

УДК 551.5

ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ МЕТОДОМ ВЫСОКОТОЧНОЙ ЦИКЛИЧЕСКОЙ КОРРЕЛЯЦИИ НА ПРИМЕРЕ РАЗРЕЗОВ МЕЗОЗОЯ–КАЙНОЗОЯ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Руслан Рустемович Габдуллин¹✉

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

Аннотация. Построены сводные палеотемпературные кривые (значения среднегодовой температуры и температуры поверхностных вод) для высоких и низких широт Северной Евразии. На их основе составлена модель климатической истории Северного полушария в мезозое–кайнозое. Проанализирована связь вариаций климата с другими значимыми геологическими событиями — циклами эксцентриситета орбиты Земли, импактными событиями, инверсиями геомагнитного поля.

Ключевые слова: циклостратиграфия, палеогеография, палеоклиматология, мезозой, кайнозой, Северная Евразия

Для цитирования: Габдуллин Р.Р. Палеоклиматические реконструкции методом высокоточной циклической корреляции на примере разрезов мезозоя–кайнозоя Северной Евразии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 6. С. 23–34.

PALEOCLIMATIC RECONSTRUCTIONS BY THE METHOD OF HIGH-PRECISION CYCLIC CORRELATION ON THE EXAMPLE OF MESOZOIC-CENOZOIC SECTIONS OF NORTHERN EURASIA

Ruslan R. Gabdullin¹✉

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

Abstract. Composite paleotemperature curves (values of average annual temperature and sea surface temperature) for high and low latitudes of Northern Eurasia have been compiled. Based on them, a model of the climatic history of the Northern Hemisphere in the Mesozoic-Cenozoic was compiled. The relationship of climate variations with other significant geological events — cycles of eccentricity of the Earth's orbit, impact events, inversions of the geomagnetic field is analyzed.

Key words: cyclostratigraphy, paleogeography, paleoclimatology, Mesozoic, Cenozoic, Northern Eurasia

For citation: Gabdullin R.R. Paleoclimatic reconstructions by the method of high-precision cyclic correlation on the example of Meso-Cenozoic sections of Northern Eurasia. *Moscow University Geol. Bull.* 2022; 6: 23–34. (In Russ.).

Введение. Палеогеографические реконструкции — неотъемлемая часть региональной и поисковой геологии. Дальнейшая детализация условий седиментации в осадочных бассейнах востребована как для понимания геологической истории Земли в целом, так и ее отдельных регионов, но также и в прикладном приложении геологии — для поиска и разведки полезных ископаемых, инженерно-геологических изысканий при строительстве.

К настоящему моменту накоплен большой массив фактической информации о палеогеографических условиях формирования осадочных толщ. Имеются обобщающие работы с компилятивными кривыми значений палеотемпературы для фанерозоя [Scotese et al., 2021] и др.

В объяснительных записках к государственным геологическим картам России и зарубежных стран в разделах о истории геологического развития приведены данные о палеогеографических условиях. Вместе с тем в подавляющем большинстве случаев дается качественная и полуколичественная оценка

типа климата (тропический, близкий к тропическому и т. д.). Тенденции к изменению этих палеогеографических параметров описываются так: климат стал более (или менее) тропическим. С такими качественными или полуколичественными оценками трудно не согласиться, но они не дают конкретных количественных значений, а значит, по ним невозможно провести детальные палеогеографические реконструкции.

Материалы и методы исследования. Дальнейшим развитием идеи циклостратиграфической шкалы для Русской плиты и ее южного обрамления [Габдуллин, 2003, 2004а–в] для позднемелового интервала геологической истории стало создание циклостратиграфической шкалы Северной Евразии для мезозоя–кайнозоя. Помимо метода циклостратиграфической корреляции использовался метод климатостратиграфии. Это позволило оценить климатические вариации в высоких широтах Северной Евразии (Бореальный бассейн) в меловом периоде и кайнозое [Габдуллин и др., 2019], то же самое сделано

Время, млн лет
[Ogg et al., 2016]

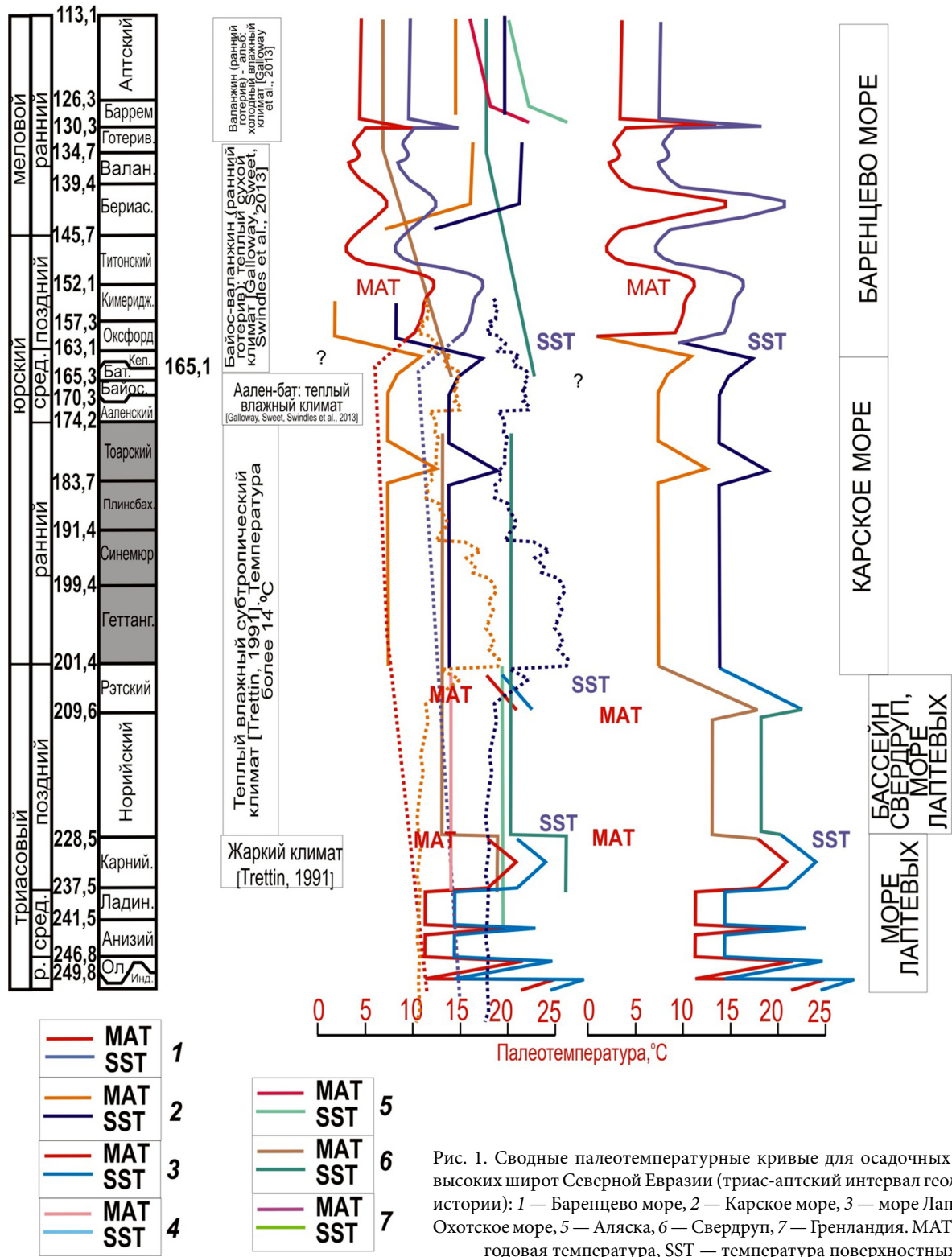


Рис. 1. Сводные палеотемпературные кривые для осадочных бассейнов высоких широт Северной Евразии (триас-аптский интервал геологической истории): 1 — Баренцево море, 2 — Карское море, 3 — море Лаптевых, 4 — Охотское море, 5 — Аляска, 6 — Свердруп, 7 — Гренландия. MAT — средняя годовая температура, SST — температура поверхностных вод

для юрско-кайнозойского интервала геологической истории [Габдуллин и др., 2021] низких широт Евразии (Тетический бассейн).
Для разрезов Северной Евразии автором выполнена классификация седиментогенных формаций осадочных бассейнов мезозоя-кайнозоя

по различным тектоническим (геодинамическим) обстановкам [Тектонический кодекс России, 2016] и по различным климатическим обстановкам [Синицын, 1980]. Смысловым каркасом послужили разрезы и лабораторно-аналитические данные о пробах из них, изученные рекогносцировочно или

детально автором или в соавторстве. Графическая визуализация включала оформление в стиле легенды к государственной геологической карте (ГГК). В случае отсутствия актуальных легенд к ГГК, которые служили бы стратиграфической основой, такие легенды были составлены автором с использованием опубликованных данных и фондовой литературы. Стилизованные по легенде к ГГК формации стратонов — помимо климатической и геодинамической интерпретации — были дополнены палеогеографической информацией, включавшей построение кривых палеоглубины, палеосолености и палеотемпературы.

Этот комплекс характеристик собран или создан автором для следующих регионов Тетиса, Перитетиса и Паратетиса в мезозое–кайнозое (частично — для Атлантического океана): Западного Внутреннего бассейна, периокеанического прогиба Аларгве, Лиссабонской и Ронской впадин, Гвадалквивирского краевого прогиба, Андалузских гор, Балеарских островов, Кантабрийских гор, Аквитанской впадины, Восточно-Европейской платформы, Горного Крыма, Большого Кавказа, Кубадага, Большого Балхана, Копетдага. Аналогичный массив данных приведен автором для Арктического и Субарктического регионов — Аляски, бассейна Свердруп, Гренландии, акватории Баренцева моря (арх. Шпицберген, Баренцевская плита, Восточно-Баренцевский мегапрогиб), акватории Карского моря (Южно- и Северо-Карская СФО, Лаптевская и Анжуйская СФО, хр. Ломоносова), акватории Восточно-Сибирского моря (поднятие Де-Лонга, Ломоносовско-Менделеевская флексурно-разломная зона, впадина Подводников, поднятие Кучерова и прогиб Вильницкого, Предменделеевская структурная ступень) и акватории Охотского моря (Прибрежная моноклиналь, Лонговское поперечное поднятие, Южно- и Северо-Чукотские прогибы, вал Барроу).

В результате проведенного анализа установлена хорошая сходимость результатов определения палеогеографических условий седиментации (включая палеоклиматические) по геохимическим, палеонтологическим и литологическим данным [Габдуллин и др., 2019, 2021].

Результаты исследований и их обсуждение.

Высокие широты. Сводные палеотемпературные кривые (MAT — среднегодовая температура, SST — температура поверхностных вод для осадочных бассейнов высоких широт Северной Евразии) приведены на рис. 1 и 2. На них видна климатическая цикличность, в большинстве случаев тренды вариаций совпадают или близки. С использованием этого массива данных были составлены сводные палеотемпературные кривые (MAT и SST) для высоких широт Северной Евразии. Таким же способом составлены сводные палеотемпературные кривые для Бореального и Тетического бассейнов [Габдуллин и др., 2019, 2021]. В частности, для юрско-валанжинского интервала геологической истории были

взяты данные расчета значений палеотемпературы из разреза Лескинской скважины [Габдуллин, 2022].

На рис. 3 приведена модель климатической истории для бассейнов высоких широт Северной Евразии. В триасе в западной части Северной Евразии господствовал тропический тип климата, значения MAT составляли 25–30 °C, а в восточной — субтропический, для которого характерные величины MAT составляли 18–21 °C [Синицын, 1980; Trettin, 1991]. Последний тип климата характеризует западную часть Северной Евразии в юрско-валанжинское время, в то время как на востоке доминировал умеренный тип климата со значениями MAT 14–17 °C. В готерив-сантонское время существовал умеренный тип климата со значениями MAT 3–17 °C (MAT 3–10 °C [Galloway et al., 2013] или 12–17 °C [Синицын, 1980]). В кампан-лутетское время на западе существовал субтропический тип климата с величинами MAT 16–25 °C, а на западе — умеренный тип климата со значениями MAT около 10 °C [Синицын, 1980], по составленным автором палеотемпературным кривым — MAT 7–15 °C. В бартон-бурдигальское время доминировал умеренный климат с величинами MAT 3–17 °C (MAT около 10 °C [Синицын, 1980]). В лангий-пьяченское время существовал субарктический тип климата (MAT 0–10 °C [<http://labmpg.sssc.ru/a72.html>]), а в четвертичное — арктический тип (MAT <0 °C [Сорокина, Гущина, 2006]). В ранне-среднетриасовое и позднетитон-валанжинское время климат был сухим, а в норийско-раннетитонское и сантон-плиоценовое время — влажным [Синицын, 1980; Trettin, 1991; Galloway et al. 2013].

В позднетриасовое, позднеготерив-сеноманское и палеоген-неогеновое время происходило угленакпление, в позднетитон-валанжинское время — накопление нефтегазоматеринских осадков. В норийско-раннетитонское и готерив-плиоценовое время доминировал влажный тип климата. Время формирования каолинитсодержащих кор выветривания отвечает фазам потепления климата.

Циклы эксцентриситета Земли 3-го (1,29 млн лет), 4-го (2,03 млн лет) и 5-го (3,4 млн лет) порядков [Berger, 1989; Fisher, Ripepe, 2021; Габдуллин, 2002] сопоставлены со шкалой геологического времени. Интервалу мезозойско-кайнозойской истории отвечают 74 цикла эксцентриситета 3-го порядка, 124 цикла — 4-го порядка, 195 циклов — 5-го порядка. Выделены фазы совпадения разнопорядковых циклов эксцентриситета, и эти моменты геологической истории сопоставлены с палеотемпературными кривыми. Красными горизонтальными линиями на циклостратиграфической шкале показаны моменты, когда фаза совпадения разнопорядковых циклов коррелирует с фазой относительного потепления климата, а синими — похолодания. Выделены 21 фаза относительного похолодания и 21 фаза относительного потепления климата в моменты 42 фаз совпадения разнопорядковых циклов эксцентриситета. По границе мезозоя и кайнозоя проходит

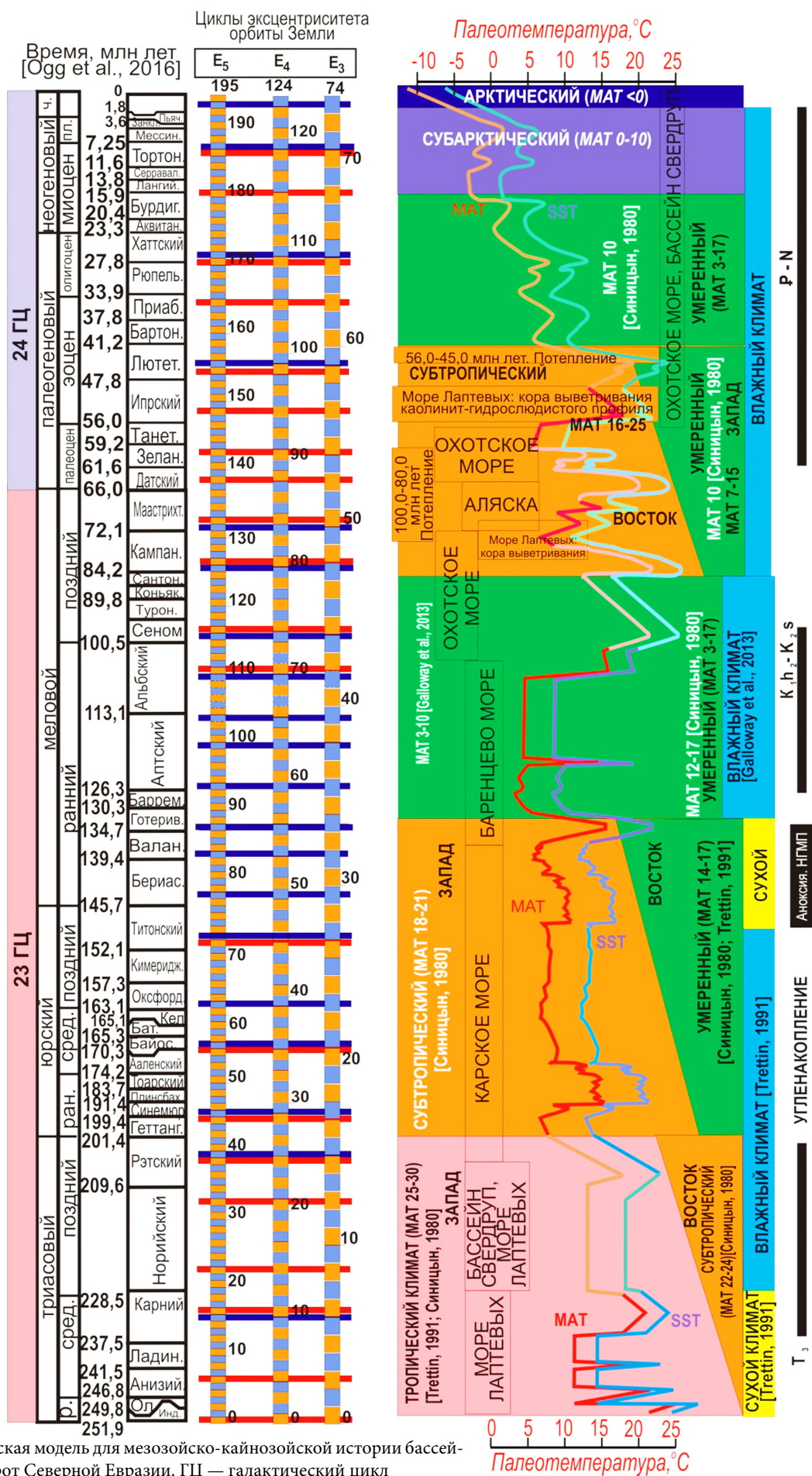


Рис. 3. Сводная климатическая модель для мезозойско-кайнозойской истории бассейнов высоких широт Северной Евразии. ГЦ — галактический цикл

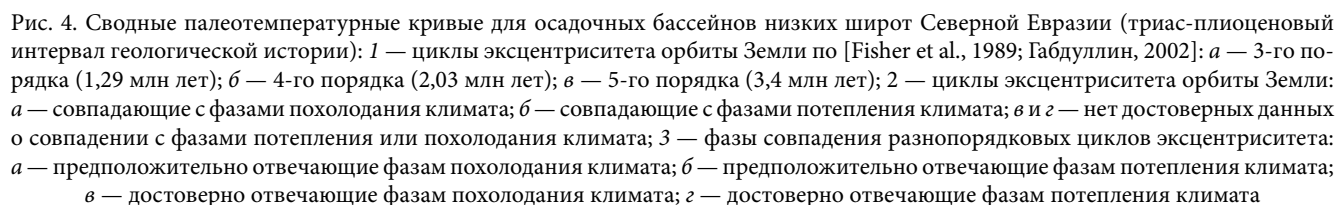
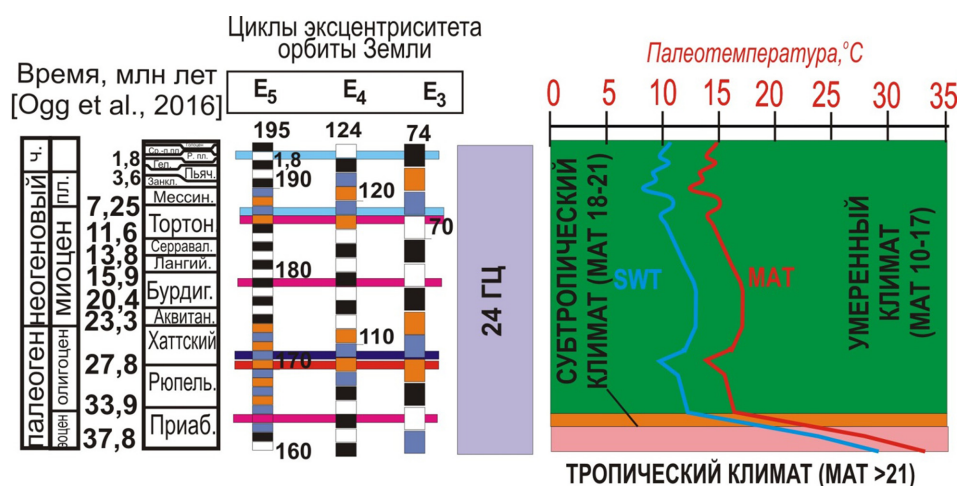


Рис. 5. Сводные палеотемпературные кривые для осадочных бассейнов низких широт Северной Евразии (эоцен-современный интервал геологической истории). Условные обозначения см. на рис. 4



рубеж между 23-м и 24-м галактическими циклами (годами) по [Епифанов, 2007а,б; Гаршин, 2012].

Низкие широты. Для бассейнов океана Тетис в интервале геологической истории с триаса по четверти были составлены сводные палеотемпературные кривые (рис. 4 и 5). Этому фрагменту геологической истории отвечают условия тропического типа климата с величиной МАТ более 21 °С, за исключением позднеэоценового времени, когда доминировал тропический тип климата с величиной МАТ < 21 °С.

На рис. 4 и 5 представлены циклостратиграфические шкалы, на которых показано, что для части циклов эксцентриситета орбиты Земли нет достоверных данных о совпадении с фазами потепления или похолодания климата, это объясняется отсутствием детальных данных о климатической истории этого региона. Помимо фазы совпадения разнопорядковых циклов, которые достоверно отвечают фазам похолодания или потепления климата, имеются и предположительные фазы совпадения разнопорядковых циклов эксцентриситета, отвечающих фазам похолодания или потепления климата.

Корреляция вариаций климата с переломными моментами в геологической истории Земли. Проанализирована связь вариаций климата и фаз совпадения разнопорядковых циклов эксцентриситета с моментами импактных событий и инверсии магнитного поля Земли (рис. 6 и 7). В подавляющем большинстве случаев такая корреляция установлена. Только три момента совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета — в конце апта, в середине сеномана и зelandия — не коррелируют с моментами инверсии магнитного поля. Для десяти импактных событий, время которых точно не определено и имеет значительный (до десятков миллионов лет или даже более) диапазон возможного времени падения на Землю астероидов и крупных метеоритов, привязка к моментам совпадения разнопорядковых циклов эксцентриситета была проведена условно (на рисунках показаны синим). Для большинства остальных импактных событий время определено существенно более точно (на рисунках показаны красным).

На циклостратиграфической шкале показаны фазы совпадения разнопорядковых циклов эксцентриситета и их отражение в вариациях климата в осадочной летописи бассейнов низких и высоких широт. В частности, показаны фазы совпадения разнопорядковых циклов эксцентриситета, отвечающие фазам похолодания или потепления климата, которые установлены достоверно или предположительно. Подчеркнем, что если для бассейнов низких широт фазы совпадения разнопорядковых циклов эксцентриситета, отвечающие фазам похолодания или потепления климата, установлены предположительно, то для бассейнов высоких широт, как правило, они установлены достоверно и наоборот. К моментам совпадения разнопорядковых циклов эксцентриситета тяготеют фазы тектоно-магматической активизации.

Вариации климата связаны с циклами эксцентриситета орбиты Земли. Фазы совпадения разнопорядковых циклов эксцентриситета коррелируют с инверсиями магнитного поля Земли. В случае сдвоенных фаз совпадения циклов магнитное поле меняется трижды. Фазам совпадения разнопорядковых циклов эксцентриситета отвечает не менее 1/5 границ геологических веков, при этом около 1/10 части границ геологических веков предшествуют или следуют через интервал времени, отвечающий циклу эксцентриситета 3-го порядка, или тяготеют к фазам совпадения циклов эксцентриситета.

Модель климатической истории Северного полушария в мезозое–кайнозое. В итоге обобщения большого массива данных построены сводные кривые изменения палеотемпературы не только для отдельных бассейнов и их частей, но и для экваториальной и полярной областей Северного полушария в мезозое–кайнозое — предложена модель климатической истории Северного полушария для этого времени (рис. 8). Отличие предлагаемой автором модели от моделей, опубликованных ранее, состоит в корреляции вариаций климата с астрономическими циклами Миланковича (ЦМ). Вариации значений палеотемпературы в разных бассейнах, как правило, синхронны.

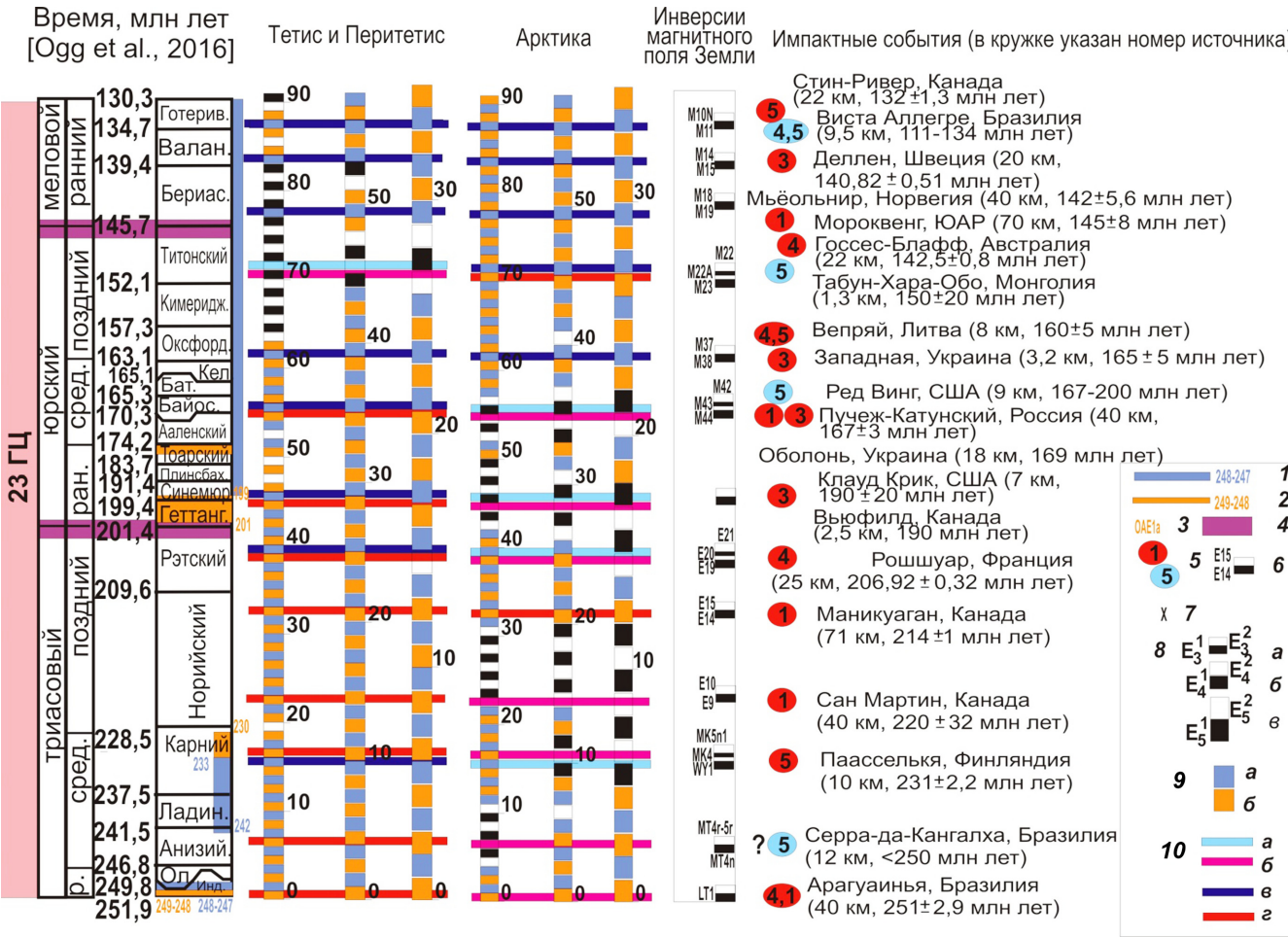


Рис. 6. Корреляционная схема основных геологических событий (климатических, тектоно-магматических, циклических, геомагнитных и импактных для триас-готеривского этапа развития на примере осадочных бассейнов высоких и низких широт Северной Евразии). Геологические события (1–3 по [Scotise et al., 2021]): 1 — фазы похолодания климата и время, млн лет; 2 — фазы потепления климата и время, млн лет; 3 — океанические бескислородные события и их номера; 4 — фазы тектоно-магматической активизации; 5 — импактные события (в кружке указан номер источника, источники: 1 — [Scotise et al., 2021]; 2 — <http://labmpg.sgcc.ru/a72.html>; 3 — [Shania et al., 2021]; 4 — [Indu et al., 2021]; 5 — [Schmieder, Kring, 2020]; 6 — инверсии магнитного поля Земли по [Gradstein et al., 2020]; 7 — инверсии магнитного поля нет; 8 — циклы эксцентриситета орбиты Земли по [Fisher et al., 1989; Габдуллин, 2002]: а — 3-го порядка (1,29 млн лет); б — 4-го порядка (2,03 млн лет); в — 5-го порядка (3,4 млн лет); 9 — циклы эксцентриситета орбиты Земли: а — совпадающие с фазами похолодания климата; б — совпадающие с фазами потепления климата; 10 — фазы совпадения разнопорядковых циклов эксцентриситета: а — предположительно отвечающие фазам похолодания климата; б — предположительно отвечающие фазам потепления климата; в — достоверно отвечающие фазам похолодания климата; г — достоверно отвечающие фазам потепления климата. Для большинства импактных событий время определено точно (показаны красным цветом), для десяти импактных событий время точно не определено (показаны синим цветом)

При построении этой модели автором использованы градиенты широтного изменения среднегодовой палеотемпературы (MAT) для позднего миоцена и позднего плиоцена [Utescher et al., 2017] и мела [Herman, Spicer, 2010], а также градиенты значений температуры поверхности морских вод (SST) для эоцена [Speelman et al., 2010]. В диапазоне широт от 30 до 70° с. ш. значения MAT и SST близки, в высоких широтах величины SST, как правило, выше MAT на несколько градусов, а в низких широтах, наоборот, ниже. Выделены области теплого тропического (MAT 25–30 °C), прохладного тропического (MAT 21–25 °C) климата, а также субтропического (MAT 17–21 °C), умеренного (MAT 10–17 °C), субарктического (MAT 0–10 °C) и арктического климата (MAT < 0 °C).

Закключение. Самые существенные вариации климата и смены эпох типов климата происходили в моменты совпадения циклов эксцентриситета разных порядков. Выделена 41 фаза совпадения разнопорядковых циклов эксцентриситета для триас-четвертичного интервала геологической истории Земли. В осадочных бассейнах Северной Евразии, а также в океанических бассейнах Тетис, Бореальном и Северном Ледовитом океане в мезозойско-кайнозойском интервале геологической истории выделяется не менее 19 климатических циклов, установленных по геохимическим и палеонтологическим данным и формационному анализу стратонов. С этими же рубежами времени совпадают фазы тектоно-магматической активизации и моменты падения крупных метеоритов и астероидов, которые вызывали кра-

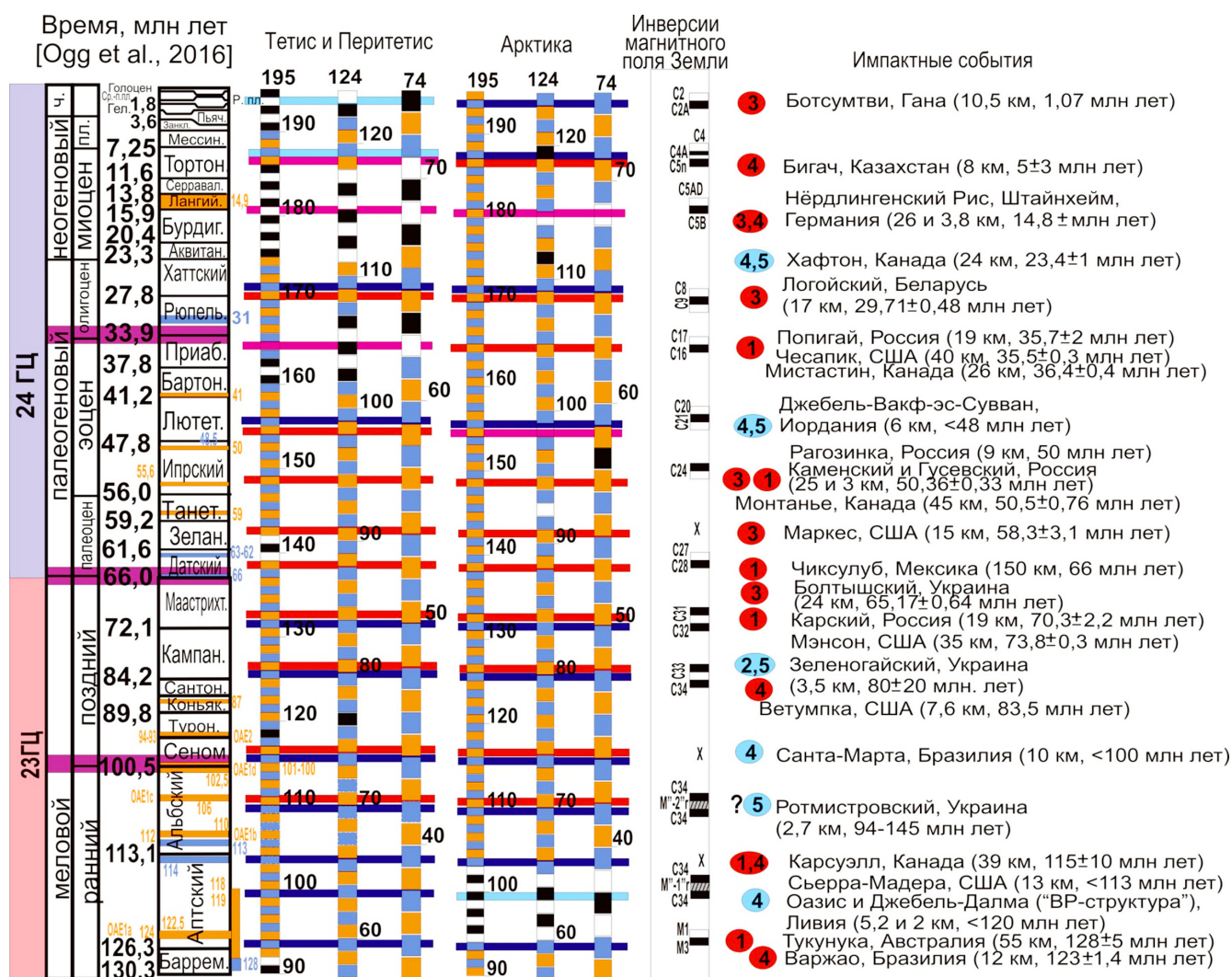


Рис. 7. Корреляционная схема основных геологических событий (климатических, тектоно-магматических, циклических, геомагнитных и импактных для валанжин-четвертичного этапа развития на примере осадочных бассейнов высоких и низких широт Северной Евразии). Цифры в кружках — номер источника: 1 — [Scotese et al., 2021]; 2 — <http://labmpg.sccc.ru/a72.html>; 3 — [Shania et al., 2021]; 4 — [Indu et al., 2021]; 5 — [Schmieder, Kring, 2020]

тквоременные похолодания, что дает возможность считать циклы эксцентриситета одним из критериев периодизации геологической истории Земли на примере предложенной модели климатической истории Северного полушария в мезозое–кайнозое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Габдуллин Р.Р. Циклостратиграфическая корреляция карбонатных разрезов терминального сеномана Европы, Африки и Северной Америки // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2003. № 4. С. 17–24.
- Габдуллин Р.Р. Циклостратиграфическая шкала верхнего мела Русской плиты и ее южного обрамления. Статья 1. Предпосылки и принципы создания шкалы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2004а. № 2. С. 11–20.
- Габдуллин Р.Р. Циклостратиграфическая шкала верхнего мела Русской плиты и ее южного обрамления. Статья 2. Совмещение шкал и циклов Миланковича // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2004б. № 3. С. 28–34.
- Габдуллин Р.Р. Циклостратиграфическая шкала верхнего мела Русской плиты и ее южного обрамления.

Финансирование. Исследования выполнены при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Математические методы анализа сложных систем».

Статья 3. Апробация шкалы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2004в. № 4. С. 17–21.

Габдуллин Р.Р. Высокоточная планетарная корреляция осадочных разрезов фанерозоя методами событийной, палеомагнитной, секвентной и циклической стратиграфии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2011. № 1. С. 15–21.

Габдуллин Р.Р., Бадулина Н.В., Ростовцева Ю.И., Иванов А.В. Климатические вариации в Арктическом регионе в меловом периоде и кайнозое // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2019. № 5. С. 30–37.

Габдуллин Р.Р., Пузик А.Ю., Меренкова С.И. и др. Литолого-геохимическая и палеогеографическая характеристика мезозойско-кайнозойских отложений Енисей-Ха-

[illegible]

тангского прогиба // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 6. С. 46–55.

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. 2021а. № 2. С. 20–33.

Габдуллин Р.Р., Пузик А.Ю., Меренкова С.И. и др. Литолого-геохимическая характеристика и палеоклиматические условия формирования турон-сантонских отложений эпиконтинентального бассейна Русской плиты в районе Воронежской антеклизы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2021б. № 3. С. 26–34.

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. 2021в. № 4. С. 52–59.

Гаршин И.К. О галактических циклах в истории Земли // Козволюция геосфер: от ядра до Космоса: Мат-лы Всеросс. конф. памяти чл.-корр. РАН, лауреата Государственной премии СССР Глеба Ивановича Худякова (Саратов, 17–20 апреля 2012 г.). Саратов, СГТУ, 2012. С. 161.

Епифанов В.А. Геологические циклы и геохронологическая шкала в системе галактических пульсаций Земли // Мат-лы VIII Междунар. конф. «Новые идеи в науках о Земле». М.: Изд-во РГГУ, 2007. Т. 1. С. 120–123.

Епифанов В.А. Цикличность нефтенакпления в пульсациях Земли, астрогеологический контроль генезиса углеводородов и биопоз // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы нефтегазовой геологии». СПб.: ВНИГРИ, 2007. С. 119–128.

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

Сорокина В.Н., Гущина Д.Ю. География климатов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 68 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 геологии и картографии (ГЕОКАРТ) [Отв. ред. Н.В. Межеловский]. М.: ГЕОКАРТ; GEOS, 2016. 240 с.

Berger A.L. Pre-Quaternary Milankovitch frequencies // Nature. 1989. Vol. 342. P. 133.

Chandran S.R., Shania J., Santosh M. et al. Geochemical and geochronological evidence of meteorite impact excavating

Archean basement at Lonar Crater, Central India // Lithos. 2021. Vol. 404–405. P. e106479.

Fisher A.G., Ripepe M. Stratigraphic rhythms synthesized from orbital variations // Kansas Geol. Surv. Bull. 1991. Vol. 233. P. 10.

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.

Gradstein F.M., Ogg J.G., Schmitz M., Ogg G. Geologic time scale. eBook ISBN: 9780128243619

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.

Ogg J., Ogg G., Gradstein F. A concise geologic time scale. Elsevier, 2016. 240 p.

Schmieder M., Kring D. Earth's impact events through geologic time: a list of recommended ages for terrestrial impact structures and deposits // Astrobiology. 2020. Vol. 20. P. 91–141.

Scotese C.R., Song H., Mills B.J.W. et al. Phanerozoic paleotemperatures: The earth's changing climate during the last 540 million years // Earth Sci. Rev. 2021. Vol. 215, Publ. N 103503.

Shania J., Saranya C.R., Santosh M. et al. Meteorite impact craters as hotspots for mineral resources and energy fuels: a global review // Energy Geosci. 2021. Vol. 3. DOI: 10.1016/j.engeos.2021.12.006.

Speelman E.N., Sewall J.O., Noone D. et al. Modeling the influence of a reduced equator-to-pole sea surface temperature gradient on the distribution of water isotopes in the Early/Middle Eocene // Earth and Planet. Sci. Lett. 2010. Vol. 298, Iss. 1–2. P. 57–65.

Trettin H.P. Geology of the Innuitian Orogen and Arctic Platform of Canada and Greenland Geological Society of America. Ottawa: Canada Communication Group, 1991. 576 p.

Utescher T., Dreist A., Henrot A.-J. et al. Continental climate gradients in North America and Western Eurasia before and after the closure of the Central American Seaway // Earth and Planet. Sci. Lett. 2017. Vol. 472. P. 120–130.

ИНТЕРНЕТ-ИСТОЧНИКИ

Мухеева А.В. Полный каталог импактных структур Земли. ИВМиМГ СО РАН. Зеленогайский кратер: <http://labmpg.sccc.ru/a72.html>

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