

УДК 551.7.02

ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКОГО ПРОГИБА

Руслан Рустемович Габдуллин^{1✉}, Алексей Юрьевич Пузик²,
Софья Ивановна Меренкова³, Елена Андреевна Бакай⁴,
Елена Николаевна Полудеткина⁵, Кирилл Владимирович Сыромятников⁶,
Максим Дмитриевич Казуров⁷, Искандер Рустамович Мигранов⁸,
Сергей Иванович Бордунов⁹, Мария Алексеевна Устинова¹⁰,
Юлия Игоревна Ростовцева¹¹, Дмитрий Аркадьевич Мамонтов¹²,
Наталья Викторовна Бадулина¹³, Алексей Викторович Иванов¹⁴

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; Gabdullin@fgp.msu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8296-7191>

²Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия; alex.puzik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7148-7344>

³Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; koshelevasof@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3204-4393>

⁴Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; bakay_lena@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4943-1106>

⁵Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; poludetkinaelena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8339-4409>

⁶Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия; Sykirv@gmail.com, <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0001-8798-4425>

⁷Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; max.kazurov@yandex.ru

⁸Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; iskandermig@mail.ru

⁹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Геологический институт РАН, Москва, Россия; sib-msu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1166-0496>

¹⁰Геологический институт РАН, Москва, Россия; ustanova_masha@mail.ru

¹¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; paleopen@mail.ru

¹²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; palynologist.dm@mail.ru

¹³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; nvbadulina@mail.ru

¹⁴Институт географии РАН; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия; yashkova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2788-0215>

Аннотация. Приведена литолого-геохимическая характеристика мезозойско-кайнозоевого интервала разреза Лескинской скважины (устьевая часть р. Енисей) и ее палеогеографическая и палеоклиматическая характеристики.

Ключевые слова: литология, геохимия, палеогеография, палеоклиматология, мезозой, кайнозой, Енисей, Карское море

Для цитирования: Габдуллин Р.Р., Пузик А.Ю., Меренкова С.И., Бакай Е.А., Полудеткина Е.Н., Сыромятников К.В., Казуров М.Д., Мигранов И.Р., Бордунов С.И., Устинова М.А., Ростовцева Ю.И., Мамонтов Д.А., Бадулина Н.В., Иванов А.В. Литолого-геохимическая и палеогеографическая характеристика мезозойско-кайнозойских отложений Енисей-Хатангского прогиба // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 6. С. 46–55.

LITHOLOGICAL-GEOCHEMICAL AND PALEOGEOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF MESOZOIC-CENOZOIC DEPOSITS OF THE YENISEI-KHATANGA TROUGH

Ruslan R. Gabdullin^{1✉}, Aleksey Yu. Puzik², Sofia I. Merenkova³, Elena A. Bakay⁴,
Elena N. Poludetkina⁵, Kirill V. Syromyatnikov⁶, Maxim D. Kazurov⁷,
Iskander R. Migrantov⁸, Sergey I. Bordunov⁹, Maria A. Ustinova¹⁰,
Yulia I. Rostovtseva¹¹, Dmitry A. Mamontov¹², Natalya V. Badulina¹³,
Aleksey V. Ivanov¹⁴

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; Gabdullin@fgp.msu.ru

²Perm State National Research University, Perm, Russia; alex.puzik@mail.ru

³Shirshov Institute of Oceanology RAS; Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; koshelevasof@mail.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; bakay_lena@inbox.ru⁵ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; poludetkinaelena@mail.ru⁶ Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia; Sykirv@gmail.com⁷ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; max.kazurov@yandex.ru⁸ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; iskandermig@mail.ru⁹ Lomonosov Moscow State University; Geological Institute RAS, Moscow, Russia; sib-msu@mail.ru¹⁰ Geological Institute RAS, Moscow, Russia; ustinova_masha@mail.ru¹¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; paleopen@mail.ru¹² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; palynologist.dm@mail.ru¹³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; nvbadulina@mail.ru¹⁴ Lomonosov Moscow State University; Institute of Geography RAS, Moscow; Tambov State Technical University, Tambov, Russia; yashkovia@mail.ru

Abstract. The lithological and geochemical characteristics of the Meso-Cenozoic interval of the Leskinskaya well section (the mouth of the Yenisei River) and its paleogeographic and paleoclimatic characteristics are given.

Key words: lithology, geochemistry, paleogeography, paleoclimatology, Mesozoic, Cenozoic, Yenisey, the Kara Sea

For citation: Gabdullin R.R., Puzik A.Yu., Merenkova S.I., Bakay E.A., Poludetkina E.N., Syromyatnikov K.V., Kazurov M.D., Migranov I.R., Bordunov S.I., Ustinova M.A., Rostovtseva Yu.I., Mamontov D.A., Badulina N.V., Ivanov A.V. Lithological-geochemical and paleogeographic characteristics of Mesozoic-Cenozoic deposits of the Yenisei-Khatanga trough. *Moscow University Geol. Bull.* 2022; 6: 46–55. (In Russ.).

Введение. В устьевой части (дельты) р. Енисей нет глубоких скважин, поэтому информация, полученная при бурении компанией ПАО «Газпромнефть» в 2021 г. Лескинской скважины в Енисей-Хатангском прогибе представляется крайне актуальной для региональной и исторической геологии, палеогеографии и палеоклиматологии. Коллективом авторов были изучены шлам и керн из разреза этой скважины, пробуренной у южной границы акватории Карского моря. За стратиграфическую основу взяты государственные геологические карты масштаба: 1:1 000 000 Российской Федерации, листы R-43-45 (Гыдан-Дудинка), S-44-46 (Усть-Тарей) издания 2000 г., а также лист S-41-43 (о. Белый) издания 2004 г.

Стратиграфическое расчленение выполнено Р.Р. Габдуллиным (МГУ имени М.В. Ломоносова) по данным каротажа и палеонтологического анализа. Последний включал микрофаунистический анализ, выполненный М.А. Устиновой (ГИН РАН) и С.И. Бордуновым (ГИН РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова), а также палинологический анализ, проведенный сотрудниками МГУ имени М.В. Ломоносова Ю.И. Ростовцевой и Д.А. Мамонтовым.

Литолого-стратиграфическая характеристика разреза скважины. В мезозойско-кайнозойском диапазоне разреза скважины стратиграфически снизу вверх выделены следующие стратоны: тампейская серия (триас), большехетская серия (нижняя–средняя юра, келловей), даниловская свита (келловей–берриас), нижнехетская свита (берриас–валанжин), суходудинская свита (валанжин–готерив), малохетская свита (готерив–апт), яковлевская свита (апт–альб), долганская (альб–сеноман), насоновская свита (турон–сантон) и лескинская толща (квартер).

Приведем краткую характеристику выделенных стратонов в мезозойско-кайнозойском интервале разреза скважины. Формационный анализ выполнен Р.Р. Габдуллиным.

Тампейская серия (Ttm). Аргиллиты, песчаники, алевролиты и глины с биотитом и мусковитом, прослой углей с подчиненными прослоями гравелитов и конгломератов по базальтам и туфам основного состава. Мощность до 150 м. Отвечает олигомиктовой пестроцветной формации по [Синицын, 1980] и песчаниковой формации по тектоническому кодексу (ТК).

Большехетская серия (J₁₋₂bh, нижняя юра–келловей). Глины алевролитовые, песчаники, алевролиты, с подчиненными прослоями конгломератов и гравелитов по базальтам и туфам основного состава, углей. Мощность до 20 м. Глинистая формация по ТК и морская бескарбонатная формация по [Синицын, 1980].

Гольчихинская свита (J₂–K₁gl, келловей–берриас). Глины алевролитистые со стяжениями пирита и карбонатными конкрециями. В основании — песчаники глинистые и алевролиты с подчиненными прослоями конгломератов и гравелитов по базальтам и туфам основного состава. Мощность до 110 м. Глинистая формация по ТК и морская бескарбонатная формация по [Синицын, 1980].

Нижнехетская свита (K₁nh, берриас–валанжин). Глины аргиллитоподобные с пластами алевролитов и мелкозернистых песчаников, в основании — с подчиненными прослоями конгломератов и гравелитов по базальтам и туфам основного состава. Мощность до 100 м. Песчаниковая формация по ТК и морская бескарбонатная формация по [Синицын, 1980].

Суходудинская свита (K₁sd, валанжин–готерив). Песчаники и глины с пропластками углей. В основании — гравелиты и конгломераты по базальтам и туфам основного состава. Мощность до 100 м. Песчаниковая формация по ТК и морская бескарбонатная формация по [Синицын, 1980].

Малохетская свита (K₁mh, готерив–апт). Пески и песчаники, прослой алевролитов и углистых глин, в основании — гравелиты и конгломераты по ба-

зальтам и туфам основного состава. Мощность до 110 м. Песчаниковая формация по ТК и морская бескарбонатная формация по [Синицын, 1980].

Яковлевская свита (K_{2jak} , апт–альб) объединяет переслаивание глин (местами углистых) и алевролитов, песчаников с углефицированным детритом. Редкие прослои угля. Мощность до 100 м. Толща отнесена к мезомиктовой угленосной по [Синицын, 1980] и глинистой формациям по ТК.

Долганская свита (K_{1-2dl} , альб–сеноман) представлена песками и алевролитами с углефицированными растительными остатками, с редкими мелкозернистыми агрегатами пирита с подчиненными прослоями глин алевропелитовых, в нижней части алевролитистых серых с редкими углефицированными растительными остатками, мелкозернистыми агрегатами пирита, чешуйками слюды. Органическое вещество в виде битума встречается по всему разрезу свиты. Образования свиты соответствуют среднемеловому нефтегазоносному комплексу (НГК). Мощность до 170 м. Свита отвечает к мезомиктовой угленосной по [Синицын, 1980] и песчанниковой формациям по ТК.

Насоновская свита (K_{2ns} , турон–сантон) охарактеризована пакетами переслаивания глин алевролитистых, с подчиненным количеством углефицированного растительного детрита, редкими чешуйками слюды и алевролитов с редкими углефицированными растительными остатками, грубоокатанными зернами кварца, мелкозернистыми агрегатами пирита. Мощность до 180 м. Свита отнесена к бескарбонатной морской формации по [Синицын, 1980] и глинистой формации по ТК.

Лескинская толща (Q_{IIls}) представлена терригенными песчано-глинистыми дельтовыми осадочными образованиями. В нижней части — глинами с грубоокатанными зернами кварца, чешуйками слюды, с находками фораминифер, раковин моллюсков, остракод и растительного детрита. В средней части толща сложена глинами алевролитистыми, с углефицированными растительными остатками, грубоокатанными зернами кварца, редкими чешуйками слюды, зернами пыльцы *Betula* sp., гифами грибов, в верхней части — глинами алевролитистыми и алевролитами, с растительными остатками (зерна пыльцы родов *Betula*, *Quercus*), грубоокатанными зернами кварца, редкими чешуйками слюды, в терминальной части — песком или сильнопесчанистой глиной. Мощность до 140 м. Толща отнесена к бескарбонатной морской по [Синицын, 1980] и глинистой формации по ТК.

Отложения начиная с кампана в разрезе скважины отсутствуют, их характеристика взята из [Государственная..., 2004], их описание приведено ниже.

Кампан-датский сейсмоподкомплекс (C_3-C_1), представленный глинами и алевролитами, внизу с кальцитовыми конкрециями (мощность до 560 м). Он отнесен к бескарбонатной морской формации и глинистой формации по ТК.

Выше следует палеоценовая сейсмотолща (C_1-C'), сложенная глинистыми алевролитами, алевроитовыми глинами, песками, вверху — с прослоями бурых углей (140–800 м). Сейсмотолща отнесена к терригенной угленосной формации по ТК и мезомиктовой угленосной формации по [Синицын, 1980].

Разрез венчает верхнепалеоцен-эоценовая сейсмотолща ($C-D_0$), объединяющая глины, алевролиты, пески, вверху — опоки и диатомиты (мощность до 300 м). Ее нижняя песчано-глинистая часть отнесена к глинистой формации по ТК и бескарбонатной морской формации, а верхняя кремнистая часть — к бескарбонатной морской по [Синицын, 1980]. Далее следует перерыв, приходящийся на олигоцен и синхронный с воздыманием Пайхойско-Новоземельского пояса.

Выше следует олигоцен-миоценовая(?) сейсмотолща (D_0-D_2), которая объединяет глины, алевролиты, пески и отвечает бескарбонатной морской по [Синицын, 1980] и глинистой формации по ТК.

Материалы и методы исследования. Полный геохимический анализ элементов 116 образцов мезозойско-кайнозойских отложений из разреза скважины выполнен на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре последовательного типа действия S8 Tiger фирмы «BRUKER» (аналитик А.Ю. Пузик). Техническая подготовка образцов выполнена М.Д. Казуровым и И.Р. Миграновым.

Определение палеотемпературы по индексу выветривания проведено С.И. Меренковой. 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:

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

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

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

где T — температура, °C

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

При построении палеоклиматической кривой были использованы как авторские, так и опубликованные данные, включающие в себя результаты расчета среднегодовой температуры (MAT) по данным палинологии [Zakharov et al., 2011]; по растениям-индикаторам климата [Могучева, 2015; Лебедева и др., 2019] с определением количественных значений палеотемпературы по [Yamada et al., 2018; Guo et al., 2021; Zhang et al., 2021; Cantrill, 1998]; по таксонам насекомых-индикаторов климата и по находкам плезиозавров [Гольберт и др., 1977]; по

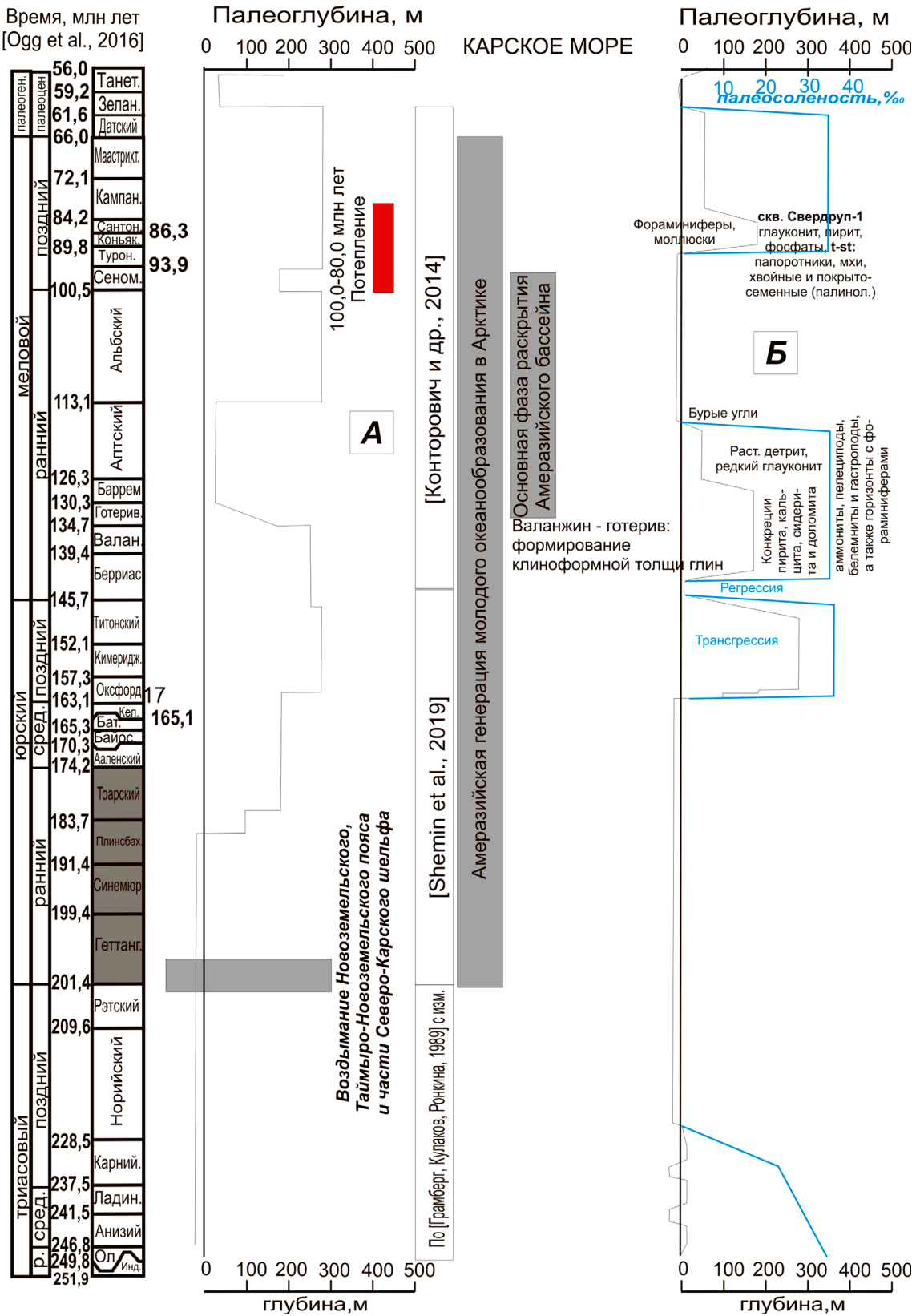


Рис. 1. Палеогеографическая и палеогалинометрическая кривые для триас-палеоценовой истории южной части Карского моря

литологическим признакам — бокситам [Гольберт и др., 1977]; компилятивным кривым MAT [Волкова, 2011]; по комплексу данных [Гольберт и др., 1977; Конторович и др., 2013]; а также по качественному определению типа климата [Горячева, 2018] с последующей количественной характеристикой по [Гольберт и др., 1977] и результатам определения значений палеотемпературы по индексу выветривания (для скважины). Также на схему вынесены данные о значениях температуры поверхности воды (SST) по геохимическим (изотопным) данным [Маринов и др., 2015; Конторович и др., 2013].

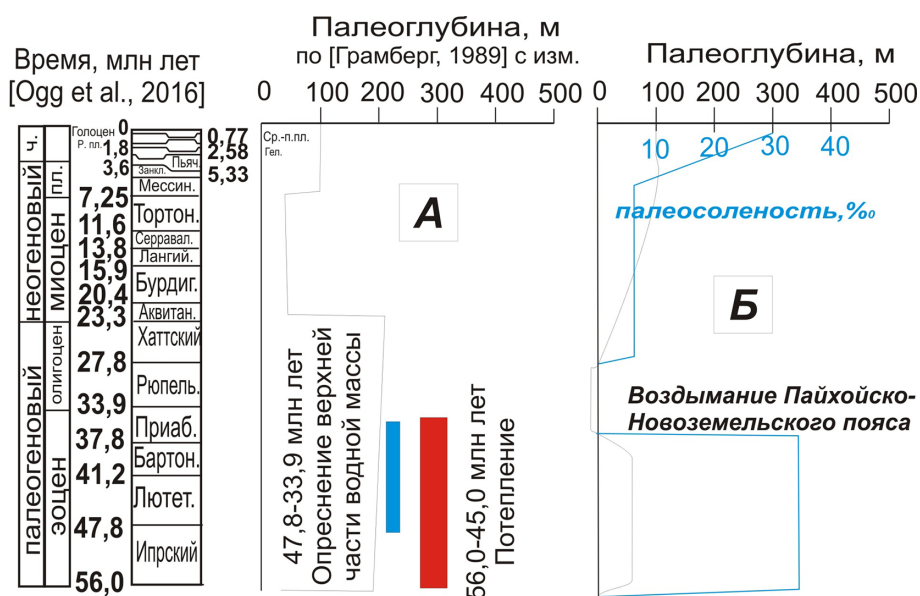


Рис. 2. Палеогеографическая и палеогеоморфическая кривые для эоцен-четвертичной истории южной части Карского моря

Результаты исследований и их обсуждение.

Палеогеографические условия. По имеющимся данным Р.Р. Габдуллин составил палеогеографические кривые (рис. 1, А; 2, А) для южной части Карского моря. По описанной выше стратиграфической основе для разреза Лескинской скважины и южной части Карского моря Р.Р. Габдуллин были построены еще два фрагмента палеогеографической кривой (рис. 1, Б; 2, Б). По большей части эти кривые коррелируют между собой.

В среднетриасовое–карнийское время палеоглубина составляла от 300 м в самом начале среднего триаса, затем — до 50 м. С нория по тоар существовала континентальная обстановка с накоплением континентальных формаций (в том числе пестроцветных и угленосных). Затем началась среднеюрская трансгрессия (с максимумом в киме-ридже–титоне (до 300 м)) и с регрессией в позднем титоне, ближе к юрско-меловому рубежу. В это время в условиях понижения уровня моря формировались богатые органикой нефтегазоматеринские битуминозные глинистые осадки.

Следующая трансгрессия — позднеберриаско-аптская с максимумами палеоглубины (до 200 м) в позднеберриаско-раннебарремское время. В это время палеоэноз включал аммонитов, пелеципод, белемнитов и гастропод, а также горизонты с фораминиферами. Обмеление бассейна (до 50–100 м) произошло в позднем барреме–раннем апте.

В альб-сеноманское время территория была приподнята, накапливались угли.

В зеландское время осадконакопление происходило в континентальной обстановке с формированием бурых углей и накоплением осадков песчано-глинистой континентальной формации.

В танет-эоценовое время седиментация протекала в морском бассейне с глубиной около 50 м. Затем в олигоцене произошло воздымание территории Пайхойско-Новоземельского пояса, которое сменилось тектоническим погружением территории

в олигоцен-четвертичное время и возникновением морского бассейна с глубиной около 100 м.

Палеосоленость. Р.Р. Габдуллин определены вариации солёности и построена палеогеоморфическая кривая (рис. 1, 2). Этапы существования бассейнов с нормальной солёностью приходятся на средне-позднеюрское, позднеберриаско-средне-аптское (встречены аммониты, пелециподы, белемниты и гастроподы, а также горизонты с фораминиферами, редкий глауконит [Государственная..., 2004], позднемеловое–датское (в разрезе найдены фораминиферы и моллюски, встречены глауконит, пирит и фосфаты), а также зеландий-бартонское и плиоцен-четвертичное время.

В хаттско-миоценовое время существовал солонатоводный бассейн.

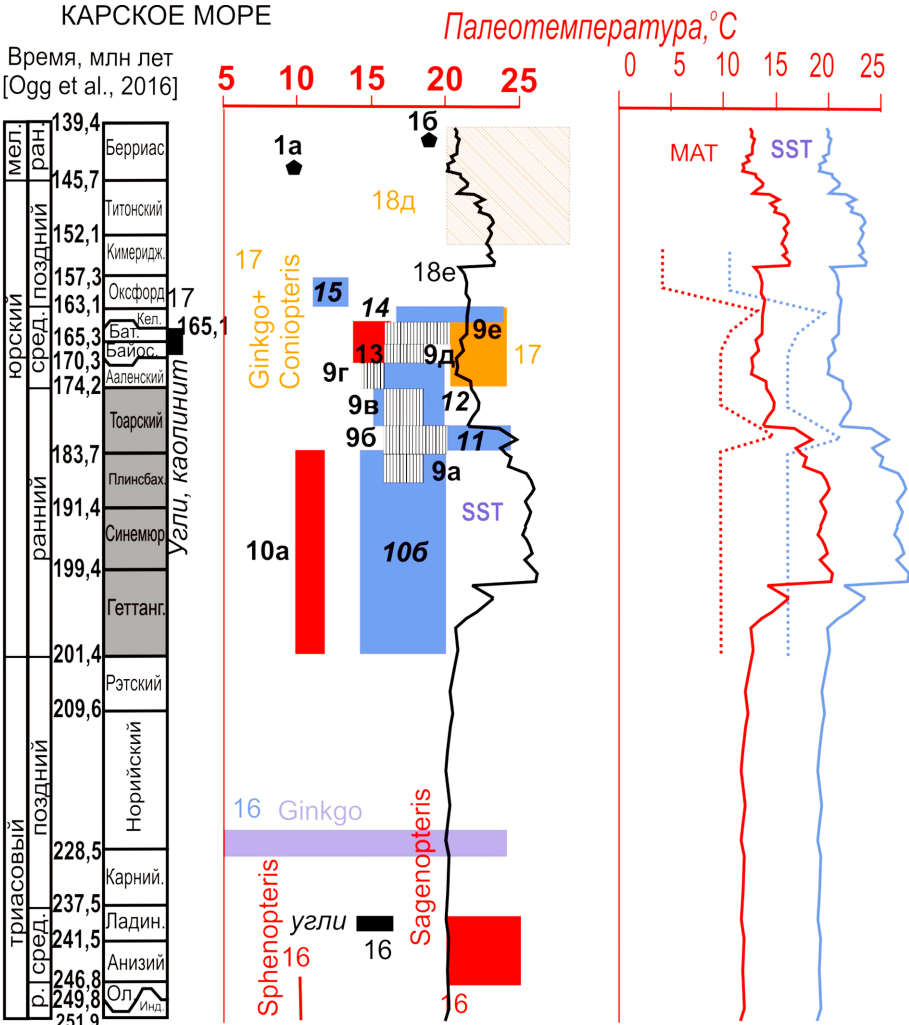
Нефтегазоносность. Юрские и нижнеберриаские отложения образуют юрский нефтегазоносный комплекс (НГК) за счет переслаивания горизонтов песчано-алевритовых коллекторов с глинистыми флюидопорами. Следующий НГК — нижнемеловой (нижнеготерив-нижнеальбский), выше — среднемеловой (верхнеальбско-туронский).

Нефтегазоматеринские отложения. Образование титона–киме-риджа содержат доманикоидные глинистые формации, аналогичные баженовской свите.

Палеоклиматические условия. Для этого региона в литературе имеется большой массив данных о палеотемпературе, которые вынесены на схему (рис. 3, 4). Обобщив литературные и собственные данные, Р.Р. Габдуллин построил компилятивные палеотемпературные кривые (температура поверхности воды SST и среднегодовая температура MAT) для района Карского моря в мезозойско-кайнозойский этап.

В триасе значения палеотемпературы испытывали слабые вариации, значения MAT составляли около 12–13 °C, а SST — 18–19 °C. В фитоассоциациях присутствуют папоротники и гинкговые, в ладинское время происходило накопление углей.

Рис. 3. Палеотемпературная характеристика триасово-берриасских отложений в районе Лескинской скважины: 1 — МАТ, палинология, север Сибири, Полярный Урал (66° с. ш. и севернее [Zakharov et al., 2011]); 2 — МАТ 14–15 °С, о-в Уединения, Plesiosaurus latispinus [Палеоклиматы..., 1977]; 3 — МАТ 18 °С, р. Турухан, переотложенные бокситы [Палеоклиматы..., 1977]; 4 — МАТ 18 °С, р. Солёная (приток Малой Хеты), переотложенные бокситы [Палеоклиматы..., 1977]; 5 — SST, Западно-Сибирское эпиконтинентальное море [Маринов и др., 2008]; 6 — МАТ, Западно-Сибирская плита (55° с. ш. и севернее [Волкова, 2011]); 7 — МАТ 16–18°, п-ов Таймыр, долганская и бегичская свиты, насекомые, тепло-умеренный климат [Палеоклиматы..., 1977]; 8а — МАТ 16–20 °С, амплитуда 4–6 °С (апт-альб [Палеоклиматы..., 1977]); 8б — МАТ 16–18 °С, амплитуда 4–6 °С (сеноман-турон [Палеоклиматы..., 1977]); 8в — МАТ 16–18 °С, амплитуда 6–8 °С (коньяк-сантон [Палеоклиматы..., 1977]); 8г — МАТ 14–16 °С, амплитуда 8–10 °С (кампан-маастрихт [Палеоклиматы..., 1977]); 8д — МАТ 16–18 °С, амплитуда 8–10 °С (палеоцен [Палеоклиматы..., 1977]); 8е — МАТ 12–14 °С, амплитуда 10–12 °С (эоцен [Палеоклиматы..., 1977]); 9а — умеренно-теплый климат (поздний плинсбах [Горячева, 2018]) с нашей последующей количественной характеристикой (МАТ 16–18 °С) по [Палеоклиматы..., 1977]; 9б — умеренно-субтропический климат (конец плинсбаха–ранний тоар [Горячева, 2018]) с нашей последующей количественной характеристикой (МАТ 16–20 °С) по [Палеоклиматы..., 1977]; 9в — теплый умеренный климат (конец раннего тоара–поздний тоар [Горячева, 2018]) с нашей последующей количественной характеристикой (МАТ 16–18 °С) по [Палеоклиматы..., 1977]; 9г — теплый умеренный климат (байос [Горячева, 2018]) с последующей количественной характеристикой (МАТ 16–18 °С) по [Палеоклиматы..., 1977]; 9е — умеренно-субтропический климат (бат [Горячева, 2018]) с последующей количественной характеристикой (МАТ 16–20 °С) по [Палеоклиматы..., 1977]; 10а — МАТ 10–12 °С, теплый равномерно-влажный климат (геттанг-плинсбах [Конторович и др., 2013]); 10б — SST 14,4–19,8 °С для геттанга–аалена [Конторович и др., 2013]; 11 — SST 16,9–24,5 °С, ранний тоар, теплый влажный климат [Конторович и др., 2013]; 12 — SST 15–20 °С, аален, теплый влажный климат [Конторович и др., 2013]; 13 — МАТ 14–16 °С, байос и бат, теплый влажный климат [Конторович и др., 2013]; 14 — SST 17–23 °С, теплый влажный климат, потепление вод Арктического океана (келловей [Конторович и др., 2013]); 15 — SST 11–13 °С, изотопная палеотермометрия по роствам белемнитов, оксфорд [Конторович и др., 2013]; 16 — Sphenopteris [Могучева, 2015] МАТ 10 °С [Yamada et al., 2018], Sagenopteris [Могучева, 2015] МАТ >20 °С [Zhang et al., 2021]; 17 — фитоассоциация Coniopteris+Ginkgo [Лебедева и др., 2019] МАТ 20–24 °С по [Guo et al., 2021; Zhang et al., 2021]; Лескинская скважина (флора определена Ю.И. Ростовцевой): 18а — наоновская свита (турон–сантон), глейхениевые папоротники (Gleichenioides laetus (Bolch.) Bolch., МАТ 8–22 °С [Cantrill, 1998]; 18б — дорожковская свита (турон–коньяк), циатейные папоротники (Cyathidites sp., МАТ >20°) по [Zhang et al., 2021]; 18в — долганская свита (альб–сеноман), циатейные папоротники (Cyathidites minor Couper, Cyathidites australis Couper) МАТ >20 °С [Zhang et al., 2021], глейхениевые Gleichenioides senonicus Ross emend. Scarby, G. laetus (Bolch.) Bolch., МАТ 8–22 °С по [Cantrill, 1998]; 18г — яковлевская свита (апт–альб), циатейные папоротники (Cyathidites minor Couper, МАТ >20 °С [Zhang et al., 2021], глейхениевые (Gleichenioides laetus (Bolch.) Bolch., МАТ 8–22 °С [Cantrill, 1998]; Д — даниловская (келловей–берриас), для титона-берриаса — циатейные (Cyathidites sp., МАТ > 20°) [Zhang et al., 2021]; 18е — значения палеотемпературы, рассчитанные по индексу выветривания



Имеются определения палеотемпературы (МАТ) для триас-берриасского времени по Лескинской скважине. Для этого интервала построена кривая вариации палеотемпературы. Она не противоречит опубликованным данным о значениях палеотемпературы по растениям-индикаторам климата и

только для геттанг-плинсбахского интервала они превышают не более чем на 5 °С.
Геттанг-тоар. Установлен теплый равномерно-влажный климат для геттанга и плинсбаха, теплый влажный климат для раннего тоара [Конторович и др., 2013]. По другим данным [Горячева,

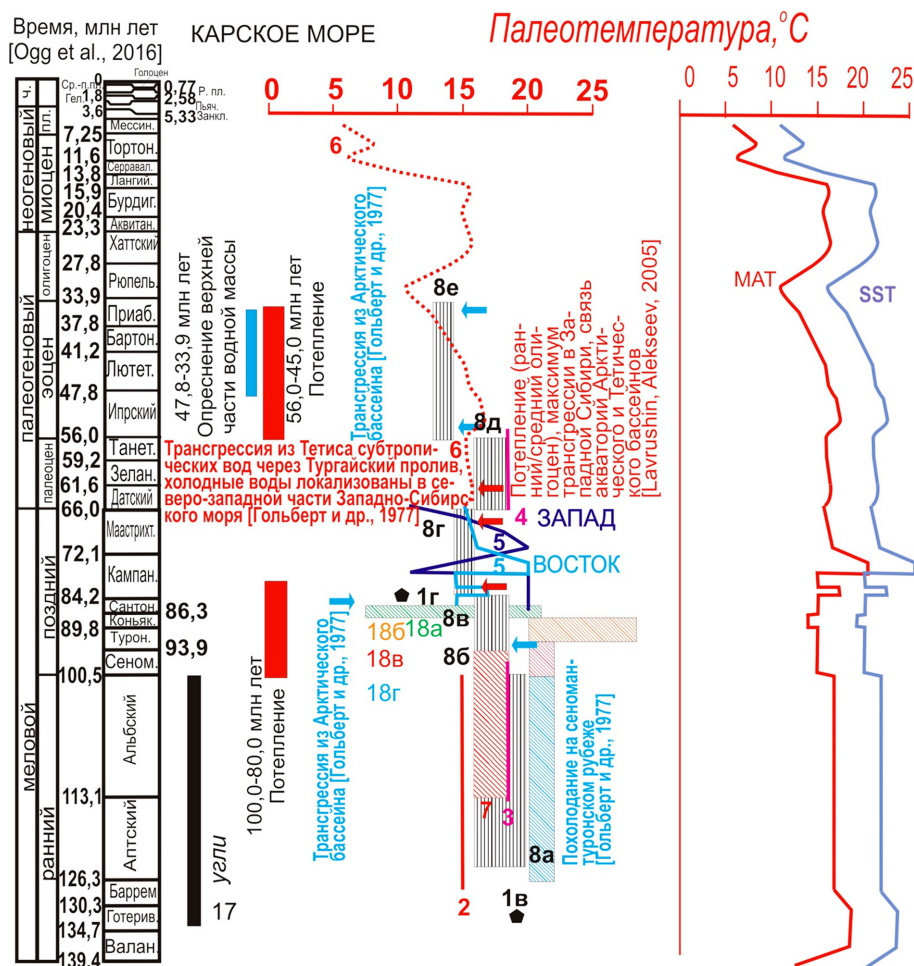


Рис. 4. Палеотемпературная характеристика валанжин-плиоценовых отложений в районе Лескинской скважины и южной части Карского моря. Буквенные обозначения см. подпись к рис. 3

2018] реконструируется умеренно-теплый климат для позднего плинсбаха, умеренно-субтропический климат для конца плинсбаха–раннего тоара, теплый умеренный климат для конца раннего тоара–позднего тоара. Эта качественная характеристика типа климата количественно подтверждена нами на основе значений, взятых из работы [Гольберт и др., 1977]. В частности, получены следующие диапазоны значений палеотемпературы (MAT): для позднего плинсбаха — 16–18 °C, для конца плинсбаха–раннего тоара — 16–20 °C, для конца раннего тоара–позднего тоара — 16–18 °C. Эти диапазоны палеотемпературы хорошо коррелируют с результатами определения MAT в Лескинской скважине по индексу выветривания. Осадочные образования геттанга–раннего плинсбаха отнесены нами к мезомиктовой угленосной формации.

С геттанга начиналось потепление климата: величины MAT (в разрезе Лескинской скважины) составляли около 15–20 °C, а SST — 20–25 °C. Климатический максимум приходится на поздний геттанг–плинсбах. В тоаре началось понижение палеотемпературы. Значения палеотемпературы по Лескинской скважине коррелируют с таковыми в работе предшественников [Конторович и др., 2013] — MAT 10–12 °C для геттанга и плинсбаха; SST 14,4–19,8 °C для геттанга–аалена; SST 16,9–24,5 °C для раннего тоара.

Аален-ранний кимеридж. Отмечен теплый влажный климат для аалена–келловя, фиксируется потепление вод Арктического океана в келловее [Конторович и др., 2013]. В байосе и бате происходило накопление углей и каолинита [Государственная..., 2004].

По данным работы [Горячева, 2018] определены следующие типы климата: теплый умеренный климат для байоса, умеренно-субтропический для бата. Эта качественная характеристика преобразована нами в количественную характеристику по значениям, взятым из работы [Гольберт и др., 1977]. В частности, тогда получены следующие диапазоны MAT: 16–18 °C для баюса и 16–20 °C для бата, что, правда, выше диапазонов вариации палеотемпературы для разреза Лескинской скважины на несколько градусов.

Значения палеотемпературы, рассчитанные по индексу выветривания для разреза Лескинской скважины, слабо менялись и составляли около 11–14 °C, а SST — 16–19 °C. Они коррелируют с таковыми в работах предшественников [Конторович и др., 2013] — SST 15–20 °C для аалена; MAT 14–16 °C для байоса и бата; SST 17–23 °C для келловя. Отметим, что значения SST 11–13 °C по данным изотопной палеотермометрии по роствам белемнитов для оксфорда [Конторович и др., 2013] приблизительно на 2 °C ниже значений, полученных для разреза Лескинской скважины.

Для геттанг-кимериджского интервала геологической истории по опубликованным данным построены палеотемпературные кривые (показаны пунктиром), тренды которых близки к кривым, построенным для разреза Лескинской скважины.

Поздний кимеридж–берриас. Значения палеотемпературы, рассчитанные по индексу выветривания для разреза Лескинской скважины, составляли: MAT около 13–17 °C, а SST — 18–22 °C. При этом поздний кимеридж и ранний титон характеризовались относительным потеплением климата: MAT — около 15–17 °C, а SST — 20–22 °C, за этим последовала фаза похолодания климата в позднем титоне–берриасе, когда значения MAT составляли около 12–14 °C, а SST — 17–20 °C. Эти значения подтверждаются оценкой палеотемпературы произрастания флоры, определенной Ю.И. Ростовцевой (МГУ имени М.В. Ломоносова) из разреза Лескинской скважины. В частности, в породах даниловской (келловей–берриас) свиты, точнее, для ее титон–берриасской части, определены циатейные (*Cyathidites* sp.), произраставшие при значениях MAT > 20 °C [Zhang et al., 2021]. К этим значениям близки величины MAT в 10 °C и 18 °C по данным палинологии из разрезов севера Сибири и Полярного Урала [Zakharov et al., 2011].

Валанжин–турон. Массив опубликованных данных позволяет оценить вариации палеотемпературы в следующем диапазоне: MAT — около 13–18 °C, а SST — 18–23 °C. При этом валанжин и ранний готерив характеризовались относительным потеплением климата: MAT — около 17–19 °C, а SST — 22–24 °C, за этим наступила длительная фаза относительного похолодания климата в позднеготеривско–альбское время, когда значения MAT составляли около 17 °C, а SST — около 22 °C. Затем — в сеномане и туроне — стало еще прохладнее: MAT понизилась до 15 °C, а SST — до 20 °C. К этим значениям близки величины MAT, составившие 19 °C для готерива по данным палинологии из разрезов на севере Сибири и Полярном Урале [Zakharov et al., 2011]. На сеноман–туронском рубеже отмечено похолодание, для апта–альба MAT оценивается в 16–20 °C, а для сеномана–турона — в 16–18 °C с амплитудой вариации в 4–6 °C [Гольберт и др., 1977].

С готерива по альб происходило накопление углей [Государственная..., 2004], отложения с готерива по сеноман отнесены нами к мезомиктовой угленосной формации.

Эти величины подтверждены оценкой значений палеотемпературы произрастания флоры, определенной Ю.И. Ростовцевой из разреза Лескинской скважины. Например, в породах яковлевской свиты (апт–альб) обнаружены циатейные папоротники (*Cyathidites minor* Couper) со значениями MAT > 20 °C [Zhang et al., 2021], а также глейхениевые (*Gleichenidites laetus* (Bolch.) Bolch. с величинами MAT 8–22 °C [Cantrill, 1998]. В образованиях долганской свиты (альб–сеноман) определены циатейные папоротники (*Cyathidites minor* Couper, *Cyathidites*

australis Couper) с величинами MAT > 20 °C [Zhang et al., 2021] и глейхениевые *Gleichenidites senonicus* Ross emend. Scarby, *G. laetus* (Bolch.) Bolch., для которых характерны значения MAT 8–22 °C по [Cantrill, 1998], что дает возможность оценить значения MAT, равные 20–22 °C для апта–сеномана. В породах дорожковской свиты (турон–коньяк) определены циатейные папоротники (*Cyathidites* sp.) с величинами MAT > 20 °C [Zhang et al., 2021], что позволяет оценить палеотемпературу не ниже 20 °C.

Коньяк–маастрихт. Для этого фрагмента геологической истории имеются опубликованные и наши оригинальные данные, по которым построены кривые MAT (вариации значений от 15 до 20 °C) и SST (вариации значений от 20 до 25 °C). Отмечена тенденция к росту палеотемпературы с коньяка по начало кампана, со стабилизацией в раннем кампана, затем следовала фаза понижения палеотемпературы с последующим ее увеличением в позднем кампана. С конца кампана по конец мелового периода происходило понижение палеотемператур MAT от 20 °C в раннем кампана до 15 °C в конце маастрихта. Для коньяка–сантона MAT оценивается в 16–18 °C с амплитудой вариации 6–8 °C, а для кампана–маастрихта — в 14–16 °C с амплитудой флуктуаций в 8–10 °C [Гольберт и др., 1977]. На рубеже сантона и кампана, в середине маастрихта имели место трансгрессии субтропических вод из океана Тетис через Тургайский пролив, холодные воды были локализованы в северо-западной части Западно-Сибирского моря [Гольберт и др., 1977]. Имеются оценки вариации величин SST для Западно-Сибирского эпиконтинтального моря [Маринов и др., 2008], изменявшихся от 12 до 20 °C.

Эти значения подтверждаются оценкой палеотемпературы произраставшей флоры, определенной Ю.И. Ростовцевой из разреза Лескинской скважины. В образованиях насоновской свиты (коньяк–сантон) определены глейхениевые папоротники (*Gleicheniidites laetus* (Bolch.) Bolch, для которых MAT составляет 8–22 °C по [Cantrill, 1998]. Из турон–сантонских пород разреза скважины Свердруп-1 отмечены папоротники, мхи, хвойные и покрытосеменные, а также находки глауконита, пирита и фосфатов [Геологическая..., 2004].

Кайнозой. На границе раннего и среднего олигоцена происходило относительное потепление климата, на это же время приходился и максимум трансгрессии в Западной Сибири, существовала связь акваторий Арктического и Тетического бассейнов [Lavrushin, Alekseev, 2005]. Для этого интервала геологической истории построена [Волкова, 2011] компилятивная кривая MAT для Западно-Сибирской плиты (55° с. ш. и севернее), которая была взята нами за основу палеотемпературной кривой. В палеоцене значения MAT составляли 16–18 °C с амплитудой вариаций 8–10 °C, а в эоцене — 12–14 °C с амплитудой флуктуаций 10–12 °C [Гольберт и др., 1977].

В палеоцене значения МАТ составляли около 15–16 °С с потеплением на палеоцен-эоценовом рубеже до 17–18 °С. С середины лютета палеотемпература снижалась до границы эоцена и олигоцена до значений МАТ около 12 °С. С середины рюпеля началась фаза потепления (с значениями МАТ около 17 °С), продолжавшаяся до конца бурдигала. Затем наступило время относительного похолодания (с 17 до 5 °С) с кратковременным пиком потепления в середине тортона, когда значения МАТ достигали 7–8 °С.

Заключение. Определены палеогеографические условия формирования разреза Лескинской скважины в мезозое–кайнозое. Предлагаемые палеогеографическая и палеоклиматическая модели формирования разреза скважины в целом коррелируют с условиями седиментации разреза южной части Карского моря по опубликованным данным. Вариации климата цикличны; как правило, их длительность составляет несколько миллионов лет (рис. 3, 4), что соответствует циклам эксцентриситета орбиты Земли (Миланковича) 3-го и более высоких порядков (E_{3-5}). В Енисей-Хатангском осадочном бассейне Северной Евразии в мезозойско-кайнозойском интервале геологической истории выделено не менее 19 климатических циклов, установленных по геохимическим и палеонтологическим данным и формационному анализу стратонов.

Финансирование. Участие Р.Р. Габдуллина осуществлялось при финансовой поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Математиче-

ские методы анализа сложных систем», участие А.Ю. Пузика — при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 2019-0858), участие С.И. Меренковой — в рамках темы государственного задания FMWE-2021-0006, участие К.В. Сыромятникова — при финансовой поддержке госзаказа ГЕОХИ РАН № 0137-2019-0007, участие С.И. Бордунова — при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-00361), участие М.А. Устиновой — при поддержке темы госзадания Геологического института РАН, участие Н.В. Бадулиной — в рамках темы государственного задания № AAAA-A16-116033010119-4 «Геодинамика полярных и приполярных областей Российской Федерации», участие А.В. Иванова осуществлялось при финансовой поддержке государственных заданий Музея земледования МГУ № AAAA-A16-116042010089-2 «Биосферные функции экосистем, их компонентов и рациональное природопользование» (научный руководитель проф. А.В. Смуров) и № AAAA-A16-116042710030-7 «Музееведение и образование музейными средствами в области наук о Земле и жизни» (научный руководитель проф. В.В. Снакин), в рамках темы государственного задания Института географии РАН № AAAA-A19-119021990093-8 (FMGE-2019-0007) «Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования» (научный руководитель член-корр. РАН А.А. Тишков).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Волкова В.С. Стратиграфия и тренд палеотемператур в палеогене и неогене Западной Сибири (по данным палинологии) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 7. С. 906–915.

Габдуллин Р.Р., Пузик А.Ю., Меренкова С.И. и др. Палеоклиматическая история Центрального и Восточного Тетиса в юрско-четвертичное время // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2021. № 4. С. 52–59.

Гольберт А.В., Григорьева К.Н., Ильенко Л.Л. и др. Палеоклиматы Сибири в меловом и палеогеновом периодах. М.: Недра, 1977. 107 с.

Горячева А.А. Палинофлоры и климаты Западной Сибири в ранне-среднеюрское время // Палеоботанический временник. Приложение к журналу «Lethaea rossica». 2018. Вып. 3. С. 62–65.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб: 1:1 000 000. Лист S-41-43 (о. Белый), лист 2 (Карта доплиоценовых образований). СПб: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2004. (МПР России, ВНИИ-ГиМРМО, ВНИИОкеанология, ПМГРЭ).

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб: 1:1 000 000. Лист R-43-45 (Гыдан-Дудинка) (Карта доплиоценовых образований). СПб: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2000. (МПР России, ВНИИГиМРМО, ВНИИОкеанология, ПМГРЭ).

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб: 1:1 000 000. Лист S-44-46 (Усть-Тарей). Карта дочетвертичных образований. Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2000. (МПР России, ВНИИОкеанология).

Конторович А.Э., Конторович В.А., Рыжкова С.В. и др. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 8. С. 972–1012.

Лебедева Н.К., Кузьмина О.Б., Хазина И.В. и др. Палинотриграфия и генезис верхнемерзлых и кайнозойских отложений южной части Кулундинской впадины (Алтайский край) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2019. Т. 27, № 6. С. 100–126.

Маринов В.А., Злобина О.Н., Игольников А.Е. и др. Биостратиграфия и условия формирования нижнего мела Малохетского структурно-фациального района (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 2015. Т. 56, № 10. С. 1842–1853.

Мозучева Н.К. Триасовая флора опорного разреза мыса Цветкова на Восточном Таймыре // Палеоботанический временник. Приложение к журналу «Lethaea rossica». 2015. Вып. 2. С. 247–255.

Палеоклиматы Сибири в меловом и палеогеновом периодах. М.: Недра, 1977. 107 с.

Синицын В.М. Введение в палеоклиматологию. Л.: Недра, 1980. 248 с.

Тектонический кодекс России / Г.С. Гусев, Н.В. Межеловский, А.В. Гушин и др. / Мин-во природных ресурсов и экологии РФ: Роснедра: Межрегион. центр по геол. Картографии (ГЕОКАРТ). М.: ГЕОКАРТ; ГЕОС, 2016. 240 с.

Cantrill D.J. Early Cretaceous fern foliage from President Head, Snow Island, Antarctica, Alcheringa // Australasian J. Palaeontology. 1998. Vol. 22, N 3. P. 241–258.

Guo Y., Wang M., Gao C. et al. Spatial prediction and delineation of Ginkgo biloba production areas under current and future climatic conditions // *Industrial Crops and Products*. 2021. Vol. 166. P. e113444.

Lavrushin Ya.A., Alekseev M.N. The Arctic regions // *Cenozoic and environmental changes in Russia*. Spe. pap. 382. Geol. Soc. America. 2005. P. 13–31.

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.

Yamada T., Legrand J., Nishida H. Late Early Cretaceous (Albian) Sasayama Flora from the Sasayama Group in Hyogo Prefecture, Japan // *Paleontol. Res.* 2018. Vol. 22. P. 112–128.

Shemin G., Deev E., Vernikovsky V. et al. Jurassic paleogeography and sedimentation in the northern West Siberia and South Kara Sea, Russian Arctic and Subarctic // *Marine and Petrol. Geol.* 2019. Vol. 104. P. 286–312.

Zakharov Y.D., Shigeta Y., Popov A.M. et al. Cretaceous climatic oscillations in the Bering area (Alaska and Koryak Upland): isotopic and paleontological evidence // *Sedimentary Geology*. 2011. Vol. 235. P. 122–131. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2010.03.012.

Zhang J., Lenz O.K., Wang P., Hornung J. The Eco-Plant model and its implication on Mesozoic dispersed sporomorphs for Bryophytes, Pteridophytes, and Gymnosperms // *Rev. of Palaeobotany and Palynology*. 2021. Vol. 293. P. e104503.

Статья поступила в редакцию 14.10.2022,
одобрена после рецензирования 02.11.2022,
принята к публикации 26.01.2023