

УДК 551.79

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-3-17-25

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СРЕДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ-ГОЛОЦЕНОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ МОСКОВСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ И УСЛОВИЯ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Руслан Рустемович Габдуллин^{1✉}, Софья Ивановна Меренкова²,
Алексей Юрьевич Пузик³, Кирилл Владимирович Сыромятников⁴,
Константин Павлович Казымов⁵, Наталья Викторовна Бадулина⁶,
Ирина Владиславовна Бадьянова⁷, Алексей Викторович Иванов⁸,
Искандер Рустамович Мигранов⁹, Константин Павлович Сериков¹⁰,
Любовь Андреевна Семененко¹¹

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия; gabdullin@fgp.msu.ru ✉, <https://orcid.org/0000-0001-8296-7191>

² 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>

³ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия; alex.puzik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7148-7344>

⁴ 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>

⁵ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия; kazymov.kostya@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5411-4781>

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; nvbadulina@mail.ru, IstinaresearcherID (IRID): 427730

⁷ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия; kataev7@psu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3337-6592>

⁸ 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>

⁹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия; iskandermig@mail.ru

¹⁰ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; kpsarikov2016@gmail.com

¹¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; lubowadnreewna@yandex.ru

Аннотация. Приведена комплексная сравнительная минералого-геохимическая характеристика четвертичных (среднеплейстоценово-голоценовых) образований Московской синеклизы в пределах Чашниковской впадины. По результатам рентгенофлуоресцентного анализа выполнен расчет нормативного минерального состава с применением программы MINLITH. Данные о содержании главных петрогенных оксидов и нормативной минералогии для отложений ледникового, водно-ледникового, озерного, речного и эолово-делювиального генезиса проанализированы с помощью метода главных компонент. В результате статистической обработки выделены 3 группы, характеризующиеся общностью минералогического состава и геохимических черт. Выдвинуто предположение, что эти группы — временные генетические ряды отложений, где материал более древних отложений служил источником при формировании последующих. В статье обсуждается вопрос расчета петрохимического индекса CIA применительно к данным отложениям.

Ключевые слова: литология, геохимия, четвертичный период, CIA, MINLITH, музей

Для цитирования: Габдуллин Р.Р., Меренкова С.И., Пузик А.Ю., Сыромятников К.В., Казымов К.П., Бадулина Н.В., Бадьянова И.В., Иванов А.В., Мигранов И.Р., Сериков К.П., Семененко Л.А. Минералого-геохимическая характеристика среднеплейстоценовых-голоценовых образований Московской синеклизы и условия их образования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 3. С. 17–25.

MINERALOGICAL-GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE MIDDLE PLEISTOCENE-HOLOCENE DEPOSITS OF THE MOSCOW SYNECLISE AND CONDITIONS OF THEIR FORMATION

Ruslan R. Gabdullin^{1✉}, Sofya I. Merenkova², Aleksey Yu. Puzik³,
Kirill V. Syromyatnikov⁴, Konstantin P. Kazymov⁵, Natalya V. Badulina⁶,
Irina V. Badyanova⁷, Aleksey V. Ivanov⁸, Iskander R. Migranov⁹, Konstantin P. Serikov¹⁰,
Lyubov A. Semenenko¹¹

¹ Lomonosov Moscow State University; Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia; gabdullin@fgp.msu.ru ✉

² Shirshov Institute of Oceanology of the RAS; Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; koshelevasof@mail.ru

³ Perm State University, Perm, Russia; alex.puzik@mail.ru

⁴ Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia; sykirv@gmail.com

⁵ Perm State University, Perm, Russia; kazymov.kostya@yandex.ru

⁶ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; nvbadulina@mail.ru

⁷ Perm State University, Perm, Russia; kataev7@psu.ru

⁸ Lomonosov Moscow State University; Institute of Geography RAS, Moscow, Russia; Tambov State Technical University, Tambov, Russia; yashkovi@mail.ru

⁹ Lomonosov Moscow State University; Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia; iskandermig@mail.ru

¹⁰ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; kpserikov2016@gmail.com

¹¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; lubowadnreewna@yandex.ru

Abstract. In this paper we present a comprehensive comparative lithological and geochemical characteristics of the Quaternary (Middle Pleistocene-Holocene) formations of the Moscow syncline within the Chashnikovo Depression. Based on the results of X-ray fluorescence analysis, the normative mineral composition was calculated using the MINLITH program. Data on the content of major petrogenic oxides and normative mineralogy for deposits of glacial, fluvioglacial, lacustrine, fluvial and eolian-deluvial genesis were analyzed using the principal component analysis. As a result of statistical processing, 3 groups were identified that are characterized by a common mineralogical composition and geochemical features. It is suggested that these groups are temporary genetic series of deposits, where the material of more ancient deposits served as a source for the formation of subsequent ones. The article discusses the issue of calculating the CIA petrochemical index as applied to these deposits.

Keywords: lithology, geochemistry, Quaternary period, CIA, MINLITH, museum

For citation: Gabdullin R.R., Merenkova S.I., Puzik A.Yu., Syromyatnikov K.V., Kazymov K.P., Badulina N.V., Badyanova I.V., Ivanov A.V., Migranov I.R., Serikov K.P., Semenenko L.A. Mineralogical-geochemical characteristics of the Middle Pleistocene-Holocene deposits of the Moscow Syncline and conditions of their formation. *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 3: 17–25. (In Russ.).

Введение. Для повышения точности стратиграфического расчленения разрезов четвертичных отложений и их корреляции при помощи циклостратиграфического и климатостратиграфического подходов изучены разрезы окрестностей базы Московского университета в Чашниково, которая является полигоном для проведения практики по геологии у студентов факультета почвоведения [Панина, Зайцев, 2022; Габдуллин, 2024]. 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 разнорядковых циклов эксцентриситета или разных типов астрономо-климатических циклов — прецессии, наклонения эклиптики и эксцентриситета [Габдуллин, 2024].

Продолжением этих работ стало геохимическое исследование ранее изученных четвертичных осадков различного генезиса и возраста с последующим расчетом нормативной минералогии и статистической обработкой полученных данных. Такие исследования, включающие в себя комплексную и сравнительную геохимическую характеристику ледниковых, водно-ледниковых, озерных, речных и эолово-делювиальных рассматриваемых образований среднеплейстоценового-голоценового интервала времени для данной территории ранее не проводились.

Материалы и методы исследования. В полевой сезон 2024 г. были изучены разрезы четвертичных отложений полигона базы Московского универси-

тета в деревне Чашниково Зеленоградского района Московской области (Московская синеклиза) в следующих точках наблюдения: № 4 — п.г.т. Менделеево, над очистными сооружениями, № 7 — Березовая аллея на северной окраине деревни Чашниково, № 8 — восточная окраина села Радомя, № 10 — у моста через Клязьму на правом берегу реки у дуба Радомя, № 17 — у старого моста дороги, ведущей из Дурыкино в Балкашино, № 20 — левый борт оврага Красный Воин, № 22 — дорога из деревни Чашниково в поселок Красный воин, № 29 — район высоты 205,7 м, № 37 — правый Берег р. Клязьма, 150 м от устья Дурыкинского оврага, № 46, 48 и 49 — район Ольгиного пруда (рис. 1; таблица).

Проведено первичное полевое литологическое описание с установлением возраста и генезиса отложений. В перечисленных точках отобраны 20 образцов образований ледникового (вологодский и московский горизонты), водно-ледникового (московский горизонт), эолово-делювиального (средний-верхний неоплейстоцен), аллювиального (микулинско-калининского, ленинградско-осташковского горизонтов и современные) и лимнического (голоцен) генезиса (рис. 1; таблица). Исследовались осадки, представленные суглинками или глинистыми линзами (гнезда и прослои) в песчаных породах (песках).

По отобранным образцам был проведен рентгенофлуоресцентный анализ (РФА). Полный геохимический анализ элементов 20 проб был выполнен в Пермском государственном национальном исследовательском университете на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре последова-

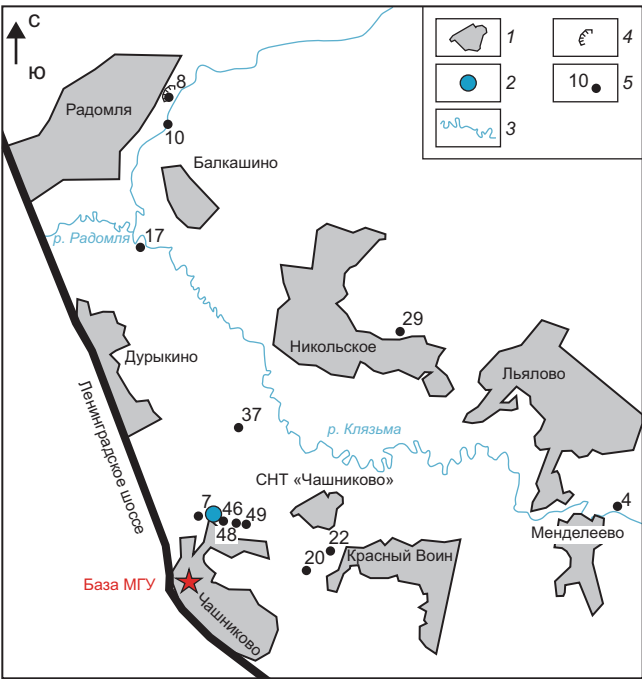


Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов в Зеленоградском районе Московской области: 1 — контуры агломераций, 2 — пруд, 3 — речная сеть, 4 — карьер, 5 — точка наблюдения и ее номер

тельного типа действия S8 «Tiger» фирмы «BRUKER» аналитиком А.Ю. Пузиком. Методика описана в ряде работ, например [Ширкин, 2009].

На основе результатов РФА выполнен расчет нормативного минерального состава с применением программы MINLITH [Розен и др., 2000; Rosen, et al., 2004]. Ошибка вычислений по программе MINLITH для большинства случаев находится в пределах 5–15 отн. %, и только при содержаниях минерала менее 5 мас. % она достигает 60–70 отн. % [Розен, Аббясов, 2003]. Эмпирически установлены также другие аспекты расчетов [Меренкова и др., 2024]. Так, при сравнении результатов нормативных расчетов и петрографического изучения в шлифах, оказалось завышено (относительно результатов петрографического изучения) содержание ортоклаза, что связано с отсутствием возможности разделить ортоклаз и микроклин. Расчетные значения ортоклаза — это вероятно суммарное содержание калиевых полевых шпатов (КПШ). Необходимо отметить, что в формулу иллита в MINLITH включены железо и магний, в результате чего молекулярная масса минерала значительно увеличивается, а в итоговый расчет попадают также слюды (биотит, мусковит), поэтому под количеством нормативного иллита корректнее подразумевать сумму иллита и слюд. При этом расчетное количество кальцита и доломита в MINLITH соответствует фактическому. Также важно, что при нормативном расчете невозможно определить относится минерал к породообразующим, выполняет роль цемента или же входит в состав обломков пород. При этом один и тот же минерал может входить во все три перечисленные категории. Например,

Таблица
Литолого-генетическая характеристика изученных образцов образований среднеплейстоценового-голоценового возраста

№ п/п	№ образца	Название	Индекс
1	4/1	Буро-коричневый средний суглинок	$g_{II}V$
2	4/3	Светло-коричневый тяжелый суглинок	$g_{II}V$
3	7/1	Красно-коричневый тяжелый суглинок	$g_{III}ms$
4	8/1	Тяжелый суглинок с дресвой	$g_{II}ms$
5	29/1	Тяжелый суглинок темно-коричневого цвета	$g_{II}ms$
6	46/1	Тяжелый суглинок темно-коричневого цвета	$g_{II}ms$
7	8/2	Легкий суглинок с дресвой серовато-коричневый	$f_{II}ms$
8	20/1	Легкий суглинок коричневый	vd_{II-III}
9	29/2	Тонкозернистый глинистый песок коричневый	vd_{II-III}
10	46/2	Легкий суглинок серый	vd_{II-III}
11	48/2	Серый средний суглинок с гнездами песчаника	vd_{II-III}
12	49/2	Красно-желтые пески пылеватые	vd_{II-III}
13	22/1	Легкий суглинок серый	$a_{III}mk-k$
14	22/2	Легкий суглинок светло-коричневый	$a_{III}mk-k$
15	10/1	Легкий суглинок серовато-коричневый	$a_{III}ln-os$
16	10/2	Охристо-коричневый легкий суглинок	$a_{III}ln-os$
17	17/1	Тяжелый суглинок	a_H
18	37/1	Суглинок серый средний, опесчаненный с пятнами ожелезнения	a_H
19	49/1	Сизо-серый тяжелый суглинок	l_H
20	48/1	Сизо-серый тяжелый суглинок	l_H

кварц занимает 70–75 % состава обломочной части, а также обнаруживается в составе регенерационного цемента и обломков пород (кварциты), хотя и в незначительном количестве [Меренкова и др., 2024]. Тем не менее, учитывая все вышеописанные аспекты, нормативный расчет позволяет дать общую характеристику минерального состава и судить об определенных изменениях в составе пород.

По данным о содержании петрогенных оксидов установлены корреляционные связи между элементами (матрица корреляции, коэффициент Пирсона) и выполнен анализ методом главных компонент (ГК, или PCA), который является широко используемой статистической техникой, преобразующей связанные переменные в набор ортогональных компонент (главных компонент). Применительно к данным о химическом составе, PCA позволяет выявить закономерности и отношения в многомерных геохимических данных, упрощая их анализ и интерпретацию.

Индексы выветривания обычно показывают степень истощения пород подвижными элементами

относительно неподвижных в процессе химического выветривания. Индекс выветривания (CIA) широко используется как показатель интенсивности химического выветривания [Nesbitt, Young, 1982]. В данной работе, ввиду генетических особенностей исследуемого материала (влияние состава материнских пород, эффекта сортировки, переотложения, содержания карбонатов) индекс носит вспомогательный петрохимический характер. При расчете CIA необходим некарбонатный CaO^* , который нередко можно оценить только косвенно в богатых карбонатами терригенных породах. При отсутствии данных по содержанию CO_2 вносят приблизительные поправки, приняв рациональные соотношения Ca/Na в силикатном материале [McLennan, 1993]. Если после корректировки на P_2O_5 оставшееся количество молей меньше, чем у Na_2O , его принимают за значение CaO^* . В противном случае CaO^* принимается равным Na_2O . Этот подход основан на том, что Ca при выветривании обычно теряется быстрее, чем Na. Наибольшее расхождение с реальным значением CIA (до 3 единиц) будет при его промежуточном значении 60–80, так как при низком CIA этот подход в целом справедлив, а при высоком CIA концентрации Na и Ca низкие, и неопределенности мало влияют на CIA [McLennan, 1993]. Это наиболее реализуемая поправка применялась в нашем исследовании.

Результаты исследования и их обсуждение.
Нормативный минеральный состав. Минеральный состав изученных образцов, рассчитанный по методу О.М. Розена [2000, 2004], представлен на рис. 2.

Рассмотрим осадки аллювиального генезиса. Голоценовый тяжелый (17/1) и легкий (37/1) суглинок имеют схожий нормативный минеральный состав. В легком суглинке больше ортоклаза и анкерита. Легкие суглинки ленинградско-осташковского горизонта, взятые из одной точки наблюдений, в одном шурфе различаются по своему составу: в суглинке со следами ожелезнения (10/1) больше рутила и совсем нет анкерита, доломита и кальцита, которые составляют до трети от общего объема в другой его разности (10/2). Легкие суглинки микулинско-калининского горизонта, также взятые из одной точки наблюдений и в одном шурфе тоже заметно различаются по своему составу: в суглинке со следами ожелезнения (22/2) больше кварца, альбита, плагиоклаза и ортоклаза и меньше иллита по сравнению с другой разностью суглинка, в которой меньше кварца и существенно больше иллита (22/1). Суглинки микулинско-калининского горизонта и современные суглинки имеют близкий состав, а состав суглинков ленинградско-осташковского горизонта заметно отличается.

Проанализируем нормативный состав эолово-делювиальных образований среднего-верхнего неоплейстоцена. Можно выделить две группы: первая — это образцы легких суглинков (20/1 и 46/2) и глинистых песков (29/2), и вторая — это средний

суглинок с гнездами песчаника (48/2) и пески (49/2). Во второй группе существенно меньше альбита и плагиоклаза и заметно больше гётита и иллита относительно первой группы образцов. Нормированный минеральный состав эолово-делювиальных отложений выдержан.

Опишем нормативный состав образцов ледниковых образований вологодского горизонта — средний (4/1) и тяжелый (4/3) суглинок. У них близкий состав, они отличаются от образований московского горизонта значительно высоким суммарным нормированным содержанием анкерита, кальцита и доломита. Тяжелые суглинки (7/1, 8/1, 29/1 и 46/1) московского горизонта представлены двумя типами. Первый (7/1 и 29/1) характеризуется относительно высоким содержанием иллита и низким содержанием ортоклаза. Второй тип (8/1 и 46/1) — с пониженными концентрациями иллита и более значительными содержаниями ортоклаза. В целом нормированный состав ледниковых отложений более-менее выдержанный. Отметим, что в MINLITH не предусмотрен расчет минералов, которые являются «руководящими» при изучении морен, например, роговой обманки, граната, эпидота, дистена, турмалина и др., указывающих на провинцию.

Стоит упомянуть о некоторых характерных особенностях минерального состава морен. Нормативный расчет демонстрирует значительное обогащение ледниковых образований вологодского горизонта и флювиогляциальных отложений московского горизонта карбонатным материалом — 27–32 % и 32 % соответственно. При этом в ледниковых образованиях московского горизонта сумма составляет 2–3 %, за исключением образца 7/1 с содержанием 14 %. Карбонатность морен рассматривают как один из показателей обстановки гляциолитогенеза [Судакова и др., 2014]. На минералогическом составе морен сказывается направление движения ледника во времени, в связи с чем разновозрастные моренные горизонты в конкретном районе могут существенно отличаться. Так, ранее [Лаврушин, 1976] отмечалось обогащение московской морены в районе Углича-Рыбинска материалом черных юрских глин и карбоновых известняков, а также железистыми карбонатами, относительно калининской и днепровской морен. В Дмитровско-Московском округе, выделенном Н.Г. Судаковой и соавторами [2014], содержание CO_2 в отложениях днепровской морены (отвечающей вологодскому горизонту) выше, чем московской, но не более чем на 1–2 %. Указанный округ включает обсуждаемую в текущей работе территорию Чашниковской впадины.

Глинистые минералы, содержащиеся в основных моренах, представляют собой механически захваченную смесь и не отражают физико-химическую среду времени формирования [Лаврушин, 1976]. В Дмитровско-Московском округе, расположенном в пределах мезозойской равнины, в глинистой

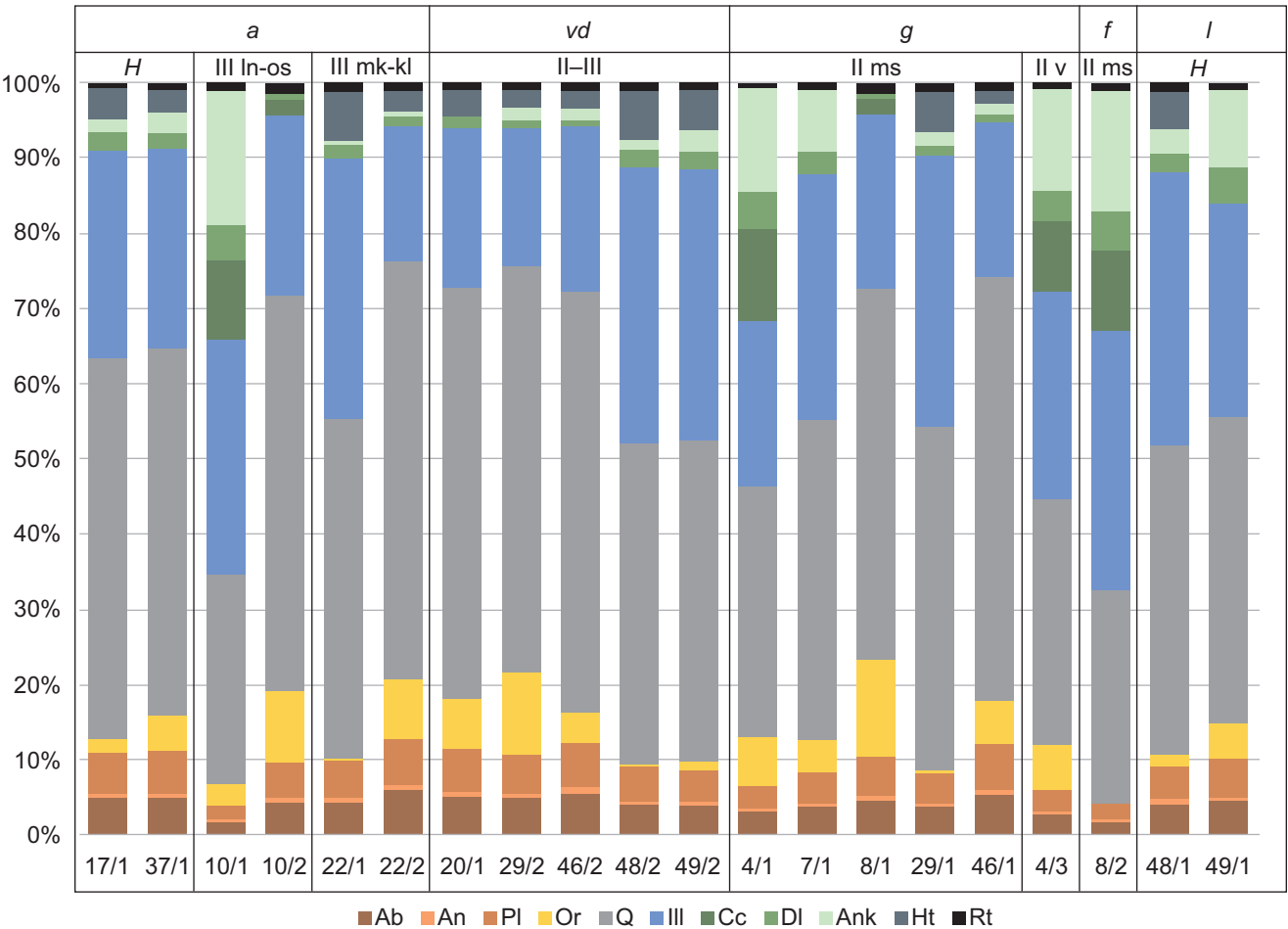


Рис. 2. Гистограмма сравнительного распределения минералов в изученных образцах по генезису и возрасту (нормативный расчет)

составляющей моренных отложений доминирует иллит (до 40–50 %) и смектит (до 30–40 %), ассимилированные из местных юрских и меловых пород [Судакова и др., 2014].

Флювиогляциальные легкие суглинки с дресвой московского горизонта (8/2) по своему нормированному составу близки к ледниковым образованиям московского горизонта, но отличаются сравнительно пониженным содержанием альбита и плагиоклаза и повышенной концентрацией карбонатной части (анкерит, доломит и кальцит).

Лимнические тяжелые суглинки голоцена (48/1 и 49/1) имеют относительно близкий состав, но различаются по содержанию анкерита и доломита или гётита.

Для исследуемых отложений рассчитан CIA, скорректированный, как показано выше, в связи с присутствием карбонатного материала (рис. 2). Наименьшие значения индекса, закономерно характерны для разностей с высоким содержанием кварца и ПШ, в то время как прирост индекса достигается за счет снижения количества зерен относительно вклада иллита.

Отдельно стоит упомянуть методический аспект, касающийся расчета CIA. При отсутствии коррекции на карбонаты в данных отложениях, даже вкладывая не климатический, а исключительно относительный

петрохимический смысл (например, оценить общность/различие протолита изучаемых осадочных пород), можно прийти к ошибочным выводам. Так как в формуле расчета CIA кальций находится в знаменателе (а подразумевается исключительно некарбонатный Ca*), карбонаты снижают значения индекса в исследуемых ледниковых образованиях вологодского горизонта с 67–69 до 37–43, что не противоречит общей климатической картине, но при этом с климатом никак не связано. В гляциальных отложениях вологодского горизонта при отсутствии коррекции индекс CIA остается на уровне 62–73 за счет низкого содержания карбонатного материала и повышения вклада механически захваченных глин, также не отражающих климатическую обстановку.

Значения CIA для речных осадков голоцена варьирует от 66 до 68 (по двум образцам), для ленинградско-осташковского горизонта — от 70 до 72 (по двум образцам, среднее значение 71), микулинско-калининского горизонта — от 61 до 70 (по двум образцам, среднее значение 65,5). Значения CIA для эолово-делювиальных осадков среднего-верхнего неоплейстоцена изменяется от 61 до 71 (пять образцов, среднее — 66,4). Колебания CIA для ледниковых отложений московского горизонта — от 63 до 73 (по четырем образцам, среднее — 69), для вологодского горизонта — от 67 до 69 (по двум

образцам, среднее — 68), для водно-ледниковых московского горизонта — 74 (по одному образцу), для лимнических образований голоцена — от 67 до 70 (по двум образцам, среднее значение — 68,5). В целом значения варьируют от 63 до 74.

Корреляция элементов и РСА. По данным о содержании петрогенных оксидов можно установить корреляционные связи (матрица корреляции, коэффициент Пирсона) и выполнить РСА (анализ методом главных компонент).

На диаграмме РСА для оксидов (рис. 3, А) наглядно продемонстрированы наиболее значимые связи между элементами. SiO_2 и Na_2O коррелируют с коэффициентом 0,95 и связаны нахождением в натровых полевых шпатах, а также отражают общность поступления кварца и ПШ в отложения.

Ti, Al, Fe, Sr, Rb — характерная ассоциация в составе слюд и глинистых минералов. Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SrO, Rb_2O также коррелируют с K_2O (нахождение в КПШ) и MgO. Ti и Fe входят в тяжелые минералы, но корреляция TiO_2 с Fe_2O_3 (коэффициент 0,63) ниже, чем с Al_2O_3 (0,8) и Rb_2O (0,7), что говорит о его доминировании в глинисто-слюдистом материале.

Отдельно выделяются CaO и MgO, вероятно, связанные нахождением в доломите. По первой главной компоненте (PC1), дающей наибольший вклад (44,4 %), максимальную положительную нагрузку имеют Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SrO, Rb_2O , K_2O , CaO и MgO, в то время как SiO_2 и Na_2O характеризуются выраженной отрицательной нагрузкой. Положительную нагрузку обеспечивает вклад таких терригенных компонентов как глинистые минералы, слюды и карбонатные минералы (предположительно из литокластов карбонатных пород). Отрицательная нагрузка возникает при увеличении вклада кварца и ПШ.

По второй главной компоненте (PC2, 21,1 %) положительную нагрузку имеют CaO, MgO, SO_3 , MnO и, самую слабую по вкладу, P_2O_5 . Положительная нагрузка по этой компоненте отражает вклад карбонатных минералов в составе включений — литокластов карбонатных пород в общий состав. Другие из рассматриваемых оксидов имеют отрицательную нагрузку.

На диаграмме РСА по результатам расчета нормативного минерального состава (рис. 3, Б) по первой главной компоненте (PC1, 59,2 %) положительную нагрузку имеют, как и в высказанном выше предположении, карбонатные минералы. Низкую положительную нагрузку имеет глинисто-слюдистый материал. Выраженную отрицательную нагрузку обеспечивают обломочные составляющие другого типа — кварц и ПШ (причем натровые).

По второй главной компоненте (PC2, 23,6 %), в отличие от прогнозируемого по оксидам варианта, наибольшую положительную нагрузку имеет вклад КПШ (ортоклаз), а выраженную отрицательную нагрузку имеют рутил, гётит, глинистые минералы и слюды.

По результатам РСА, выполненного по данным химического и нормативного минерального состава, на диаграммах выделяется несколько групп. Эти группы включают образцы различных генетических типов и возрастов, но, по-видимому, отражают общности их происхождения (источника).

Первая группа в основном объединяет средние и легкие суглинки и включает образцы: 8/1 — тяжелый суглинок с дресвой (g_{IIms}), 22/2 — средний суглинок ($a_{IIImk-k}$), 20/1 — средний суглинок, 29/2 — тонкозернистый глинистый песок, 46/2 — легкий суглинок (vd_{II-III}), 37/1 — средний суглинок песчаный с пятнами ожелезнения (a_H). В их составе преобладают кварц и полевые шпаты (со значительным вкладом натровых). На диаграмме по минеральному составу в эту группу можно включить и 17/1 (тяжелый суглинок (a_H)). При этом на обсуждаемой диаграмме, в отличие от диаграммы по оксидам, аллювиальные голоценовые образования образцов 17/1 (тяжелый суглинок) и 37/1 (средний суглинок песчаный) отдельно обособлены от описываемой группы.

Вторая группа объединяет суглинки и характеризуется высокими содержаниями в них карбонатных минералов (кальцит, доломит, анкерит) — до 33 %. Вероятно, в составе включений — литокластов. Это образцы 4/3 — тяжелый суглинок (g_{IV}), 4/1 — средний суглинок (g_{IV}), 8/2 — легкий суглинок с дресвой (f_{Ims}), 10/1 — легкий суглинок ($a_{IIIIn-os}$).

Третья группа, охарактеризованная в основном песчанистыми суглинками, обособлена благодаря усилению вклада тяжелых минералов гётита и рутила. На диаграмме оксидов к области составов этой группы закономерно тяготеют векторы ZrO_2 и TiO_2 . При этом для группы характерны более высокие концентрации глинисто-слюдистых минералов (векторы Ш и Al_2O_3) и низкие содержания кварца и ПШ относительно группы 1. Это образцы 29/1 — тонкозернистый глинистый песок (g_{Ims}), 48/2 — средний суглинок с гнездами песчаника, 49/2 — пылеватый песок (vd_{II-III}), 48/1 — тяжелый суглинок (I_H). На диаграмме по минеральному составу также можно включить в эту группу 22/1 — легкий суглинок ($a_{IIImk-k}$).

По итогам проведенного анализа методом главных компонент можно сделать следующие выводы.

Установлена определенная зависимость между тремя выделенными группами образцов и их литологическим составом. Первая группа в основном объединяет средние и легкие суглинки московского и микулинско-калининского горизонтов, а также среднего-верхнего неоплейстоцена и голоцена. В их составе преобладают кварц и полевые шпаты (со значительным вкладом натровых). Генезис этих осадков — ледниковый, водно-ледниковый и эолово-делювиальный.

Вторая группа объединяет суглинки вологодского, московского и ленинградско-осташковского горизонтов среднего и верхнего неоплейстоцена

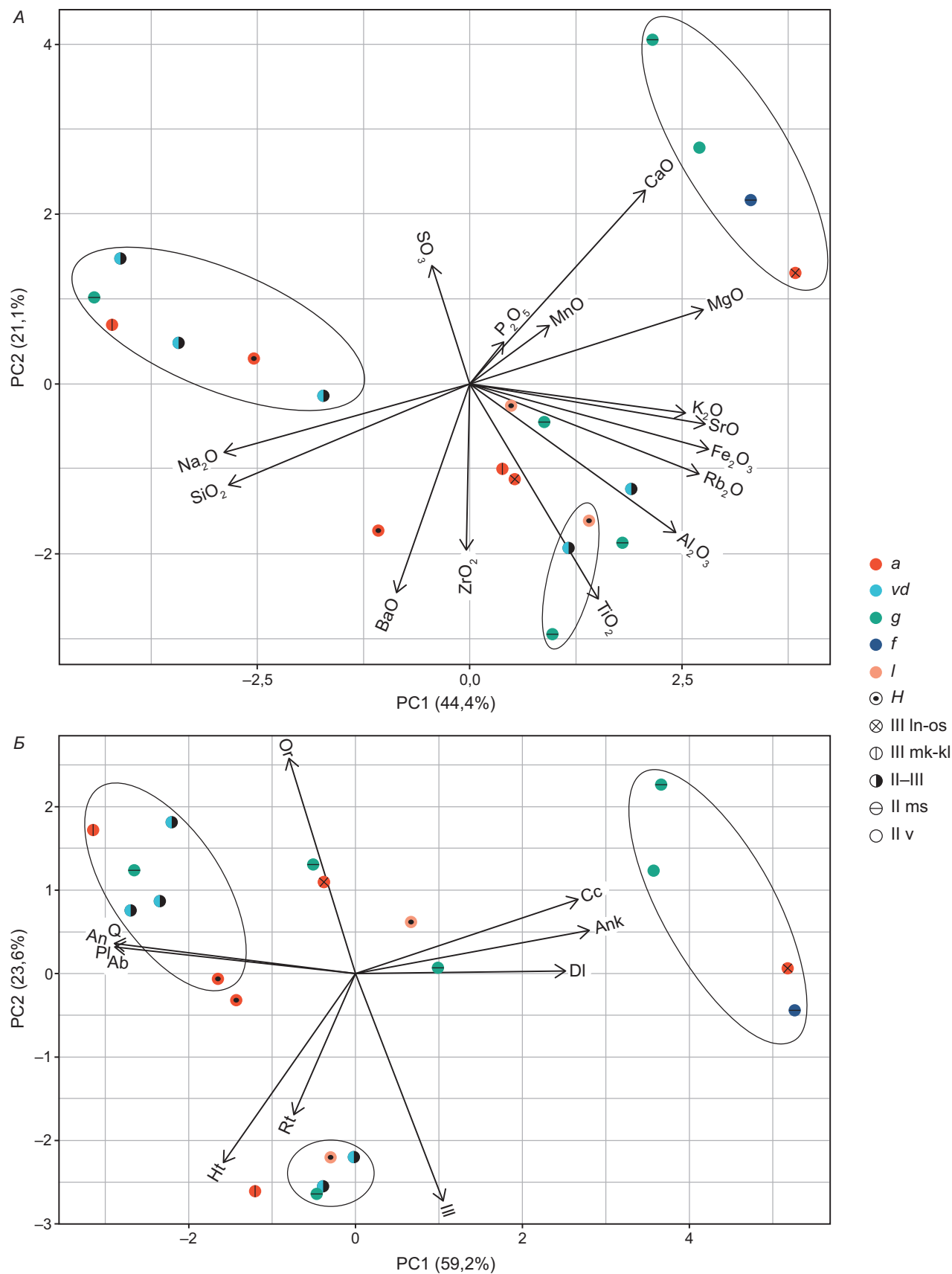


Рис. 3. Диаграммы анализа методом главных компонент (PCA) для оксидов (А) и по результатам расчета нормативного минерального состава (Б) по данным РФА. Нормативный минеральный состав: Ab — альбит, An — анортит, Pl — плагиоклаз, Or — ортоклаз, Q — кварц, минералы кремнезема, Ill — иллит и слюды, Dl — доломит, Ank — анкерит, Gt — гётит, Rt — рутил. При содержаниях минерала менее 5 мас. %, ошибка достигает 60–70 отн. % [Розен и др., 2000]. Генотипы: a — аллювиальные, vd — эолово-делювиальные, g — гляциальные, f — флювиогляциальные, l — озерные. Возраст: H — голоцен, ln-os — ленинградский-осташковский горизонт, mk-kl — микулинский-калининский горизонт, ms — московский горизонт, v — вологодский горизонт.

и характеризуется высокими (до 33 %) содержаниями в них карбонатных минералов (кальцит, доломит, анкерит) за счет включений (литокластов). Генезис этих осадков — ледниковый, водно-ледниковый и аллювиальный.

Третья группа охарактеризована в основном песчанистыми суглинками московского и микулинско-калининского горизонтов, а также среднего-верхнего неоплейстоцена и голоцена со значительной долей тяжелых минералов — гётита и рутила. Генезис этих осадков — ледниковый, аллювиальный, лимнический и эолово-делювиальный.

Можно предположить, что внутри перечисленных выше групп представлены временные генетические ряды отложений, где материал более древних отложений служил источником при формировании последующих. Этим обстоятельством объясняется такая пестрота литологического и химического состава изученных четвертичных отложений и отсутствие четкой связи между химическим и литологическим составом с одной стороны, возрастом и генезисом отложений с другой.

Прикладное значение результатов для учебного процесса и в музейном пространстве. Полученные ранее авторами результаты в русле построения астрохронологической шкалы и оценки глобальной событийности четвертичного времени, предложенные к внедрению в образовательный процесс в формате университетского музея [Табдуллин и др., 2024], гармонично дополняются изложенными выше данными и построениями, конкретизированными для конкретного района. Они служат конструктивным дополнением к имеющимся учебно-методическим материалам по научно-образовательному полигону МГУ в районе Чашниково [Панина, Зайцев, 2022], а также к развивающимся и проектируемым ныне кластерам «Молодежного музея» в Музее землеведения МГУ, Университетской гимназии МГУ, Ботаническом саду МГУ (выставки под открытым небом, посвященные тематике оледенений, климатических колебаний, трансформаций экосистем в четвертичное время и т. п.) [Вернадизм..., 2023] в соответствии с мобильно-сетевой концепцией этого проекта [Иванов и др., 2023, 2024].

Для каждого кластера предлагается комплекс работ: а) пополнение учебных коллекций по генетическим типам и литологическим разностям четвертичных отложений; б) создание специализированной учебно-научной коллекции по научно-образовательному полигону в районе Чашниково; в) развитие мини-экспозиций на основе грунтовых колонок-монолитов из изученных разрезов с плакатными пояснениями геохимико-минералогических особенностей и привязкой у астрохронологической шкалы; г) разработка интерактивной площадки по определению фракционного и минерального состава пород (на материалах из изученных точек наблюдения) с интерпретацией палеоклиматических, палеогеографических особенностей местности,

а также физико-географических условий развития экосистем. При этом собранный материал позволяет наглядно представить в музейном пространстве такие сложные аспекты как соотношение локальных и глобальных процессов в истории Земли и эволюции экосистем (ритмичности, этапности, событийности и т. д.), трансформаций природных сред и биотических кризисов [Снакин и др., 2024].

Развитие предлагаемых видов работ дает возможность привлечения различных групп учащейся молодежи в широком спектре форматов: проектная деятельность Университетской гимназии МГУ, работа с учебными коллекциями студентов профильных факультетов, развитие волонтерства от школ, консультирования специалистов инициативных проектов и т. д. в русле концепции «Молодежного музея» [Иванов и др., 2024]. Основным механизмом безусловно остается учебная полевая практика студентов МГУ, что позволит развить мобильно-сетевое методическое взаимодействие научно-образовательного полигона в районе Чашниково, лабораторно-аналитического блока геонаучных факультетов и Музея землеведения МГУ.

Заключение. По результатам РФА выполнен расчет нормативного минерального состава по методу О.М. Розена (MINLITH). Данные о содержании главных петрогенных оксидов и нормативной минералогии для отложений ледникового, водно-ледникового, озерного, речного и эолово-делювиального генезиса проанализированы с помощью метода главных компонент (PCA). В результате статистической обработки выделены 3 группы, характеризующиеся общностью минералогического состава и геохимических черт. Выдвинуто предположение, что эти группы — временные генетические ряды отложений, где материал более древних отложений служил источником при формировании последующих. Этим обстоятельством объясняется такая пестрота литологического и химического состава изученных четвертичных отложений и отсутствие четкой связи между химическим и литологическим составом с одной стороны и возрастом и генезисом отложений с другой.

Показано, что наименьшие значения индекса CIA, закономерно характерны для разностей с высоким содержанием кварца и ПШ, в то время как прирост индекса достигается за счет снижения количества зерен относительно вклада иллита. В целом значения CIA варьируют от 63 до 74.

Применение заявленного в статье подхода — использование данных РФА о содержании главных петрогенных оксидов (а в перспективе — индикаторных химических элементов), расчет нормативной минералогии, статистическая обработка результатов — в сочетании с литологическим описанием и опорой на литературные данные предыдущих исследователей позволяет более комплексно подойти к изучению отложений в районе проведения практики по геологии у студентов факультета почвоведения

ния, расширив таким образом набор теоретических инструментов будущих специалистов.

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 FMWE-2024-0020, участие Сыромятникова К.В. — при финансовой поддержке госзадания ГЕОХИ РАН, участие Н.В. Бадулиной осуществлялось в рамках темы государственного задания № АААА-А16-116033010119-4 «Геодинамика полярных и приполярных областей Российской

Федерации», участие А.В. Иванова — 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. Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова.

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.

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. 2024. № 4. С. 116–124.

Иванов А.В., Яшков И.А., Смуров А.В. и др. Мобильные выставки в научно-просветительской экспедиции как драйвер развития молодежного музея: опыт «Флотилии плавучих университетов» // Жизнь Земли. 2023. Т. 45, № 4. С. 573–583. DOI 10.29003/m28.0514-7468

Иванов А.В., Смуров А.В., Снакин В.В., Богданов В.П. Мобильно-сетевой «Молодежный музей» Московского университета — контуры концепции и принципы развития на этапе становления // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 8. История. 2024. Т. 65, № 3. С. 3–26.

Лаврушин Ю.А. Строение и формирование основных морен материковых оледенений. М.: Наука, 1976.

Меренкова С.И., Кузьмина Т.Г., Карпова Е.В. и др. Венд-кембрийские породы Верхне-Каларской грабен-синклинали юга Сибирского кратона: минералогия и особенности геохимии главных петрогенных элементов // Russian Journal of Earth Sciences. 2024. Т. 24. ES4009. DOI: 10.2205/2024ES000923.

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. С. 154.

Розен О.М., Аббясов А.А., Мигдисов А.А., Ярошевский А.А. Программа MINLITH для расчета минерального состава осадочных пород: достоверность результатов в применении к отложениям древних платформ // Геохимия. 2000. № 4. С. 431–444. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13360578>.

Розен О.М., Аббясов А.А. Количественный минеральный состав осадочных пород: расчет по петрохимическим данным, анализ достоверности результатов (компьютерная программа MINLITH) // Литология и полез. ископаемые. 2003. № 3. С. 299–312. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17264041>.

Снакин В.В., Смуров А.В., Иванов А.В. и др. Глобализация и музейное дело: естественно-научные, экспозиционные и образовательные аспекты // Век глобализации. 2024. № 3(51). С. 132–141. DOI: 10.30884/vglob/2024.03.12.

Судакова Н.Г., Немцова Г.М., Глушанкова Н.И. Палеогеографические закономерности изменчивости состава морен в центральной части Восточно-Европейской равнины // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2014. № 4. С. 62–68.

Ширкин Л.А. Рентгенофлуоресцентный анализ объектов окружающей среды: Учеб. пособие. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. 60 с.

McLennan S.M. Weathering and Global Denudation // The Journal of Geology. 1993. Vol. 101. N.2. P. 295–303. DOI: 10.1086/648222.

Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. Vol. 299, N. 5885. P. 715–717.

Rosen O.M., Abbyasov A.A., Tipper J.C. MINLITH: an experience-based algorithm for estimating the likely mineralogical composition of sedimentary rocks from bulk chemical analyse // Computers & Geosciences. 2004. Vol. 30. P. 647–661. DOI: 10.1016/j.cageo.2004.03.011.

Статья поступила в редакцию 17.01.2025,
одобрена после рецензирования 28.02.2025,
принята к публикации 28.06.2025