УДК 551.79
doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-4-116-124

ВЫСОКОТОЧНАЯ ЦИКЛИЧЕСКАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ КАК ОСНОВА ДЕТАЛЬНЫХ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ПЛИОЦЕН-ЧЕТВЕРТИЧНЫХ РАЗРЕЗОВ ЕВРАЗИИ

Руслан Рустемович Габдуллин[1]✉, Кирилл Владимирович Сыромятников[2], Наталья Викторовна Бадулина[3], Софья Ивановна Меренкова[4], Алексей Викторович Иванов[5], Искандер Рустамович Мигранов[6]

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; gabdullin@fgp.msu.ru✉, https://orcid.org/0000-0001-8296-7191
[2] Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия; Sykirv@gmail.com, https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0001-8798-4425
[3] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; nvbadulina@mail.ru, IstinaResearcherID (IRID): 427730
[4] Институт 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
[5] Институт географии РАН; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия; yashkovia@mail.ru, http://orcid.org/0000-0003-2788-0215
[6] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; iskandermig@mail.ru

Аннотация. Проведена астрохронологическая (циклостратиграфическая) привязка литолого-геохимической характеристики плиоцен-четвертичных отложений разрезов Евразии к циклам Миланковича (эксцентриситета, наклонения эклиптики, прецессии), дан анализ связи установленных вариаций климата и палеотемпературы с моментами совпадения разнопорядковых циклов эксцентриситета и их палеоклиматическая характеристика. Показаны результаты внедрения полученных результатов в ходе проведения практики по геологии на базе МГУ в Чашниково. При проведении исследования были использованы материалы экспозиционного пространства кафедры региональной геологии и истории Земли и музея Землеведения. Результаты исследования использованы при проведении учебной практики по геологии в Чашниково, а также могут быть использованы при расчленении и региональной и глобальной корреляции разрезов, при проведении геологической съемки, создания циклостратиграфических шкал равнинных и горных областей Евразии, а также при создании и дальнейшем развитии экспозиционного пространства музеев, например Университетской гимназии МГУ.

Ключевые слова: циклическая корреляция, литология, геохимия, палеоклиматология, четвертичный период, плиоцен, циклы Миланковича, геологический факультет МГУ, музей Землеведения МГУ, Университетская гимназия МГУ

Для цитирования: *Габдуллин Р.Р., Сыромятников К.В., Бадулина Н.В., Меренкова С.И., Иванов А.В., Мигранов И.Р.* Высокоточная циклическая корреляция как основа детальных палеоклиматических реконструкций для плиоцен-четвертичных разрезов Евразии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 4. С. 116–124.

HIGH-PRECISION CYCLIC CORRELATION AS A BASIS FOR DETAILED PALEOCLIMATIC RECONSTRUCTIONS FOR THE PLIOCENE-QUARTENARY SECTIONS OF EURASIA

Ruslan R. Gabdullin[1]✉, Kirill V. Syromyatnikov[2], Natalya V. Badulina[3], Sofya I. Merenkova[4], Aleksey V. Ivanov[5], Iskander R. Migranov[6]

[1] Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; gabdullin@fgp.msu.ru✉
[2] Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia; sykirv@gmail.com
[3] Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; nvbadulina@mail.ru
[4] Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences; Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; koshelevasof@mail.ru
[5] Institute of Geography RAS; Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; Tambov State Technical University, Tambov, Russia; yashkovia@mail.ru
[6] Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; iskandermig@mail.ru

Abstract. An astrochronological (cyclostratigraphic) binding of the lithological and geochemical characteristics of Pliocene-Quaternary sediments of the Eurasian sections to the Milankovich cycles (eccentricity, obliquity of the ecliptic, precession) was carried out, an analysis of the relationship between the established variations in climate and paleotemperature with the moments of coincidence of different-order cycles of eccentricity and their paleoclimatic

characteristics was given. The results of the implementation of the results obtained during the practice in geology at the Moscow State University in Chashnikovo are shown. During the research, materials from the exposition space of the Department of Regional Geology and Earth History and the Museum of Earth Science were used. The results of the study were used in conducting an educational practice in geology in Chashnikovo, and can also be used in the dismemberment and regional and global correlation of sections, in conducting geological surveys, creating cyclostratigraphic scales of the plains and mountainous regions of Eurasia, as well as in the creation and further development of the exposition space of museums — Moscow State University Gymnasium for example.

Keywords: cyclic correlation, lithology, geochemistry, paleoclimatology, Quaternary period, Pliocene, Milankovich cycles, Faculty of Geology of Lomonosov Moscow State University, Earth Science Museum of Moscow State University, University Gymnasium of Moscow State University

***For citation*:** Gabdullin R.R., Syromyatnikov K.V., Badulina N.V., Merenkova S.I., Ivanov A.V., Migranov I.R. High-precision cyclic correlation as a basis for detailed paleoclimatic reconstructions for the Pliocene-Quartenary sections of Eurasia. *Moscow University Geol. Bull.* 2024; 4: 116–124. (In Russ.).

Введение. Для повышения точности стратиграфического расчленения разрезов и их корреляции для разрезов мезозоя и кайнозоя Северной Евразии Р.Р. Габдуллиным [Габдуллин, 2023а] была предложена циклостратиграфическая шкала с точностью до циклов эксцентриситета третьего-пятого порядков. Дальнейшим развитием этой идеи стала циклостратиграфическая шкала для четвертичных отложений с точностью до циклов эксцентриситета первого-третьего порядков [Габдуллин, 2024]. В настоящей работе проведена дальнейшая детализация циклостратиграфической шкалы — до уровня циклов прецессии оси вращения Земли длительностью около 20 тысяч лет — предельно возможного уровня циклостратиграфической (астрохронологической корреляции), а также «расширение» диапазона циклостратиграфической шкалы с точностью до циклов эксцентриситета первого-третьего порядков по плиоцен включительно. Циклостратиграфический и климатостратиграфический подход позволили решить проблему точности расчленения континентальных четвертичных отложений на примере разрезов окрестностей базы Московского университета в Чашниково, которая является полигоном для проведения практики по геологии у студентов факультета почвоведения. В частности впервые удалось привязать эти разрезы к хроностратиграфической шкале, уточнив положение отложений московского горизонта. Интересные результаты получены в ходе анализа связи импактных событий и фаз совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета или разных типов астрономо-климатических циклов — прецессии, наклонения эклиптики и эксцентриситета.

Материалы и методы исследования. Методы, использованные в исследовании, включали анализ опубликованных источников, метод интерполяции, метод циклографической корреляции, метод высокоточной астрономо-климатической циклической корреляции, методы палеоклиматической и палеогеографической интерпретации геохимических данных.

Исследование состояло из следующих подходов: 1) создание базы данных геохимических и седиментологических параметров для четвертичных-плиоценовых отложений Евразии на основе опубликованных и архивных данных; 2) создание базы данных для континентальных отложений Евразии квартер-плиоценового возраста в том числе с использованием результатов полевых наблюдений в северной части Московской синеклизы; 3) сравнительно-стратиграфический анализ и корреляция между глобальными и региональными палеособытиями; 4) выявление характерных особенностей седиментологических систем Евразии с акцентом на вариации климата с применением метода высокоточной планетарной корреляции.

Результаты исследования и их обсуждение. Основные результаты исследования включают создание и апробацию циклостратиграфической (астрохронологической) шкалы для четвертичных отложений, выявления уровней для высокоточной планетарной корреляции.

Циклостратиграфическая (астрохронологическая) шкала для четвертичных отложений. На рис. 1 приведена астрохронологическая корреляционная стратиграфическая схема для четвертичных и плиоценовых отложений. В ее левой части показана стратиграфическая схема расчленения четвертичных отложений России [Общая…, 2016] и в единицах международной стратиграфической шкалы [Gradstein, et al., 2020], далее показана астрохронологическая шкала циклов эксцентриситета орбиты Земли первого порядка длительностью около 100 тыс. лет. Синим цветом показаны этапы относительно холодного климата, а оранжевым — относительно теплого климата. Горизонтальными полосами красного цвета показаны фазы совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета орбиты Земли (первого-третьего порядков), отвечающих времени относительного потепления климата, а синим — похолодания.

Рассмотрен ряд разрезов в Китае (рис. 1): неоплейстоценово-голоценовые отложения пещер Сянбао [Jin, et al., 2023], плиоцен-неоплейстоценовые отложения бассейна Куньлунь [Shwartz, et al., 2023], пьяченско-средненеоплейстоценовые осадки лессовых террас и эоплейстоцен-неоплейстоценовые отложения бассейна Зойжи [Hongxuan, et al., 2022].

Для разрезов пещер Сянбао характерны флуктуации $\delta^{18}O$, которые хорошо коррелируют с циклостратиграфической шкалой и фазами совмещения

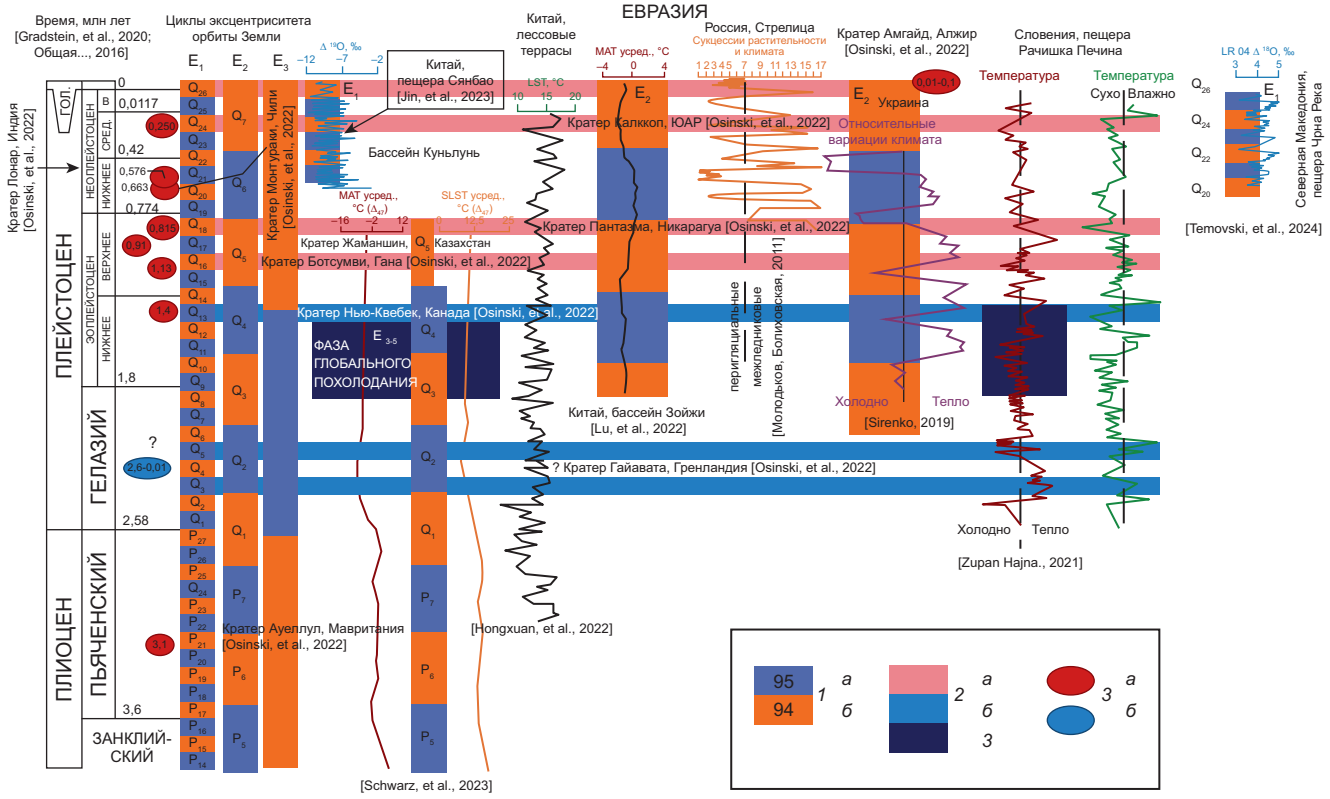

Рис. 1. Циклостратиграфическая (астрохронологическая) корреляционная стратиграфическая схема для плиоцен-четвертичных отложений. Условные обозначения: *1* — циклы эксцентриситета орбиты Земли и их номер по циклостратиграфической шкале [Габдуллин, 2023а] (*а* — совпадающие с фазами относительного потепления климата, *б* — относительного похолодания климата); *2* — фаза совпадения (совмещения) разнопорядковых циклов эксцентриситета (*а* — отвечающие фазам относительного потепления климата, *б* — отвечающие фазам относительного похолодания климата, *в* — фаза совмещения трех разнопорядковых циклов эксцентриситета третьего–пятого порядков); *3* — импактные события — ударные кратеры, астроблемы (*а* — время события датировано точно, *б* — время события датировано неточно)

разнопорядковых циклов эксцентриситета (время Q_{24} и Q_{26}). По разрезу лессовых террас имеются определения температуры земной поверхности (LST), которые хорошо коррелируют с циклами эксцентриситета первого порядка (E_1), а также фазами совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета (времена относительного похолодания — Q_3, Q_5, Q_{13} и относительного потепления климата — Q_{16}, Q_{18}, Q_{24}, Q_{26}). Отметим, что фаза совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета Q_{16} хронологически совпадает с импактным событием — кратером Ботсумтви в Гане. Для разреза бассейна Зойжи имеются усредненные значения среднегодовых температур (MAT), которые хорошо отвечают циклам эксцентриситета второго порядка (E_2). Для разрезов бассейна Куньлунь вариации усредненных значений летней температуры поверхности озер (SLST Δ_{47}) и среднегодовой температуры (MAT Δ_{47}) хорошо сопоставляются с циклами эксцентриситета второго и третьего порядков (E_{2-3}), а также реагируют на фазу глобального похолодания, связанную со временем совпадения циклов эксцентриситета третьего, четвертого и пятого порядков (рис 1, область E_{3-5}, показана темно-синим цветом).

Также рассмотрены другие районы Евразии: разрез верхнеэоплейстоценовых-голоценовых отложений Стрелица в России (Воронежская область [Молодьков, Болиховская, 2011]), сводные данные по относительным вариациям климата Украины [Sirenko, 2019] для эоплейстоцен-средненеоплейстоценового интервала, плейстоценовые осадки Рачишка Печина в Словении [Zupan Hajna, et al., 2021] и голоцен-неоплейстоценовые отложения разреза Черна Река в Македонии [Temovski, et al., 2024].

В разрезе Стрелица установлены вариации сукцессии растительности и климата. При этом увеличение этого показателя маркирует межледниковые отложения, а его уменьшение — перигляциальные. В данном исследовании Габдуллиным Р.Р. была проведена привязка этих вариаций к шкале времени с использованием циклостратиграфической шкалы. Вариации этого параметра (сукцессии) также хорошо сопоставляются с циклостратиграфической шкалой и фазами совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета (время Q_{26}, Q_{24} и Q_{18}).

Относительные вариации климата Украины [Sirenko, 2019] для эоплейстоцен-средненеоплейстоценового интервала хорошо сопоставляются с циклами эксцентриситета второго порядка (E_2), фазами совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета (временами относительного похолодания — Q_{13} и относительного потепления климата — Q_{16}, Q_{18}).

Для разреза пещеры Рачишка Печина опубликованы данные по относительным вариациям темпе-

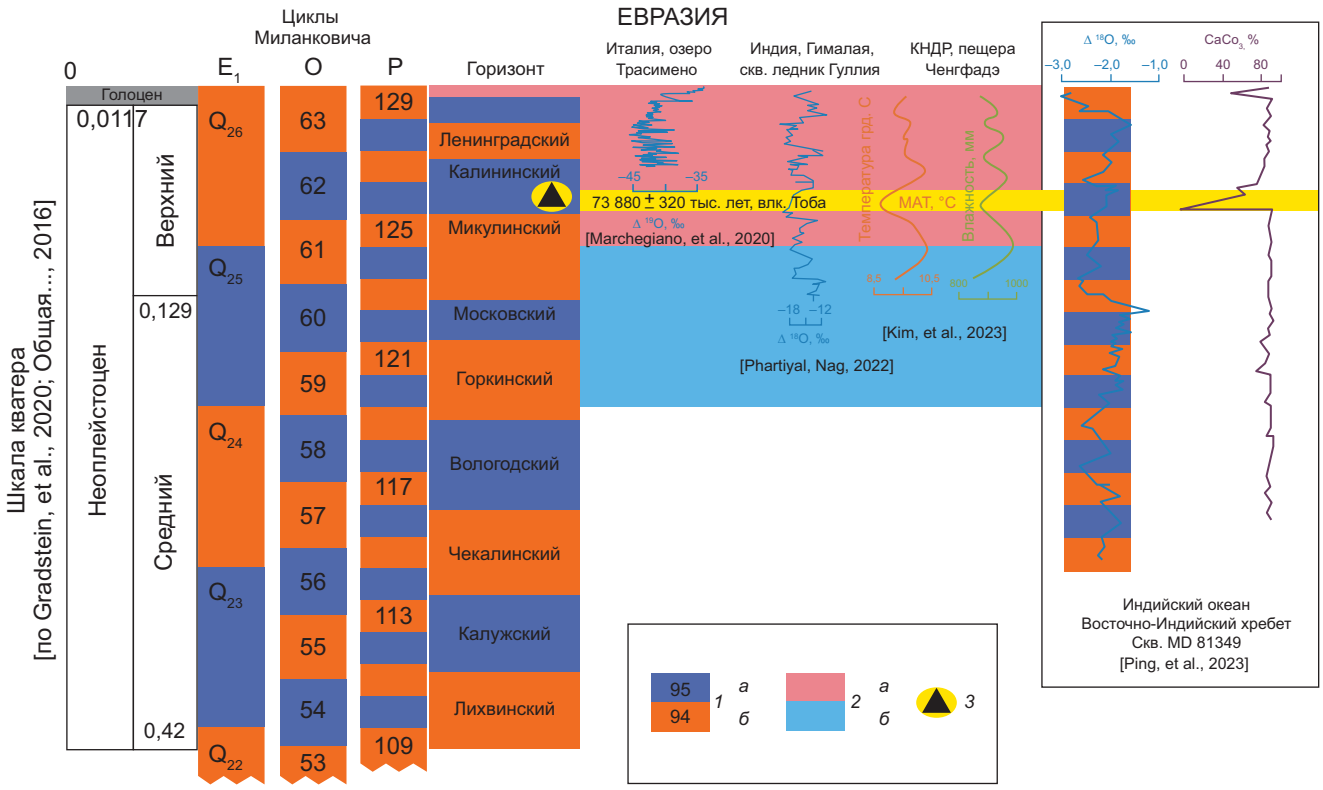

Рис. 2. Циклостратиграфическая (астрохронологическая) корреляционная стратиграфическая схема для неоплейстоцен-голоценовых отложений. Условные обозначения: *1* — циклы Миланковича (сокращения: E_1 — эксцентриситета орбиты Земли первого порядка, O — циклы наклонения эклиптики, P — циклы прецессии оси вращения) и их номер по циклостратиграфической шкале [Габдуллин, 2023а] (*а* — совпадающие с фазами относительного потепления климата, *б* — относительного похолодания климата); *2* — интервалы доминирования климатических условий, связанные с циклами эксцентриситета первого порядка (*а* — отвечающие фазам относительного потепления климата, *б* — отвечающие фазам относительного похолодания климата); *3* — вулканическое событие — извержение вулкана Тоба в Индонезии

ратуры и влажности, которые хорошо коррелируют с циклостратиграфической шкалой и фазами совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета (времена относительного похолодания — Q_3, Q_5, Q_{13} и относительного потепления климата — Q_{16}, Q_{18}, Q_{24}), а также реагируют на фазу глобального похолодания, связанную со временем совпадения циклов эксцентриситета третьего, четвертого и пятого порядков (рис. 1, область E_{3-5}, показана темно-синим цветом).

Для разреза Черна Река характерны вариации $\delta^{18}O$, которые хорошо коррелируют с циклостратиграфической шкалой и фазами совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета (время Q_{24} и Q_{26}).

Циклы Миланковича генерировали многочисленные фазы оледенения и межледниковья в глобальном масштабе и в Евразии в частности, определяя динамику гляциальных и перигляциальных районов, а также полярных и приполярных областей Российской Федерации. Рассмотрим теперь более детально возможности цикло-(астро)хронологической корреляции на уровне циклов прецессии (длительность около 20 тыс. лет), наклонения эклиптики (длительность около 40 тыс. лет) и циклов эксцентриситета первого порядка (около 100 тыс. лет).

На рис. 2 показана корреляционная шкала времени для голоцена и неоплейстоцена с указанием горизонтов [Общая…, 2016; Gradstein, et al., 2020], геологических событий — извержение вулкана Тоба (73880 ± 320 лет назад [Ping, et al., 2023]) и импактных событий (об этом будет написано ниже) и с циклостратиграфической шкалой (показаны циклы прецессии, наклонения эклиптики и эксцентриситета орбиты Земли). Рассмотрены разрезы голоцена и верхнего неоплейстоцена озера Трасимено в Италии [Marchegiano, et al., 2020] и скважины на леднике Гуллия в Гималаях в Индии [Phartiyal, Nag, 2022], а также пещеры Ченгфадэ в КНДР [Kim, et al., 2023]. Для сравнения, для разреза скважины MD81349, пробуренной в районе Восточно-Индийского хребта в Индийском океане [Ping, et al., 2023], имеются данные по содержанию $\delta^{18}O$ и $CaCO_3$. Распределение $CaCO_3$ фиксирует резкий отрицательный экскурс в момент извержения вулкана Тоба, а вариации $\delta^{18}O$ показывают умеренно хорошую корреляцию с циклами прецессии.

Вариации $\delta^{18}O$ по разрезам в Италии и Индии хорошо коррелируют с циклостратиграфической шкалой (например, циклами прецессии (P-циклы), циклами наклонения эклиптики (O-циклы) и фазами совмещения разнопорядковых циклов Миланковича. В частности, во время последнего на данный момент цикла прецессии — P_{129}, отвечающего относительному потеплению климата виден отрица-

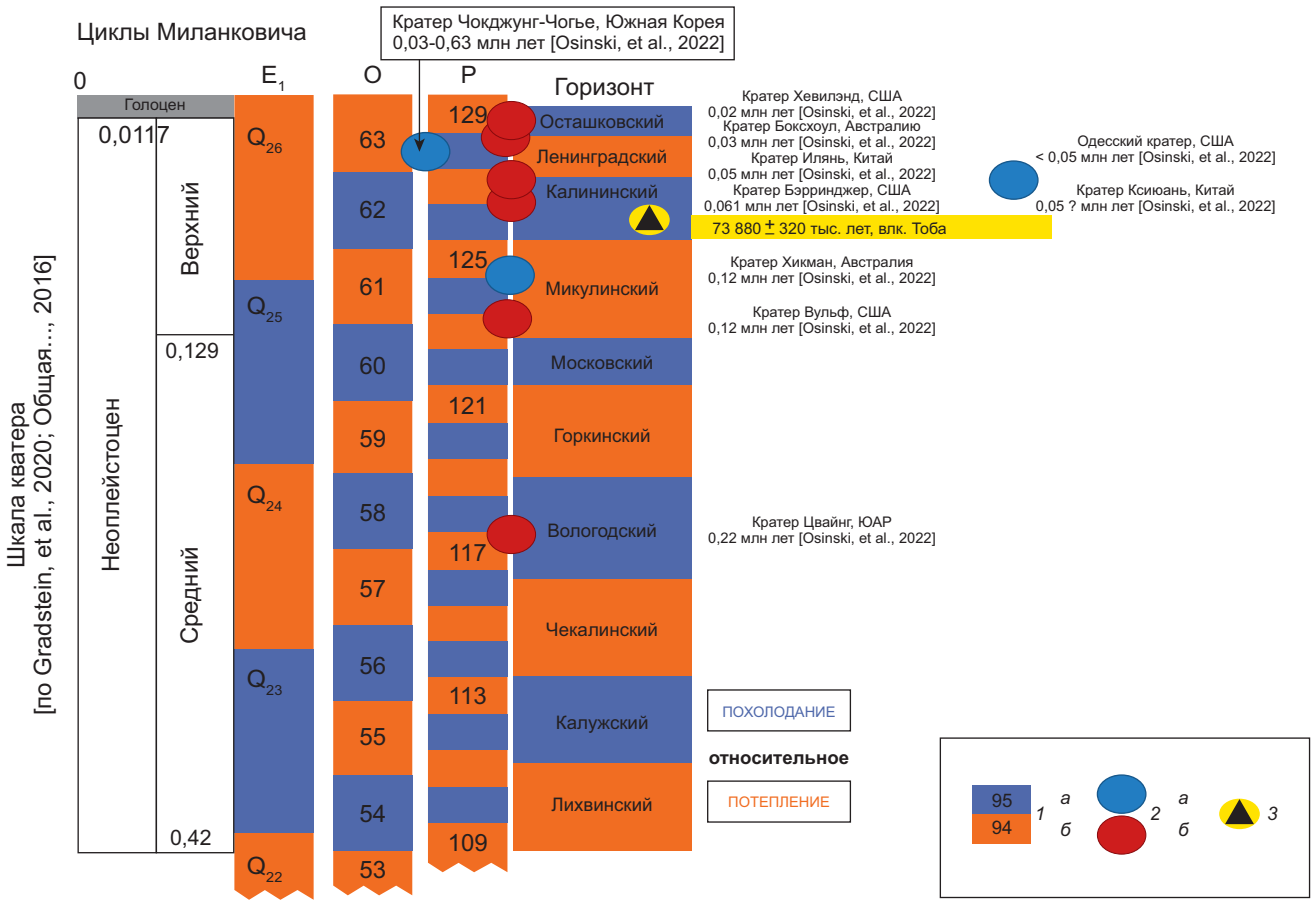

Рис. 3. Циклостратиграфическая (астрохронологическая) и событийная корреляционная стратиграфическая схема для неоплейстоцен-голоценовых отложений. Условные обозначения: *1* — циклы Миланковича (сокращения: E_1 — эксцентриситета орбиты Земли первого порядка, О — циклы наклонения эклиптики, Р — циклы прецессии оси вращения) и их номер по циклостратиграфической шкале [Габдуллин, 2023а] (*а* — совпадающие с фазами относительного потепления климата, *б* — относительного похолодания климата); *2* — импактные события — ударные кратеры, астроблемы (*а* — время события датировано точно, *б* — время события датировано неточно); *3* — вулканическое событие — извержение вулкана Тоба в Индонезии

тельный экскурс на кривых $\delta^{18}O$. По разрезу пещеры Ченгфадэ в КНДР имеются данные по среднегодовой температуре (MAT) и влажности, флуктуации которых хорошо сопоставляются с циклостратиграфической шкалой (циклами прецессии, наклонения эклиптики и эксцентриситета и их границам, в частности границе циклов эксцентриситета Q_{25} и Q_{26}), фазами их совмещения, границами горизонтов, отвечающих интервалам относительного потепления и похолодания (например, микулинского и калининского), геологическими событиями — к примеру, фиксируется относительное похолодание климата после извержения вулкана Тоба в Индонезии (около 74 тыс. лет назад) и падения метеорита в кратер Бэрринджер в Аризоне, США (около 50 тыс. лет назад).

Импактные события и фазы совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета. При анализе хронологического распределения импактных структур установлено, что часть из них совпадает по времени с фазами совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета Земли. Например (рис. 1), возраст кратера Амгайд в Алжире оценивается [здесь и далее по Osinski, et al., 2022] 0,01–0,1 млн лет назад, что коррелирует со временем совмещения трех разнопорядковых циклов (Q_{26}). Возраст астроблемы Калккоп (ЮАР) оценивается около 0,25 млн лет назад, что коррелирует со временем совмещения трех разнопорядковых циклов (Q_{24}), астроблемы Пантазма в Никарагуа — в 0,815 млн лет назад, что, свою очередь коррелирует со временем совмещения трех разнопорядковых циклов (Q_{18}), а кратер Ботсумви в Гане с возрастом около 1,13 млн лет назад — со временем совмещения трех разнопорядковых циклов (Q_{16}). Астроблемы Лонар в Индии (0,576 млн лет назад) и Монтураки в Чили (0,663 млн лет назад) коррелируют со временем совпадения двух разнопорядковых циклов эксцентриситета (Q_{21}). Кратер Нью-Квебек в Канаде возрастом около 1,4 млн лет назад отвечает времени совмещения трех разнопорядковых циклов (Q_{13}). Возраст астроблемы Гайавата в Гренландии оценивается в интервале 2,6–0,01 млн лет и он может отвечать времени совмещения трех разнопорядковых циклов (Q_3 или Q_5). Кратер Ауеллул в Мавритании с возрастом около 31 млн лет назад коррелируют со временем совпадения двух разнопорядковых циклов эксцентриситета (P_{21}).

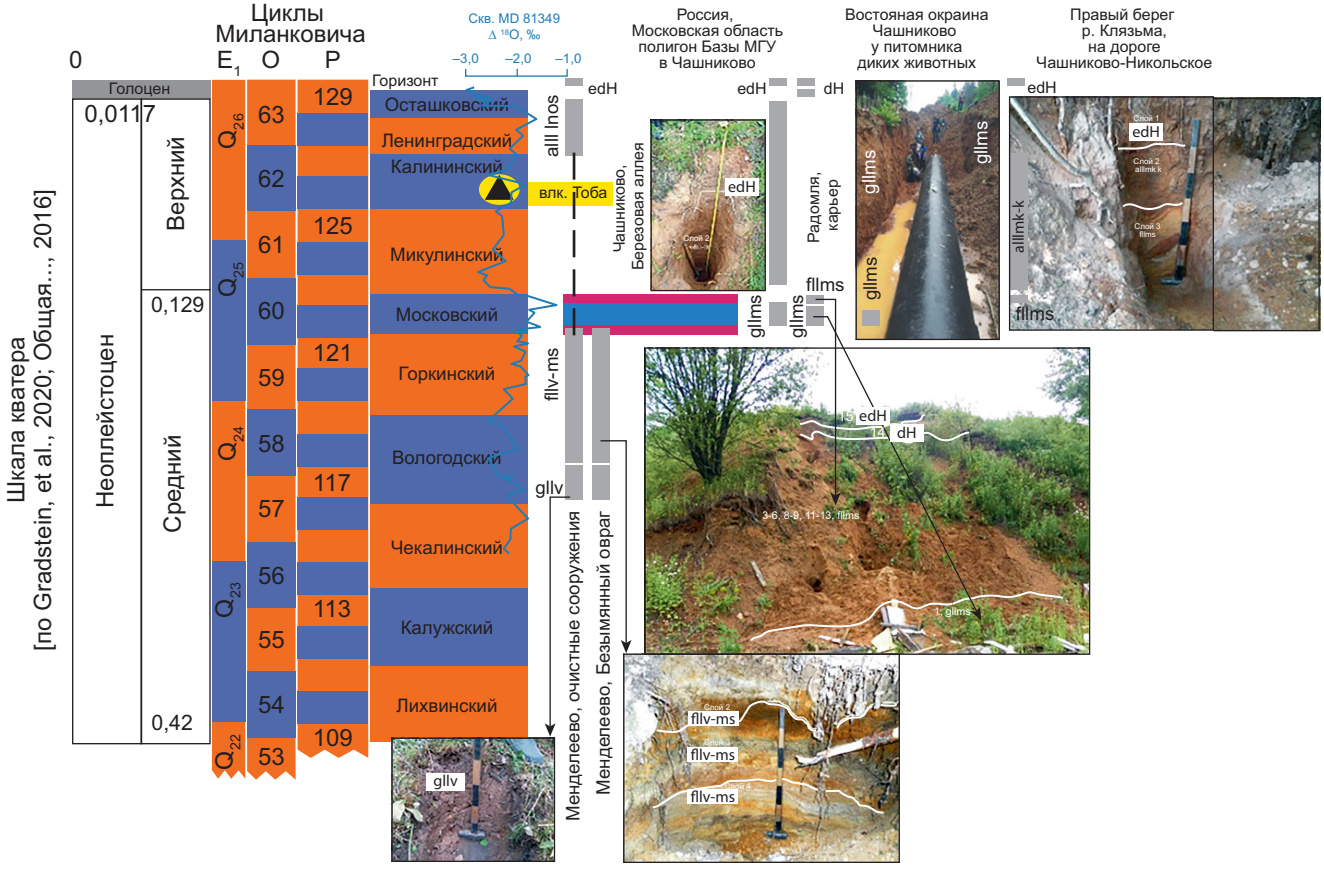

Рис. 4. Циклостратиграфическая (астрохронологическая) и событийная корреляционная стратиграфическая схема для разрезов неоплейстоцен-голоценовых отложений северной части Московской синеклизы. Условные обозначения и сокращения приведены на рис. 1–3. *Примечание*: для московского горизонта выделены этапы относительного потепления (красная полоса) и похолодания (синяя полоса) климата

На рис. 3 показаны импактные события в диапазоне среднего и позднего неоплейстоцена — в частности в США астроблема Хэвиленд (возраст 0,02 млн лет, здесь и далее по [Osinski, et al., 2022]), кратер Бэрринджер (возраст 0,061 млн лет), Вулф Крик (возраст 0,12 млн лет), а также кратер Цвайнг в ЮАР (возраст 0,22 млн лет), которые совпадают со времен смены циклов прецессии, Хэвиленд — со временем совмещения циклов прецессии, наклонения эклиптики и эксцентриситета, а Цвайнг — со временем совпадения циклов прецессии и наклонения эклиптики. Астроблемы Боксхоул в Австралии (возраст 0,03 млн лет) и Ильянь в Китае (возраст 0,05 млн лет) близки по своему времени образования к границам циклов прецессии. Ряд кратеров, например, Ксиюань в Китае (возраст 0,05–5 млн лет), Одесский кратер в США (возраст <0,05 млн лет) и кратер Чокджунг-Чогье в Южной Корее (возраст 0,03–0,63 млн лет) не имеют точных датировок времени своего образования и могут соответствовать времени границ циклов прецессии или совпадения разных циклов Миланковича (прецессии, наклонения эклиптики и эксцентриситета).

Практическое приложение полученных результатов при проведении учебной практики по геологии. На рис. 4 показана хроностратиграфическая привязка ряда разрезов четвертичных отложений из окрестностей деревни Чашниково Солнечногорского городского округа Московской области, где на базе Московского университета проводится практика по геологии для студентов факультета почвоведения [Габдуллин, 2023б; Панина, Зайцев, 2022]. Такая хроностратиграфическая привязка этих разрезов сделана впервые. Для более детальной привязки была использована циклостратиграфическая шкала и кривая содержания $\delta^{18}O$ [Ping, et al., 2023]. В частности, хроностратиграфически привязаны разрезы в окрестностях Менделеево в безымянном овраге и над очистными сооружениями. В них вскрываются коричневые суглинки и глины вологодского горизонта (gIIv) ледникового генезиса, которые несогласно перекрываются пестро окрашенными в разной степени сортированными (степень сортировки увеличивается вверх по разрезу) разнозернистыми песками с подчиненными прослоями супесей и суглинков вологодского-московского горизонтов (fIIv-ms) водно-ледникового генезиса. Выше — в разрезе у очистных сооружений обнажаются хорошо сортированные пески ленинградско-осташковского горизонтов (aIIIln-os) первой надпойменной террасы (аллювиального генезиса). Почти повсеместно сверху развиты отложения почвенного слоя (edH).

Также был изучен разрез в заброшенном карьере у села Радомля, в котором вскрываются ледниковые

Рис. 5. Фрагмент экспозиционного пространства на пятом этаже главного здания Московского университета, посвященный геологической истории Земли и подготовленный сотрудниками и студентами кафедры региональной геологии и истории Земли

отложения московского горизонта, представленные кирпично-красными суглинками (gIIms), несогласно перекрытые водно-ледниковыми пестро окрашенными в разной степени сортированными разнозернистыми (степень сортировки увеличивается вверх по разрезу) песками московского горизонта (fIIms). Выше залегают супеси делювиального генезиса (dH). Хороший разрез ледниковых суглинков московского горизонта (gIIms) непродолжительное время было возможно наблюдать в ходе прокладки трубопровода в одной из траншей на восточной окраине деревни Чашниково у питомника (центра реабилитации) диких животных. Разрез хорошо сортированных песков второй надпойменной террасы (аллювиального генезиса) микулинско-калининского горизонтов (aIIImk-k) изучен на правом берегу реки Клязьмы на грунтовой дороге Чашниково — Никольское. Они несогласно залегают на неравномерно зернистых, плохо сортированных песках московского горизонта (fIIms) водно-ледникового генезиса. В окрестностях базы Московского университета на северной окраине деревни Чашниково на березовой аллее в серии шурфов вскрывается разрез покровных суглинков (vdII-III) среднего-верхнего неоплейстоцена.

С использованием циклостратиграфической шкалы и кривой вариации содержания $\delta^{18}O$ [Ping, et al., 2023], на которой по экскурсам можно выделить моменты относительного потепления климата, отвечающие межледниковью и относительного похолодания, соответствующие оледенению, удалось уточнить положение разрезов этих отложений московского горизонта относительно шкалы времени, а также впервые привязать все упомянутые разрезы к циклохроностратиграфической шкале.

Сама практика по геологии у студентов факультета почвоведения является междисциплинарной, а ее экологический аспект — осмыслением научного наследия В.И. Вернадского [Габдуллин, 2023б].

Использование музейного пространства для проведения исследования и внедрение результатов работ при подготовке экспозиций. При проведении исследования были использованы материалы экспозиционного пространства кафедры региональной геологии и истории Земли и музея Землеведения.

В рекреации пятого этажа главного здания Московского университета имени М.В. Ломоносова студентами и сотрудниками кафедры региональной геологии и истории Земли подготовлены витрины, экспонирующие геологическую историю развития Земли (рис. 5).

Специфика новейшего этапа развития Земли и жизни на ней, охватывающего плиоцен-четвертичное время, обширно представлена в Музее землеведения МГУ комплексом соответствующих стендов и витрин в синтезе с собранием специально изготовленных тематических живописных и скульптурных произведений. При этом основную ценность составляет фонд обширных коллекций четвертичной фауны, моренных материалов и т.д., собранных как посредством специально организованных экспедиций, так и переданных музею организациями и частными лицами [Вернадизм…, 2023; Иванов и др., 2023].

В порядке модернизации экспозиции возможно предложить внедрение полученных новых данных в музейном пространстве: разработку адаптированной версии хроно- и магнитостратиграфической шкалы в синтезе с циклостратиграфическими (астрохронологическими) построениями и частотностью импактных событий для новейшего этапа эволюции Земли и экосистем, схематизированную модельную реконструкцию ритмичности «климатической машины» планеты с отражением опасных глобальных природных процессов и др. Вариации представления могут быть от классического стенда до интерактивной цифровой версии с обязательным сопровождением расположенным в непосредственной близости натурным материалом на витринах и подиумах. Возможны оригинальные пространственные музейные решения по примеру апробированной ранее авторами идеи создания «Микропарка ледникового периода» под открытым небом в кампусе университета как элемента НОЦ «Музей естествознания» Саратовского ГТУ [Иванов и др., 2019].

Отдельной задачей может позиционироваться разработка специальных коллекций по научно-образовательному полигону МГУ «Чашниково» с отражением новейших представлений. Знакомство студентов с такими определенным образом подобранными эмпирическими материалами может в перспективе стать необходимой стадией подготовки к их непосредственным работам на местности в режиме учебной практики.

Наиболее эффективно эти во многом экспериментальные новации можно воплотить с помощью начинающих исследователей в рамках проекта «Мо-

лодежный музей», а в качестве пилотной площадки рассматривать зал Восточно-Европейской равнины.

Полученные научные данные будут использованы также при подготовке экспозиционного пространства Университетской гимназии МГУ.

В настоящее время в Московском университете развивается проект по созданию «Молодежного музея» как системы экспериментальных исследовательских площадок, в формате которых могут реализовать свои научно-творческие потенции в кооперации начинающие ученые и их зрелые наставники. Особое внимание в этой связи будет обращено на тематику развития региональных и глобальных систем и процессов в плейстоценовое время как яркий показательный во многих отношениях этап эволюции Земли, жизни и зачатков человечества. Для достижения этой цели на площадке Университетской гимназии МГУ возможно предложить ряд наиболее выразительных и актуальных тематик, практически связанных с глобальной безопасностью общепланетарного социума: климатические изменения и роль криосферы (оледенения, колебания уровня океана и внутренних водоемов на примере Каспия), связь каскадов импактных событий с циклами Миланковича и других. Отдельной задачей является разработка в «Молодежном музее» материалов с новыми данными по научно-образовательному полигону МГУ «Чашниково».

Заключение. Впервые методологически апробирован метод высокоточной циклостратиграфической корреляции на аэральных разрезах отложений четвертичной системы и плиоцена с акцентом на разнопорядковые циклы эксцентриситета орбиты Земли и другие циклы Миланковича — наклонения эклиптики и прецессии оси вращения, что дает возможность высокоточной корреляции внутри континентальных отложений, а также несет потенциал для уточнения и дополнение палеоклиматической летописи в приложении к изучению поведения геосистем в условиях глобальных климатических изменений.

Определены корреляционные маркеры для высокоточной планетарной корреляции осадков четвертичной системы. Ими выступают этапы относительного потепления климата — Q_{26}, Q_{24} и Q_{16} и относительного похолодания — Q_{13}, Q_5 и Q_3, которые соответствуют фазам совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета орбиты Земли, а также моменты совмещения разных циклов Миланковича (эксцентриситета первого порядка, наклонения эклиптики и прецессии) — P_{129}, P_{125}, P_{119}, P_{117}, P_{109}, отвечающие моментам относительного потепления климата, и P_{122}, P_{114} и P_{108} — фазам относительного похолодания климата (рис. 3). При этом фазы P_{129}, P_{125}, P_{117} маркированы импактными событиями.

При анализе хронологического распределения импактных структур установлено, что большая часть из них совпадает по времени своего образования с фазами совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета Земли или с моментами совмещения разных циклов Миланковича — прецессии, наклонения эклиптики и эксцентриситета, маркируя тем самым эти рубежные моменты геологической истории.

Вариации содержания $\delta^{18}O$ и $CaCO_3$, а также летней температуры поверхностных вод (SLST°C), среднегодовой температуры (MAT°C), температуры поверхности суши (LST°C, TEX_{86}SST), сукцессии растительности и климата и относительные вариации температуры и влажности хорошо коррелируют с циклостратиграфической шкалой, с фазами совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета, а также с извержением вулкана Тоба в Индонезии.

С использованием циклостратиграфической шкалы и кривой вариации содержания $\delta^{18}O$ удалось впервые провести привязку разрезов четвертичных отложений к хроностратиграфической и циклостратиграфической шкалам времени, а также уточнить положение разрезов отложений московского горизонта относительно шкалы времени.

Результаты исследования использованы при проведении учебной практики по геологии в Чашниково, а также могут быть применены при расчленении, региональной и глобальной корреляции разрезов, при проведении геологической съемки, создании циклостратиграфических шкал равнинных и горных областей Евразии, а также при дальнейшем развитии экспозиционного пространства музеев.

При проведении исследования были использованы материалы экспозиционного пространства кафедры региональной геологии и истории Земли и музея Землеведения. Полученные научные данные также будут использованы при подготовке экспозиционного пространства Университетской гимназии МГУ.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Программы развития МГУ, проект № 23-Ш02-17 «Разработка основ создания, функционирования и развития комплексного научно-просветительского университетского молодежного музея на примере МГУ имени М.В. Ломоносова». Проект реализуется в рамках НОШ МГУ (Ш02): Междисциплинарная научно-образовательная школа «Сохранение мирового культурно-исторического наследия». Участие С.И. Меренковой осуществлялось в рамках темы государственного задания ИО РАН FMWE-2024-0020, участие К.В. Сыромятникова — при финансовой поддержке госзадания ГЕОХИ РАН, участие Н.В. Бадулиной — в рамках темы государственного задания №АААА-А16-116033010119-4 «Геодинамика полярных и приполярных областей Российской Федерации», участие А.В. Иванова осуществлялось при финансовой поддержке государственных заданий Музея землеведения МГУ № АААА-А16-116042010089-2 «Биосферные функции экосистем, их компонентов и рациональное природопользование» (научный руководитель,

проф. А.В. Смуров) и № АААА-А16-116042710030-7 «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 FMWS-2024-0007 (1021051703468-8) «Биотические, географо-гидрологические и ландшафтные оценки окружающей среды для создания основ рационального природопользования», научный руководитель член-корр. РАН А.А. Тишков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Вернадизм в современном университете. Опыт мобильно-сетевых научно-просветительских проектов / А.В. Иванов, А.В. Козачек, В.Е. Бредихин, С.А. Струлев, Н.Е. Беспалько, Ю.М. Батурин, И.А. Воликова, Е.Е. Захаров, Н.Н. Колотилова, М.Н. Краснянский, Н.В. Молоткова, Д.Ю. Муромцев, В.В. Снакин, А.В. Сузюмов, А.А. Тишков, И.А. Яшков / Под ред. А.В. Иванова, А.В. Козачека. М.; Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. 200 с. (Бюллетень Секции В.И. Вернадского Комиссии Российской академии наук по изучению научного наследия выдающихся ученых. Т. 1).

Габдуллин Р.Р. Высокоточная циклическая корреляция разрезов фанерозоя Северной Евразии как основа для актуальных палеогеографических и палеоклиматических реконструкций: Дисс. ... докт. геол.-минерал. наук. М., 2023а. 550 с.

Габдуллин Р.Р. Наследие В.И. Вернадского в области почвоведения и геологии при проведении учебной практики на базе МГУ в Чашниково // Ноосфера. 2023б. № 1. С. 182–187.

Габдуллин Р.Р., Сыромятников К.В., Бадулина Н.В. и др. Высокоточная циклическая корреляция как основа детальных палеоклиматических реконструкций для четвертичного времени // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 3. С. 33–41.

Иванов А.В., Смуров А.В., Снакин В.В. и др. Музейная выставка «Живое вещество в геосферах» к 160-летию со дня рождения В.И. Вернадского // Жизнь Земли. 2023. Т. 45, № 3. С. 441–461. DOI: 10.29003/m3560.0514-7468.2023_45_3/441-461.

Иванов А.В., Яшков И.А., Романова Е.Г. Музей естествознания Гагаринского университета. Краткий альбом-путеводитель. Саратов: СГТУ имени Ю.А. Гагарина, 2019. 77 с.

Молодьков А.Н., Болиховская Н.С. Климато-хроностратиграфическая схема неоплейстоцена Северной Евразии // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. 2011. Вып. 3. С. 44–77.

Общая стратиграфическая шкала и методические проблемы разработки региональных стратиграфических шкал России. Материалы Межведомственного рабочего совещания. Санкт-Петербург, 17–20 октября 2016 г. СПб.: ВСЕГЕИ, 2016. 196 с.

Панина Л.В., Зайцев В.А. Учебно-методическое пособие по проведению геолого-геоморфологической практики в районе Чашниковской впадины (геология, геоморфология и современные геологические процессы). М.: Перо, 2022. 154 с.

Gradstein F.M., Ogg J.G., Schmitz M., Ogg G. Geologic Time Scale. 2020. eBook ISBN: 9780128243619.

Hongxuan L., Weiguo L., Hong Y., et al. Decoupled Land and Ocean Temperature Trends in the Early-Middle Pleistocene // Geophysical Research Letters. 2023. Vol. 49. DOI: 10.1029/2022GL099520.

James S., Chandran S.R., Santosh M., et al. Meteorite impact craters as hotspots for mineral resources and energy fuels: A global review // Energy Geoscience. 2022. Vol. 3, No. 2. P. 136–146.

Jin L., Ganopolski A., Willeit M., et al. Decoupled orbital-scale variability of late Pleistocene-Holocene monsoonal circulation and rainfall in East Asia // Science Bulletin. 2023. Vol. 68, Iss. 9. P. 897–901.

Kim S.Ch., Choe R.S., Kim I.N., et al. Late Pleistocene spore-pollen record and climatic change at the Chongphadae Cave Site, Democratic People's Republic of Korea // Journal of Palaeogeography. 2023. Vol. 12, Iss. 4. P. 624–636.

Marchegiano M., Horne D., Gliozzi E., et al. Rapid Late Pleistocene climate change reconstructed from a lacustrine ostracod record in central Italy (Lake Trasimeno, Umbria) // Boreas. 2020. Vol. 49. P. e10.1111/bor.12450.

Osinski G.R., Grieve R.A.F., Ferrière L., et al. Impact Earth: A review of the terrestrial impact record // Earth-Science Reviews. 2022. Vol. 232. P. e104112.

Phartiyal B., Nag D. Sedimentation, tectonics and climate in Ladakh, NW Trans-Himalaya-with a special reference to Late Quaternary Period // Geosystems and Geoenvironment. 2022. Vol. 1. Iss. 4. P. e100031.

Ping Z., Haisheng L., Shengli H., et al. Marine Calcareous Biological Ooze Thermoluminescence and Its Application for Paleoclimate Change since the Middle Pleistocene // Water. 2023. Vol. 15. P. e2618.

Schwarz F., Salzmann U., Cheng F., et al. High altitude Pliocene to Pleistocene vegetation and climate change of the Kunlun Pass Basin, NE Tibetan Plateau // Global and Planetary Change. 2023. Vol. 223. P e104078.

Sirenko O. Changes in Pleistocene vegetation and climate of Ukraine in the range of 1.8–0.4 million years // Journal of Geology, Geography and Geoecology. 2019. Vol. 28, Iss. 2. P. 355–366.

Temovski M., Wieser A., Marchhart O., et al. Pleistocene valley incision, landscape evolution and inferred tectonic uplift in the central parts of the Balkan Peninsula — Insights from the geochronology of cave deposits in the lower part of Crna Reka basin (N. Macedonia) // Geomorphology. 2024. Vol. 445. P. e108994.

Zupan Hajna N., Mihevc A., Bosák P., et al. Pliocene to Holocene chronostratigraphy and palaeoenvironmental records from cave sediments: Račiška pečina section (SW Slovenia) // Quaternary International. 2021. Vol. 605–606. P. 5–24.

Статья поступила в редакцию 10.05.2024,
одобрена после рецензирования 03.06.2024,
принята к публикации 18.08.2024