



## Минералого-геохимические свойства «моренного» комплекса голоценовых отложений в озере Нижнем (Восточная Антарктида) как источник новой генетической информации

В. И. Силаев<sup>1</sup>, В. П. Зерницкая<sup>2</sup>, **В. Н. Филиппов<sup>1</sup>**, И. В. Смолева<sup>1</sup>, Г. В. Игнатьев<sup>1</sup>,  
Б. А. Макеев<sup>1</sup>, А. Ф. Хазов<sup>1</sup>, Ю. Г. Гигиняк<sup>3</sup>, А. А. Гайдашов<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, [silaev@geo.komisc.ru](mailto:silaev@geo.komisc.ru)

<sup>2</sup> Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, [vazern@gmail.com](mailto:vazern@gmail.com)

<sup>3</sup> Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам, Минск, [antarctida\\_2010@mail.ru](mailto:antarctida_2010@mail.ru)

<sup>4</sup> Республиканский центр полярных исследований, Минск, [polusbellxi@gmail.com](mailto:polusbellxi@gmail.com)

С использованием комплекса минералого-геохимических методов исследован базальный осадочный горизонт («моренный» осадочный комплекс) в озере Нижнем на территории Восточной Антарктиды. Проанализированы валовый химический состав, микроэлементы, породообразующие и акцессорные минералы, углеродное вещество. По всем данным исследованные осадочные отложения являются по своей природе вулканогенными, как минимум частично образованными за счет эксплозивных продуктов извержения вулкана Эребус.

**Ключевые слова:** Антарктида, озеро Нижнее, «моренный» осадочный комплекс, минералого-геохимические свойства

## Mineralogical and geochemical properties of the “Moraine” complex of Holocene sediments in Lake Nizhneye (East Antarctica) as a source of new genetical information

V. I. Silaev<sup>1</sup>, V. P. Zernitskaya<sup>2</sup>, **V. N. Filippov<sup>1</sup>**, I. V. Smoleva<sup>1</sup>, G. V. Ignatiev<sup>1</sup>,  
B. A. Makeev<sup>1</sup>, A. F. Khazov<sup>1</sup>, Yu. G. Giginyak<sup>3</sup>, A. A. Gajdashov<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

<sup>2</sup> Institute for Nature Management, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk

<sup>3</sup> Scientific and practical center of the National Academy of Sciences of Belarus for bioresources, Minsk

<sup>4</sup> State Institution Republican Center for Polar Research, Minsk

Using a complex of mineralogical and geochemical methods, the basal sedimentary horizon (“moraine” sedimentary complex) in Lake Nizhny in East Antarctica was studied. The bulk chemical composition, microelements, rock-forming and accessory minerals, and carbon matter were analyzed. According to all data, the studied sedimentary deposits are volcanogenic in nature, at least partially formed due to explosive products of eruptions of Mount Erebus.

**Keywords:** Antarctica, Lake Nizhneye, “moraine” sedimentary complex, mineralogical and geochemical properties

### Введение

Восточная Антарктида — кратон с возрастом древнейших горных пород — двупироксеновых и амфибол-биотитовых гнейсов, плагиогнейсов, чарнокитов, рапаквивиподобных чарнокитов, чарнокитоподобных эндербитов, гранитоидов — 2.8–1.1 млн лет (Мясников и др., 2021). Терригенный осадочный чехол и ледниковые отложения с возрастом 350–190 млн лет образовались здесь в период вхождения Антарктиды в суперконтинент Пангея. Распад Пангеи с возникновением суперконтинента Гондваны отмечен в Антарктиде мощным этапом вулканической деятельности с возрастом 180–110 млн лет. Образование самостоятельного материка Антарктида с его миграцией к южному полюсу произо-

шло в результате распада Гондваны 130–86 млн л. н. Крупнейшим действующим вулканом Антарктиды является Эребус (Силаев и др., 2020), расположенный на острове Росса и возникший 1.3 млн л. н. на краю Западно-Антарктической рифтовой системы на субстрате тонкой континентальной коры (17–25 км). Из зарегистрированных к настоящему времени эффузивных извержений крупнейшие приходятся на периоды (тыс. л. н.): 95 ± 9; 76 ± 4; 27 ± 3; 21 ± 4. Максимумы проявления эксплозивной активности датируются хронологическими интервалами (тыс. л. н.): 77–56; 46–32; 18–10. Именно с последним интервалом эксплозивной активности и коррелируется базальный горизонт в колонке голоценовых осадков Нижнего озера<sup>1</sup>, известный как «моренный» осадочный комплекс.

<sup>1</sup> Проточное озеро, расположенное вблизи полярной станции Молодежной с координатами 67°40' ю. ш., 46°09' в. д., высотой над уровнем моря 41 м, площадью 0.015 км<sup>2</sup> и максимальной глубиной 4 м.

**Для цитирования:** Силаев В. И., Зерницкая В. П., Филиппов В. Н., Смолева И. В., Игнатьев Г. В., Макеев Б. А., Хазов А. Ф., Гигиняк Ю. Г., Гайдашов А. А. Минералого-геохимические свойства «моренного» комплекса голоценовых отложений в озере Нижнем (Восточная Антарктида) как источник новой генетической информации // Вестник геонаук. 2024. 2 (350). С. 3–16. DOI: 10.19110/geov.2024.2.1

**For citation:** Silaev V. I., Zernitskaya V. P., Filippov V. N., Smoleva I. V., Ignatiev G. V., Makeev B. A., Khazov A. F., Giginyak Yu. G., Gajdashov A. A. Mineralogical and geochemical properties of the “Moraine” complex of Holocene sediments in Lake Nizhneye (East Antarctica) as a source of new genetical information. Vestnik of Geosciences, 2024, 2 (350), pp. 3–16, doi: 10.19110/geov.2024.2.1

Исследования озер, расположенных в оазисах, обрамляющих ледниковый щит Антарктиды, и на прилегающих к материкам островах, показали, что начало озерного седиментогенеза связано с потеплением климата в голоцене и чаще всего датируется его оптимальной фазой. Помимо данных о возрасте отложений, климатических и природных событиях, эти осадочные архивы содержат информацию о транспортировке различных макро- и микрочастиц (пыльца, споры, тephра, пепел, сажа, частицы горных пород и т. д.) воздушными и водными потоками. Можно предположить, что частицы, переносимые ветром, оседают на ледниках и снежном покрове, попадали в озеро с талыми водами в летние периоды.

### Объекты и методы исследований

Территория исследования расположена в оазисе Вечернем, в восточной части Холмов Тала (Земля Эндерби) (рис. 1). Объектами изучения стали придонные осадки раннеголоценового возраста из озера Нижнего и поверхностные пробы снега, отобранные вблизи российской сезонной полевой базы «Молодежная» ( $67^{\circ}39'56''$  ю. ш.,  $45^{\circ}50'26''$  в. д.) и белорусской полевой базы «Гора Вечерняя» ( $67^{\circ}39'35''$  ю. ш.,  $46^{\circ}09'18''$  в. д.) (фото на обложке). Озеро Нижнее расположено в понижении, вытянутом между грядами, высота которых над уровнем моря на юго-востоке достигает 78.7 м (сopка Рубин), а на западе — 272 м (г. Вечерняя). Преобладающую часть территории занимают скалистые гряды и холмы, сложенные в основном гнейсами и плагинейсами чарнокитовой серии (Каратаев, 2016). Проточные воды поступают в озеро Нижнее из котловины со стороны озер Верхнее-1, -2, расположенных севернее. В самые теплые малоснежные сезоны озеро Нижнее вскрывается ото льда в северной части, а полное освобождение озерной акватории от ледникового покрова было зафиксировано лишь в 1967 г. (Александров, 1985). Согласно многолетним метеорологическим наблюдениям, проводимым на станции «Молодежная» (Molodezhnaja station), среднегодовая температура воздуха в рассматриваемом районе составляет  $-9.8^{\circ}\text{C}$ , максимальная среднемесячная температура приходится на январь ( $-0.4^{\circ}\text{C}$ ) с абсолютным максимумом  $+9.3^{\circ}\text{C}$  (декабрь 1989 г.), а минимальная — на август ( $-8.8^{\circ}\text{C}$ ) при абсолютном минимуме  $-42^{\circ}\text{C}$ . Осадки выпадают здесь в виде снега — менее 350 мм/год. В прибрежных районах Холмов Тала преобладают восточные (в летние месяцы) и юго-восточные ветры — циклонические, кататические и переходные.

Отбор кернa и поверхностных проб снега для исследований проводился во время сезонной белорусской антарктической экспедиции (БАЭ) 2020—2021 гг. Образцы снега (верхние 2 см) отбирались в стерильные пластиковые бьюксы объемом 100 мл. Бурение на озере производилось со льда, мощность которого составляла 3 м при глубине воды 2 м. Применялся бур длиной 7.5 м. Поднятый керн заморозили и в таком состоянии доставили в ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам», где его распилили на фрагменты по 5 см и отправили в морозильник на хранение при  $-20^{\circ}\text{C}$ . Совокупная колонка кернa составила по мощности 195 см (рис. 2). В верхней



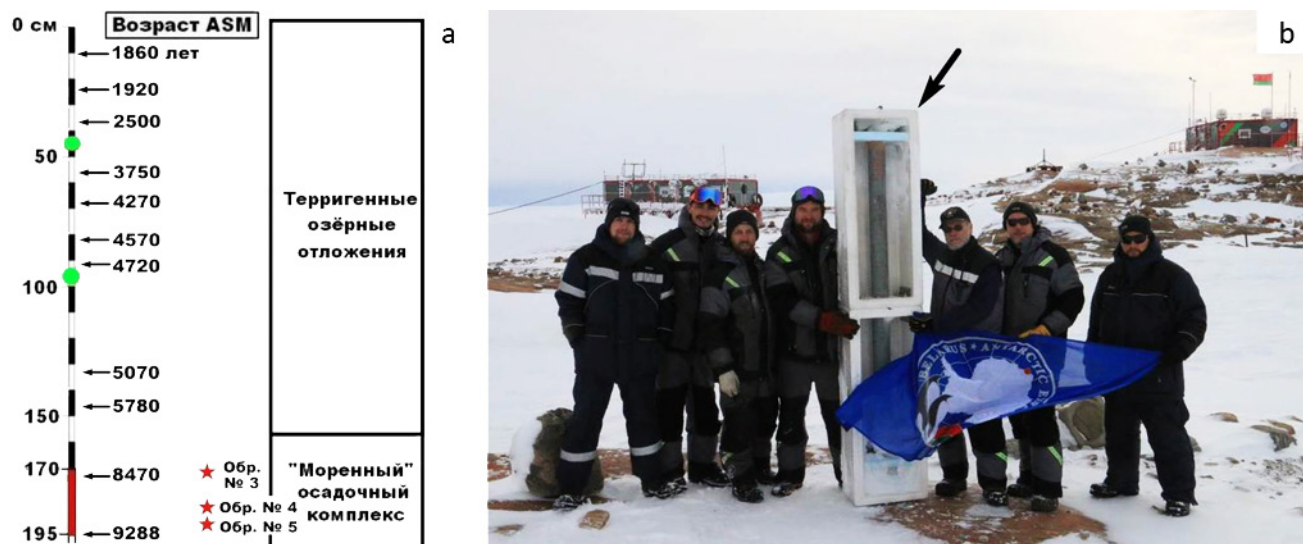
Рис. 1. Район исследований, на врезке отмечен красным прямоугольником

Fig. 1. The study area is marked with a red rectangle in the inset

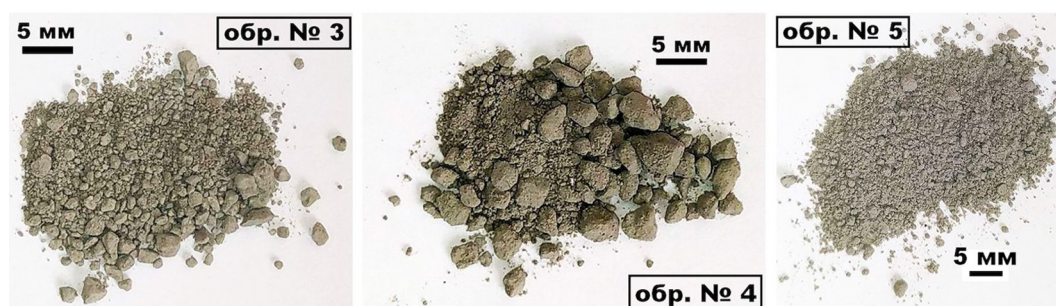
своей части керн содержал водоросли и цианобактерии, ниже располагались озерные илы, рыхлые в сухом виде и варьирующие по окраске от темно-оливковых до темно-серых. Ранее (2011—2012 гг.) образцы из этого водоема, отобранные в ходе совместных работ российской и белорусской антарктических экспедиций, изучались в Институте географии РАН, ФГБУ «АНИИ» (Санкт-Петербург), Научно-практическом центре и Институте природопользования НАН Беларуси (Минск) с применением AMS-датирования, диатомового и изотопного анализов, биологических и гидрохимических исследований (Гигиняк и др., 2016; Dolgich et al., 2017; Zazovskaja et al., 2017). Согласно этим данным, начало осадкообразования в озере Нижнем приходится на ранний голоцен: калиброванные даты в пределах 9300—8400 лет.

Непосредственным объектом наших исследований послужили образцы так называемого моренного осадочного комплекса, отобранные из литологической колонки на глубине 170—175 м — обр. № 3, 185—190 м — обр. № 4 и 190—195 м — обр. № 5. Материал в образцах в целом характеризуется гравийно-псаммитовым гранулометрическим составом (рис. 3), но при этом варьируется по относительному содержанию отдельных фракций (табл. 1). В нижнем образце содержание фракций немного возрастают при переходе от гравийно-грубопсаммитовой к среднепсаммитовой, а затем скачкообразно (в 9—3.5 раз) увеличивается в части мелкотонкопсаммитовой. В среднем образце, напротив, в ряду фракций в направлении от гравийно-грубопсаммитовой к среднепсаммитовой наблюдается сокращение содержаний, а потом умеренный рост содержания мелкотонкопсаммитовой фракции. В верхнем образце относительные содержания фракций последовательно увеличиваются в направлении от гравийно-грубопсаммитовой до мелкотонкопсаммитовой.

Таким образом, обнаруживается существенная гранулометрическая неоднородность исследуемых образцов, наиболее резко выраженная сильным преобладанием наиболее мелкой фракции в нижнем образце, немного сокращающаяся в среднем образце при максимальном для исследованных образцов содержании гравийно-грубопсаммитовой фракции



**Рис. 2.** Схематическое изображение литологической колонки осадков в оз. Нижнем (а), красный интервал — «моренный» осадочный комплекс (красными звездами показаны места отбора образцов, зеленые кружки — места отбора растительного материала) и керн исследованных отложений на полевой базе белорусской антарктической экспедиции (б)  
**Fig. 2.** Schematic representation of the lithological column of sediments in the lake (a). The lower, red interval is a “moraine” sedimentary complex (red stars show sampling sites, green circles indicate plant material sampling sites) and a core of studied sediments at the field base of the Belarusian Antarctic Expedition (b)



**Рис. 3.** Гранулометрическая неоднородность исследованных образцов  
**Fig. 3.** Granulometric heterogeneity of the studied samples

**Таблица 1.** Гранулометрический состав исследованных образцов озерных осадков, вес. %  
**Table 1.** Granulometric composition of the studied samples of lake sediments, wt. %

№ обр. Sample No.	Глубина отбора, м Sampling depth, m	Гранулометрические фракции, мм / Granulometric fractions, mm			
		+1	-1+0.5	-0.5+0.25	-0.25
3	170–175	17.6	20.9	22	39.5
4	185–190	28.2	15.4	15	41.4
5	190–195	7.57	7.15	19	66.28

*Примечание:* фракции: (+1) — гравийно-грубосаммитовая, (-1+0.5) — крупносаммитовая, (-0.5+0.25) — средне-саммитовая, (-0.25) — мелкотонкосаммитовая

*Note:* fractions: (+1) — gravel-coarse-psammitic, (-1+0.5) — coarse-psammitic, (-0.5+0.25) — medium-psammitic, (-0.25) — fine-fine-psammitic

и еще более уменьшающаяся в верхнем образце с образованием в нем четкой гранулометрической последовательности.

В дополнение к литологическим образцам анализировались твердые частицы в отобранных образцах снега. Эти образцы размораживались, водный раствор центрифугировался, а оставшийся осадок заливался глицерином. Полученный материал исследовался под

биологическим микроскопом ВК5000 с цифровой видеокамерой. Исследования показали, что в составе снега наибольшее распространение имеют частицы совершенно остроуголой формы, характерной для вулканических пеплов, и размером от 35×20 до 350×125 мкм (рис. 4). Примесью к таким частицам выступают округлые углеродные частицы размером 20–150 мкм (рис. 5).

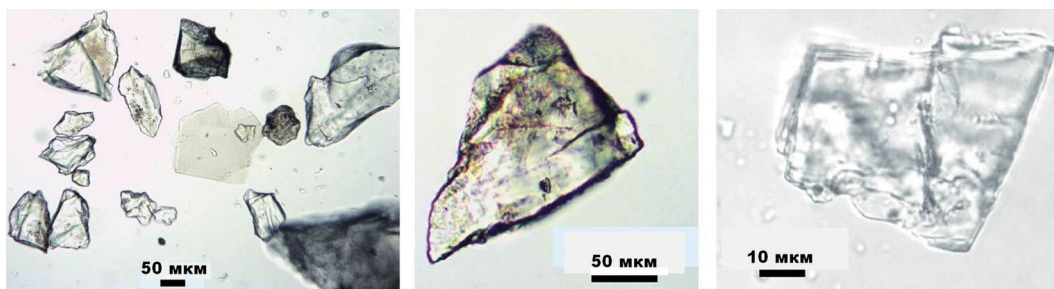


Рис. 4. Типичная форма вулканогенных микрочастиц в исследованных образцах

Fig. 4. Typical shape of volcanogenic microparticles in the studied samples

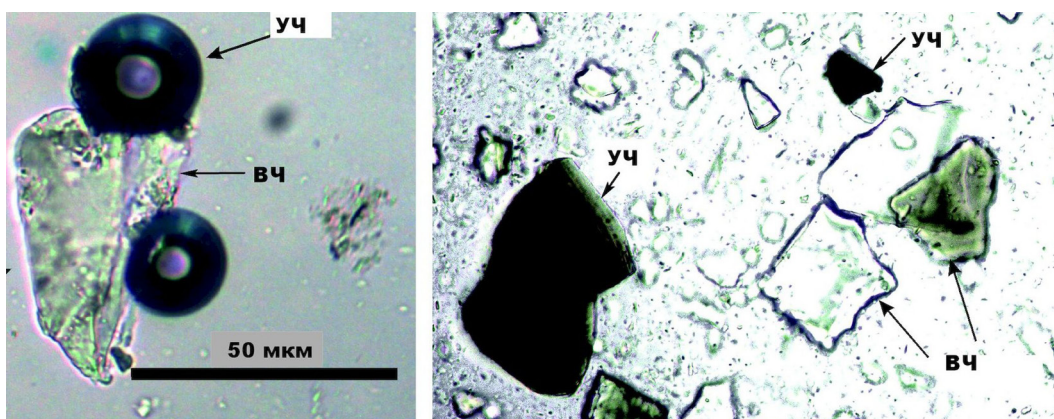


Рис. 5. Вулканогенные (ВЧ) и углеродные (УЧ) частицы в исследованных образцах

Fig. 5. Volcanogenic (BЧ) and carbon (УЧ) particles in the studied samples

В ходе исследований применялись аналитическая сканирующая электронная микроскопия (JSM-6400 Jeol с энергодисперсионным и волновым спектрометрами), рентгенофлуоресцентный анализ (XRF-1800 Shimadzu), рентгеновская дифрактометрия (XRD-6000 Shimadzu), масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (Agilent 7700x фирмы Agilent Technologies, США); изотопная масс-спектрометрия углерода (DeltaV+Advantage с аналитическим процессором Thermo Fisher Scientific), стронция и неодима (Triton Plus Thermo Fisher Scientific). Большая часть анализов была осуществлена в ЦКП «Геонаука» Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

### Химический состав и микроэлементы

По валовому химическому составу (табл. 2) материал моренного осадочного комплекса с оз. Нижнего соответствует вулканическим породам — в основном андезибазальтам и в небольшой степени дацитам. На TAS-диаграмме (рис. 6) поля состава проанализированных образцов располагаются в промежутке между областями состава голоценовых островодужных вулканитов Камчатки (Силаев и др., 2018, 2019, 2022) и пеплов непосредственно с вулкана Эребус (Силаев и др., 2020) и Флегрейских полей в Италии (Мелекесцев и др., 1984). Последние иногда рассматриваются как коренной источник материала, широко рассеивающегося по акваториям вплоть до сильно южных широт. Кроме того, на TAS-диаграмме приведено поле состава вулканического стекла из глинистых осадков Северо-Западной котловины Тихого океана (Петрова, 2005) как типичный пример дистанционного обогащения

голоценовых осадочных пород вулканогенным материалом.

Весомым доказательством вулканогенной природы материала в исследуемом «моренном» горизонте озерных осадков могут служить данные об изотопном составе в них стронция и неодима. Согласно полученным нами данным, значения изотопных коэффициентов  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  и  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  составляют соответственно 0.70336—0.7050 и 0.5128—0.5130, что почти совпадает с аналогичными данными не только по пеплам Эребуса, но и вообще по вулканическим островам южной акватории Тихого океана (Panter et al., 2006).

В составе вулканогенных осадков моренного горизонта выявлены 46 микроэлементов (табл. 3), суммарное содержание которых колеблется в узких пределах 1800—1950 г/т. Это примерно в два раза уступает балансу микроэлементов непосредственно в пеплах недавнего извержения Эребуса, но при этом ассоциации микроэлементов в осадках оз. Нижнего и в вулканических пеплах принципиально схожи по геохимическим свойствам. Так, в число зарегистрированных микроэлементов в осадках и пеплах входят элементы платиновой группы (Pd, Pt, Rh), ряд характерных сидерофильных и халькофильных элементов, серебро, а тренды хондритнормированных содержаний лантаноидов имеют принципиальное сходство (рис. 7). На диаграмме Ti/100–Zr–3Y Дж. А. Пирса точки исследованных образцов попали в поле вулканогенных базальтоидов дна океана. А с позиции глобальной геохимической эволюции (Щербаков, 1976; Силаев, 1987; Кокин и др., 2023) ассоциация микроэлементов в моренных осадках обогащена центростремительными ( $\text{I}_1$ ) и минимально-центробежными ( $\text{I}_2$ ) элементами относи-



Таблица 2. Валовый химический состав образцов и их гранулометрических фракций, мас. %

Table 2. Gross chemical composition of samples and their granulometric fractions, wt. %

№ обр. Sample No.	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
3	59.41	0.64	16.59	7.94	0.1	4.14	4.96	2.67	3.29	0.26
3/1	58.8	0.71	16.93	8.3	0.12	4.25	4.58	2.59	3.51	0.22
3/2	59.57	0.63	16.64	7.82	0.11	4.11	4.83	2.73	3.32	0.24
3/3	60.06	0.63	16.34	7.76	0.11	4.08	4.9	2.65	3.26	0.23
3/4	59.25	0.64	16.56	7.95	0.11	4.12	5.21	2.69	3.18	0.3
4	61.25	0.53	16.17	7.12	0.11	3.47	5.54	3.04	2.73	0.29
4/1	60.58	0.56	16.25	7.48	0.11	3.47	5.36	2.97	2.95	0.28
4/2	61.22	0.53	16.29	7.11	0.1	3.32	5.31	3.02	2.82	0.27
4/3	61.79	0.51	16.1	6.94	0.1	3.17	5.37	3.05	2.7	0.27
4/4	61.52	0.5	16.09	6.95	0.1	3.01	5.79	3.15	2.56	0.32
5	62.03	0.5	15.98	6.9	0.11	2.75	5.79	3.17	2.47	0.3
5/1	65.33	0.46	15.29	5.95	0.08	2.22	4.46	3.1	2.92	0.19
5/2	61.96	0.51	16.2	6.9	0.1	2.89	5.48	3.1	2.6	0.27
5/3	61.73	0.53	16.1	7.01	0.1	3.01	5.59	3.11	2.56	0.27
5/4	61.65	0.5	16.03	7.0	0.1	2.72	6.05	3.23	2.38	0.33

Примечание: результаты РФА приведены к 100 %: 3, 4, 5 — валовый химический состав; 3/1—3/4, 4/1—4/4, 5/1—5/4 — химический состав гранулометрических фракций.

Note: XRF results are adjusted to 100 %: 3, 4, 5 — gross chemical composition; 3/1—3/4, 4/1—4/4, 5/1—5/4 — chemical compositions of granulometric fractions.

Рис. 6. Диаграмма TAS, характеризующая химизм магматических пород. Точки и поля на диаграмме: 1 — пикриты; 2, 3 — пикриты соответственно умеренно-щелочные и щелочные; 4 — фойдиты; 5—8 — пикробазальты соответственно ультраосновные, умеренно-щелочные, щелочные, основные; 9 — базальты; 10 — трахибазальты; 11 — базальты щелочные; 12 — андезибазальты; 13 — трахиандезибазальты; 14 — фонотефриты; 15 — андезиты; 16 — трахиандезиты; 17 — тефрифонолиты; 18 — дациты низкощелочные; 19 — дациты; 20 — трахидациты; 21 — трахиты; 22 — трахиты щелочные; 23 — фонолиты; 24 — риодациты; 25 — трахириодациты; 26 — риодациты умеренно-щелочные; 27 — риодациты щелочные; 28 — риолиты низкощелочные; 29 — риолиты нормально-щелочные; 30 — риолиты умеренно-щелочные; 31 — риолиты щелочные. Серии: низкощелочная, нормально-щелочная, умеренно-щелочная, щелочная. Состав вулканитов: I — эффузивная серия Эребуса; II—V — пеплы и стеклофаза в них с извержения Эребуса 2000 г.; Км — продукты извержений камчатских вулканов; Фл — вулканиты с Флегрейских полей в Италии; СЗКТО — вулканическое стекло из глинистых осадков Северо-Западной котловины Тихого океана; Н-3, 4, 5 — исследуемые вулканогенные осадки в озере Нижнем

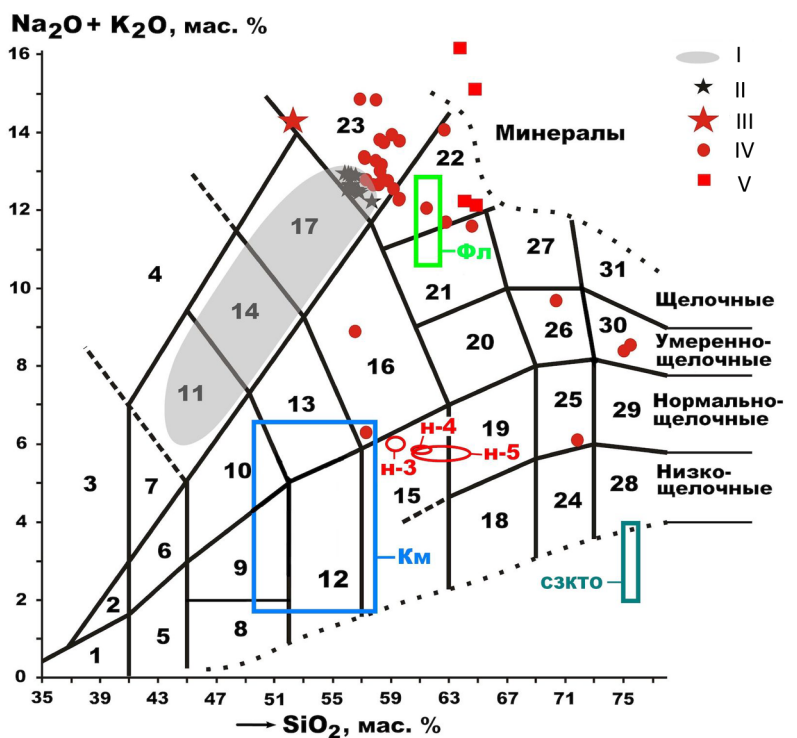


Fig. 6. TAS diagram characterizing the chemistry of igneous rocks. Points and fields on the diagram: 1 — picrites; 2, 3 — picrites, moderately alkaline and alkaline, respectively; 4 — foiditite; 5—8 — picrobasalts, respectively, ultrabasic, moderately alkaline, alkaline, basic; 9 — basalts; 10 — trachybasalts; 11 — alkaline basalts; 12 — basaltic andesites; 13 — basaltic trachyandesites; 14 — phonotephrites; 15 — andesites; 16 — trachyandesites; 17 — trachytes; 18 — low-alkaline dacites; 19 — dacites; 20 — trachydacites; 21 — trachytes; 22 — phonolites alkaline; 23 — phonolites; 24 — rhyodacites; 25 — trachyrhyodacites; 26 — rhyodacites moderately alkaline; 27 — rhyolites alkaline; 28 — rhyolites low-alkaline; 29 — rhyolites normal-alkaline; 30 — rhyolites moderately alkaline; 31 — rhyolites alkaline. Series: NiShch — low alkaline, NoShch — normal alkaline, UmShch — moderately alkaline, Shch — alkaline. Composition of volcanics: I — effusive series of Erebus; II—V — ashes and glass phase in them from the Erebus eruption in 2000; Км — products of eruptions of Kamchatka volcanoes; Фл — volcanics from the Phlegrean fields in Italy; СЗКТО — volcanic glass from clayey sediments of the Northwest Pacific basin; Н-3, 4, 5 — studied volcanogenic sediments in Lake Nizhneye

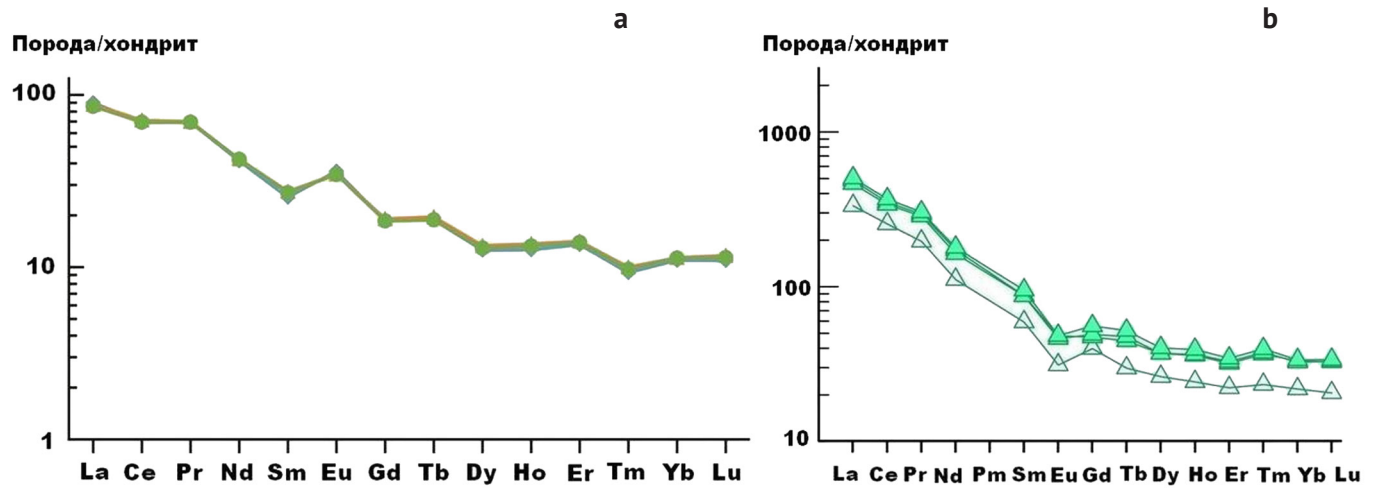


Рис. 7. Хондритнормированные содержания лантаноидов в исследованных образцах с оз. Нижнего (а) и в пеплах извержения Эребуca (b)

Fig. 7. Chondrite-normalized lanthanide contents in the studied samples with Lake Nizhneye (a) and in the ashes of the Erebus eruption (b)

Таблица 3. Средние содержания микроэлементов в исследованных образцах, г/т

Table 3. Average contents of microelements in the studied samples, ppm

Элементы Elements	№ 3		№ 4		№ 5	
	Среднее Average	СКО / RMS	Среднее Average	СКО / RMS	Среднее Average	СКО / RMS
I	2	3	4	5	6	7
Cr	54.25	2.75	49.5	0.577	47.25	6.946
Ni	26.75	2.36	36.75	3.096	19.5	3.109
Co	16.75	1.71	14.5	0.577	12.75	1.893
Rh	0.067	0.01	0.074	0.003	0.065	0.011
Pd	3.475	0.222	3.55	0.318	3.15	0.818
Pt	не обн. / n/d		0.007	0.015	0.012	0.023
Сумма $\Pi_1$ -элементов Sum of $\Pi_1$ -elements	101.292	6.651	104.541	3.7	82.727	12.461
Sc	14.75	0.5	15.0	2.16	13.3	3.0
V	108.5	7.326	99.75	2.5	98.25	2.5
Сумма $\Pi_2$ -элементов Sum of $\Pi_2$ -elements	123.25	7.182	114.75	2.63	111.55	2.92
Ga	16.75	0.96	15.5	0.58	15.75	0.5
Y	22.0	2.16	23.25	2.22	22.0	4.97
Nb	8.13	0.76	7.3	0.42	7.0	0.69
Mo	0.12	0.09	0.2	0.12	0.14	0.15
Ag	0.13	0.03	0.24	0.11	0.18	0.12
Cd	2.63	0.36	2.8	0.42	2.75	0.34
Cs	1.98	0.31	1.33	0.21	1.0	0.18
Ta	0.5	0.05	0.47	0.05	0.42	0.11
Bi	не обн. / n/d		не обн. / n/d		0.01	0.02
Th	7.43	0.9	7.48	0.75	7.65	0.31
Сумма $\Pi_3$ -элементов Sum of $\Pi_3$ -elements	59.64	3.79	58.56	3.27	56.9	5.62
Li	14.75	2.36	11.075	1.53	9.2	0.812
Be	1.25	0.06	1.425	0.26	1.325	0.15
Rb	76.5	11.39	57.5	6.191	53.25	7.089
Sr	355.25	9.11	382.75	13.15	374.0	25.781



Окончание табл. 3 / End of table 3

1	2	3	4	5	6	7
Ba	970.75	85.66	915.5	36.428	932.75	95.087
Zr	42.25	8.1	55.75	18.301	59.25	12.01
Hf	1.45	0.24	1.775	0.435	1.95	0.3
W	0.04	0.07	0.155	0.127	0.065	0.13
Pb	14.25	0.96	15.0	0.816	15.0	1.826
U	1.55	0.25	1.325	0.15	1.24	0.244
La	29.75	3.59	29.0	1.826	28.25	2.986
Ce	59.25	7.93	61.25	4.425	59.5	7.141
Pr	6.9	0.86	7.0	0.523	6.925	0.921
Nd	26.0	3.16	26.75	2.062	26.5	3.873
Sm	5.15	0.66	5.575	0.435	5.475	0.988
Eu	2.78	0.22	2.675	0.096	2.65	0.173
Gd	7.4	0.75	7.625	0.64	7.4	0.128
Tb	0.88	0.1	0.92	0.063	0.882	0.191
Dy	4.5	0.41	4.8	0.424	4.625	0.957
Ho	0.88	0.09	0.955	0.098	0.925	0.217
Er	2.7	0.33	2.825	0.33	2.775	0.585
Tm	0.37	0.05	0.4	0.053	0.387	0.099
Yb	2.4	0.22	2.5	0.271	2.475	0.538
Lu	0.37	0.05	0.397	0.062	0.385	0.096
Сумма лантаноидов Sum of lanthanoids	149.33		152.672		149.154	
Сумма Ц <sub>4</sub> -элементов Sum of Ц <sub>4</sub> -elements	1627.36	68.3	1594.928	66.943	1597.185	59.959
Сумма микроэлементов Sum of microelements	1911.542		1872.779		1848.362	
Ц <sub>4+3</sub> /Ц <sub>1+2</sub>	7.51		7.54		8.51	

*Примечание:* элементы: Ц<sub>1</sub> — центростремительные; Ц<sub>2</sub> — минимально-центробежные; Ц<sub>3</sub> — дефицитно-центробежные; Ц<sub>4</sub> — центробежные.

*Note:* elements: Ц<sub>1</sub> — centripetal; Ц<sub>2</sub> — minimally centrifugal; Ц<sub>3</sub> — deficit-centrifugal; Ц<sub>4</sub> — centrifugal microelements.

тельно дефицитно-центробежных (Ц<sub>3</sub>) и центробежных (Ц<sub>4</sub>) даже в большей степени, чем непосредственно пеплы Эребуса, особенно в расчете удельно на элемент в каждой ЦЦС-группе.

### Минерально-фазовый состав

Минерально-фазовый состав исследованных образцов в целом и по отдельным фракциям однообразен. В породообразующей части он определяется частицами вулканического стекла, соответствующего по химическому составу основным пикробазальтам и фолиту (табл. 4), а также кварцем, полевыми шпатами, слюдами, хлоритами, амфиболом и спорадически пироксенном.

Фазовая диагностика породообразующих минералов осуществлялась рентгено-дифракционным методом по наборам характеристических отражений.

*Кварц* (d, Å; в квадратных скобках — кристаллографические индексы): (4.26—4.28) [100]; (3.34—3.36) [101]; 2.46 [110]; (2.28—2.29) [102]; 2.24 [111]; 2.13 [200]; (1.979—1.984) [201]; (1.818—1.820) [112]; 1.799 [003]; (1.672—1.675) [202]; (1.653—1.657) [103]; (1.606—1.607) [210]; (1.542—1.543) [211].

*Полевые шпаты:* (6.42—6.48) [–110]; 6.39 [001]; 5.85 [–1–11]; (4.04—4.06) [–201]; (3.86—3.89) [1–11]; (3.76—3.78) [–130]; (3.65—3.67) [130]; (3.48—3.49) [–1–12]; (3.2—3.22) [–220]; 3.18 [002]; (3.13—3.15) [220]; (3.0—3.01) [1–31]; (2.94—2.95) [0–41]; 2.93 [0–22]; 2.90 [–2–22]; 2.85 [131]; (2.81—2.83) [–1–32]; (2.65—2.66) [–132]; (2.52—2.54) [2–21]; 2.49 [–241]; 2.46 [–240]; 2.43 [221]; 2.42 [–1–51]; 2.39 [–310]; (2.34—2.35) [–151]; 2.30 [–331]; (2.11—2.13) [2–41]; (2.04—2.05) [–402]; (2.01—2.02) [–401]; (1.98—1.984) [061]; 1.918 [–4–22]; (1.881—1.884) [–260]; (1.851—1.852) [–403]; (1.827—1.829) [11–3]; (1.818—1.820) [260]; (1.798—1.802) [–170]; (1.776—1.780) [–204]; (1.743—1.750) [2–42]; (1.740—1.742) [420]; (1.722—1.725) [062]; 1.717 [–441]; 1.694 [–442]; (1.653—1.657) [242]; 1.622 [353]; (1.570—1.571) [0–24]; 1.542 [351].

По данным рентгеноспектрального микрозондового анализа (табл. 5), полевые шпаты в основном представлены плагиоклазами андезин-олигоклазового минального состава — (Na<sub>0.7–0.79</sub>Ca<sub>0.21–0.3</sub>)(Al<sub>1.21–1.29</sub>Fe<sub>0–0.02</sub>)Si<sub>2.72–2.79</sub>O<sub>8</sub>] и анортоклазами — (Na<sub>0.34–0.8</sub>Ca<sub>0.07–0.32</sub>Ba<sub>0–0.01</sub>K<sub>0.02–0.48</sub>)[Al<sub>1.12–1.39</sub>Fe<sub>0–0.1</sub>Si<sub>2.51–2.88</sub>O<sub>8</sub>]. В последних плагиоклазовая компонента тоже является андезин-олигоклазом. Примесь к плагиоклазам и анортоклазам выступает калиевый полевой шпат состава



Таблица 4. Химический состав вулканического стекла, мас. %

Table 4. Chemical composition of volcanic glass, wt. %

Компоненты Components	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	48.6	62.91	47.25	46.5	45.91
TiO <sub>2</sub>	1.05	не обн. / n/d	1.12	1.08	1.69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.6	20.44	10.67	11.58	13.36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.74	0.78	15.82	15.4	17.65
MnO	0.53	не обн. / n/d	не обн. / n/d	0.3	0.34
MgO	11.01	0.76	12.21	11.43	10.17
CaO	9.73	не обн. / n/d	11.32	10.87	9.08
Na <sub>2</sub> O	не обн. / n/d	2.52	не обн. / n/d	1.43	не обн. / n/d
K <sub>2</sub> O	1.72	10.8	1.61	1.41	1.8
BaO	не обн. / n/d	1.79	не обн. / n/d	не обн. / n/d	не обн. / n/d

Примечание: 1, 3, 4, 5 — пикробазальты основные; 2 — фонолит.

Note: 1, 3, 4, 5 — basic picrobasalts; 2 — phonolite.

Таблица 5. Химический состав полевых шпатов, мас. %

Table 5. Chemical composition of feldspars, wt. %

Компоненты Components	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	64.96	64.83	66.04	52.34	63.03	63.98	60.94	60.53	63.04
TiO <sub>2</sub>	1.0	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.18	18.42	22.13	33.4	22.99	18.47	23.99	24.52	23.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	0.26	2.89	0.63	0.52	не обн. n/d
CaO	—	—	—	4.01	4.4	1.55	5.87	6.34	4.29
Na <sub>2</sub> O	—	—	9.56	3.29	8.99	6.35	7.85	8.09	9.38
K <sub>2</sub> O	16.86	16.75	2.27	6.96	0.37	6.76	0.72	не обн. n/d	не обн. n/d

Эмпирические формулы / empiric formulas:

1 — K<sub>0.99</sub>[(Al<sub>0.99</sub>Ti<sub>0.03</sub>)<sub>1.02</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]; 2 — K[AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]; 3 — (Na<sub>0.8</sub>Ca<sub>0.12</sub>K<sub>0.08</sub>)[Al<sub>1.12</sub>Si<sub>2.88</sub>O<sub>8</sub>];

4 — (K<sub>0.48</sub>Na<sub>0.34</sub>Ca<sub>0.18</sub>)[Al<sub>1.18</sub>Si<sub>2.82</sub>O<sub>8</sub>]; 5 — (Na<sub>0.77</sub>Ca<sub>0.21</sub>K<sub>0.02</sub>)[(Al<sub>1.2</sub>Fe<sub>0.01</sub>)<sub>1.21</sub>Si<sub>2.79</sub>O<sub>8</sub>];

6 — (Na<sub>0.56</sub>K<sub>0.36</sub>Ca<sub>0.07</sub>Ba<sub>0.01</sub>)[Al<sub>1.39</sub>Fe<sub>0.1</sub>Si<sub>2.51</sub>O<sub>8</sub>]; 7 — (Na<sub>0.68</sub>Ca<sub>0.28</sub>K<sub>0.04</sub>)[(Al<sub>1.26</sub>Fe<sub>0.02</sub>)Si<sub>2.72</sub>O<sub>8</sub>];

8 — (Na<sub>0.7</sub>Ca<sub>0.3</sub>)[(Al<sub>1.26</sub>Fe<sub>0.02</sub>)<sub>1.28</sub>Si<sub>2.72</sub>O<sub>8</sub>]; 9 — (Na<sub>0.79</sub>Ca<sub>0.21</sub>)[Al<sub>1.21</sub>Si<sub>2.79</sub>O<sub>8</sub>].

K<sub>0.99-1</sub>[Al<sub>0.99-1</sub>Ti<sub>0-0.01</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]. Очевидно, что именно полиминеральный и минерально-смешанный состав ассоциации полевых шпатов и объясняет мультисложный характер приведенной выше комбинации рентгеновских отражений. На диаграмме смесимости большая часть анализов анортоклазов отвечает калишпат-содержащему олигоклазу, некоторые — санидину. Один анализ попал в поле несмесимости. Все это подтверждает вулканогенное происхождение материала в исследованных озерных осадках.

Слюда: (10.10—10.28) [002]; (4.99—5.09) [004]; 2.49 [008]; 2.00 [0010]. Судя по приведенным рентгеновским отражениям и составу (табл. 6) — (K<sub>0.86-1.04</sub>Ca<sub>0-0.03</sub>)<sub>0.89-1.04</sub>(Al<sub>0.59-1</sub>Fe<sub>0.99-1.41</sub>)<sub>1.99-2</sub>[AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>1.89-2.04</sub> — слюда может быть отнесена к мусковиту-алюмоселадониту.

Хлориты: (14.36—14.73) [001]; (7.07—7.21) [002]; (3.54—3.55) [004]. Рентгеновские данные соответствуют клинохлору-пикнохлориту.

Амфибол: (8.46—8.54) [110]; 4.50 [040]; 3.88 [–131]; (3.24—3.25) [240]; (3.13—3.15) [310]; (2.93—2.94) [–151]; 2.72 [–331]; (2.60—2.61) [061]; (2.55—2.57) [241]; 2.38 [350]; 2.34 [–351]; (2.16—2.17) [–332]; (2.01—2.02) [351]. Судя по отражениям, является роговой обманкой.

Клинопироксен: 3.00 [22–1]; 2.53 [002].

В качестве акцессорных минералов в исследованных образцах обнаружены эпидот-алланит состава (Ca<sub>2.3-2.35</sub>La<sub>0.1-0.11</sub>Ce<sub>0.21-0.25</sub>Pr<sub>0-0.04</sub>Nd<sub>0-0.09</sub>)<sub>1.96-2</sub>(Al<sub>2.3-2.35</sub>Fe<sub>0.63-0.66</sub>)<sub>2.96-2.98</sub>[S<sub>3</sub>O<sub>12</sub>](OH)<sub>1.12-1.45</sub>, поликомпонентный циркон (Zr<sub>0.97-0.99</sub>Hf<sub>0-0.02</sub>Fe<sub>0-0.01</sub>Ca<sub>0-0.01</sub>)<sub>0.99-1.01</sub>[SiO<sub>4</sub>] (рис. 8, а; табл. 6) и магнетит, встречающийся не только в зернах, но и в виде характерных для вулканических пеплов магнитных шариков (рис. 8, с). По минеральному составу этот минерал является магнезиоферрит-герцинит-магнетитом со спорадической примесью хромита, кулсонита и якобсита (табл. 7). Очевидно, что примесь в исследованном магнетите таких атомно-плотных минералов, как магнезиоферрит





**Таблица 6.** Химический состав слюды (1, 2), эпидота-алланита (3, 4) и циркона (5–9), мас. %  
**Table 6.** Chemical composition of mica (1, 2), epidote-allanite (3, 4) and zircon (5–9), wt. %

Компоненты Components	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	43.89	42.62	36.34	34.94	32.76	32.88	32.39	32.77	33.07
ZrO <sub>2</sub>	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	66.04	66.25	65.51	65.29	66.19
HfO <sub>2</sub>	«	«	«	«	1.2	0.87	2.1	1.94	не обн. n/d
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.85	19.2	23.69	23.28	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	«
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.25	25.63	10.71	9.81	«	«	«	«	0.44
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	не обн. n/d	не обн. n/d	3.59	3.45	«	«	«	«	не обн. n/d
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	«	«	7.1	7.812	«	«	«	«	«
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	«	«	не обн. n/d	1.18	«	«	«	«	«
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	«	«	«	3.08	«	«	«	«	«
CaO	«	«	18.57	16.42	«	«	«	«	0.3
K <sub>2</sub> O	«	«	не обн. n/d	не обн. n/d	«	«	«	«	не обн. n/d

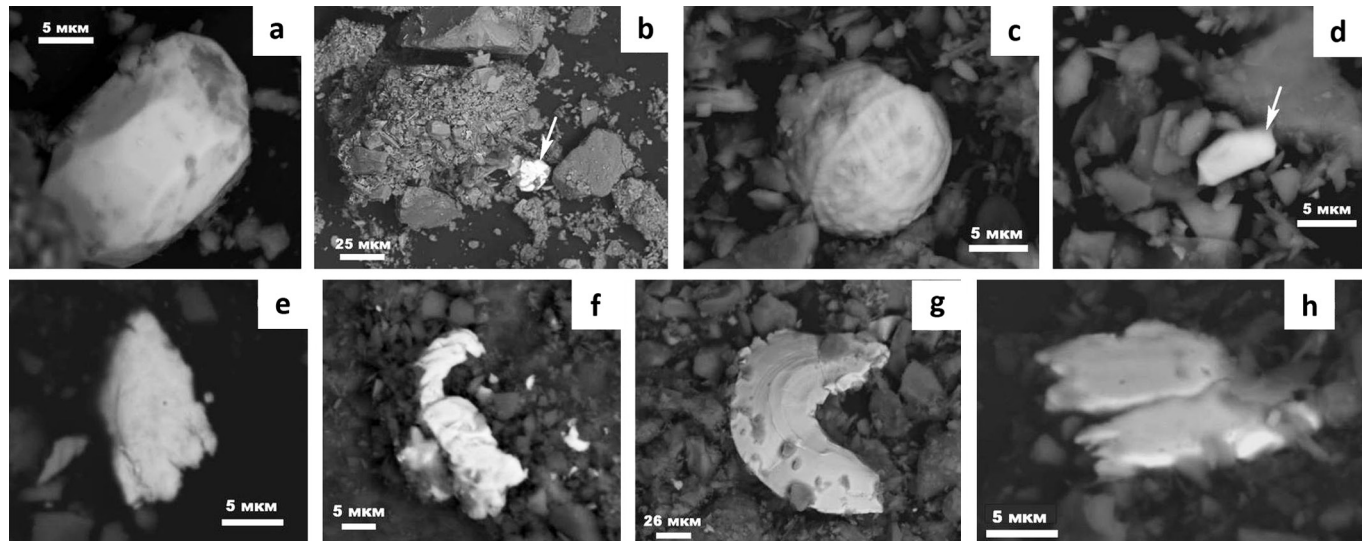
Эмпирические формулы / empiric formulas:

1 – (K<sub>0.86</sub>Ca<sub>0.03</sub>)<sub>0.89</sub>(AlFe<sub>0.99</sub>)<sub>1.99</sub>[AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>1.89</sub>; 2 – K<sub>1.04</sub>(Al<sub>0.59</sub>Fe<sub>1.41</sub>)<sub>2</sub>[AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>2.04</sub>;

3 – (Ca<sub>1.64</sub>La<sub>0.11</sub>Ce<sub>0.21</sub>)<sub>1.96</sub>(Al<sub>2.3</sub>Fe<sub>0.66</sub>)<sub>2.96</sub>[Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>](OH)<sub>1.12</sub>;

4 – (Ca<sub>1.51</sub>La<sub>0.1</sub>Ce<sub>0.25</sub>Pr<sub>0.04</sub>Nd<sub>0.09</sub>)<sub>2</sub>(Al<sub>2.35</sub>Fe<sub>0.63</sub>)<sub>2.98</sub>[Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>](OH)<sub>1.43</sub>; 5 – (Zr<sub>0.98</sub>Hf<sub>0.01</sub>)<sub>0.99</sub>[SiO<sub>4</sub>];

6 – (Zr<sub>0.98</sub>Hf<sub>0.01</sub>)<sub>0.99</sub>[SiO<sub>4</sub>]; 7 – (Zr<sub>0.99</sub>Hf<sub>0.02</sub>)<sub>1.01</sub>[SiO<sub>4</sub>]; 8 – (Zr<sub>0.97</sub>Hf<sub>0.02</sub>)<sub>0.99</sub>[SiO<sub>4</sub>]; 9 – (Zr<sub>0.98</sub>Fe<sub>0.01</sub>Ca<sub>0.01</sub>)[SiO<sub>4</sub>].



**Рис. 8.** Микроминералы в составе вулканогенных осадков оз. Нижнего, СЭМ-изображения в режиме упругоотраженных электронов. а, b — обр. № 5, соответственно циркон и монацит (показан стрелкой); с–h — обр. № 4, соответственно магнетит, ильменит-ферроколумбит-ферротанталит (показан стрелкой), хлораргирит, сплавы состава Fe-Cr-Ni-Mn и Ni-Cu-Zn-Fe, латунь

**Fig. 8.** Microminerals in the composition of volcanogenic sediments of Lake Nizhneye, SEM images in elastically reflected electron mode. а, b — sample No. 5, zircon and monazite, respectively (shown by an arrow); с–h — sample No. 4, respectively magnetite, ilmenite-ferrocolumbite-ferrotantalite (shown by an arrow), chlorargyrite alloys of the composition Fe-Cr-Ni-Mn and Ni-Cu-Zn-Fe, brass

и герцинит, свидетельствует не только о его вулканогенном происхождении, но и о кристаллизации в достаточно глубинных условиях.

Помимо вышеупомянутых минералов в исследованных образцах обнаружены фосфаты, хлориды, ок-

сиды и металлические сплавы. Фосфаты представлены цериевой разновидностью монацита (рис. 8, b; табл. 8) — (Ce<sub>0.37–0.38</sub>La<sub>0.16–0.21</sub>Pr<sub>0.03–0.06</sub>Nd<sub>0.15–0.16</sub>Sm<sub>0.02–0.03</sub>Gd<sub>0.02–0.03</sub>Y<sub>0.12–0.13</sub>Th<sub>0.01–0.02</sub>Ca<sub>0.04–0.05</sub>)<sub>0.99–1</sub>[PO<sub>4</sub>]. В качестве хлорида выступает гидроксильная



**Таблица 7.** Химический состав магнетита, мас. %  
**Table 7.** Chemical composition of magnetite, wt. %

Компоненты Components	1	2	3	4	5	6	7	8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	95.2	92.17	96.15	97.61	96.57	96.04	92.91	98.55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.87	7.83	2.54	не обн. n/d	1.14	3.11	3.82	0.82
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	0.28	0.59	не обн. n/d	0.81	не обн. n/d
MgO	1.93	«	1.31	не обн. n/d	1.07	«	1.77	«
MnO	не обн. n/d	«	не обн. n/d	2.4	не обн. n/d	«	не обн. n/d	«
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	«	«	«	не обн. n/d	0.63	0.85	0.69	0.63

Миналы, мол. % / Minerals, mol. %

Магнетит / Magnetite FeFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	82.5	82.5	86.5	92.5	89.5	91.5	79.5	97.0
Кулсонит / Kulsonite FeV <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0	0	0	0	1	1.5	1	1
Герцинит / Herzinite FeAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	6.5	17.5	5.5	0	2.5	7	8.5	2
Магнезиоферрит Magnesioferrite MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	11	0	8	0	6	0	10	0
Хромит / Chromite FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0	0	0	0.5	1	0	1	0
Якобсит / Yakobsite MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0	0	0	7	0	0	0	0

Эмпирические формулы / *empiric formulas*:

1 – (Fe<sub>0.89</sub>Mg<sub>0.11</sub>)(Fe<sub>1.87</sub>Al<sub>0.13</sub>)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; 2 – Fe<sub>3</sub>(Fe<sub>1.65</sub>Al<sub>0.35</sub>)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; 3 – (Fe<sub>0.92</sub>Mg<sub>0.08</sub>)(Fe<sub>1.89</sub>Al<sub>0.11</sub>)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>;

4 – (Fe<sub>0.93</sub>Mn<sub>0.07</sub>)(Fe<sub>1.99</sub>Cr<sub>0.01</sub>)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; 5 – (Fe<sub>0.94</sub>Mg<sub>0.06</sub>)(Fe<sub>1.91</sub>Al<sub>0.05</sub>Cr<sub>0.02</sub>V<sub>0.02</sub>)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>;

6 – Fe(Fe<sub>1.83</sub>Al<sub>0.14</sub>V<sub>0.03</sub>)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; 7 – (Fe<sub>0.9</sub>Mg<sub>0.1</sub>)(Fe<sub>1.79</sub>Al<sub>0.17</sub>Cr<sub>0.02</sub>V<sub>0.02</sub>)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; 8 – Fe(Fe<sub>1.94</sub>Al<sub>0.04</sub>V<sub>0.02</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**Таблица 8.** Химический состав монацита, мас. %  
**Table 8.** Chemical composition of monazite, wt. %

Компоненты Components	1	2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	31.63	31.52
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.77	6.43
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.71	13.59
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.95	27.46
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.05	2.46
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.43	10.97
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.99	2.1
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.93	1.84
ThO <sub>2</sub>	1.33	2.34
CaO	1.21	1.29

Эмпирические формулы / *empiric formulas*:

1 – (Ce<sub>0.38</sub>La<sub>0.16</sub>Pr<sub>0.06</sub>Nd<sub>0.16</sub>Sm<sub>0.03</sub>Gd<sub>0.02</sub>Y<sub>0.13</sub>Th<sub>0.01</sub>Ca<sub>0.04</sub>)<sub>0.99</sub>[PO<sub>4</sub>];

2 – (Ce<sub>0.37</sub>La<sub>0.21</sub>Pr<sub>0.03</sub>Nd<sub>0.15</sub>Sm<sub>0.02</sub>Gd<sub>0.03</sub>Y<sub>0.12</sub>Th<sub>0.02</sub>Ca<sub>0.05</sub>)<sub>0.99</sub>[PO<sub>4</sub>].

разновидность хлораргирита (рис. 8, d; табл. 9) – AgCl<sub>0.52–0.69</sub>(OH)<sub>0.29–0.48</sub>. В качестве аксессуарных оксидов установлены поликомпонентный ильменит и уникальная система твердофазных смесей ильменит-фер-

**Таблица 9.** Химический состав гидроксихлораргирита, мас. %

**Table 9.** Chemical composition of hydroxychlorargyrite, wt. %

Компоненты Components	1	2	3
Ag	81.58	85.35	85.68
Cl	18.17	14.65	14.32
S	0.25	не обн. n/d	не обн. n/d

Эмпирические формулы / *empiric formulas*:

1 – AgCl<sub>0.69</sub>S<sub>0.01</sub>(OH)<sub>0.29</sub>;

2 – AgCl<sub>0.53</sub>(OH)<sub>0.47</sub>;

3 – AgCl<sub>0.52</sub>(OH)<sub>0.48</sub>.

роколумбит-ферротанталит (табл. 10), которая известна только в эндогенных образованиях (Егоров, Арзамасцев, 2018). Ильменит варьируется по составу в пределах (Fe<sub>0.46–0.93</sub>Mg<sub>0–0.48</sub>Mn<sub>0.01–0.19</sub>)(Ti<sub>0.83–1</sub>Al<sub>0–0.17</sub>), в минеральном выражении это: ильменит – 46–93, пикроильменит – 0–48, пиррофанит – 1–19 мол. %. Состав титан-ниобий-танталовых твердофазных смесей оценивается нами как Fe<sub>1.71–1.92</sub>(Ti<sub>1.38–1.81</sub>Nb<sub>0.04–0.42</sub>Ta<sub>0.13–0.17</sub>)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, что в миналах имеет вид: ильменит – 70–92, ферроколумбит – 1–21, ферротанталит – 7–9 мол. %. Кроме этого, в составе образцов выявлены



**Таблица 10.** Химический состав ильменита (1–7) и минералов системы ильменит-ферроколумбит-ферротанталит (8, 9), мас. %

**Table 10.** Chemical composition of ilmenite (1–7) and minerals of the ilmenite-ferrocolumbite-ferrotantalite system (8, 9), wt. %

Компоненты Components	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TiO <sub>2</sub>	50.98	50.84	50.64	50.67	43.24	51.42	49.24	36.57	32.31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46.06	41.84	42.51	42.14	48.22	23.7	41.15	38.76	39.81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	5.5	0.58	0.99	не обн. n/d	не обн. n/d
MnO	0.63	6.36	6.85	6.34	2.98	22.29	8.62	—	—
MgO	2.33	0.96	не обн. n/d	0.85	не обн. n/d	2.01	не обн. n/d	—	—
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	—	не обн. n/d	—	0.7	0.72
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	—	—	—	—	—	7.05	10.8
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	—	—	—	—	—	16.92	16.36

Миналы, мол. % / Minerals, mol. %

Ильменит Ilmenite FeTiO <sub>3</sub>	90	82	85	83	94	45	81	92	70
Гейкилит Geykielite MgTiO <sub>3</sub>	9	4	15	3	0	47.5	0	0	0
Пирофанит Pyrophanite MnTiO <sub>3</sub>	1	14	0	14	6	7.5	19	0	0
Ферротанталит Ferrotantalite FeTa <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	7	9
Ферроколумбит Ferrocolumbite FeNb <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	1	21

Эмпирические формулы / empiric formulas:

1 – (Fe<sub>0.9</sub>Mg<sub>0.09</sub>Mn<sub>0.01</sub>)TiO<sub>3</sub>; 2 – (Fe<sub>0.82</sub>Mg<sub>0.04</sub>Mn<sub>0.14</sub>)TiO<sub>3</sub>; 3 – (Fe<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.15</sub>)<sub>0.99</sub>TiO<sub>3</sub>; 4 – (Fe<sub>0.83</sub>Mg<sub>0.03</sub>Mn<sub>0.14</sub>)TiO<sub>3</sub>; 5 – (Fe<sub>0.93</sub>Mn<sub>0.06</sub>)<sub>0.99</sub>(Ti<sub>0.83</sub>Al<sub>0.17</sub>)O<sub>3</sub>; 6 – (Fe<sub>0.46</sub>Mg<sub>0.48</sub>Mn<sub>0.15</sub>)<sub>1.01</sub>(Ti<sub>0.98</sub>Al<sub>0.02</sub>)O<sub>3</sub>; 7 – (Fe<sub>0.81</sub>Mn<sub>0.19</sub>)(Ti<sub>0.98</sub>Al<sub>0.02</sub>)O<sub>3</sub>; 8 – Fe<sub>1.92</sub>(Ti<sub>1.81</sub>V<sub>0.02</sub>Nb<sub>0.04</sub>Ta<sub>0.13</sub>)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>; 9 – Fe<sub>1.71</sub>(Ti<sub>1.38</sub>V<sub>0.03</sub>Nb<sub>0.42</sub>Ta<sub>0.17</sub>)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>.

металлические сплавы трех составов (табл. 11): на основе железа (рис. 8, e) – Fe<sub>0.68–0.7</sub>Cr<sub>0.19–0.21</sub>Ni<sub>0.08–0.1</sub>Mn<sub>0.01–0.02</sub>, на основе никеля (рис. 8, f) – Ni<sub>0.43–0.52</sub>Cu<sub>0.28–0.33</sub>Zn<sub>0.19–0.23</sub>Fe<sub>0–0.01</sub>, латунь (рис. 8, g) – Cu<sub>0.57–0.58</sub>Zn<sub>0.4–0.42</sub>Sn<sub>0–0.01</sub>(Ni,Fe)<sub>0–0.01</sub>.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что по минеральному составу моренные осадки в оз. Нижнем хорошо коррелируются именно с пеплами вулкана Эребус, в которых были выявлены и калишпат-плагиоклаз-анортоклазовая ассоциация, и поликомпонентный циркон, и монацит, и хлориды, и металлические сплавы. Таким образом, и на минералогическом уровне организации исследуемые осадки могут быть определены как вулканогенные.

### Изотопия углерода как генетический индикатор

Обнаружение в осадках моренного осадочного комплекса оз. Нижнего и в образцах снега частиц угле-

родного вещества ставит вопрос о его генетической природе. Предварительно предполагалось, что оно может иметь как природное (растительное), так и антропогенное происхождение. Для решения этого вопроса в соответствующих частицах нами был исследован изотопный состав углерода.

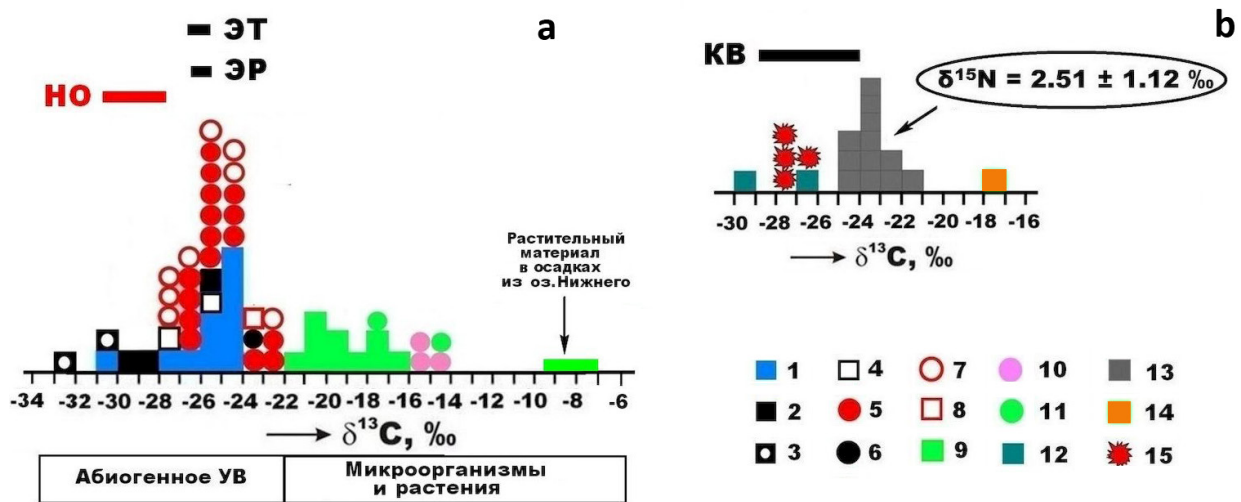
Проведенные исследования показали, что изотопный состав углерода в частицах из моренных осадков очень устойчив и определяется узким интервалом значений коэффициента  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -30... -28$ , составляя статистически  $(-28.96 \pm 1.01) \%$ . Полученные данные кардинально отличаются от данных по водорослям из осадков того же озера  $(-9.31... -7.1 \%)$ , но близки к изотопному составу эндогенного углерода в продуктах голоценового вулканизма. На соответствующей генеральной диаграмме (рис. 9) изотопные данные, полученные по частицам из осадков оз. Нижнего, лежат в пределах диапазона варьирования значений  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  в разнообразных углеродных фазах вулканогенного происхождения, особенно сближаясь с углеродными

**Таблица 11.** Химический состав металлических сплавов на основе железа (1–6), никеля (7, 8) и латуни (9, 10), мас.%  
**Table 11.** Chemical composition of iron-based metal alloys (1–6), nickel (7, 8) and brass (9, 10), wt.%

Компоненты Components	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fe	70.62	71.0	68.99	69.82	70.56	68.98	0.56	0.42	0.34	0.45
Cr	18.64	18.55	19.46	18.5	18.73	20.58	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d
Ni	9.93	9.87	9.59	10.27	10.22	8.98	49.68	40.76	—	0.5
Mn	0.81	0.58	1.96	1.41	0.49	1.46	не обн. n/d	не обн. n/d	—	не обн. n/d
Cu	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	не обн. n/d	29.28	33.54	55.88	57.42
Zn	—	—	—	—	—	—	20.48	25.28	41.93	39.97
Sn	—	—	—	—	—	—	не обн. n/d	не обн. n/d	1.85	1.66

Эмпирические формулы / empiric formulas:

1 –  $Fe_{0.7}Cr_{0.2}Ni_{0.09}Mn_{0.01}$ ; 2 –  $Fe_{0.7}Cr_{0.2}Ni_{0.09}Mn_{0.01}$ ; 3 –  $Fe_{0.68}Cr_{0.21}Ni_{0.09}Mn_{0.02}$ ; 4 –  $Fe_{0.69}Cr_{0.2}Ni_{0.1}Mn_{0.01}$ ;  
 5 –  $Fe_{0.7}Cr_{0.19}Ni_{0.1}Mn_{0.01}$ ; 6 –  $Fe_{0.69}Cr_{0.21}Ni_{0.08}Mn_{0.02}$ ; 7 –  $Ni_{0.52}Cu_{0.28}Zn_{0.19}Fe_{0.01}$ ;  
 8 –  $Ni_{0.43}Cu_{0.33}Zn_{0.23}Fe_{0.01}$ ; 9 –  $Cu_{0.57}Zn_{0.42}(Sn,Fe)_{0.01}$ ; 10 –  $Cu_{0.58}Zn_{0.4}Sn_{0.01}(Ni,Fe)_{0.01}$



**Рис. 9.** Изотопный состав углерода в продуктах современного вулканизма на Камчатке и в современных микроорганизмах (а) в сравнении с продуктами вулканизма и рудообразования в рифтовой зоне Срединно-Атлантического хребта и в тефре вулкана Кумбре-Вьяха (б). а: 1–7 – углеродные фазы и минералы: дисперсно-рассеянное углеродное вещество в вулканитах (1), частицы шунгитоподобного вещества (2), парафиноподобная фаза (3), частицы самородного алюминия с включениями углеродного вещества (4), углеродное вещество в fumarole «Ядовитой», алмазы (6), диуглеродные глобулы (7), карбиды (8); 9–11 – микроорганизмы: бактерии (9), дрожжи (10) и хлорелла (11). Рамками показаны диапазоны варьирования изотопного состава углерода в вулканогенных осадках в оз. Нижнем (НО), в пеплах извержений вулканов Эребус, 2000 г. (ЭР) и Этна, 1669 г. (ЭТ). б: 12 – дисперсно-рассеянное углеродное вещество в магматитах, 13 – углеродизированные шлаки, 14 – биогенное органическое вещество на поверхности шлаковых частиц, 15 – дисперсное углеродное вещество в сульфидных рудах с гидротермальных полей САХ – Ашадзе-1, Ашадзе-2, Зенит-Виктория, Коралловое, Краснов, Молодежное, Петербургское, Победа-1, Семенов. Рамками показан диапазон варьирования изотопного состава углерода в пеплах извержения вулкана Кумбре-Вьяха, 2021 г. (KB)

**Fig. 9.** Carbon isotope composition in the products of modern volcanism in Kamchatka and in modern microorganisms (a) in comparison with the products of volcanism and ore formation in the rift zone of the Mid-Atlantic Ridge and in tephra of the Cumbre-Vyahya volcano (b). а: 1–7 – carbon phases and minerals: respectively dispersed carbon matter in volcanics (1), particles of shungite-like substance (2), paraffin-like phase (3), particles of native aluminum with inclusions of carbon matter (4), carbon matter in the Yadovitaya fumarole, diamonds (6), dicarbon globules (7), carbides (8); 9–11 – microorganisms: respectively bacteria (9), yeast (9) and chlorella (10). The frames show the ranges of variation in the carbon isotope composition in volcanogenic sediments in Lake Nizhneye (НО), in the ashes of the eruptions of volcanoes Erebus, 2000 g. (ЭР) and Etna, 1669 g. (ЭТ). б: 12 – dispersed carbon matter in magmatites, 13 – carbonized slag, 14 – biogenic organic matter on the surface of slag particles, 15 – dispersed carbon matter in sulfide ores from hydrothermal fields of the MAR – Ashadze 1, Ashadze 2, Zenit-Victoria, Coral, Krasnov, Molodezhnoe, Petersburg, Pobeda 1, Semenov. The frames show the range of variations in the carbon isotopic composition in the ashes of the eruption of the Cumbre Viaja volcano, 2021 (KB)



частицами, выявленными в пеплах вулкана Эребус. Таким образом, обнаруженное в моренном осадочном комплексе углеродное вещество является небиологическим и вулканогенным по происхождению.

## Выводы

Объектами комплексного минералого-геохимического изучения стали образцы раннеголоценового возраста из моренного осадочного комплекса оз. Нижнего вблизи белорусской полевой базы «Гора Вечерняя». Материал в образцах в целом характеризуется гравийно-псаммитовым гранулометрическим составом, варьирующимся по относительному содержанию гравийно-грубопсаммитовой, крупнопсаммитовой, среднепсаммитовой и мелкотонкопсаммитовой фракций. По валовому химическому составу изученный материал соответствует вулканическим породам — в основном андезибазальтам и в небольшой степени дацитам. Их вулканогенная природа подтверждается изотопным составом стронция и неодима. По ассортименту, балансу и степени геохимической дифференцированности микроэлементов исследованные озерные осадки более всего близки к пеплам вулкана Эребус.

Фазово-минеральный состав изученных отложений определяется частицами вулканического стекла, ортоклаз-плагиоклаз-анортоклазовой ассоциацией полевых шпатов, мусковит-алюмоселадонитом, клинохлор-прохлоритом, эпидот-алланитом, магнетитом с минеральной примесью магнезиоферрита и герцинита, монацитом, гидроксихлораргиритом, Mg-Mn-ильменитом, ильменит-ферроколумбит-ферротанталитовыми твердыми растворами, металлическими сплавами Fe-Cr-Ni-, Ni-Cu-Zn- и Cu-Zn-состава. Эти данные также свидетельствуют о вулканогенной природе исследованных осадков. Углеродное вещество, обнаруженное в моренном осадочном комплексе, является небиологическим и вулканогенным по происхождению.

Таким образом, все данные, полученные по раннеголоценовому «моренному» осадочному комплексу в оз. Нижнем Восточной Антарктиды, характеризуют его как осадочно-вулканогенный, образованный с наибольшей вероятностью за счет взрывных продуктов вулкана Эребус.

*Исследования выполнены в рамках государственной программы 23 «Научно-инновационная деятельность Национальной академии наук Беларуси» на 2021—2025 годы, подпрограммы 23.2 «Развитие деятельности белорусской антарктической станции», а также в рамках государственной темы Института геологии Коми НЦ УрО РАН № 122040600009-2 «Фундаментальные проблемы минералогии и минералообразования, минералы как индикаторы петро- и рудогенезиса, минералогия рудоносных районов и месторождений Тимана и Североуральского района и арктических территорий».*

## Литература / References

- Александров М. В. Ландшафтная структура и картирование оазисов Земли Эндерби. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 152 с.
- Aleksandrov M. V. Landscape structure and mapping of the oases of Enderby Land. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985, 152 p. (in Russian)
- Гигиняк Ю. Г., Бородин О. И., Мямин В. Е. Исследования, проводимые в Антарктике белорусскими биологами // Природная среда Антарктики: современное состояние изученности: Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Минск: Конфидо, 2016. С. 84—94.
- Giginiak Yu. G., Borodin O. I., Miamin V. E. Research conducted in Antarctica by Belarusian biologists. Natural environment of Antarctica: current state of knowledge: Proc. of the 2nd International scientific-practical conf., Minsk: Confido, 2016, pp. 84—94. (in Russian).
- Егоров А. В., Арзамасцев А. А. Та-Nb минерализация в керамических пегматитах Северного Приладожья: состав и условия образования // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН, 2018. Вып. 15. С. 136—139.
- Egorov A. V., Arzamastsev A. A. Ta-Nb mineralization in ceramic pegmatites of the Northern Ladoga region: composition and conditions of formation. Proceedings of the Fersman scientific session of the Geological Institute of the KSC RAS, 2018, 15, pp. 136—139. (in Russian).
- Каратаев Г. И. Проект научных геолого-геофизических исследований в районе белорусской антарктической станции (Гора Вечерняя, Земля Эндерби, Восточная Антарктида) на 2016—2020 годы // Природная среда Антарктики: современное состояние изученности: Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Нарочь, 2016. С. 153—157.
- Karataev G. I. Project of scientific geological and geophysical research in the area of the Belarusian Antarctic station (Mount Vechernyaya, Enderby Land, East Antarctica) for 2016—2020. Natural environment of Antarctica: current state of knowledge: Proc. of the 2nd International Scientific and Practical Conf., Naroch, 2016, pp. 153—157. (in Russian).
- Кокин А. В., Силаев В. И., Кокин М. А., Хазов А. Ф. Периодический закон Д. И. Менделеева, космогеохимическая система Ю. Г. Щербакова и перспективы развития минералого-геохимических исследований // Вестник геонаук. 2023. № 6. С. 29—36.
- Kokin A. V., Silaev V. I., Kokin M. A., Khazov A. F. D. I. Mendeleev's Periodic law, Yu. G. Shcherbakov's cosmochemochemical system and prospects for the development of mineralogical and geochemical research. Vestnik of geosciences, 2023, 6, pp. 29—36. (in Russian)
- Мелекесцев И. В., Кирьянов В. Ю., Праслов Н. Д. Катастрофическое извержение в районе Флегрейских полей (Италия) — возможный источник вулканического пепла в позднелейстоценовых отложениях европейской части СССР // Вулканология и сейсмология. 1984. № 3. С. 35—44.
- Melekestsev I. V., Kirianov V. Yu., Praslov N. D. Catastrophic eruption in the area of the Phlegrean Fields (Italy) is a possible source of volcanic ash in the Late Pleistocene deposits of the European part of the USSR. Vulcanology and Seismology, 1984, 3, pp. 35—44. (in Russian).
- Мясников О. В., Федорова Л. Р., Василенок Е. А. Цифровой атлас горных пород Восточной Антарктиды (Холмы Тала): методы формирования // Проблемы региональной геологии запада Восточно-Европейской платформы и смежных территорий: Материалы II Междунар. науч. конф. Минск: Изд-во БГУ, 2021. С. 290—295.
- Miasnikov O. V., Fedorova L. R., Vasilenok E. A. Digital atlas of rocks of East Antarctica (Tala Hills): formation methods. Problems of regional geology of the West



- of the East European Platform and adjacent territories: Proc. of the 2<sup>nd</sup> International Scientific Conference. Minsk: BSU Publishing House, 2021, pp. 290–295. (in Russian)
- Петрова В. В.* Низкотемпературные вторичные минералы и их роль в литогенезе (силикаты, алюмосиликаты, гидроксиды). М.: ГЕОС, 2005. 247 с.
- Petrova V. V.* Low-temperature secondary minerals and their role in lithogenesis (silicates, aluminosilicates, hydroxides). Moscow: GEOS, 2005, 247 p. (in Russian)
- Силаев В. И.* Зональность рудных месторождений и полей как отражение геохимической дифференциации. Сыктывкар: Коми научный центр УрО АН СССР, 1987. Вып. 173. 24 с. (Серия препринтов «Научные доклады»).
- Silaev V. I.* Zoning of ore deposits and fields as a reflection of geochemical differentiation. Series of preprints “Scientific reports”. Komi SC UB RAS of Academy of Sciences of the USSR, 1987, 173, 24 p. (in Russian)
- Силаев В. И., Аникин Л. П., Карпов Г. А., Ремизов Д. Н., Мяндин А. С., Филиппов В. Н., Хазов А. Ф., Лютоев В. П., Киселёва Д. В.* Пузыристые лавы алмазопродуктивного Толбачинского трещинного извержения 2012–2013 гг. (ТТИ-50, Камчатка) // Вестник Пермского университета. 2022. Т. 21. № 3. С. 193–215.
- Silaev V. I., Anikin L. P., Karpov G. A., Remizov D. N., Miandin A. S., Filippov V. N., Khazov A. F., Liutoev V. P., Kiseleva D. V.* Bubbling lavas of the diamond-producing Tolbachik fissure eruption of 2012–2013. (TTI-50, Kamchatka). Bulletin of Perm University, 2022, 21 (3), pp. 193–215. (in Russian)
- Силаев В. И., Карпов Г. А., Аникин Л. П., Вергасова Л. П., Филиппов В. Н., Тарасов К. В.* Минерально-фазовый парагенезис в эксплозивных продуктах современных извержений вулканов Камчатки и Курил. Часть 2. Минералы-спутники алмазов толбачинского типа // Вулканология и сейсмология. 2019. № 6. С. 36–49.
- Silaev V. I., Karpov G. A., Anikin L. P., Vergasova L. P., Filippov V. N., Tarasov K. V.* Mineral-phase paragenesis in explosive products of modern eruptions of Kamchatka and Kuril volcanoes. Part 2. Satellite minerals of Tolbachik type diamonds. *Vulcanology and Seismology*, 2019, 6, pp. 36–49. (in Russian)
- Силаев В. И., Карпов Г. А., Аникин Л. П., Филиппов В. Н., Смолева И. В., Макеев Б. А., Шанина С. Н., Вергасова Л. П., Киселёва Д. В., Солошенко Н. Г., Чередниченко Н. В., Хазов А. Ф., Тарасов К. В.* Петро-минералогеохимические свойства пеплов вершинных извержений вулкана Ключевской 2020–2021 гг., предшествующих побочному извержению Прорыва Горшкова // Вулканология и сейсмология. 2022. № 2. С. 3–27.
- Silaev V. I., Karpov G. A., Anikin L. P., Filippov V. N., Smoleva I. V., Makeev B. A., Shanina S. N., Vergasova L. P., Kiseleva D. V., Soloshenko N. G., Cherednichenko N. V., Khazov A. F., Tarasov K. V.* Petro-mineral-geochemical properties of ashes from the summit eruptions of the Klyuchevskoy volcano in 2020–2021, preceding the secondary eruption of the Gorshkov Proryv. *Vulcanology and Seismology*, 2022, 2, pp. 3–27. (in Russian)
- Силаев В. И., Карпов Г. А., Киселёва Д. В., Вергасова Л. П., Макеев Б. А., Тарасов К. В., Хазов А. Ф.* Пеплы 2017 года с вулканов Ключевского и Камбального: сравнительный минералогический анализ // Вестник Пермского университета. Геология. 2018. № 4. С. 326–341.
- Silaev V. I., Karpov G. A., Kiseleva D. V., Vergasova L. P., Makeev B. A., Tarasov K. V., Khazov A. F.* Ashes of 2017 from the Klyuchevsky and Kambalny volcanoes: comparative mineralogical and geochemical analysis. *Bulletin of Perm University. Geology*, 2018, 4, pp. 326–341. (in Russian)
- Силаев В. И., Карпов Г. А., Филиппов В. Н., Макеев Б. А., Шанина С. Н., Хазов А. Ф., Тарасов К. В.* Минералогическая геохимическая характеристика прикратерной тephры вулкана Эребус (Антарктида) из материалов извержения 2000 г. // Вулканология и сейсмология. 2020. № 4. С. 40–56.
- Silaev V. I., Karpov G. A., Filippov V. N., Makeev B. A., Shanina S. N., Khazov A. F., Tarasov K. V.* Mineralogical and geochemical properties of near-crater tephra of Erebus volcano (Antarctica) from materials of eruptions of 2000. *Vulcanology and seismology*, 2020, 4, pp. 40–56. (in Russian)
- Щербачков Ю. Г.* Геохимическая эволюция и рудные формации // Проблемы эндогенного рудообразования и металлогении. Новосибирск: Наука, 1976. 217–229.
- Shcherbakov Yu. G.* Geochemical evolution and ore formations. *Problems of endogenous ore formation and metallogeny*. Novosibirsk: Nauka, 1976, pp. 217–229. (in Russian)
- Dolgikh A., Alexandrin M., Konstantinov E., Mergelov N., Shishkov V., Zazovskaya E., Gaidashov A., Miamin V., Pushina Z., Verkulich S.* Radiocarbon age of the Holocene deglaciation in the Thala Hills oasis, East Antarctica // Abstracts of the 1st International Workshop on Antarctic permafrost, periglacial processes and soils (ANTPAS) “From an Expert Group to a Research Program”, Varese, Italy, 2017. P. 14.
- Molodezhnaya station* — [http://www.aari.aq/stations/mol/mol\\_en.html](http://www.aari.aq/stations/mol/mol_en.html)
- Panter K.S., Blusztajn J., Hart S.R., Kyle Ph., Esser R., Mchintosh W.C.* The Origin of HIMU in the SW Pacific: Evidence from Intra plate Volcanism in Southern New Zealand and Subantarctic Islands // *Journal Petrol.*, 2006. V. 47. P. 47. P. 1673–1704.
- Zazovskaya E., Gaidashov A., Dolgikh A., Miamin V., Shishkov V., Alexandrin M., Mergelov N., Pushina Z., Verkulich S.* Radiocarbon age of the Holocene deglaciation in the Thala Hills oasis (Enderby Land, East Antarctica) // 2-nd International Radiocarbon in the Environment Conference, Book of Abstracts, Debrecen, Hungary, 2017, P. 83.

Поступила в редакцию / Received 23.01.2024