

УДК 551.583.7:551.763.77(-992)

Р.Р. Габдуллин¹, Н.В. Бадулина², Ю.И. Ростовцева³, А.В. Иванов⁴

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ В МЕЛОВОМ ПЕРИОДЕ И КАЙНОЗОЕ

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

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, 410054, Саратов, Политехническая ул., 77

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1

Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin, 410054, Saratov, Polytechnic st., 77

В результате анализа опубликованных источников собрана база данных значений палеотемпературы для Арктического и Субарктического регионов по скелетам морских беспозвоночных, морским палиноморфам, зубам динозавров, анализу способности рептилий откладывать яйца при низкой температуре, континентальной флоре (CLAMP-анализ), по присутствию прослоев углей в континентальных отложениях Арктического региона, по мембранным липидам глицерина и диалкилглицерол-тетраэфира в морских осадках и глендониту. На ее основе построена палеотемпературная кривая для Арктического региона для мел-кайнозойского этапа геологической истории, имеющая общие тренды с глобальной палеотемпературной кривой [Scotise, 2015] (за исключением похолодания в тортонском веке вследствие локальных факторов). В климатической истории Арктики установлено 16 климатических циклов, включающих 16 климатических минимумов (в том числе время оледенения в Северном полушарии) и 15 климатических максимумов.

Ключевые слова: меловой период, палеогеновый период, неогеновый период, четвертичный период, климат, палеотемпературы, Арктика.

As a result of the analysis of published sources, a database on paleotemperatures for the Arctic and Subarctic regions was collected on the skeletons of marine invertebrates, marine palynomorphs, dinosaur teeth, analysis of the ability of reptiles to lay eggs at low temperatures, continental flora (CLAMP-analysis), on the presence of coal layers in continental sediments within Arctic region, on membrane lipids of glycerol and dialkylglycerol tetraether in marine sediments and glendonite. Based on it, a paleotemperature curve was constructed for the Arctic region for the Cretaceous-Cenozoic span of geological history, which has common trends with the global paleotemperature curve [Scotise, 2015] (with the exception of cooling in the Tortonian age due to local factors). In the climatic history of the Arctic 16 climatic cycles have been established, comprising 16 climatic minima (including the glaciation in the Northern Hemisphere) and 15 climatic maxima.

Key words: Cretaceous, Paleogene, Neogene, Quaternary, climate, paleotemperatures, Arctic.

Введение. Арктический регион вместе с морской экономической зоной и континентальным шельфом, прилегающими к его побережью, превышает 30% территории Российской Федерации [Некипелов, Макоско, 2011]. Поиск и разведка месторождений полезных ископаемых в Арктике в контексте изучения и освоения природных ресурсов этого региона в настоящее время представляет одну из ключевых задач. Для ее решения необходим детальный анализ геологической истории Арктики и, в частности, исследование динамики климатических вариаций.

Цель нашей работы — библиографический анализ данных о значениях палеотемператур Арктического региона для отложений мел-неогенового возраста. В итоге проведенных исследований собрана база данных о палеотемпературе для Арктического и Субарктического регионов.

Материалы и методы исследований. В качестве объекта исследований был выбран Арктический регион (Арктика, Заполярье), расположенный севернее Северного полярного круга (66° с.ш.). В процессе сбора данных также получена и проанализирована информация о значениях палеотемпе-

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

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, ст. науч. с.; e-mail: nvbadulina@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра палеонтологии, доцент; e-mail: paleoren@mail.ru

⁴ Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, Институт урбанистики, архитектуры и строительства, кафедра геоэкологии и инженерной геологии, заведующий кафедрой; e-mail: yashkovia@mail.ru

ратуры из геологических разрезов, расположенных южнее Северного полярного круга в диапазоне 54–66° с.ш. в пределах Субарктического пояса или региона (50–70° с.ш., в зависимости от местных ландшафтно-климатических условий). Проанализировано более 500 публикаций о геологическом строении объекта исследований. Работа продолжает и развивает исследования климатических вариаций Арктики в меловом периоде [Бадулина, Габдуллин, 2018]. Проведен сравнительный анализ климатических вариаций в Арктике с глобальным температурным трендом [Scotese, 2015].

Значения палеотемпературы определены по скелетам морских беспозвоночных [Zakharov et al., 2011], морским палиноморфам [Shreck et al., 2011], зубам динозавров [Suarez et al., 2013], континентальной флоре (включая CLAMP-анализ) [Spicer et al., 2016; Herman, Spicer, 1996; Herman, 2016; Головнева, 1994; Буданцев, 1983; Ахметьев, 2004; Golovneva, 2000; Wolfe, Dilcher, 2001; Буданцев, Головнева, 2009; Greenwood, Wing, 1995; Буданцев, 1999], по мембранным липидам глицерина и диалкилглицерол-тетраэфира в морских осадках [Crampton-Flood, 2018] и глендониту [Herrle et al., 2015; Rogov et al., 2017]. Значения палеотемпературы, полученные по данным CLAMP-анализа, проанализированы также с позиции способности динозавров откладывать яйца при низкой температуре, например, когда было недостаточно тепло или летний сезон был недостаточно продолжителен [Herman, 2016], или по присутствию прослоев углей для континентальных отложений Арктического региона [Galloway et al., 2013]. Методика определения значений температуры по разным органическим остаткам, минералам или химическим соединениям подробно изложена в перечисленных выше работах.

Результаты исследования и их обсуждение. Несмотря на различные методы и подходы к определению палеотемпературы, в целом они показывают хорошую корреляцию (рис. 1). В большинстве случаев определена средняя годовая температура, что позволяет использовать эти данные вместе (за исключением изотопной палеотермометрии по раковинам беспозвоночных для мелового периода и эоцена) со значениями поверхностной температуры воды по морским палиноморфам для неогена. При анализе палеотемпературы мы не делали разницы в отношении значений температуры, полученных для водной толщи по изотопным данным (ростры белемнитов и раковины аммонитов и т.п.), и температуры для приповерхностной части атмосферы (CLAMP-анализ), хотя они не идентичны, в частности океанские воды не могут быть холоднее –2,5 °C, а среднегодовая температура воздуха при этом может составлять –10 °C.

Значения температуры, полученные по флоре, хорошо коррелируют со значениями изотопной палеотермометрии по раковинам беспозвоноч-

ных (например, для мела и эоцена). Значения, полученные по макроостаткам растений, хорошо сопоставляются с таковыми по наземной фауне (например, для мела) или с палинологическими данными (например, для палеогена). Значения температуры, полученные по палинологии хорошо коррелируют с таковыми по мембранным липидам глицерина и диалкилглицерол-тетраэфира в морских осадках.

При корреляции значений палеотемпературы следует учитывать палеошироту, так как температура повышается при движении к экватору. Поэтому для значений температуры в точке помимо географической привязки указаны градусы северной широты (в современной системе координат). Методически правильнее было бы использовать палеошироту, но так как в современной системе координат точно определить местоположение современных разрезов в геологическом прошлом затруднительно, то использованы современные координаты.

При смещении приблизительно на 10° по широте от полюса к экватору температура в меловом периоде возрастала в среднем на 1 °C в высоких широтах, на 1,5 °C — в средних, на 2 °C и более в низких [Herman, Spicer, 2012]. Эти закономерности характерны и для кайнозоя. Палеотемпературная кривая, построенная для Западной Сибири [Волкова, 2011] (в среднем 55° с.ш.), характеризуется (рис. 1), с одной стороны, сравнительно более высокими значениями температуры, чем для точек, расположенных в пределах 70–80° с.ш., и одновременно более низкими значениями температуры относительно глобальной кривой [Scotese, 2015]. Последняя кривая выступает в качестве контролирующей с тех позиций, что значения температуры в высоких широтах не могут быть равны или больше общепланетарных значений температуры, общие тренды должны совпадать, а различия в трендах объясняются локальными факторами, определяющими климат (например, открытие или закрытие проливов, по которым проходил обмен водными массами, теплые воды проникали в высокие широты или холодные воды — в низкие).

Резкое понижение температуры, которое фиксируется на глобальной палеотемпературной кривой (на 11 °C [Scotese, 2015]) и кривой для Арктики и Субарктики (на 7,5 °C [Herman, Spicer, Spicer, 2016]), возможно, коррелирует с мел-палеогеновой границей и отвечает импактному событию (падению астероида в Мексиканский залив). В геологической истории Арктики можно выделить ряд климатических максимумов (фаз потепления климата): в конце берриасского века [Zakharov et al., 2011], в готеривском веке, в конце барремского века [Zakharov et al., 2011], в середине аптского века [Zakharov et al., 2011], в конце альбского века [Schroeder-Adams, 2014], в туронском веке, в кампанском веке (отдельные фазы в начале и в конце)

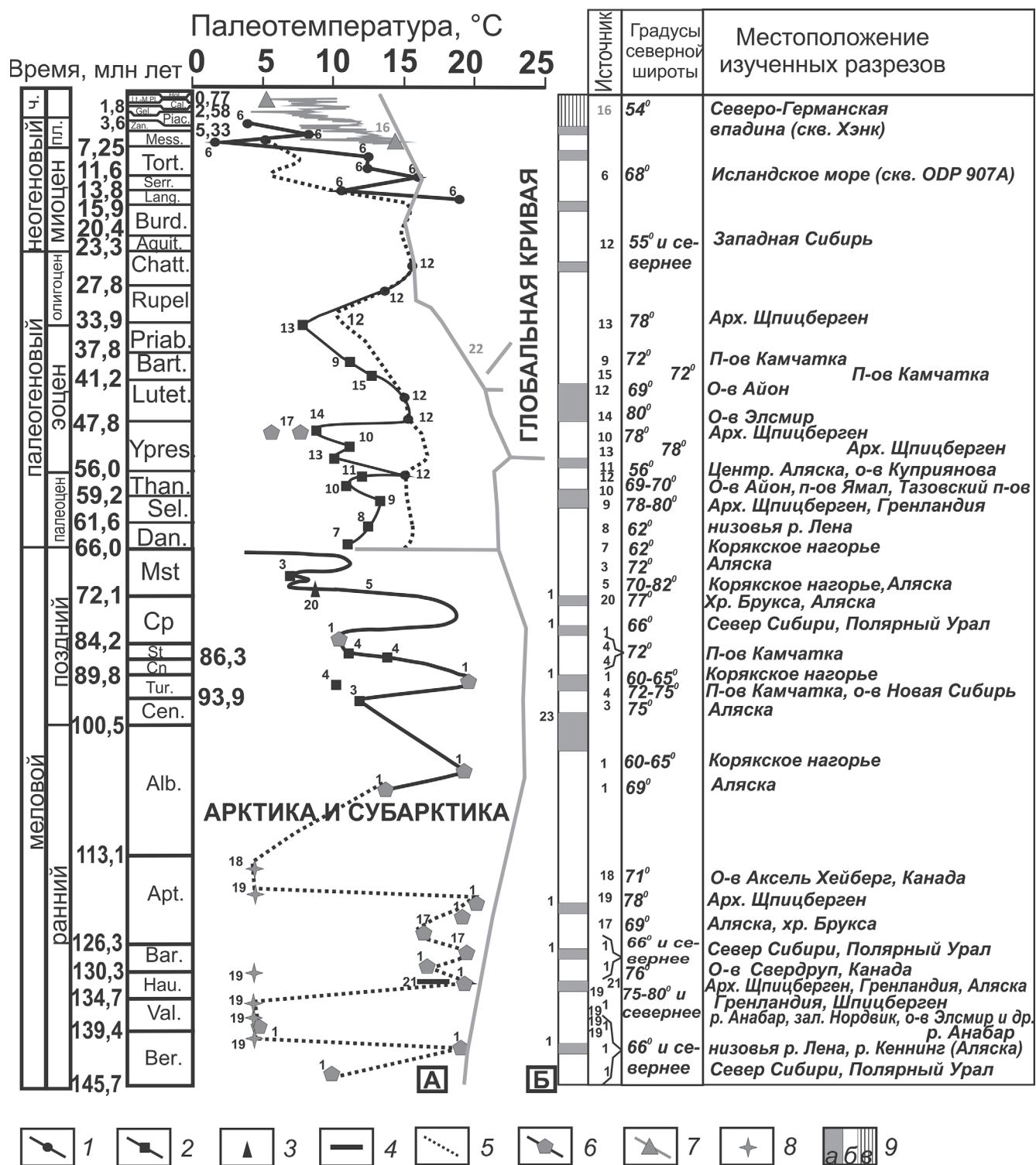


Рис. 1. Палеотемпературные кривые для мела–кайнозоя: А — для Арктического и Субарктического регионов; Б — глобальная, по [Scotese, 2015]: 1 — морские палиноморфы; 2 — континентальная флора (CLAMP-анализ); 3 — зубы динозавров; 4 — угли; 5 — изотопия по скелетам морских беспозвоночных; 6 — по палинологии; 7 — по мембранным липидам глицерина и диалкил-глицерол-тетраэфира в морских осадках; 8 — глендонит; 9 — тип климата: а — климатический максимум (эпоха потепления), б — климатический минимум (эпоха похолодания), в — начало оледенения в Северном полушарии. Источник — номер литературного источника: 1 — [Zakharov et al., 2011]; 2 — [Eberle et al., 2010]; 3 — [Spicer et al., 2016]; 4 — [Herman, Spicer, 1996]; 5 — [Herman, Spicer, 2016]; 6 — [Shreck et al., 2011]; 7 — [Головнева, 1994]; 8 — [Буданцев, 1983]; 9 — [Ахметьев, 2004]; 10 — [Golovneva, 2000]; 11 — [Wolfe, Dilcher, 2001]; 12 — [Волкова, 2011]; 13 — [Буданцев, Головнева, 2009]; 14 — [Greenwood, Wing, 1995]; 15 — [Буданцев, 1999]; 16 — [Crampton-Flood et al., 2018]; 17 — архивные данные Д.П. Найдина (МГУ); 18 — [Herrle et al., 2015]; 19 — [Rogov et al., 2017]; 20 — [Suarez et al., 2013]; 21 — [Galloway et al., 2013]; 22 — [Scotese, 2015]; 23 — [Schroeder-Adams, 2014]

[Zakharov et al., 2011], в начале ипрского века, в начале лютетского века, в середине хаттского века, в конце бурдигальского века, в середине тортонского века, в конце мессинского — в занкльском веке. За последним климатическим оптимумом следует время начала оледенения в Северном полушарии [Crampton-Flood, 2018].

Имеющиеся данные показывают хорошую корреляцию палеотемпературы внутри палеоклиматических поясов Арктического региона от Северной Атлантики (район акватории Северного моря — Северо-Германская впадина, скважина Хэнк), Гренландии (акватория Исландского (скв. ODP 907A) и Норвежского морей) и Шпицбергена (акватория Баренцева моря) через Полярный Урал, п-ов Ямал, Тазовский п-ов, север Сибири (акватория Карского моря), Дальний Восток (акватория моря Лаптевых — р. Лена, залив Нордвик, р. Анабар; акватория Восточно-Сибирского моря — о-в Новая Сибирь, о-в Айон), Аляску (акватория моря Бофорта — хр. Брукса, р. Кеннинг, Мартин Крик и Берингова моря — п-ов Камчатка, Корякское нагорье, акватория Тихого океана, Аляскинский залив — о-в Куприянова), Канадской арктический архипелаг (море Баффины — острова Свердруп, Амунд-Рингнес, Аксель Хейберг, Элсмир).

История климатических вариаций в Арктике и Субарктике. Цикличность климатических вариаций представлена следующими максимумами и минимумами.

1. *Раннеберриасский климатический минимум* [Zakharov et al., 2011] установлен по данным изотопной палеотермометрии для разрезов севера Сибири и Полярного Урала (+11,8–14,9 °C).

2. *Позднеберриасский климатический максимум* охарактеризован данными изотопной палеотермометрии [Zakharov et al., 2011] по отложениям на севере Сибири и Полярном Урале (+18,0–23,6 °C).

3. *Позднеберриасско-валанжинский климатический минимум* [Zakharov et al., 2011] основан на данных изотопной палеотермометрии для раннего валанжина (+5,3–10,4 °C, Шпицберген, Гренландия), позднего валанжина (+15,6–17,8 °C) и рубежа готерив–валанжин (+2,0–14,0 °C, Полярный Урал, север Сибири), а также находок глендонита (+7 °C) в разрезах верхнего берриаса на р. Лена и р. Кеннинг (Аляска), а также в разрезах валанжина на р. Анабар, в заливе Нордвик, на о-вах Амунд-Рингнес (Канадский арктический архипелаг), нижнего валанжина на о-вах Алекс Хейберг, Элсмир; верхнего валанжина в Западной Сибири [Rogov et al., 2017].

4. *Раннеготеривский климатический максимум* установлен по данным изотопной палеотермометрии [Zakharov et al., 2011] по отложениям нижнего готерива на севере Сибири и Полярном Урале (14,8–21,2 °C) и на Дальнем Востоке РФ (21,0 °C), а также по наличию углей в высоких широтах — на

о-ве Свердруп в Канадском арктическом архипелаге [Galloway, 2013].

5. *Позднеготеривско-раннебарремский климатический минимум* охарактеризован данными изотопной палеотермометрии [Zakharov et al., 2011] для отложений нижнего баррема на Дальнем Востоке РФ (+18,4–24,5 °C), а также находками глендонита (обычно температура формирования составляет около +7 °C) в разрезах верхнего готерива на арх. Шпицберген, Килен (Гренландия), р. Кеннинг (Аляска) [Rogov et al., 2017].

6. *Позднебарремский климатический максимум* основан на данных изотопной палеотермометрии для отложений верхнего баррема Дальнего Востока РФ (+17–18 °C, по архивным данным).

7. *Раннеаптский климатический минимум* основан на данных изотопной палеотермометрии для отложений нижнего апта на Аляске (+17–18 °C, по архивным данным).

8. *Среднеаптский климатический максимум* [Zakharov et al., 2011] охарактеризован данными изотопной палеотермометрии для отложений Дальнего Востока РФ (+16,4–24,5 °C) [Zakharov et al., 2011].

9. *Позднеаптский–раннеальбский климатический минимум* основан на находках глендонита в разрезах на арх. Шпицберген [Rogov et al., 2017] и на о-ве Аксель Хейберг (Канадский арктический архипелаг) [Herrle et al., 2015].

10. *Позднеальбско–раннесеноманский климатический максимум* [Schroeder-Adams, 2014] обоснован данными изотопной палеотермометрии на Дальнем Востоке РФ (12,5–18,6 °C) и на Аляске (12,9–19,0 °C) [Zakharov et al., 2011], а также относительной теплолюбивостью альбской флоры о-ва Котельный [Herman, Spicer, 2010].

11. *Позднесеноманско–раннетуронский климатический минимум.* Для позднего сеномана есть определения палеотемпературы по флоре — 12,5 °C (Аляска) и 12,9 °C (Дальний Восток РФ). Для Аляски средняя температура холодного месяца составляла +5,7 °C, а средняя температура летнего месяца — +20,0 °C; для разреза на р. Гребенка (Северо-Восток России, Чукотский АО) средняя температура холодного месяца — $5,9 \pm 3,8$ °C, средняя температура летнего месяца — $20,8 \pm 2,8$ °C [Spicer et al., 2016].

12. *Туронский климатический максимум* [Zakharov et al., 2011]. Для туронского века значения палеотемпературы по CLAMP-анализу флоры лежат в диапазоне 6,9–9,0 °C [Herman, 2012], для позднего турона — 15,5–23,3 °C [Spicer, Herman, 2013], что подтверждается данными изотопной палеотермометрии (+14,1–16,3 °C, Дальний Восток РФ) [Zakharov et al., 2011].

13. *Коньяк-сантонский климатический минимум.* Для коньякского века (Дальний Восток РФ) имеются определения палеотемпературы в диапазоне от 14,1 до 16,3 °C [Zakharov et al., 2011], а

по данным CLAMP-анализа флоры есть значения в диапазоне 9,0–12,5 °C [Herman, 2012]. Рубежу коньякского и сантонского веков по CLAMP-анализу флоры отвечает значение 17,0 °C [Spicer, Herman, 2013] (п-ов Камчатка). Сантонский век по CLAMP-анализу флоры охарактеризован значениями палеотемпературы от 9,1 до 15,6 °C [Spicer, Herman, 2013] (север Сибири), а по данным изотопной палеотермометрии — от 10,9 до 22,4 °C (Дальний Восток РФ) [Zakharov et al., 2011].

14. *Кампанский климатический максимум* [Zakharov et al., 2011]. Интервал времени с начала кампана и включая первую половину маастрихта характеризуется значениями палеотемпературы от 19,4 до 25,5 °C [Zakharov et al., 2011] (Аляска) и от 20,6 до 25,5 °C или интервалом 12–18 °C для кампанского века [Herman, Spicer, 2010] (Дальний Восток РФ).

15. *Раннемаастрихтский климатический минимум* обоснован данными CLAMP-анализа по флоре [Herman, Spicer, Spicer, 2016].

16. *Позднемаастрихтский климатический максимум* подтвержден данными CLAMP-анализа по флоре [Herman, Spicer, Spicer, 2016] и данными изотопной палеотермометрии (10,2–16,9 °C, Корякское нагорье, а также 18,1 °C, Аляска) [Zakharov et al., 2011].

17. *Позднемаастрихтский климатический минимум*. Вторая половина и конец маастрихта отвечают времени относительного похолодания, значения палеотемпературы составляют 6,7 °C [Herman, Spicer, Spicer, 2016]. Резкое понижение температуры в самом конце маастрихта коррелирует с импактным событием, которое фиксируется на глобальной палеотемпературной кривой (+11 °C [Scotese, 2015]) и кривой для Арктики и Субарктики (+7,5 °C [Herman, Spicer, Spicer, 2016]).

18. *Датско-зеландский климатический максимум*. Флоры датского яруса известны из местонахождений в низовьях р. Анадырь, на хр. Рарыткин [Головнева, 1994], в низовьях р. Лена [Буданцев, 1983], в Западной и Северной Гренландии и на арх. Шпицберген [Буданцев, 1983; Буданцев, Головнева, 2009]. Л.Б. Головнева [1994] для низовьев р. Анадырь указывает среднегодовую температуру, составляющую 11,5 °C, средняя температура холодного месяца — 4,6 °C, средняя температура летнего месяца — 19,4 °C и среднегодовое количество осадков 1722 мм. Для территории Шпицбергена характерна среднегодовая температура, равная 12,6 °C (средняя температура холодного месяца — +6,5 °C, средняя температура летнего месяца — +19,8 °C, среднегодовое количество осадков 1826 мм). Для хараулахской флоры из низовьев р. Лена [Буданцев, 1983; Ахметьев, 2004] характерны следующие значения палеотемпературы: среднегодовая — +10–12 °C (до +14 °C), при среднезимних до –4±6 °C, среднегодовое количество осадков

1400 мм. По палинологическим данным для территории Западно-Сибирской равнины по данным В.С. Волковой [2011], среднегодовая температура составляла — +15 °C, средняя температура холодного месяца — +4–5 °C, средняя температура летнего месяца — +28–30 °C, а среднегодовое количество осадков — до 1826 мм.

19. *Танетский климатический минимум*. В позднем палеоцене арктическая флора приобрела черты умеренно-теплой, переходной к субтропической [Ахметьев, 2004]. Для флоры центральной и южной (о-в Куприянова) частей Аляски характерны представители умеренно-теплого климата, а также пальмы и цикадовые. Среднегодовая температура для этих флор [Wolfe, Dilcher, 2001] — +10–12 °C, количество среднегодовых осадков до 2000 мм. Кроме того, на территории Шотландии (о-ва Малл) известна флора танетского возраста, для которой указана среднегодовая температура в +10,3 °C (при среднезимней 2,8 °C, среднелетней — +18,8 °C и при среднегодовом количестве осадков, равном 1739 мм [Golovneva, 2000]).

20. *Раннеипрский климатический максимум*. В раннем эоцене, в ипрское время, существовал умеренно-теплый влажный климат. На территории Камчатки (напанская флора позднего палеоцена — раннего эоцена) среднегодовая температура была равна +11,8 °C, средняя температура холодного месяца — +5 °C, средняя температура летнего месяца — +19,1 °C, при среднегодовом количестве осадков 2048 мм [Golovneva, 2000].

21. *Позднеипрский климатический минимум*. На территории арх. Шпицберген (стурвольская флора, эоцен) среднегодовая температура составляла 9,5 °C (средняя температура холодного месяца 1,5 °C, средняя температура летнего месяца 18,4 °C, среднегодовое количество осадков 1716 мм [Буданцев, Головнева, 2009]. В Северной Канаде для флоры о-вов Аксель Хейбера и Элсмир рассчитана следующая среднегодовая палеотемпература: +8,2; +9,3 °C, средняя температура самого холодного времени –0,8 и –2,0 °C [Greenwood, Wing, 1995].

22. *Лютетский климатический максимум*. В эоцене на о-ве Айон по палинологическим данным установлена среднегодовая температура 13 °C, средняя температура холодного месяца 5 и 7 °C, а средняя температура теплого месяца — 21–23 °C. В среднем эоцене на территории Ямала, в низовьях р. Пур, среднегодовая температура достигала 14–15 °C, самого холодного месяца — 6–8 °C, теплого — 21–23 °C [Волкова, 2011].

23. *Бартон-рюпельский климатический минимум*. В низовьях Лены (Тастахская флора, средний–поздний эоцен) среднегодовая температура доходила до 12 °C, а среднезимняя — +6 °C [Буданцев, 1999]. М.А. Ахметьев [2004] для флор среднего эоцена наиболее северных районов указывает среднегодовую температуру в 10–12 °C,

(среднезимняя температура около или немного ниже 0 °С и среднегодовое количество осадков 1000–1500 мм). Для территории арх. Шпицберген отмечено постепенное снижение температуры к концу эоцена до 8 °С [Буданцев, Головнева, 2009]. В Западной Сибири в первой половине олигоцена по палинологическим данным среднегодовая температура варьировала от 10 до 15 °С (температура теплого периода была 15 °С, холодного — +10 °С) [Волкова, 2011].

24. *Хаттский климатический максимум* прослежен в разрезах Западной Сибири. В позднем олигоцене по палинологическим данным среднегодовая температура составляла 14–15 °С, а температура холодного месяца — 4–6 °С [Волкова, 2011].

25. *Аквитанско-бурдигальский климатический минимум* определяется по палинологическим данным в разрезах Западной Сибири и характеризуется небольшим снижением температуры примерно на 1 °С (до +14 °С), как на региональной палеотемпературной кривой [Волкова, 2011], так и на глобальной [Scotise, 2015].

26. *Лангийский климатический максимум* установлен по морским палиноморфам в разрезе скважины ODP 907A (Северная Атлантика) с температурой около 17 °С [Shreck et al., 2011], по палинологическим данным в разрезах Западной Сибири — +11–15 °С [Волкова, 2011].

27. *Серравальский–раннетортонский климатический минимум* обоснован по морским палиноморфам [Shreck et al., 2011] в разрезе скважины ODP 907A (Северная Атлантика) с температурой около 12–16 °С. В интервале от 12,3 до 11,6 млн лет назад происходило похолодание, причем глобальный минимум температуры относится к интервалу 11,8–11,4 млн лет, температура воды у поверхности колебалась в диапазоне + 9–15 °С. Для среднего миоцена (13,4 млн лет) установлены среднегодовые значения температуры у поверхности воды, равные +20 °С, среднелетние — +15–25 °С. В Западной Сибири по палинологическим данным среднегодовая температура была равна +10–12 °С [Волкова, 2011].

28. *Среднетортонский климатический максимум* установлен по морским палиноморфам в разрезе скважины ODP 907A (Северная Атлантика) с температурой около +17 °С [Shreck et al., 2011], по палинологическим данным в разрезах Западной Сибири — 6–7 °С [Волкова, 2011].

29. *Позднетортонско–раннемессинский климатический минимум* установлен по морским палиноморфам [Shreck et al., 2011] в разрезе скважины ODP 907A (Северная Атлантика) с температурой около 1,5 °С. В Западной Сибири по палинологическим данным среднегодовая температура была 5 °С [Волкова, 2011].

30. *Позднемессинско–занклийский климатический максимум* обоснован по морским палиноморфам в разрезе скважины ODP 907A (Северная

Атлантика) с диапазоном температуры от +7 до +13 °С [Shreck et al., 2011].

31. *Пьяченско–четвертичный климатический минимум* и оледенение в Северном полушарии установлены по мембранным липидам глицерина и диалкилглицерол-тетраэфира в морских осадках с диапазоном температуры от +4 до +12 °С в скважине Хэнк в Северо-Германской впадине [Crampton-Flood et al., 2018], и по морским палиноморфам [Shreck et al., 2011] — в разрезе скважины ODP 907A (Северная Атлантика).

В итоге в климатической истории Арктики установлено 16 климатических циклов, включающих 16 климатических минимумов и 15 климатических максимумов. С учетом того, что некоторые значения палеотемпературы были получены для разрезов из Субарктического региона (с более южных палеоширот), при построении сводной палеотемпературной кривой для Арктики (рис. 2) была выполнена коррекция значений палеотемпературы с учетом закономерного понижения в среднем на 1 °С в высоких широтах, на 1,5 °С — в средних широтах, на 2 °С и более [Herman, Spicer, 2012] в низких, при смещении приблизительно на 10° по широте от экватору к полюсу.

В частности, сделана коррекция положения двух фрагментов палеотемпературной кривой для рюпель–пьяченского интервала геологической истории. В частности, на 3 °С были передвинуты в сторону понижения температуры кривая для скважины Хэнк [Crampton-Flood et al., 2018] для мессинско–пьяченского интервала, а также фрагмент кривой значений температуры для Западной Сибири [Волкова, 2011] для серравальско–тортонского интервала. Ориентиром для коррекции послужили данные, полученные из разреза скважины ODP 907A [Shreck et al., 2011].

Корреляция палеотемпературной кривой для Арктики и глобальной палеотемпературной кривой [Scotise, 2015] хорошая — общие тренды совпадают, на локальной кривой для Арктики выделена цикличность вариаций меньшего порядка. Исключение составляет понижение температуры в тортонском веке, что, скорее всего, может быть следствием локальных факторов.

Пока привязка климатических событий к шкале времени во многом условная, и длительность того или иного события определить точно затруднительно. В будущем при корреляции климатических событий с тектоническими и с вариациями уровня Мирового океана будет можно точнее привязать флуктуации климата к шкале времени.

Выводы. 1. При сборе информации для базы данных о значениях палеотемпературы в Арктике и Субарктике использованы значения, полученные по скелетам морских беспозвоночных, морским палиноморфам, зубам динозавров, по анализу способности рептилий откладывать яйца при

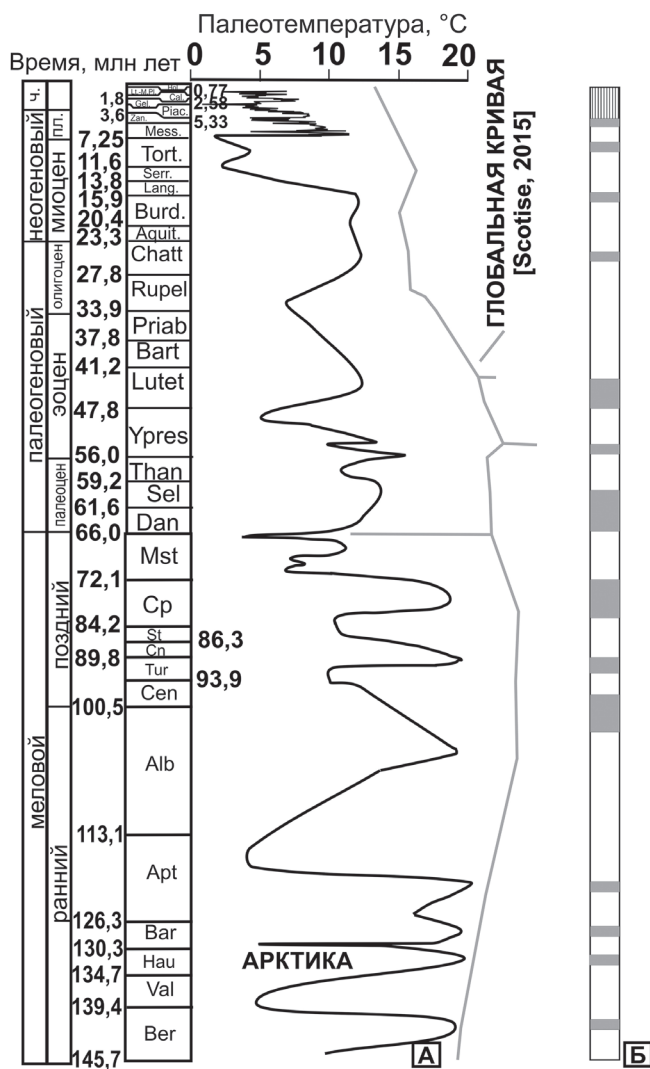


Рис. 2. Палеотемпературные кривые для мела–кайнозоя: А — предлагаемая сводная для арктического региона; Б — глобальная кривая, по [Scotese, 2015]

низкой температуре, по континентальной флоре (CLAMP-анализ), по присутствию прослоев углей в континентальных отложениях Арктического региона, по мембранным липидам глицерина и диалкилглицерол-тетраэфира в морских осадках и глендониту.

2. Несмотря на разные методы и подходы к определению палеотемпературы, в целом они показывают хорошую корреляцию. В большинстве

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ахметьев М.А. Климат Земного шара в палеоцене и эоцене по данным палеоботаники // Климат в эпохи крупных биосферных перестроек. М.: Наука, 2004. С. 8–47.
- Бадулина Н.В., Габдуллин Р.Р. Климатические вариации в Арктическом регионе в меловом периоде / Мат-лы Всеросс. науч. конф. «Восточно-Европейская платформа: геология, неотектоника, геоморфология», посвященной 40-летию учебной геолого-геоморфологической практики в Чашниково. М.: Перо, 2018. С. 69–71.
- Буданцев Л.Ю. История арктической флоры эпохи раннего кайнофита. Л.: Наука, 1983. 156 с.

случаев определена средняя годовая температура, что позволяет использовать эти данные совместно (за исключением изотопной палеотермометрии по раковинам беспозвоночных для мелового периода и эоцена и значений поверхностной температуры воды по морским палиноморфам для неогена).

3. В климатической истории Арктики установлено 16 климатических циклов, включающих 16 климатических минимумов (в том числе время оледенения в Северном полушарии) и 15 климатических максимумов.

4. Построена локальная палеотемпературная кривая для Арктического региона, имеющая общие тренды с глобальной палеотемпературной кривой [Scotese, 2015] (за исключением похолодания в тортонском веке вследствие действия локальных факторов).

Благодарности. Авторы признательны за справедливую критику и рецензирование работы А.Б. Герману (ГИН РАН), А.С. Алексею (ПИН РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова) и А.М. Никишину (МГУ имени М.В. Ломоносова).

Финансирование. Работа выполнена в рамках госбюджетной темы АААА-А16-116033010119-4 «Геодинамика полярных и приполярных областей Российской Федерации» и поддержана РФФИ (проекты № 18-05-00495 «Шельфовые и глубоководные моря России: новый взгляд на их геодинамику на основе новых сейсмических и полевых данных», № 18-05-70011 «Сейсмостратиграфия, тектоника и история геологического развития Арктики в мезозое и кайнозое как основа для изучения и освоения минеральных ресурсов региона», № 18-05-00503 «Позднемеловые — раннепалеогеновые климатические флуктуации и их связь с колебаниями уровня моря (на примере Крымско-Кавказского региона и Русской платформы)») и при финансовой поддержке Минобрнауки России по инициативному проекту № 5.5177.2017/8.9 «Взаимодействие геолого-геоморфологического субстрата и сетей поселений Среднего и Нижнего Поволжья в предметном поле эволюционной урбанистики и экологической истории: междисциплинарное осмысление, моделирование и выработка предложений для управления территориями и обеспечения их устойчивого развития».

Буданцев Л.Ю. Реконструкция кайнозойских климатов на востоке Северной Азии по палеоботаническим данным // Ботан. журн. 1999. Т. 84, № 5. С. 36–45.

Буданцев Л.Ю., Головнева Л.Б. Ископаемые флоры Арктики. II. Палеогеновая флора Шпицбергена. СПб.: Марафон, 2009. 400 с.

Волкова В.С. Стратиграфия и тренд палеотемператур в палеогене и неогене Западной Сибири (по данным палинологии) // Геология и геофизика. 2011. Т. 5, № 7. С. 906–915.

Головнева Л.Б. Маастрихт-датские флоры Корьякско-го нагорья. СПб., 1994 (Тр. БИН РАН; Вып. 13). 148 с.

- Некипелов А.Д., Макоско А.А. Перспективы фундаментальных научных исследований в Арктике // Арктика: экология и экономика. 2011. № 4. С. 14–21.
- Crampton-Flood E.D., Peterse F., Munsterman D. et al. Using tetraether lipids archived in North Sea Basin sediments to extract North Western European Pliocene continental air temperatures // Earth and Planet. Sci. Lett. 2018. Vol. 490. P. 193–205.
- Eberle J.J., Fricke H.C., Humphrey J.D. et al. Seasonal variability in Arctic temperatures during early Eocene time // Earth and Planet. Sci. Lett. 2010. Vol. 296. P. 481–486.
- Galloway J.M., Sweet A.R., Swindles G.T. et al. Middle Jurassic to Lower Cretaceous paleoclimate of Sverdrup Basin, Canadian Arctic Archipelago inferred from the palynostratigraphy // Marine and Petrol. Geol. 2013. Vol. 44. P. 240–255.
- Golovneva L.B. Early Paleogene floras of Spitsbergen and north Atlantic floristic exchange // Acta Universitatis Carolinae—Geologica. 2000. Vol. 44, N 1. P. 39–50.
- Greenwood D.R., Wing S.L. Eocene continental climates and latitudinal temperature gradients // Geology. 1995. Vol. 23, N 11. P. 1044–1048.
- Herman A.B., Spicer R.A. Paleobotanical evidence for warm Cretaceous Arctic Ocean // Nature. 1996. Vol. 380. P. 330–333.
- Herman A.B., Spicer R.A. Mid-Cretaceous floras and climate of the Russian high Arctic (Novosibirsk Islands, Northern Yakutiya) // Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol. 2010. Vol. 295. P. 409–422.
- Herman A.B., Spicer R.A., Spicer T.E.V. Environmental constraints on terrestrial vertebrate behaviour and reproduction in the high Arctic of the Late Cretaceous // Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol. 2016. Vol. 441. P. 317–338.
- Herrle J.O., Schröder-Adams C.J., Davis W. et al. Mid-Cretaceous High Arctic stratigraphy, climate, and Oceanic Anoxic Events // Geology. 2015. Vol. 43, N 5. P. 403–406.
- Rogov M.A., Ershova V.B., Shchepetova E.V. et al. Earliest Cretaceous (late Berriasian) glendonites from Northeast Siberia revise the timing of initiation of transient Early Cretaceous cooling in the high latitudes // Cretaceous Res. 2017. Vol. 71. P. 102–112.
- Schreck M., Méheust M., Stein R. et al. Response of marine palynomorphs to Neogene climate cooling in the Iceland Sea (ODP Hole 907A) // Marine Micropaleontol. 2013. Vol. 101. P. 49–67.
- Schröder-Adams C. The Cretaceous Polar and Western Interior seas: paleoenvironmental history and paleoceanographic linkages // Sediment. Geol. 2014. Vol. 301. P. 26–40.
- Scotese C.R. Some thoughts on Global climate change: the transition from icehouse to hothouse. Paleomap project. Evanston, 2015.
- Spicer R.A., Herman A.B. The Late Cretaceous environment of the Arctic: A quantitative reassessment based on plant fossils // Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol. Vol. 295, N 3–4. P. 423–442.
- Spicer R.A., Herman A.B., Amiot R. et al. Environmental adaptations and constraints on latest Cretaceous Arctic dinosaurs // Global Geol. 2016. Vol. 19, N 4. P. 241–254.
- Suarez C.A., Ludvigson G.A., Gonzalez L.A. et al. Use of multiple oxygen isotope proxies for elucidating Arctic Cretaceous paleo-hydrology // Isotopic Studies in Cretaceous Res. L., Geol. Soc., Spec. Publ. 2013. Vol. 382. P. 185–202.
- Wolfe J., Dilcher D. Late Paleocene through Middle Eocene climate in Lowland North America // Climate and biota of the Early Paleogene: Intern. meet. Wash. (D.C.): Smithsonian Inst., 2001. Abstr. P. 102–103.
- Zakharov Y.D., Shigeta Y., Popov A.M. et al. Cretaceous climatic oscillations in the Bering area (Alaska and Koryak Upland): Isotopic and palaeontological evidence // Sedimentary Geology. 2011. Vol. 235. P. 122–131.

Поступила в редакцию 13.02.2019

Поступила с доработки 20.08.2019

Принята к публикации 29.10.2019