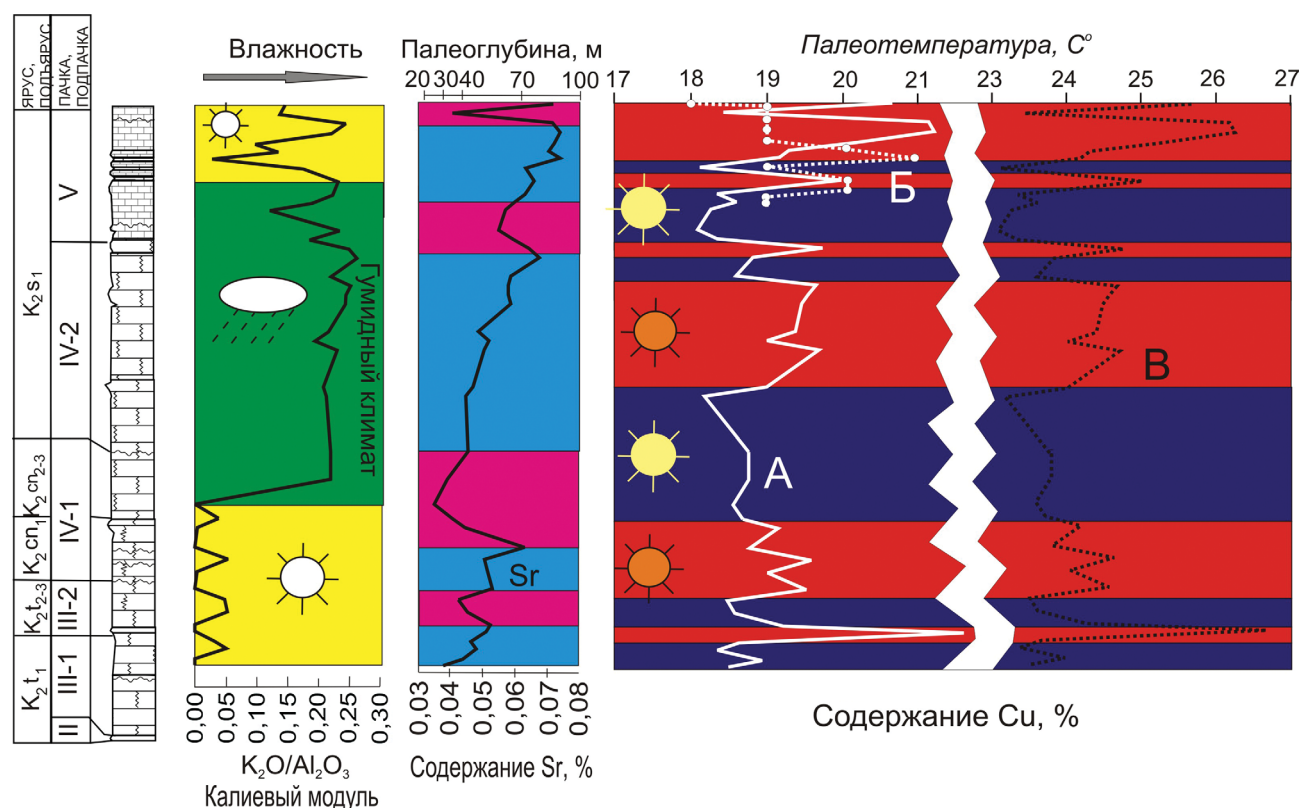


Рис. 6. Вариации палеотемпературы для турон-раннесантонского времени для Воронежской антеклизы, полученные по геохимическим данным: А — скорректированная палеотемпературная кривая для суши (аналог среднегодовой температуры) с учетом значений, полученных по индексам выветривания; скорректированная палеотемпературная кривая (по содержанию Cu), Б — палеотемпературная кривая для раннесантонского времени (рассчитанная по индексам выветривания), В — предполагаемая палеотемпературная кривая для поверхностных вод морского бассейна

анализа сложных систем» (МГУ имени М.В. Ломоносова), Программы деятельности научно-образовательного центра мирового уровня «Рациональ-

ное недропользование» на 2019–2024 годы, при поддержке Минобрнауки России (распоряжение Правительства РФ от 30 апреля 2019 г. № 537).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бадулина Н.В., Яковишина Е.В., Габдуллин Р.Р. и др. Литолого-геохимическая характеристика и условия формирования верхнемеловых разрезов Северного Перитетиса // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2016. Вып. 4–5. С. 136–147.

Габдуллин Р.Р. Ритмичность верхнемеловых отложений Русской плиты, Северо-Западного Кавказа и Юго-Западного Крыма. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 304 с.

Габдуллин Р.Р., Иванов А.В. Ритмичность карбонатного осадконакопления в позднемеловом бассейне юга Воронежской антеклизы (на примере разреза карьера Стойленского горно-обогатительного комбината) // Тр. НИИ Геологии СГУ. Новая сер. 2002. Т. 10. С. 41–55.

Габдуллин Р.Р., Пузик А.Ю., Меренкова С.И. и др. Литолого-геохимическая характеристика и палеоклиматические условия формирования верхнемеловых отложений эпиконтинентального бассейна Русской плиты в районе Ульяновско-Саратовского прогиба // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2021. № 2. С. 20–33.

Енгальчев С.Ю., Панова Е.Г. Геохимия и генезис песчаников восточной части Главного девонского поля на северо-западе Русской плиты // Литосфера. 2001. № 5. С. 16–29.

Климат в эпохи крупных биосферных перестроек / Гл. редакторы М.А. Семихатов, Н.М. Чумаков. М.: Наука, 2004. 299 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 550).

Меренкова С.И., Серегина И.Ф., Габдуллин Р.Р. и др. Реконструкция палеосолёности и батиметрии Еникальского пролива в восточной части океана Паратетис в сарматское время по геохимическим данным // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2020. № 3. С. 37–46.

Тейс Р.В., Найдин Д.П. Палеотермометрия и изотопный состав кислорода органических карбонатов. М.: Наука, 1973. 254 с.

Burgener L., Hyland E., Huntington K.W. et al. Revisiting the equable climate problem during the Late Cretaceous greenhouse using paleosol carbonate clumped isotope temperatures from the Campanian of the Western Interior Basin, USA // Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol. 2019. Vol. 516. P. 244–267.

O'Brian C.L., Robinson S.A., Pancost R.D. et al. Cretaceous sea-surface temperature evolution: Constraints from TEX₈₆ and planktonic foraminiferal oxygen isotopes // Earth Sci. Rev. 2017. Vol. 172. P. 224–247.

Поступила в редакцию 08.12.2020

Поступила с доработки 28.01.2021

Принята к публикации 29.01.2021