

УДК 551.79

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-6-61-71

## АСТРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕПЕРЫ СТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ДЛЯ НЕОГЕН-ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Руслан Рустемович Габдуллин<sup>1✉</sup>, Наталья Викторовна Бадулина<sup>2</sup>,  
Алексей Викторович Иванов<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; nvbadulina@mail.ru, IRID 427730

<sup>3</sup> Институт географии РАН, Москва, Россия; 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>

**Аннотация.** Проведена астрохронологическая (циклостратиграфическая) привязка литолого-геохимической характеристики неоген-четвертичных отложений разрезов к циклам Миланковича (эксцентриситета, наклонения эклиптики, прецессии), дан анализ связи установленных вариаций климата и палеотемпературы с моментами совпадения разных циклов Миланковича, определен возможный предел метода высокоточной планетарной корреляции. Определены корреляционные маркеры для метода высокоточной планетарной корреляции осадков четвертичной системы. Астроклиматическими маркерами (реперами) для расчленения и корреляции разрезов возможно считать следы в осадочной последовательности фаз совмещения разных циклов Миланковича, генерирующие изменения климата, а также импактные события, коррелирующие с фазами совмещения разных циклов Миланковича. 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. Предложена модель, объясняющая корреляцию между фазами совмещения разных циклов Миланковича и эпизодами импактных событий. При исследовании использованы материалы музея землеведения Московского университета.

**Ключевые слова:** циклическая корреляция, событийная стратиграфия, литология, геохимия, палеоклиматология, четвертичный период, неогеновый период, циклы Миланковича, межзвездный астероид 11/Оумуамуа, межзвездная комета 2S/Борисов

**Для цитирования:** Габдуллин Р.Р., Бадулина Н.В., Иванов А.В. Астроклиматические реперы стратиграфической корреляции для неоген-четвертичных отложений // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 6. С. 61–71.

## ASTROCLIMATIC BENCHMARKS OF STRATIGRAPHIC CORRELATION FOR NEOGENE-QUATERNARY DEPOSITS

Ruslan R. Gabdullin<sup>1✉</sup>, Natalya V. Badulina<sup>2</sup>, Aleksey V. Ivanov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; gabdullin@fgp.msu.ru ✉

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; nvbadulina@mail.ru

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University; Institute of Geography RAS, Moscow; Tambov State Technical University, Tambov, Russia; yashkovia@mail.ru

**Abstract.** An astrochronological (cyclostratigraphic) binding of the lithological and geochemical characteristics of the Neogene-Quaternary sediments of the sections to the Milankovich cycles (eccentricity, inclination of the ecliptic, precession) was carried out, an analysis of the relationship between the established variations of climate and paleotemperature with the moments of coincidence of different Milankovich cycles was given, a possible limit of the method of high-precision planetary correlation was determined. Correlation markers for the method of high-precision planetary correlation of precipitation of the Quaternary system have been determined. Astroclimatic markers (benchmarks) for dissection and correlation of sections can be considered traces in the sedimentary sequence of phases of combination of different Milankovich cycles, generating climate changes, as well as impact events correlating with phases of combination of different Milankovich cycles. When analyzing the chronological distribution of impact structures, it was found that most of them coincide in time of their formation with the phases of combining different cycles of the Earth's eccentricity or with the moments of combining different Milankovich cycles — precession, obliquity of the ecliptic and eccentricity, thereby marking these milestones in geological history. Gabdullin R.R. proposed a model explaining the correlation between the phases of combining different Milankovich cycles and episodes of impact events. The materials of the Museum of Earth Science of Moscow University were used in the study.

**Keywords:** cyclic correlation, event stratigraphy, lithology, geochemistry, paleoclimatology, Quaternary period, Neogene period, Milankovich cycles, interstellar asteroid 1I/Oumuamua, interstellar comet 2S/Borisov

**For citation:** Gabdullin R.R., Badulina N.V., Ivanov A.V. Astroclimatic benchmarks of stratigraphic correlation for Neogene-Quaternary deposits. *Moscow University Geol. Bull.* 2024; 6: 61–71. (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, 2024б], а затем — 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 [Габдуллин, 2024а]. 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 [Габдуллин, 2024а]. В частности, впервые удалось привязать эти разрезы к хроностратиграфической шкале, уточнив положение отложений московского горизонта циклостратиграфическим методом, были получены интересные в ходе анализа связи импактных событий и фаз совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета или разных типов астрономо-климатических циклов — прецессии, наклона эклиптики и эксцентриситета [Габдуллин, 2024а].

В данной работе приведены результаты дальнейшей детализации геологической истории неоген-четвертичного времени с использованием не только циклостратиграфической шкалы, но и импактных событий. Габдуллиным Р.Р. предложена модель, которая может объяснять механизм гравитационного воздействия на астероиды и метеориты из пояса астероидов и на кометы из пояса Копейра, приводящие к изменению их орбитальных параметров и их возможному падению на Землю и другие планеты Солнечной системы.

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

Исследование состояло из следующих подходов: 1) создание базы данных геохимических и седименто-

логических параметров для неоген-четвертичных отложений на основе опубликованных и архивных данных; 2) создание базы данных для континентальных неоген-четвертичных отложений Евразии в том числе с использованием результатов полевых наблюдений на разрезах четвертичных отложений в северной части Московской синеклизы в ходе полевых работ 2024 г.; 3) сравнительно-стратиграфический анализ и корреляция между глобальными и региональными палеособытиями; 4) выявление характерных особенностей седиментологических систем с акцентом на вариации климата с применением метода высокоточной планетарной и импактных событий с использованием метода событийной корреляции.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Основные результаты исследования включают создание и апробацию циклостратиграфической (астрохронологической) шкалы для неоген-четвертичных отложений, выявления уровней для высокоточной планетарной корреляции с использованием циклов Миланковича и импактных событий.

В ходе диссертационного исследования [Габдуллин, 2023а] были установлены фазы изменения орбитальных параметров Земли — совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета орбиты нашей планеты и связанные с ними моменты относительного потепления или похолодания климата Земли. В частности, в неоген-четвертичном интервале (рис. 1) зафиксированы четыре такие фазы: первая, на границе бурдигальского и лангийского веков (68-й цикл эксцентриситета третьего порядка —  $E_3^{68}$ ), вторая и третья — в позднем тортоне (70-й и 71-й циклы эксцентриситета третьего порядка —  $E_3^{70}$  и  $E_3^{71}$ ), четвертая — в среднем-позднем плейстоцене ( $E_3^{74}$ ). Первые две фазы отвечают времени относительного потепления климата, а третья и четвертая — моментам относительного похолодания. С фазами изменения орбитальных параметров Земли коррелируют импактные события — ударные кратеры Нёрдлингенский Рис и Штайнхем в Германии (первая фаза,  $E_3^{68}$ ), ударный кратер Бигач в Казахстане ( $E_3^{70}$  и  $E_3^{71}$ ), ударный кратер Ботсумви в Гане ( $E_3^{74}$ ).

Рассмотрим характер вариации палеотемператур на сводных кривых, составленных [Габдуллин, 2023а] для глубоководных и мелководных участков эпиконтинентальных морей, а также характер флуктуаций среднегодовых температур (MAT) для разрезов низких и высоких широт Северного полушария Земли. На рис. 2 показаны палеотемпературные тренды для неогенового времени в западном и центральном Средиземноморье (Иберийский полуостров, Аквитанская впадина и Кавказ). Наиболее полная палеотемпературная запись имеется для

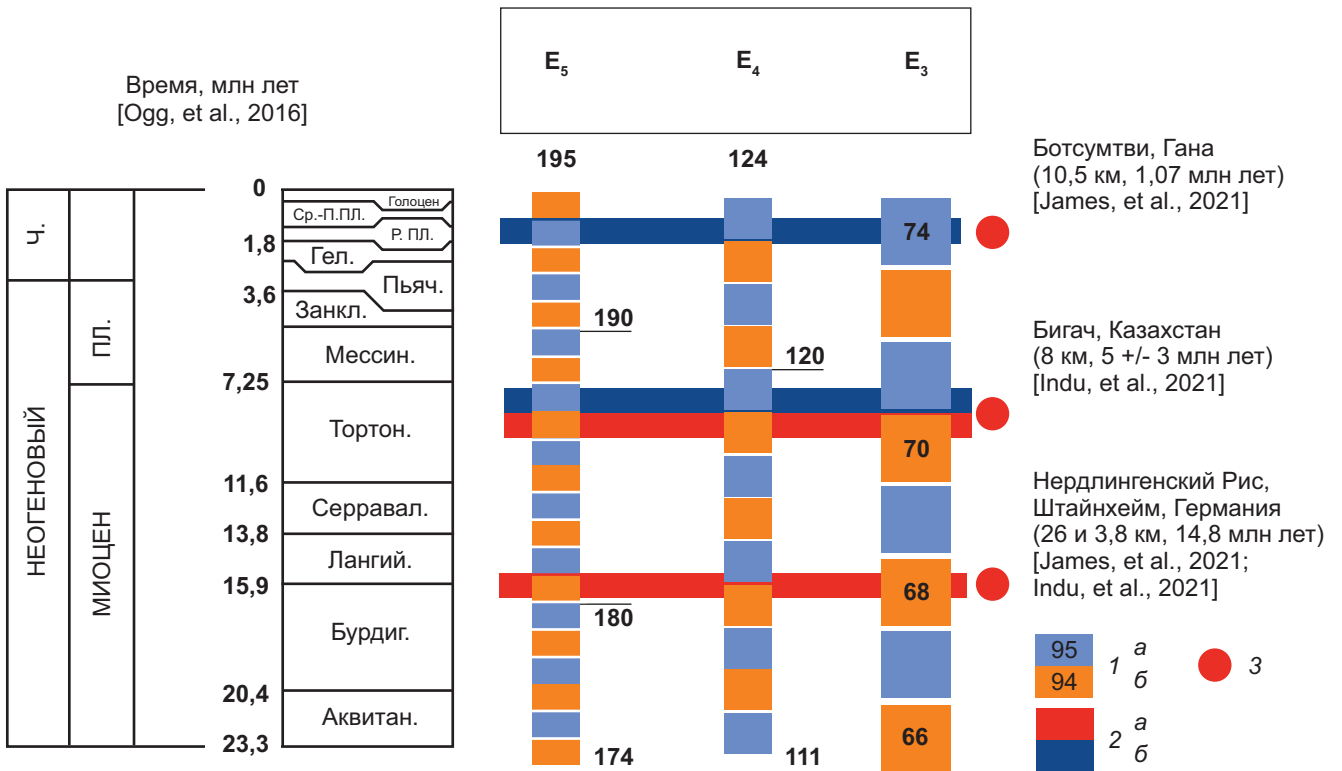


Рис. 1. Фрагмент циклостратиграфической шкалы для неоген-четвертичного времени: 1 — циклы эксцентриситета орбиты Земли и их номер по циклостратиграфической шкале [Габдуллин, 2023а] (а — совпадающие с фазами относительного потепления климата, б — относительного похолодания климата); 2 — фаза совпадения (совмещения) разнопорядковых циклов эксцентриситета (а — отвечающие фазам относительного потепления климата, б — отвечающие фазам относительного похолодания климата); 3 — импактные события — ударные кратеры, астроблемы

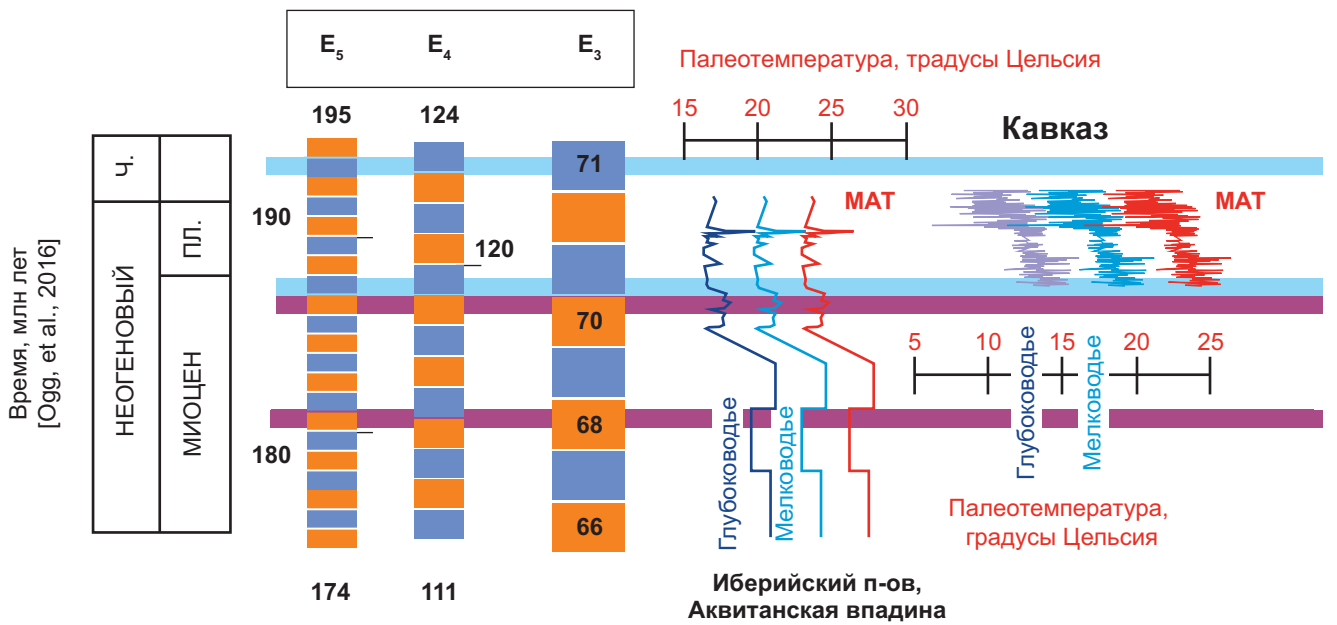


Рис. 2. Схема корреляции фрагмента циклостратиграфической шкалы и сводных палеотемпературных кривых для Иберийского полуострова, Аквитанской впадины и Кавказа для неоген-четвертичного времени. Сокращения: МАТ — среднегодовая температура

района Иберийского полуострова и Аквитанской впадины. На ней для позднего миоцена видна хорошая корреляция изменения тренда температур для второй и третьей фаз совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета, также в целом вариации палеотемпературных кривых совпадают с чередованием относительно теплых и относительно холод-

ных циклов эксцентриситета разного порядка. Для разрезов Кавказа есть только небольшой фрагмент, отвечающий позднемиоцен-раннечетвертичному интервалу геологической истории. Аналогичная корреляция характерна для палеотемпературных кривых, построенных для разрезов низких и высо-

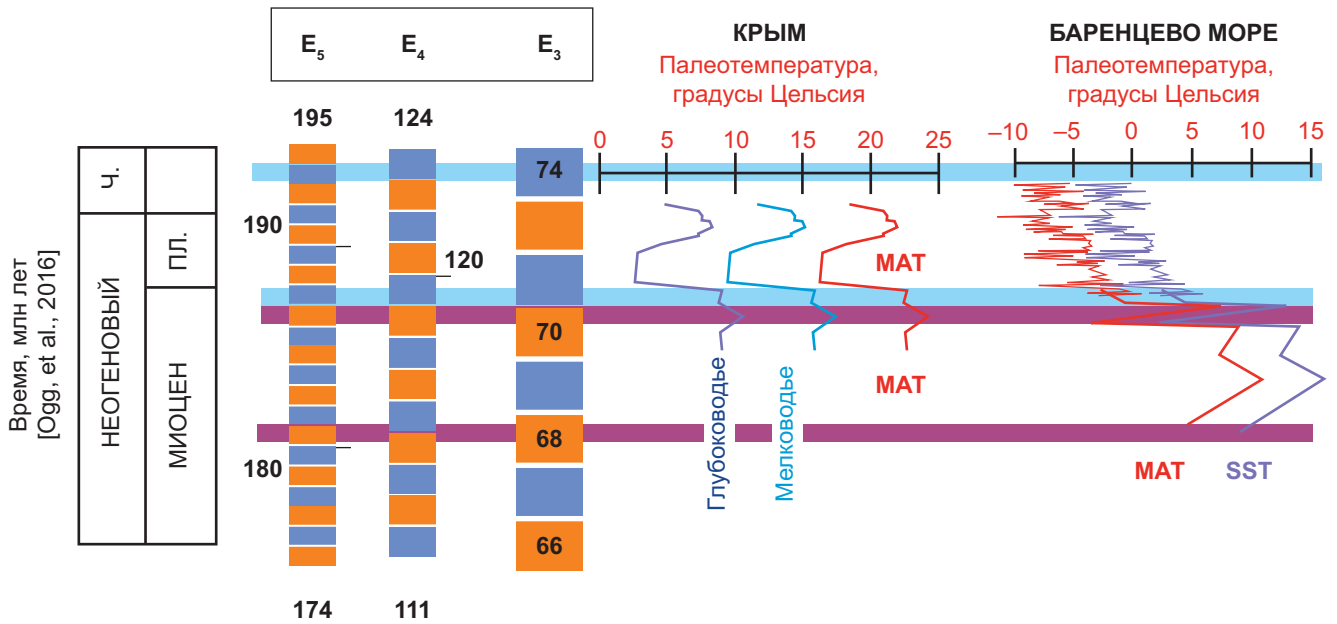


Рис. 3. Схема корреляции фрагмента циклостратиграфической шкалы и сводных палеотемпературных кривых для Крыма и Баренцева моря для неоген-четвертичного времени. Сокращения: MAT — среднегодовая температура, SST — температура поверхностных вод

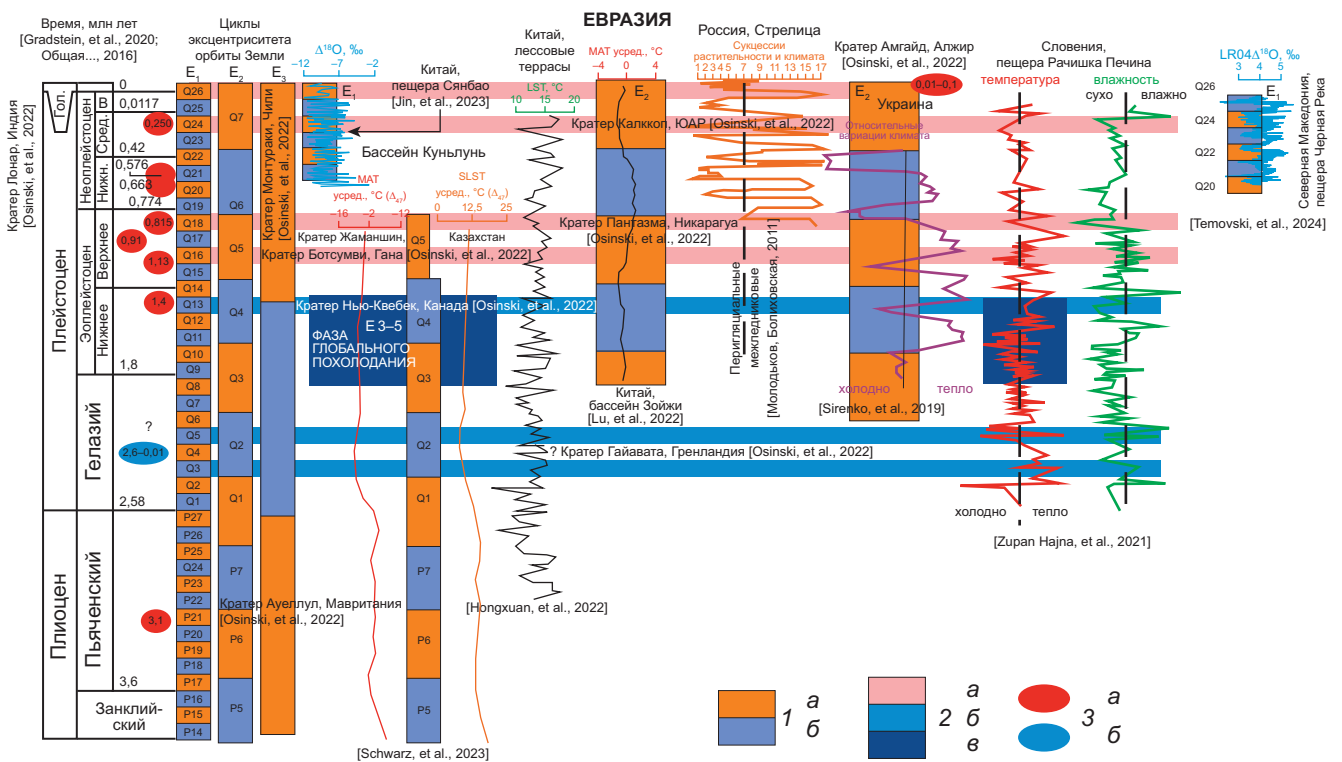


Рис. 4. Циклостратиграфическая (астрохронологическая) корреляционная стратиграфическая схема для плиоцен-четвертичных отложений: 1 — циклы эксцентриситета орбиты Земли и их номер по циклостратиграфической шкале [Габдуллин, 2023а] (а — совпадающие с фазами относительного потепления климата, б — относительного 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).

ких широт, например, Горного Крыма и Баренцева моря соответственно (рис. 3).

На рис. 4 в работе [Габдуллин, 2024а] проанализированы температурные вариации в плиоцен-четвертичных разрезах Евразии. Здесь, в данной

работе этот рисунок приведен с целью демонстрации корреляции вариаций показателей палеотемператур, рассчитанных по геохимическим и другим данным с фазами совмещения циклов эксцентриситета, наклона эклиптики и прецессии оси вращения

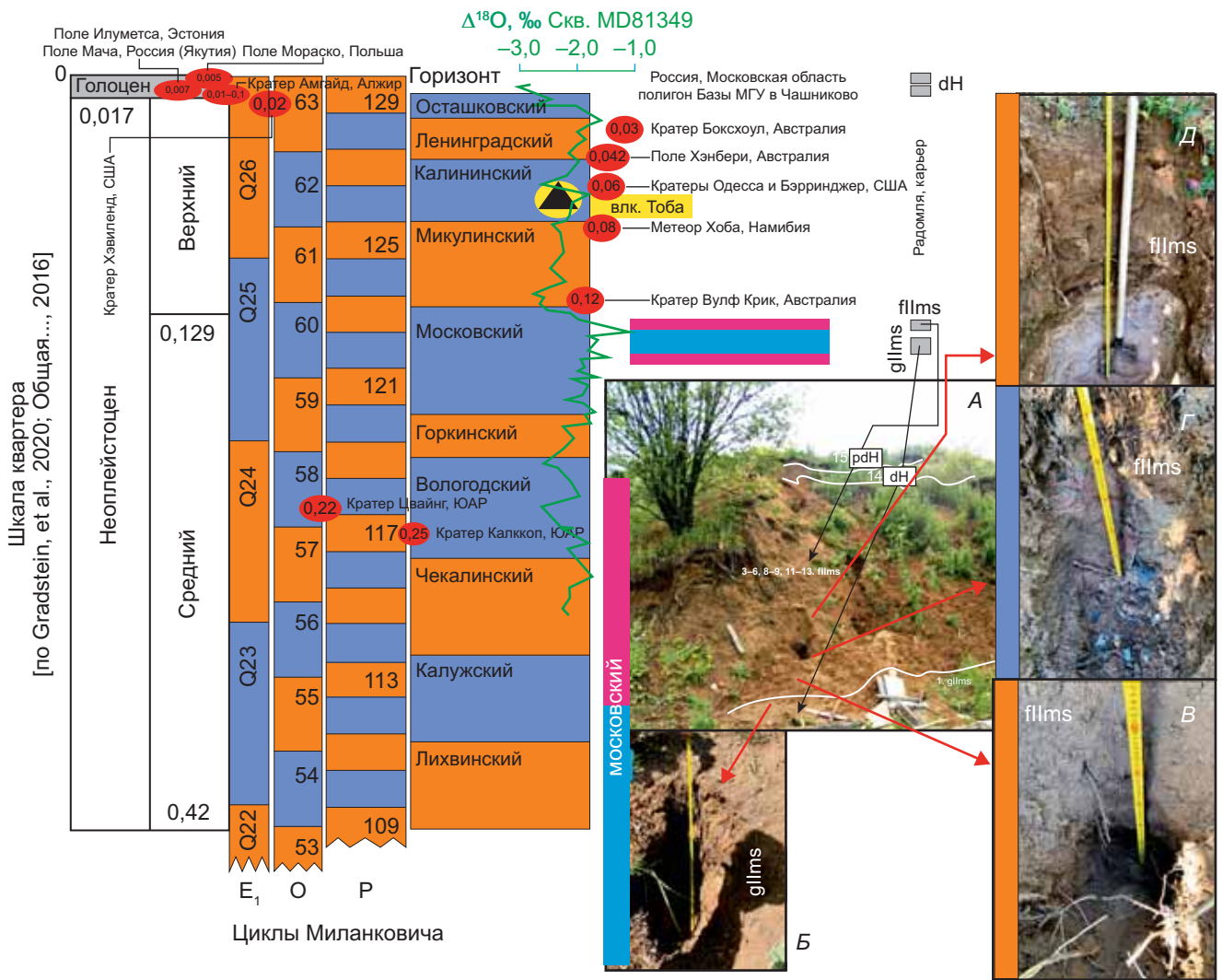


Рис. 5. Хроностратиграфическая привязка и астроклиматические реперы в разрезе заброшенного карьера в селе Радомля Солнечногорского района Московской области: А — ледниковые (gllms), Б — водно-ледниковые (flms) отложения московского горизонта, отложения времени относительного потепления климата (В, Д) и похолодания (Г); пояснение в тексте

Земли (следующий, более детальный, но уже и последний, предельный уровень метода высокоточной циклостратиграфической корреляции — уровень циклов прецессии длительностью около 20 тыс. лет). 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.

**Импактные события и фазы совмещения циклов Миланковича.** При анализе хронологического распределения импактных структур установлено, что часть из них совпадает по времени с фазами совмещения разнопорядковых циклов эксцентриситета Земли. Возраст импактных событий взят из работ [James, et al., 2022; Indu, et al., 2021; Osinski, et al., 2022], для современного времени из работы [Дудоров, Еретнова, 2014] и из открытых источников. Например (рис. 1), ударные кратеры Нёрдлингенский Рис и Штайнхем в Германии (первая фаза,  $E_3^{68}$ ), ударный кратер Бигач в Казахстане ( $E_3^{70}$  и  $E_3^{71}$ ),

ударный кратер Ботсумви в Гане ( $E_3^{74}$ ). Есть и другие закономерности, в частности кратер Амгайд в Алжире коррелирует со временем совмещения трех разнопорядковых циклов ( $Q_{26}$ ), астроблема Калккоп (ЮАР) коррелирует со временем совмещения трех разнопорядковых циклов ( $Q_{24}$ ), астроблема Пантазма в Никарагуа совпадают со временем совмещения трех разнопорядковых циклов ( $Q_{18}$ ), а кратер Ботсумви в Гане — со временем совмещения трех разнопорядковых циклов ( $Q_{16}$ ).

Астроблема Лонар в Индии и Монтураки в Чили совпадают со временем совмещения двух разнопорядковых циклов эксцентриситета ( $Q_{21}$ ), а кратер Нью-Квебек в Канаде — со временем совмещения трех разнопорядковых циклов ( $Q_{13}$ ), астроблема Гайавата в Гренландии может отвечать времени совмещения трех разнопорядковых циклов ( $Q_3$  или  $Q_5$ ) в гелазийское время.

Выявлены закономерности, связанные с моментами совмещения циклов эксцентриситета, наклона эклиптики и прецессии. На рис. 5 показаны импактные события в диапазоне среднего и позднего

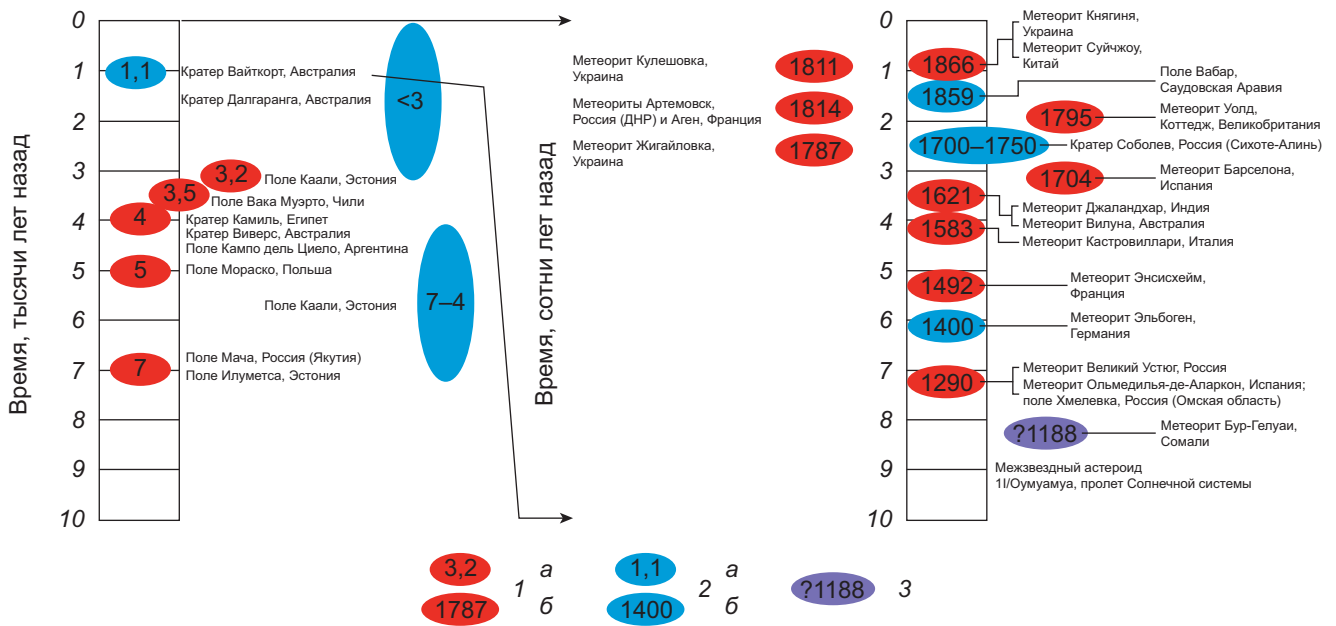


Рис. 6. Примеры импактных событий за последние 10 тысяч лет: 1 — достоверно установленные импактные события, 2 — импактные события с предположительно определенным временем события (а — возраст в тысячах лет, б — возраст в годах), 3 — предположительное время пролета межзвездного астероида 1I/Oumuamua

неоплейстоцена — голоцена. В частности, моменту совмещения трех типов циклов Миланковича (прецессии (P), эклиптики (O) и эксцентриситета (E))  $P_{117}$  отвечают кратеры Калккоп и Цвайнг в ЮАР, а времени  $P_{123}$  — момент образования кратера Вулф Крик в Австралии Хоба в Намибии, времени  $P_{125}$  — момент падения метеорита и Хоба в Намибии, времени  $P_{129}$  — астроблема Хэвиленд (США), ударный кратер Амгайд (Алжир), поле Мача (Россия), поле Илуметса (Эстония), поле Мораско (Польша) и многие другие.

С моментом совпадения двух разных типов циклов Миланковича (эксцентриситета и эклиптики) во время  $O_{63}$  коррелирует астроблема Боксхолл и поле Хэнбери в Австралии. Кратеры Одесса и Бэрринджер (США) образовались в момент совмещения двух разных типов циклов — прецессии и эксцентриситета (время  $P_{127}$ ). Кратер Вулф Крик в Австралии возник в момент совмещения циклов прецессии и эклиптики (время  $P_{123}$ ) или эксцентриситета и эклиптики (время  $O_{60}$ ).

Таким образом, возможно сделать вывод о корреляции импактных событий и моментов совпадения циклов Миланковича разных типов или разных порядков. Последний момент такого совпадения ( $P_{129}$ ) приходится в том числе и на современность. Если изменить масштаб, то можно увидеть большое количество импактных событий. На рис. 6 слева показан интервал времени за последние 10 тыс. лет, а справа — последнюю тысячу лет.

Часть импактных событий датированы относительно точно, в то время как некоторые из них — лишь приблизительно, например поле Каали в Эстонии (7–4 тыс. лет назад) или кратеры Далгаранга (менее трех тысяч лет назад) и Вайт Корт (около 1,1 тыс. лет назад) в Австралии. Виден тренд

к определенной цикличности этих импактных событий. В данной работе статистический анализ времени этих событий с целью выявления определенных закономерностей падения на Землю метеоритов, астероидов и комет не проводился.

Если изменить масштаб времени и рассмотреть интервал в последние тысячу лет (рис. 6, правая часть), то так же можно заметить тенденцию к определенной цикличности формирования импактных структур.

Возможно рассмотреть и более детально временной отрезок за последние сто с небольшим лет, начиная с 1900 г. (рис. 7). На этом рисунке приведена только часть известных на данный момент примеров импактных событий, включая Тунгусский взрыв (1908), различные метеориты или кратеры. До 626 метеоритов упало на Землю в интервале с 1910 по 2013 г. [Дудоров, Еретнова, 2014], что равно приблизительно падению 6 метеоритов в год, или 120 тысяч метеоритов за последние 20 тыс. лет. Очевидно, что таких событий произошло действительно много, а это значит, что, скорее всего, такая тенденция характеризует весь интервал времени, отвечающий фазе совмещения разных циклов Миланковича, т. е., например фазу  $P_{129}$  — последние 20 тыс. лет. В результате подсчетов авторы [Дудоров, Еретнова, 2014] отмечают максимумы падений метеоритов в 1935 г. (до 17), в 1952 и 1953 (по 12), 1939 и 1977 г. (по 11).

Сегодня принято считать, что подавляющее большинство астероидов и метеоритов, упавших на Землю или Марс, происходят из пояса астероидов и пояса Копейра. В последнем поясе также присутствуют и кометы, некоторые из которых время от времени сталкиваются с Землей. Что же заставляет тела из этих поясов менять свою орбиту?

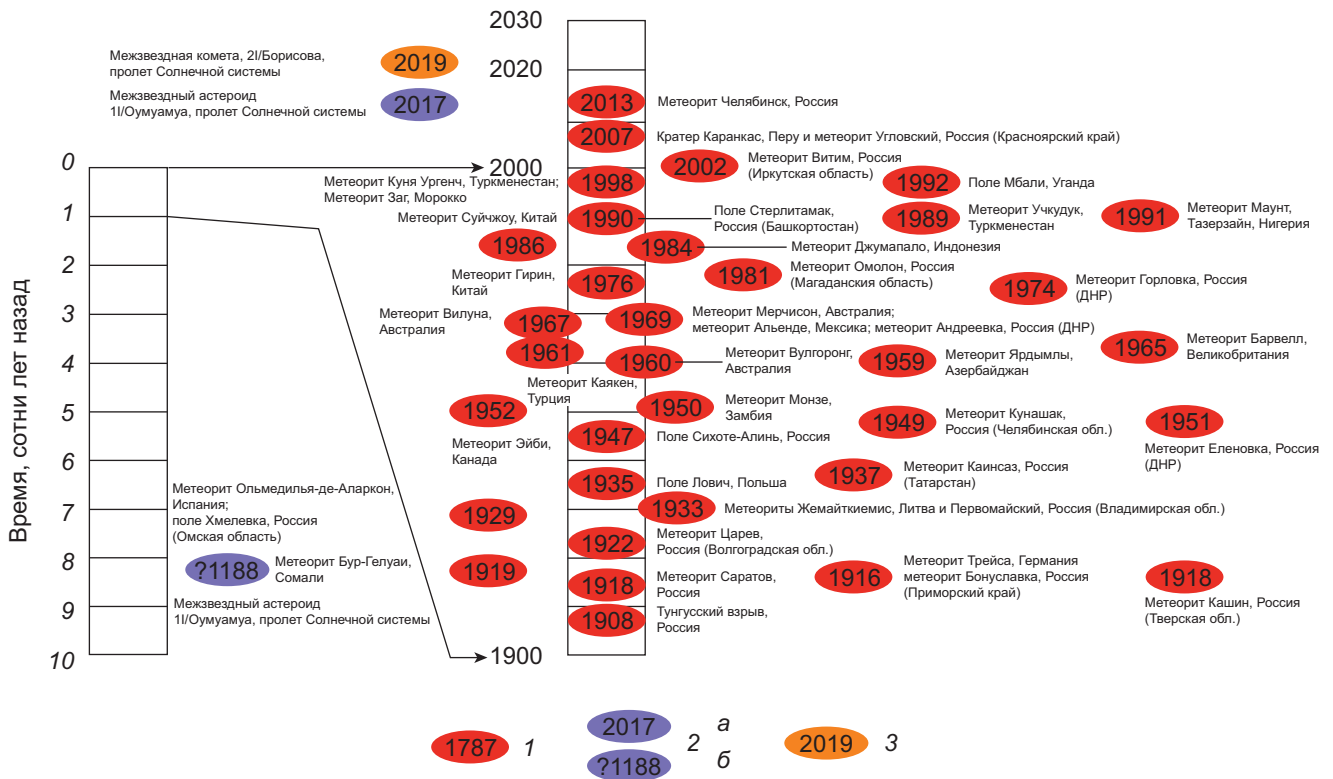


Рис. 7. Примеры импактных событий за последнюю тысячу лет: 1 — достоверно установленные импактные события; 2 — время пролета Солнечной системы межзвездным астероидом 1I/Оумуамуа: а — в 2017 г., б — предположительное время пролета Солнечной системы в 1188 г.; 3 — время пролета Солнечной системы межзвездной кометой 2S/Борисова в 2019 г.

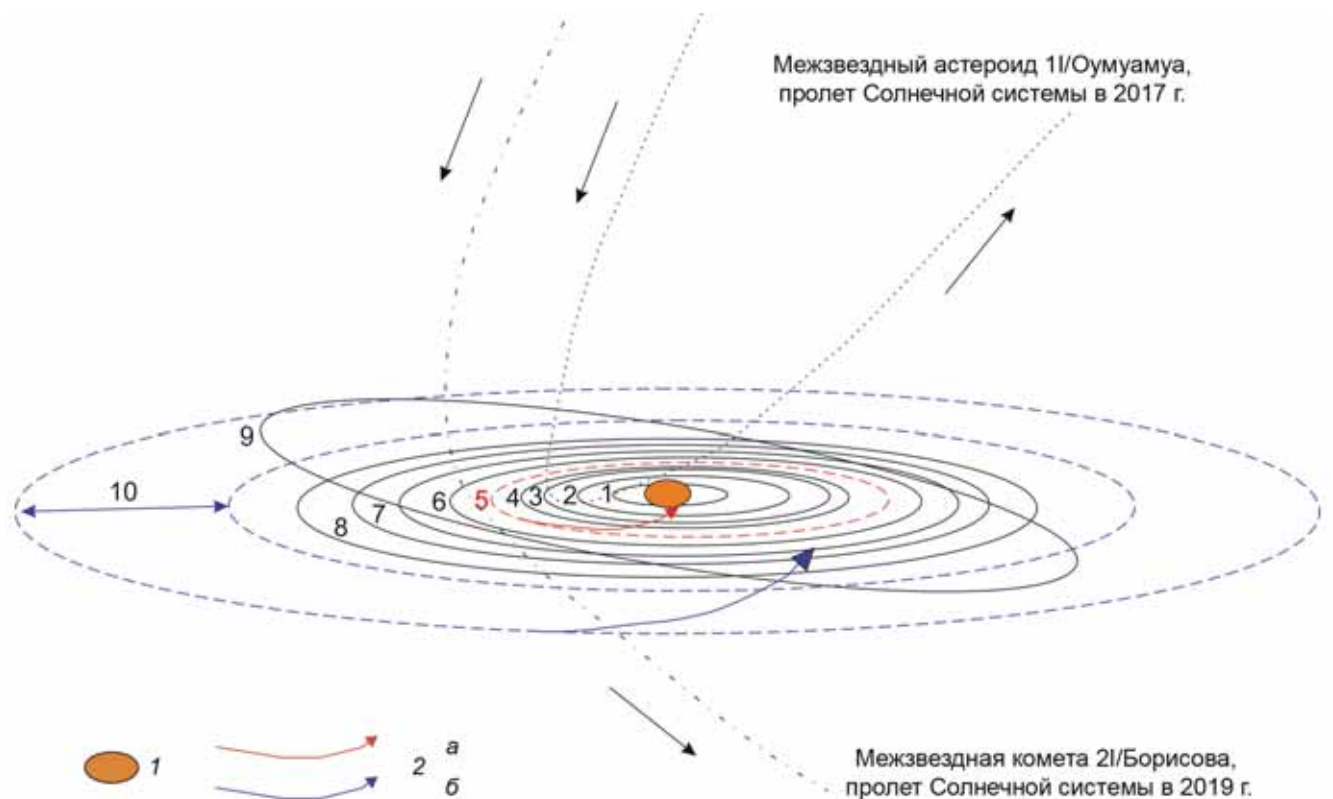


Рис. 8. Модель гравитационного влияния межзвездных объектов на тела в поясе астероидов и поясе Копейра, генерирующую изменение орбит поясных тел и приводящих к их столкновениям с другими телами Солнечной системы: 1 — Солнце, 2 — изменение траектории орбиты объектов: а — из пояса астероидов, б — из пояса Копейра. Обозначения: 1 — Меркурий, 2 — Венера, 3 — Земля, 4 — Марс, 5 — пояс астероидов, 6 — Юпитер, 7 — Сатурн, 8 — Уран, 9 — Плутон, 10 — пояс Копейра

Габдуллин Р.Р. предлагается следующее объяснение (рис. 8). Возможно кандидатами на роль такого фактора можно считать недавно открытый в 2017 г. межзвездный астероид 11/Оумуамуа [Portegies, et al., 2017] или межзвездную комету 2S/Борисов [Дорофеева и др., 2023]. Последняя была открыта в 2019 г. Геннадием Владимировичем Борисовым, инженером отдела физики эмиссионных звезд и галактик Крымской астрономической станции ГАИШ МГУ в поселке Научный Бахчисарайского района Крыма. Астероид 11/Оумуамуа «приходит» в нашу Солнечную систему из созвездия Лиры. Траектория движения этих объектов проходит через несколько звездных систем, а также через пояс астероидов и пояс Копейра. Их гравитационное воздействие в момент пересечения этих поясов может приводить к изменению орбиты тел из пояса астероидов и пояса Копейра, что в конечном итоге может привести к их столкновению с другими телами Солнечной системы. Таким образом, межзвездные астероиды и кометы могут быть триггером будущих падений метеоритов, астероидов и комет на Землю.

Изменения орбитальных параметров Земли, в том числе и эксцентриситета ее орбиты, возможно также увеличивают вероятность столкновений метеоритов, астероидов и комет с Землей.

Предложенная Габдуллин Р.Р. модель может объяснять корреляцию между фазами совмещения разных циклов Миланковича и эпизодами импактных событий.

**Практическое приложение полученных результатов при проведении учебной практики по геологии.** На рис. 5 показана хроностратиграфическая привязка разреза карьера у села Радомля Солнечногорского городского округа Московской области, где на базе Московского университета проводится практика по геологии для студентов факультета почвоведения [Габдуллин, 2023б; Панина, Зайцев, 2022]. В частности, московский горизонт отвечает времени совпадения циклов прецессии, эклиптики и эксцентриситета на циклостратиграфической шкале и интервалу относительного похолодания климата.

В заброшенном карьере в Радомле (рис. 5, а) вскрываются ледниковые отложения московского горизонта, представленные кирпично-красными суглинками (gIIms, рис. 5, б), несогласно перекрытые водно-ледниковыми пестро окрашенными в разной степени сортированными разнородными (степень сортировки увеличивается вверх по разрезу) песками московского горизонта (fIIms). Выше залегают супеси делювиального генезиса (dH). В отложениях московского горизонта можно выделить не только образования ледникового (gIIms), но и водно-ледникового (fIIms) генезиса, но и внутри, например толщи флювиогляциальных отложений можно выделить цикличность более низкого ранга, представленную чередованием интервалов относительного потепления (рис. 5, в, д) и похолодания (рис. 5, г) климата. В частности, маркерами относи-

тельного похолодания климата выступают прослойки суглинков внутри толщи песков. Таким образом, астроклиматическими маркерами (реперами) для расчленения и корреляции разрезов возможно считать следы в осадочной последовательности фаз совмещения разных циклов Миланковича, генерирующие изменения климата, а также импактные события, коррелирующие с фазами совмещения разных циклов Миланковича.

**Перспективы представления результатов в музейном пространстве.** При проведении исследования были использованы материалы музея Землеведения МГУ. В экспозиционном пространстве зала № 3 «Строение и эволюция Земли» на 28 этаже Главного здания Московского университета и в фондах музея имеются образцы российских метеоритов — Харабали (Астраханская обл.), Жовтневый Хутор (ДНР), Саратов, Царев (Волгоградское Заволжье), Челябинск, Кунашак (Челябинская обл.), Сихотэ-Алинь, Первомайский поселок (Владимирская обл.), Омолон, Чинге (Тува), Дронино (Рязанская обл.), Сеймчан (Магаданская обл.), Будулан (Читинская обл.), метеоритов Республики Беларусь — Брагин, США — Камберленд Фоллз, Аргентина — Камподель-Сьело, Швеция — Мунионалуста. Разнообразие образцов в музее постоянно наращивается благодаря систематическим целевым экспедиционными работам [Винник и др., 2022].

В университетском музее, ориентированном во многом на учебный процесс в области наук о Земле, большое значение для формирования научной картины мира посетителя имеет эффективная подача механизмов взаимодействия геосфер, планеты и космического пространства, а также разных типов вещества в классификации В.И. Вернадского (живого, косного, космического и т.д.) [Иванов и др., 2023]. В этой связи эффективным может быть объединение классического подхода с демонстрацией космического вещества, попадающего на планету (макроостатки космических тел, импактиты из астроблем и т.п.), современными новаторскими музейными решениями. В частности, рациональным дополнением может стать проектирование по результатам наших исследований адаптированного для музейного пространства варианта астрохронологической шкалы с отражением на единой стреле времени геологических эпох и современности с учетом в прогностический анализ, например, частот импактных событий, оценочных масс выпавшего космического вещества, объемов импактно переработанного вещества литосферы. Эффективным решением для синтетического восприятия влияния даже одиночного рядового в геологической истории импактного события на геосферы может стать создание модели в виде полного натурального профиля следов воздействия небесного тела на планету: от геохимического ореола до геологических зон кратера, сейсмодислокаций и зон разуплотнения, перераспределения флюидопотоков и, возможно, изменений



Рис. 9. Отбор проб почвогрунтов для геохимического анализа с целью фиксации наличия космического вещества на гипотетической оси «метеоритного дождя Саратов». Район бывшего села Михалевка, Саратовская область. Работы выполняют сотрудники и студенты МГУ, Тамбовского ГТУ, Тамбовского аграрно-технологического техникума. Июль 2024 г.

биоты посредством астробиологических эффектов и перестроек экосистем.

В этом направлении в МГУ развивается обширное поле деятельности по проекту «Молодежный музей», — начинающие исследователи могут быть вовлечены в процессы сбора космического материала разной размерности путем участия в полевых маршрутах, отборе и обработке проб, а также формирования экспозиционно-выставочных элементов с внедрением современных виртуалистических и иных технологий в пространстве университетского музея. Начало такой деятельности уже положено через мобильно-сетевые проекты музейной составляющей [Вернадизм..., 2023]. Последние годы развиваются работы по обнаружению микроостатков космического вещества в почвогрунтах под руководством Е.Ю. Погожева (с вовлечением учащихся Университетской гимназии МГУ), а также по комплексному изучению метеоритного дождя «Саратов» под руководством М.А. Винника (от архивных исследований до фиксации геохимических следов в почвогрунтах и биоте (рис. 9)). Эти проекты объединились во время десятого полевого сезона 2024 г. научно-просветительской экспедиции «Флотилия плавучих университетов» [Иванов и др., 2021] в Среднем и Нижнем Поволжье с широким привлечением студентов и местной молодежи, регионального краеведческого и музейного сообщества, а методики исследований были продемонстрированы во время полевого заседания «Комиссии РАН по изучению наследия выдающихся ученых» (секция В.И. Вернадского). Отобранные материалы в настоящее время отправлены на аналитические исследования.

**Заключение.** Впервые методологически апробирован метод высокоточной циклостратиграфической корреляции на разрезах неоген-четвертичных отложений с акцентом на разнопорядковые циклы эксцентриситета орбиты Земли и другие циклы Миланковича — наклонения эклиптики и прецессии оси вращения, что дает возможность высокоточной корреляции этих отложений, а также несет потенциал для уточнения и дополнения палеоклиматической летописи в приложении к изучению поведения геосистем в условиях глобальных климатических изменений.

Определены корреляционные маркеры для высокоточной планетарной корреляции осадков четвертичной системы. Астроклиматическими маркерами (реперами) для расчленения и корреляции разрезов возможно считать следы в осадочной последовательности фаз совмещения разных циклов Миланковича, генерирующие изменения климата, а также импактные события, коррелирующие с фазами совмещения разных циклов Миланковича.

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. Габдуллин Р.Р. предложена модель, объясняющая корреляцию между фазами совмещения разных циклов Миланковича и эпизодами импактных событий.

Результаты исследования могут быть 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.

При проведении исследования были использованы материалы экспозиционного пространства и фондов музея Землеведения. Полученные научные данные будут также 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 Н.В. Бадулиной осуществлялось в рамках темы государственного задания № АААА-А16-116033010119-4 «Геодинамика полярных и приполярных областей Российской Федерации», участие Иванова А.В. — 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. Батулин, 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 «ГГТУ», 2023. 200 с.

Винник М.А., Коснырева А.А., Галушкин Ю.И., Галушкина Т.Н. Метеоритные экспедиции сотрудников Музея землеведения в 2022 г. // Жизнь Земли. 2022. Т. 44, № 4. С. 487–497.

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 плиоцен-четвертичных разрезов Евразии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024а. № 4. С. 116–124.

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. 2024б. № 3. С. 33–41.

Дорофеева В.А., Борисов Г.В., Шустов Б.М. Комета 2I/Borisov в сравнении с кометами Солнечной системы // Астрономический вестник. 2023. № 1. С. 71–80.

Дудоров А.Е., Еретнова О.В. Частота падения метеоритов // Вестник Челябинского государственного университета. 2014. № 1 (330). Физика. Вып. 19. С. 58–67.

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.

Иванов А.В., Яшков И.А., Захаров Е.Е. Экспедиции по Поволжью и Прикаспию. Этюды половины тысячелетия. От первых путешественников до «Флотилии плавучих университетов». М.: Русский Мир, 2021. 224 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. 2021. 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.

Indu G.K., Shania J., Chandran R., et al. Deriving a denudation index for terrestrial meteorite impact craters using drainages as proxies // Geomorphology. 2021. Vol. 397. eP 108007.

Lu H., Liu W., Yang H., et al. Decoupled Land and Ocean Temperature Trends in the Early-Middle Pleistocene. Geophysical Research Letters. 2022. Vol. 49. DOI: 10.1029/2022GL099520.

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.

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

Portegies Zwart S., Torres S., Pelupessy I., et al. The origin of interstellar asteroidal objects like 11/2017 U1 // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters 2017. Vol. 479. DOI 10.1093/mnrasl/sly088

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 14.07.2024,  
одобрена после рецензирования 30.10.2024,  
принята к публикации 31.12.2024