

УДК 551.79:551.5(571.65)

ОЗЕРА ТАЛЬСКОЙ ГРУППЫ (Магаданская область) – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ОБЪЕКТ ДЛЯ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ КОНЦА ПОЗДНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА И ГОЛОЦЕНА

Минюк П. С., Пожидаева Д. К.

*ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт
им. Н. А. Шило ДВО РАН, Магадан
E-mail: minyuk@neisri.ru*

Приведены результаты бурения ледниковых озер Тальской группы (Грязевое, Щучье, Голубое, Налимное), расположенных в Магаданской области. Построены батиметрические карты, определены мощности и строение осадочного чехла озер. Дана магнитная характеристика вулканогенных и ледниковых пород, тефры. Проведено сравнение характера осадконакопления в озерах. По отложениям оз. Грязевое охарактеризован переходный интервал от позднего плейстоцена до голоцена. Выявлены характерные петромагнитные, геохимические, диатомовые, палинологические индикаторы изменения природной среды.

Ключевые слова: озерные осадки, плейстоцен, голоцен, тефра, петромагнитные характеристики.

DOI: 10.34078/1814-0998-2023-3-18-35

ВВЕДЕНИЕ

Озера являются одним из основных объектов при исследовании различных аспектов изменения природных обстановок прошлого. На территории Магаданской области по спутниковым снимкам дешифрировано более 27000 водоемов площадью более 0.1 га. По своему генезису озера Магаданской области подразделяются на пойменно-долинного, прибрежно-лагунного типа, ледниковые, ледниково-тектонические, термокарстовые и кратерные (Электронный справочник «Озера России», <http://wp.limno.org.ru/win/ruslake.htm>). Суммарная площадь водного покрытия составляет более 1550 км², в том числе естественными водоемами – около 1100 км², суммарный объем озерных вод составляет 2.86 км³ (Измайлова, 2018).

Группа Тальских озер, расположенных вблизи пос. Талая Магаданской области, относятся к озерам ледникового происхождения (Ложкин и др., 2000). Данные о составе и возрасте осадков некоторых озер этой группы, их палинологической, диатомовой и петрофизической характеристиках изложены в работах (Ложкин и др., 2000; Андерсон и др., 2014; Минюк и др., 2022б; Черепанова и др., 2022; Минюк и др., 2023а). В настоящей работе приведены результаты комплексных (петромагнитных, литолого-

минералогических, геохимических, микропалеонтологических) исследований озерных осадков. На основе их обобщения и анализа реконструированы важные условия природной среды на границе плейстоцена–голоцена и показана перспективность подобного комплекса исследований для дальнейшей детализации палеогеографических реконструкций.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследованные озёра Тальской группы включают четыре озера – Грязевое (неформальное название), Щучье, Голубое и Налимное. Озёра расположены вблизи пос. Талая Хасынского района Магаданской области в бассейне р. Талая (левый приток р. Буюнда) на востоке Майманджинских гор. В окрестностях озер распространены раннеюрские породы таборнинской свиты, представленной алевролитами, аргиллитами, песчаниками, а также вулканогенные верхнемеловые породы Ольского и Хольчанского комплексов, сложенные лавовыми брекчиями риодацитов, дацитов, с дайками гранит порфиоров, редкими штоками и дайками базальтов мыгдыкитского комплекса (Геологическая..., 2000) (рис. 1). Межгорные долины, в которых расположены озера, выполнены, согласно данным геологического картирования, отложениями зырянского оледенения, представленными валунно-глыбовым материалом

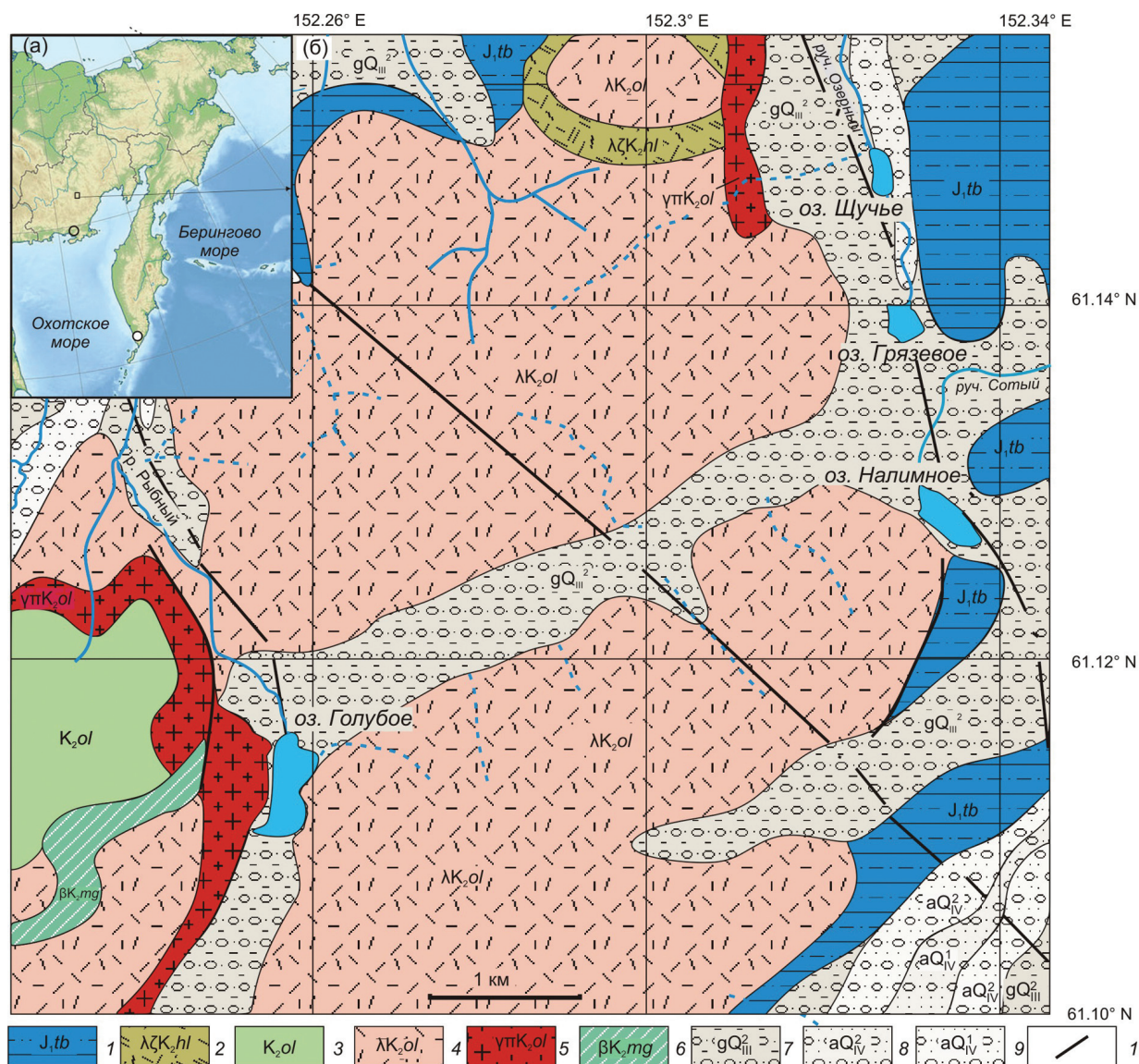


Рис. 1. Расположение объектов исследований (а) и геологическая схема (Геологическая..., 2000) окрестностей озер (б): 1 – осадочные породы таборнинской свиты ранней юры; 2 – риодациты позднемелового холчанского комплекса; 3 – туфы, туфобрекчии риолитов и риодацитов позднемелового ольского комплекса; 4 – позднемеловые риолиты ольского комплекса; 5 – позднемеловые гранит-порфиры; 6 – штоки и дайки базальтов мыгдыкитского комплекса; 7 – ледниковые отложения зырянского оледенения; 8 – аллювиальные голоценовые отложения высокой поймы; 9 – аллювиальные голоценовые отложения русел рек, кос, низкой поймы; 10 – разрывные нарушения.

Fig. 1. Location of the research objects (a) and the geological pattern of the lake vicinities (b): 1 – sedimentary rocks of the Early Jurassic Taborninsky formation; 2 – rhyodacites of the Late Cretaceous Holchan complex; 3 – tuffs, rhyolite and rhyodacite stuff breccias of the Late Cretaceous Ola complex; 4 – Late Cretaceous rhyolites of the Ola complex; 5 – Late Cretaceous granite porphyries; 6 – stocks and dikes of the Mygdykit complex basalts; 7 – glacial deposits of the Zyryan glaciation; 8 – alluvial Holocene deposits of the high floodplain; 9 – alluvial Holocene deposits of riverbeds, river bars, low floodplain; 10 – disjunctive dislocations.

с галькой, щебнем и гравием. Ледники двигались по долинам с юга и юго-запада, где находятся горные массивы с абсолютными отметками выше 1000 м. Согласно данным А. В. Ложкина с соавторами (2000), возраст ледниковых отложений вблизи озер сартанский.

Климат района резко континентальный, субполярный. По данным наблюдений за 1969–

2021 гг., среднемесячная температура в январе составляла -33.3°C , минимальная температура -53.9°C ; максимальная температура в июне–июле была $+33.4^{\circ}\text{C}$, среднегодовая -9.9°C , среднегодовое количество осадков -439.7 мм , среднегодовое атмосферное давление $-927.3\text{ мм ртутного столба}$ (<http://pogoda-service.ru/>).

По склонам окружающих озер сопки произрастают кедровый стланик, лиственница, карликовая березка, ива. Вокруг озер разнообразен травяной покров.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Буровые работы проведены в летнее время 2006 г. (оз. Грязевое), 2022 г. (оз. Грязевое и Щучье), 2023 г. (оз. Голубое и Налимное) с использованием пробоотборника Ливингстона (Wright et al., 1984). Керн осадков после документирования разделен на сегменты длиной 0.5–1 см для комплексного исследования. В окрестностях озер опробован делювий, образованный по коренным меловым и юрским породам, а также отложениям морен. Пробы воды из всех озер отобраны для определения гидрохимических характеристик. Среди всех объектов наиболее детально изучены осадки оз. Грязевое, которые исследовались оптическим, петромагнитным, минералогическим, геохимическим, палинологическим, диатомовым методами. Из других озер получены сведения о литологии осадков, их мощности и, частично, о магнитных характеристиках. Палинологические и радиоуглеродные данные опубликованы по отложениям озер Голубое и Налимное, пробуренным ранее (Ложкин и др., 2000; Андерсон и др., 2014).

Химический состав отдельных образцов изучен методом рентгенофлуоресцентного анализа. Относительное количество органического материала оценено по величине потери при прокаливании (LOI) после прогрева проб до 550 °C (2 часа) (Heiri et al., 2001).

Измерения удельной магнитной восприимчивости (MB) пород и осадков выполнены на многофункциональном каппаметре MFK 1FA с термодатчиком CS3 (AGICO Ltd.).

Остаточная намагниченность насыщения (J_{rs}), намагниченность насыщения (J_s), индуктивная намагниченность (J_i), поля, соответствующие коэрцитивной силе (B_c), остаточной коэрцитивной силе (B_{cr}), измерены на автоматическом коэрцитиметре J-meter (Буров и др., 1986).

Исследования элементного состава минералов, стекол и магнитной фракции проводились на сканирующем электронном микроскопе EVO-50 с энерго-дисперсионными спектрометрами AXS XFlash фирмы Bruker и системой рентгеновского микроанализа Quantax Esprite 1.9.

Радиоуглеродное датирование органических микрочастиц из осадков оз. Грязевое получено в лаборатории Ангстрёма Уппсальского университета (Швеция).

Химический анализ воды выполнен методами титриметрии, фотоколориметрии и атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием утвержденных унифицированных методических

указаний на спектрофотометре UVmini-1240 (SHIMADZU), атомно-эмиссионный спектрометр Agilent 4100 MP-AES, а также весовым методом. Гранулометрический анализ выполнен в ДВГИ ДВО РАН на лазерном дифракционном анализаторе SALD-2300 (Shimadzu, Япония).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Гидрохимия воды

Вода изученных озер ультрапресная. Она характеризуется слабой минерализацией и относится к классу гидрокарбонатных. Подобные характеристики имеют воды многих озер Магаданской области (Минюк и др., 2022а). Общая минерализация воды составляет 40–51 мг/л. Среди катионов доминируют $\text{Ca} \rightarrow \text{Na} \rightarrow \text{Mg} \rightarrow \text{K}$. Кислотность вод нейтральная – величина pH варьирует в пределах 6.8–7.2. Общая жесткость низкая (0.34–0.57 мг-экв/л) (табл. 1). Общее содержание катионов и анионов в воде р. Талая составляет 62 мг/л, в термальных скважинах – 450–980 мг/л (Брагин и др., 2021). Химический состав воды озер позволяет предполагать, что хемогенного осаждения растворенных компонент в бассейне не происходило или оно было незначительным.

Магнитные характеристики коренных пород

Продукты выветривания коренных пород, распространенных в окрестностях озер, являются основным источником детритового материала, поступающего в озерные бассейны. Озерные осадки наследуют минеральный и химический состав источников сноса, а также некоторые физические свойства, включая магнитные. Магнитная восприимчивость является широко используемым параметром при лимнологических исследованиях. При доминировании терригенного накопления ее величина в озерных осадках зависит от магнитных характеристик коренных пород. Окружающие озера сопки сложены преимущественно вулканогенными породами кислого состава, среди которых преобладают риолиты. Эти породы опробованы в окрестностях всех изученных озер. Средние величины магнитной восприимчивости по пробам риолитов варьируют незначительно ($0.1\text{--}0.4 \cdot 10^{-6}$ кг/м³) (табл. 2). Близкие значения магнитной восприимчивости имеют гранит порфиры, опробованные вблизи оз. Голубое. Галька морен разнообразная по составу. Кроме риолитов в ней отмечены граниты, базальты, песчаники, алевролиты, магнитная восприимчивость которых изменяется в широких пределах (табл. 2).

Характеристика озер и осадков

Озеро Грязевое (неформальное название) (61° 08.350' с. ш., 152° 19.935 в. д.) расположено в узкой межгорной долине, выполненной ледни-

Таблица 1. Гидрохимия воды исследованных озер

Table 1. Hydrochemistry of the studied lakes water

Проба	Гязевое-1	Грязевое-2	Щучье-1	Щучье-2	Налимное-1	Налимное-2
Щелочность, мг-экв/л	0.6	0.5	0.72	0.69	0.23	0.22
Окисляемость (ХПК), мг/л O ₂	1.6	1.9	7.7	7.6	2.4	4.84
pH	6.8	6.8	6.8	7.2	6.9	7.0
Na ⁺	2.54	2.46	1.57	1.64	1.87	1.37
K ⁺	0.25	0.28	0.25	0.28	0.38	0.31
Ca ⁺⁺	9.27	9.64	6.27	6.41	5.87	6.91
Mg ⁺⁺	0.71	1.04	0.71	1.04	0.59	0.47
Mn	–	0.02	–	–	–	–
Ba ⁺⁺	–	–	–	–	–	–
Al ⁺⁺⁺	–	–	0.03	0.02	0.01	0.03
Fe ⁺⁺⁺	0.02	0.024	0.02	0.02	0.03	0.03
Cu	0.03	–	0.03	–	–	–
Zn	0.03	0.04	0.03	0.04	0.08	0.08
NH ₄ ⁺	0.03	0.04	0.03	0.04	0.10	0.08
Сумма катионов	12.89	13.54	8.94	9.49	8.94	9.28
CO ₃ [–]	–	–	–	–	–	–
HCO ₃ [–]	35.0	32.8	29.4	31.2	31.6	30.4
SO ₄ [–]	0.3	0.4	0.63	0.58	0.73	0.87
NO ₂	0.08	0.08	0.13	0.13	0.11	0.25
NO ₃ [–]	0.3	0.2	0.02	–	–	–
Cl [–]	2.1	1.9	–	–	–	–
Сумма анионов	37.8	35.4	30.2	31.9	32.4	31.5
Общая минерализация, мг/л	50.67	48.92	39.12	41.4	41.38	40.8
Сухой остаток, мг/л	65.0	58.9	27.5	31.5	36.6	24.5
Потери при прокаливании, %	20.8	22.1	49.2	41.4	14.3	18.5
Общая жесткость, мг-экв/л	0.52	0.57	0.41	0.41	0.34	0.38

ковыми отложениями (рис. 1, 2). Длина его составляет 270 м, ширина – 180 м, максимальная глубина – 2.7 м, абсолютные отметка уровня воды – 713 м. Озеро слабопроточное. На юге в него впадает небольшой неглубокий ручей, а на севере вытекает ручей Озерный, протекающий через ниже расположенное озеро Щучье и впадающий в реку Талая. К востоку от озера распространены раннеюрские породы таборнинской свиты, а на западе и юго-западе – на сопках с абсолютными отметками 1132, 1389 м – отмечены выходы верхнемеловых пород Ольского и Хольчанского комплексов (рис. 2) (Геологическая..., 2000).

Литология. В осадочном разрезе оз. Грязевое по данным бурения 7 скважин выделено три слоя непостоянной мощности (табл. 3). Максимальные мощности осадков установлены в скв. Гз-7.

Слой 1 представлен неслоистым органогенным алевритом оливково-серого цвета с редки-

ми включениями органики, вивианита. Размер частиц варьирует от долей микрона до 200 мкм. Доминирующий диаметр частиц составляет 55–70 мкм.

Во всех скважинах на разных глубинах отмечена тефра белого света (табл. 3). В осадках глубоководной части озера прослой тефры имеет четкие контакты, в скважинах, расположенных ближе к берегу, он разорванный из-за биотурбаций и криогенных процессов. Стекла тефры преимущественно прозрачные, остроугольные, пластинчатые, иногда с продольно-волокнистой структурой, газовыми пузырьками (рис. 3а). По данным микрозондового анализа (содержания нормализованы к 100 %), средние концентрации SiO₂ составляют 75.9 мас. %, сумма K₂O + Na₂O = 6.66 мас. %, Na₂O доминирует над K₂O. По петрохимическому составу тефра относится к риолитам. Тефра такого состава и возраста обнаружена в осадках многих озер Северного При-

Таблица 2. Магнитная восприимчивость коренных пород

Table 2. Magnetic susceptibility of rocks

Озеро	Образец	Объект	Порода	N	МВ, 10^{-6} кг/м ³ от-до (среднее)
Голубое	ГолБ-22	Морена	Галька	6	0.04–0.10 (0.07)
Голубое	ГолБ-23	Морена	Галька	4	0.05–0.07 (0.06)
Голубое	ГолБ-35	Морена	Галька	11	0.02–1.06 (0.17)
Голубое	ГолБ-31	Ольский комплекс	Риолиты	5	0.06–0.16 (0.10)
Голубое	ГолБ-24	Ольский комплекс	Гранит порфиры	3	0.10–0.18 (0.13)
Голубое	ГолБ-25	Ольский комплекс	Гранит порфиры	5	0.02–0.04 (0.03)
Налимное	Нал-32	Ольский комплекс	Риолиты	5	0.03–0.05 (0.04)
Налимное	Нал-33	Морена	Галька	11	0.04–4.33 (1.22)
Налимное	Нал-34	Морена	Галька	8	0.06–4.77 (0.71)
Грязевое	ГзБ-1	Морена	Галька	16	0.12–3.70 (0.89)
Грязевое	О-60	Морена	Галька	32	0.03–8.35 (0.99)
Грязевое	ДБ-5	Ольский комплекс	Риолиты	8	0.01–1.01 (0.20)
Грязевое	ДБ-6	Ольский комплекс	Риолиты	3	0.08–0.14 (0.10)
Щучье	Щт-1	Морена	Галька	8	0.05–2.53 (0.70)
Щучье	Щт-2	Морена	Галька	8	0.01–1.01 (0.20)
Щучье	Щт-3	Морена	Галька	11	0.02–0.60 (0.17)

охотья (Мелекесцев и др., 1991; Глушкова и др., 2014; Lozhkin et al., 2016; Минюк и др., 2022в). Происхождение тефры связывается с кальдеро-образующим извержением вулкана Курильско-го озера на Камчатке, произошедшем, по данным радиоуглеродного анализа, 7600 л. н. (Ponomareva et al., 2004). Тефра кальдеры Курильского озера имеет важное стратиграфическое значение, т. к. ее возраст приблизительно совпадает с возрастом границы раннего и среднего голоцена (Walker et al., 2018; Cohen, Gibbard, 2019).

Слой. 2. Алеврит, серый с неясно выраженной слоистостью, мощностью 20–55 см. Границы слоя нечеткие.

Слой 3. Алеврит, сизовато-серый, слоистый, с включениями вивианита. Максимальная мощность слоя отмечена в скв. Гз-7 (табл. 3). Слоистость выражена тонкими прослоями песчаных алевритов, глин, органики. Гранулометрическое распределение, как правило, двухмодальное. Моды расположены в областях 1–10 и 10–100 мкм. В основании слоя дресва, обломки коренных пород.

Возрастная модель. Четыре радиоуглеродные датировки органических остатков получены из отложений скв. Гз-1 (табл. 4) (Черепанова и др., 2022).

Радиоуглеродные датировки органических остатков из осадков скв. Гз-1 и возраст тефры (Ponomareva et al., 2004) использованы для построения возрастной модели (Черепанова и др., 2022) с применением программы Bacon (Blaauw, Christen, 2011). Согласно полученной модели, возраст базальных слоев скв. Гз-1 составляет около 25000 кал. лет.

Петромагнитные характеристики озерных осадков (скв. Гз-1) крайне неоднородные. Верхняя часть разреза (слой 1, гл. 0–230 см) слабомагнитная с максимальными значениями парамагнитной компоненты, B_c , B_{cr} , J_{rs}/J_s . Повышенные величины магнитных параметров в слое 1 выявлены в интервале глубин 125–175 см. Отложения нижнего слоя характеризуются высокими значениями МВ, J_s , J_{rs} . Магнитные частицы преимущественно псевдооднодоменные. Низкие величины МВ, J_s , J_{rs} в слое 1 обусловлены разбавлением детритового материала биогенным кремнеземом и органикой.

Магнито-минералогические данные. Состав отсепарированных магнитных фракций из озерных осадков и делювия разнообразный, однако преобладают титаномагнетиты с различным содержанием титана – от долей процента до 25 мас. %. Среди других минералов присутствуют обломочный сфалерит, а также аутигенные скопления сульфидов, в основном фрамбоидальной и фрамбоидально-игольчатой формы пиритового и грейгит-пирротинового состава (рис. 2г, д) (Минюк и др., 2023а).

Геохимическая характеристика осадков получена по разрезу скв. Гз-1 (Минюк и др., 2022б). Геохимические данные свидетельствуют о детритовом, биогенном и хемогенном осадконакоплении в озере. Резкое изменение концентраций всех элементов отмечено в слое 2. Слой 1 обогащен SiO_2 и органикой. Максимальные содержания кремнезема совпадают с высоким концентрациями диатомей (Черепанова и др., 2022). Детритовое осадконакопление характерно для осадков слоя 3. Вследствие разбавления детритового ма-

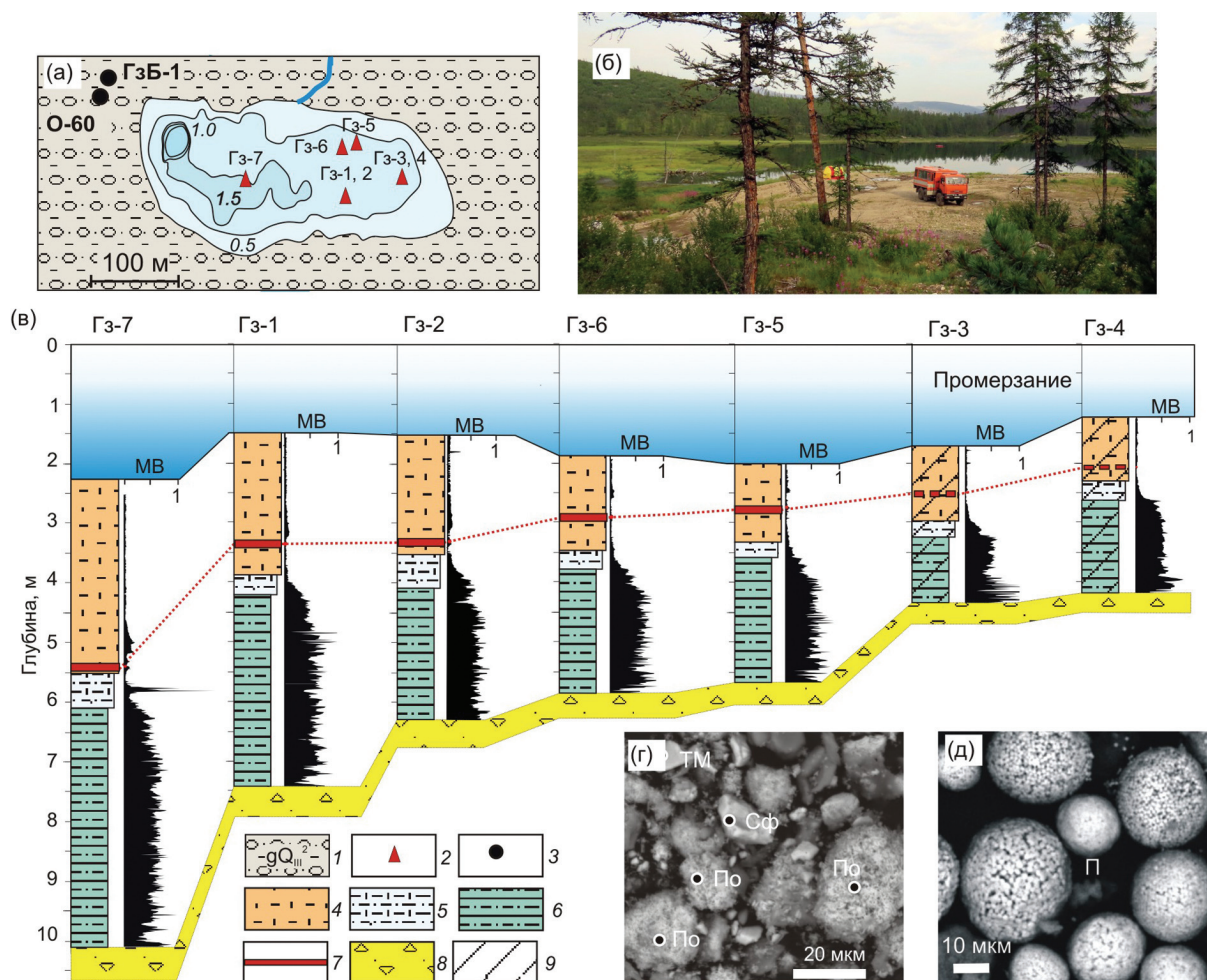


Рис. 2. Характеристика оз. Грязевоe: (а) – батиметрическая карта; (б) – общий вид озера; (в) – магнито-литологические характеристики озерных осадков; (г) – микрофотографии магнитной фракции (изображения в обратно-рассеянных электронах); (д) – фрамбоиды пирита; 1 – ледниковые отложения; 2 – скважины; 3 – места отбора проб; 4 – голоценовые осадки; 5 – переходные слои; 6 – позднелейстоценовые осадки; 7 – тephра; 8 – ложе озера; 9 – промерзавшие осадки; ТМ – титаномagnetит, П – пирит, По – пирротин, Сф – сфалерит.

Fig. 2. Characteristics of Lake Gryazevoe: (a) – bathymetric map; (б) – general view of the lake; (в) – magneto-lithological characteristics of lake sediments; (г) – microphotographs of the magnetic fraction (images in backscattered electrons); (д) – pyrite framboids; 1 – glacial deposits; 2 – holes; 3 – sampling sites; 4 – Holocene sediments; 5 – transitional layers; 6 – Late Pleistocene sediments; 7 – tephra; 8 – lake basement; 9 – frozen sediments; ТМ – titanomagnetite, П – pyrite, По – pyrrhotite, Сф – sphalerite.

Таблица 3. Глубина залегания литологических слоев скважин оз. Грязевоe

Table 3. Depth of the lithological units in Lake Gryazevoe holes

Скважина	Координаты, с. ш., в. д.	Глубина, см	Слой 1, см	Слой 2, см	Слой 3, см	Тephра, глубина, см
Гз-1	61° 08.339' 152° 19.966'	579	0–230	230–280	280–579	196.5–198
Гз-2	61° 08.340' 152° 19.975'	476	0–202	202–257	257–476	182–183
Гз-3	61° 08.350' 152° 20.030'	270	0–130	130–155	155–270	87.5–88
Гз-4	61° 08.352' 152° 20.032'	294	0–115	115–140	140–294	84
Гз-5	61° 08.362' 152° 19.995'	365	0–140	140–160	160–365	72.5–73
Гз-6	61° 08.358' 152° 19.976'	386	0–165	165–190	190–386	100–103
Гз-7	61° 08.344' 152° 19.886'	780	0–335	335–390	390–780	315–316.5

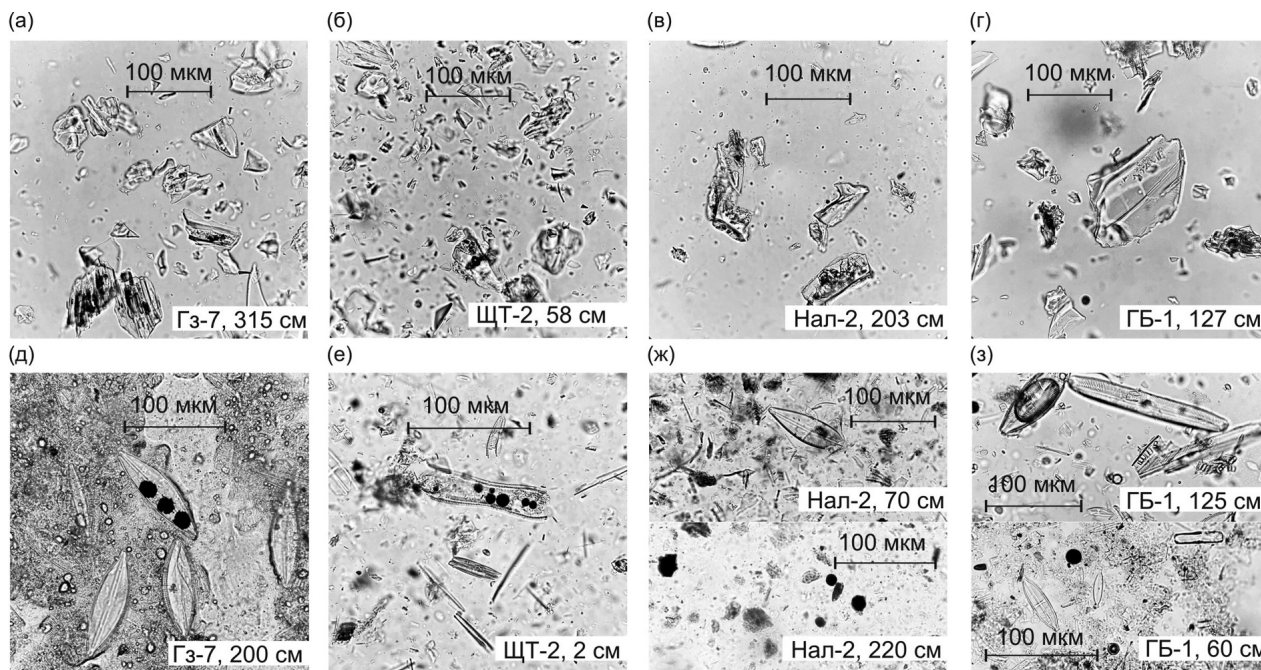


Рис. 3. Микрофотографии прозрачных слайдов озерных осадков (изображения в проходящем свете): (а–г) – тефра; (д–з) – диатомы и сульфидные сферулы.

Fig. 3. Micrographs of lake sediments transparent slides (images in transmitted light): (а–г) – tephra; (д–з) – diatoms and sulfide spherules.

Таблица 4. Радиоуглеродные датировки органических остатков из скв. Гз-1

Table 4. Radiocarbon dating of the organic remains from core Гз-1

Лаб. номер	Глубина, см	$\delta^{13}\text{C}\text{‰V-PDB}$	^{14}C возраст BP	Кал. возраст BP
Ua-71985	146	-14.8	1927 ± 37	1838 ± 101
Ua-71986	211	-34.3	9334 ± 46	10537 ± 153
Ua-71987	346–347	-27.9	12556 ± 42	14836 ± 283
Ua-71988	407	–	12772 ± 57	15261 ± 208
Тефра	196.5–198	–	7618 ± 14	8401 ± 21

териала биогенными компонентами концентрации всех элементов в слое 1 низкие. Высокие концентрации Fe_2O_3 и высокие значения отношения $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, отмеченные в основании слоя 1 в интервале глубин 190–230 см, указывают на хемогенное накопление железа. Показателями хемогенного железа являются непостоянная величина отношения $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, совпадение кривых $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ и Fe_2O_3 , отсутствие корреляции или обратная корреляция Fe_2O_3 и TiO_2 , Fe_2O_3 и магнитной восприимчивости, наличие аутигенных железосодержащих минералов (Минюк, 2021).

Диатомовый анализ. Диатомовая флора из осадков озера представлена 189 видами и внутривидовыми таксонами (Черепанова и др., 2022). На основе изменения концентрации створок диатомей в осадках, соотношения представителей экологических групп и доминантов выделены три диатомовые зоны и четыре подзоны, отражающие тенденцию эволюции диатомовой флоры озера в переходный период от последнего ледникового максимума к голоцену. Низкие

концентрации диатомей отмечены для осадков, сформировавшихся в позднем плейстоцене во время холодной МИС 2. Появление планктонных видов и увеличение видового разнообразия с 11.3 тыс. л. н. указывают на начало относительно устойчивого потепления. Резкий скачок концентрации створок в осадках 4.4 тыс. л. н. и постоянное присутствие в доминирующей группе бентосных таксонов с крупными створками зафиксировали «тёплое» событие на границе среднего и позднего голоцена.

Хирономиды. В осадках озера (скв. Гз-1) выявлено 70 разных таксонов хирономид (Минюк и др., 2022б). Доминантами являются 17 видов, среди которых наиболее часто встречаются *Corynocera ambigua*, *Psectrocladius septentrionalis* и *P. sordidellus*. Частые и резкие смены состава комплексов хирономид установлены в интервале глубин 251–116 см, отражающие, по-видимому, изменения окружающей среды. Среди остатков хирономид встречается довольно много разных холодолюбивых таксонов (*Tanytarsus lugens*,

Paratanytarsus austriacus, *Chironomus anthracinus*, *Sergentia coracina*, *Corynocera*, *Micropsectra*, *Hydrobaenus*). В интервале глубин 116–10 см в комплексах хирономид преобладают *Corynocera ambigua*, *Psectrocladius septentrionalis* и *P. sordidellus*. Два последних таксона ассоциированы с макрофитами, указывая на небольшие глубины озера с обильно развитой подводной растительностью. На этом этапе условия в озере стали заметно теплее по сравнению с предыдущим этапом.

Озеро Щучье (61° 08.780' с. ш., 152° 19.860' в. д.) расположено 500 м севернее оз. Грязевого (рис. 1, 4). Длина его составляет 400 м, ширина – 150 м, максимальная глубина – 1.5 м, абсолютные отметка уровня воды – 713 м. Озеро проточное, через него протекает ручей Озерный. Берега, как правило, заросшие, болотистые. Западный берег сложен ледниковыми отложениями, на востоке озера распространены аллювиальные голоценовые отложения (рис. 1, 4). Русло ручья Озерный выполнено галечником с крупными валунами (переработанная морена).

На западном берегу озера вследствие промерзания водонасыщенных озерных осадков образован бугор пучения высотой около 2 м, в котором слои наклонены по углом $\approx 45^\circ$. Прослои льда образованы по слоистости, некоторые достигают

мощности 10 см (рис. 4в, е). Выход озерных отложений на дневную поверхность указывает, что озеро в прошлом имело большие размеры.

В оз. Щучье на разных глубинах пробурены три скважины, вскрывшие осадки разного литологического состава (рис. 4, табл. 5).

В разрезе установлены три слоя. Верхняя часть разреза (слой 1) сложена неслоистыми органо-генными алевритами оливково-серого цвета мощностью до 60 см. В основании слоя отмечена тефра белого цвета. Она находится в виде небольших пятен. Стекла тефры преимущественно прозрачные, угловатые, размером до 50 мкм (рис. 3б).

Подстилаются отложения осадками оливково-серого цвета со слабовыраженной слоистостью (слой 2). Нижняя часть разреза с глубины 113 см (слой 3) представлена сизовато-серыми слоистыми алевритами. В основании разрезов скважин залегают обломки коренных пород, гравий дресва. По всей осадочной толще встречаются сульфидные сферулы, в некоторых образцах они находятся в створках диатомей (рис. 3е).

Структура осадков нарушена. Отложения в прошлом промерзали, трещины заполнены вышележащими осадками (рис. 4д) наподобие псевдоморфоз. Материал некоторых трещин содержит пятна тефры.

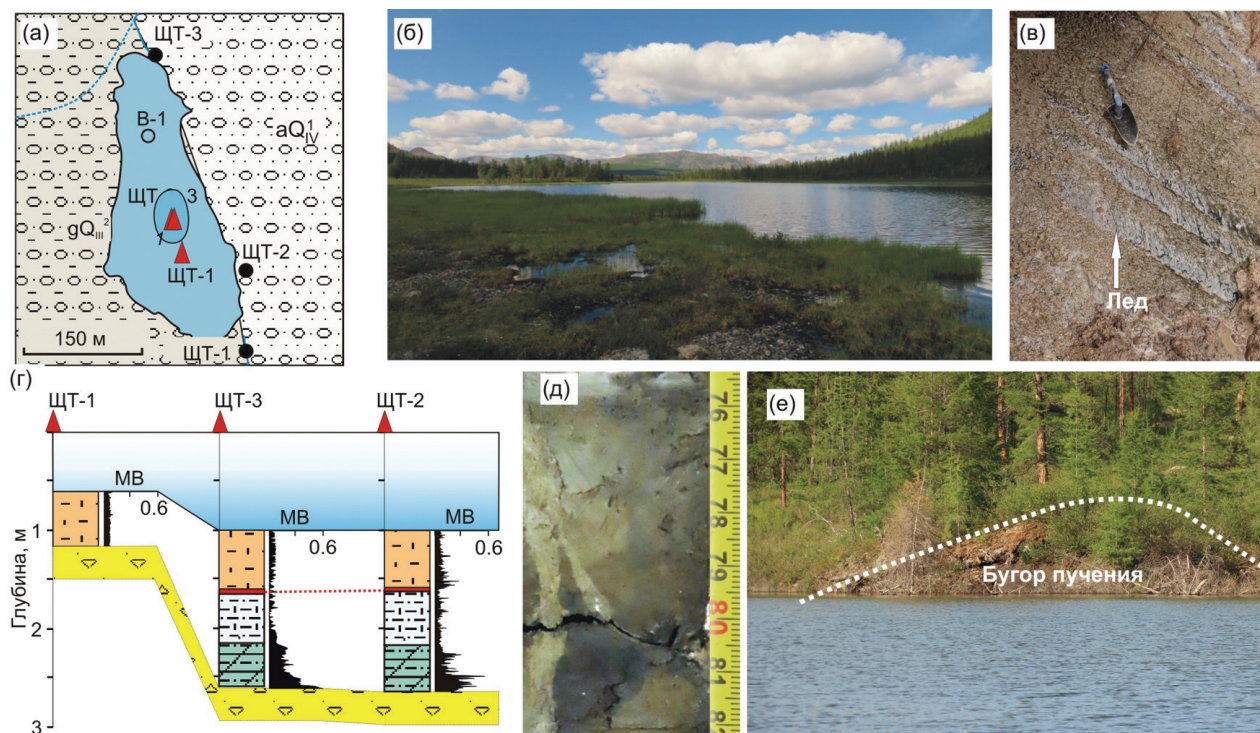


Рис. 4. Характеристика оз. Щучье: (а) – батиметрическая карта; (б) – общий вид озера; (в) – структура мерзлых озерных осадков бугра пучения; (г) – магнито-литологические характеристики озерных осадков; (д) – мерзлотные нарушения в осадках; (е) – бугор пучения.

Fig. 4. Characteristics of Lake Shchuchye: (a) – bathymetric map; (б) – general view of the lake; (в) – structure of frozen lake sediments from an ice mound; (г) – magneto-lithological characteristics of lake sediments; (д) – permafrost disturbances in the sediments; (е) – ice mound.

Магнитная восприимчивость осадков зависит с литологического состава. Верхняя часть (слой 1) характеризуется низкими значениями МВ, которые постепенно возрастают вниз по разрезу. Предполагается, что магнитная восприимчивость контролируется количеством детритового и биогенного материала в осадках, что, в свою очередь, связано со сменой условий осадконакопления, обусловленных климатическими изменениями.

Озеро Голубое расположено в долине руч. Рыбный ($61^{\circ} 06.690'$ с. ш., $152^{\circ} 15.570'$ в. д.) (рис. 5). Длина его составляет 650 м, ширина –

300 м, максимальная глубина – 9.5 м, абсолютные отметка уровня воды – 808 м. Согласно батиметрическим измерениям (2023 г.), более глубокая северная часть озера (рис. 5). На восточных сопках озера распространены меловые риолиты ольского комплекса. На западе отмечены выходы гранит-порфиров мелового возраста. Пляжи озера и мелководье (до 4 м) выполнены песчано-галечным материалом, а также неокатанными или слабо окатанными обломками пород. На восточном и северном берегах озера залегает морена, сложенная несортированным материалом с галькой, валунами различного состава (рис. 5д).

Таблица 5. Литологические характеристики отложений оз. Щучье

Table 5. Lithological characteristics of Lake Shchuchye sediments

Скважина	Координаты, с. ш., в. д.	Глубина, см	Слой 1, см	Слой 2, см	Слой 3, см	Тефра, глубина, см
ЩТ-1	$61^{\circ} 08.755'$ $152^{\circ} 19.845'$	56	0–56	–	–	–
ЩТ-2	$61^{\circ} 08.778'$ $152^{\circ} 19.882'$	164	0–59	59–113	113–164	56–59
ЩТ-3	$61^{\circ} 08.780'$ $152^{\circ} 19.894'$	151	0–59	59–114	114–155	56–59

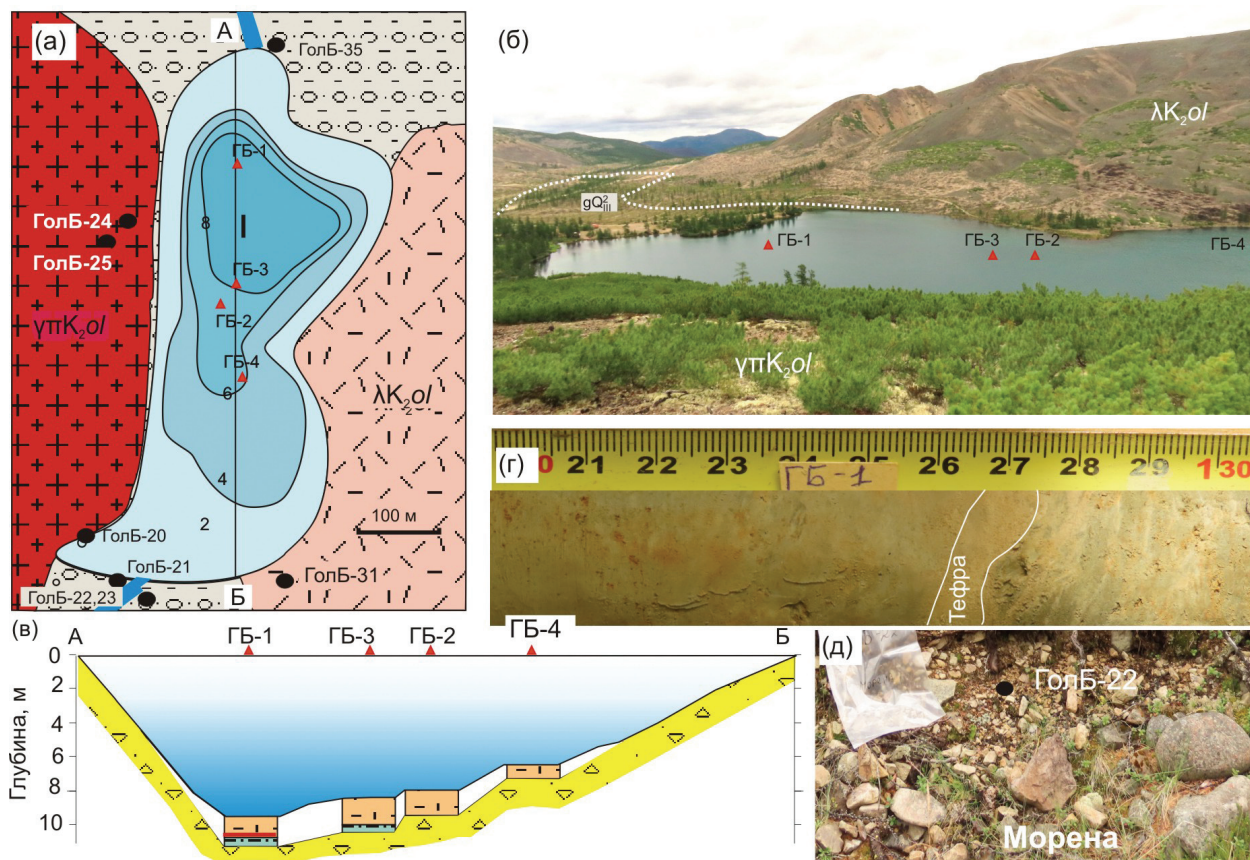


Рис. 5. Характеристика оз. Голубое: (а) – батиметрическая карта; (б) – общий вид озера; (в) – разрез по профилю А–Б; (г) фрагмент керна с прослоем тефры; (д) – отложения морены.

Fig. 5. Characteristics of Lake Goluboye: (a) – bathymetric map; (б) – general view of the lake; (в) – cross-section of the lake; (г) – fragment of core sediments with tephra; (д) – moraine deposits.

Таблица 6. Литологические характеристики отложений оз. Голубое

Table 6. Lithological characteristics of Lake Goluboye sediments

Скважина	Координаты, с. ш., в. д.	Глубина, см	Слой 1, см	Слой 2, см	Тефра, глубина, см
ГБ-1	61° 06.804' 152° 15.571'	164	0–128	128–163	126–127.5
ГБ-2	61° 06.724' 152° 15.529'	151	0–151	–	–
ГБ-3	61° 06.746' 152° 15.545'	208	0–208	–	–
ГБ-4	61° 06.666' 152° 15.574'	82	0–82	–	–

Четыре скважины, расположенные по профилю с севера на юг, пробурены летом 2023 г.

Поданным бурения установлено, что осадочный чехол озера маломощный (табл. 6, рис. 5). Максимальная мощность осадков составляет 208 см.

Осадки верхней части (слой 1) представлены органогенными желеобразными алевритами светло-серого, серого цвета, которые при высыхании приобретают белый цвет. Они включают редкие прослои органики. Органическое вещество в виде небольших включений (1 мм) черного цвета, а также створки диатомей распространены по всему разрезу. Сульфиды железа в виде сферул встречаются редко (рис. 3з). Содержание органики в осадках озера увеличивается снизу вверх по разрезу от 3–22 % (Ложкин и др., 2000). В основании слоя скв. ГБ-1 (гл. 126–127.7 см) отмечен маломощный прослой тефры, залегающий наклонно (рис. 5г). В осадках скважин ГБ-2, ГБ-3 тефра не обнаружена.

Нижняя часть озёрных осадков скв. ГБ-1 (слой 2) сложена алевритами со слабо выраженной слоистостью.

Осадки оз. Голубое характеризуются низкими значениями магнитной восприимчивости. Значения МВ составляют 0.049–0.092 (среднее = 0.072) · 10⁻⁶ кг/м³ для осадков скв. ГБ-2 и 0.060–0.11 (среднее = 0.08) · 10⁻⁶ кг/м³ для осадков скв. ГБ-1.

В основании разреза скв. ГБ-1 (слой 2) магнитная восприимчивость незначительно возрастает.

Согласно радиоуглеродным датировкам, образование озера произошло 11.3 тыс. л. н. (13.2 тыс. кал. л. н.) (Ложкин и др., 2000; Андерсон и др., 2014). В осадках озера установлено 7 спорово-пыльцевых зон и подзон отражающих изменение климата и растительности в течение голоцена (Ложкин и др., 2000; Андерсон и др., 2014).

Озеро Налимное расположено в истоках руч. Сотый, левого притока р. Талая (61° 07.690' с. ш., 152° 20.130' в. д.) (рис. 6). Длина озера составляет 550 м, ширина – 210 м, максимальная глубина

– 15.8 м, абсолютные отметка уровня воды – 727 м. Северный берег озера заболоченный и заросший травой.

Озеро находится среди моренных отложений, сложенных несортированным материалом, включающим валуны, гальку, гравий с песчано-гравийным заполнителем (рис. 6е). На юге озера распространены породы ольского комплекса, сложенные риолитами. Продукты выветривания этих пород являются детритовым материалом, поступающим со склонов и приносимым мелкими ручьями с запада и востока.

В озере на разных глубинах пробурены 4 скважины (рис. 6, табл. 7). Мощность осадков по всем скважинам составляет около 2 м. В осадочном разрезе отчетливо выделяется два слоя.

Слой 1 сложен неслоистыми органогенными алевритами оливково-серого цвета с включениями органических остатков. В основании слоя залегает прослой тефры белого цвета мощностью 1 см.

Слой 2 составляет нижнюю часть разреза от прослоя тефры до забоя. Отложения представлены ленточными алевритами с ясно выраженной тонкой слоистостью (рис. 6г, д). Слоистость подчеркнута чередованием светлых и темных алевритов. Мощность слоя составляет 20–30 см. В основании слоя отмечены крупные остатки органики – ветки, кора деревьев, древесина.

Радиоуглеродные датировки осадков оз. Налимное и данные политологического анализа, полученные по скважине, пробуренной ранее, изложены в работах (Ложкин и др., 2000; Андерсон и др., 2014). В первой работе озеро названо Талое, во второй – Щучье. Полученные данные указывают на голоценовый возраст осадков. Накопление осадков в оз. Налимное началось около 9100 лет (10200 кал. л. н.) (Андерсон и др., 2014).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Литологические особенности осадконакопления. Все изученные озёра отличаются по мощности, строению и возрасту осадочного чехла, хотя

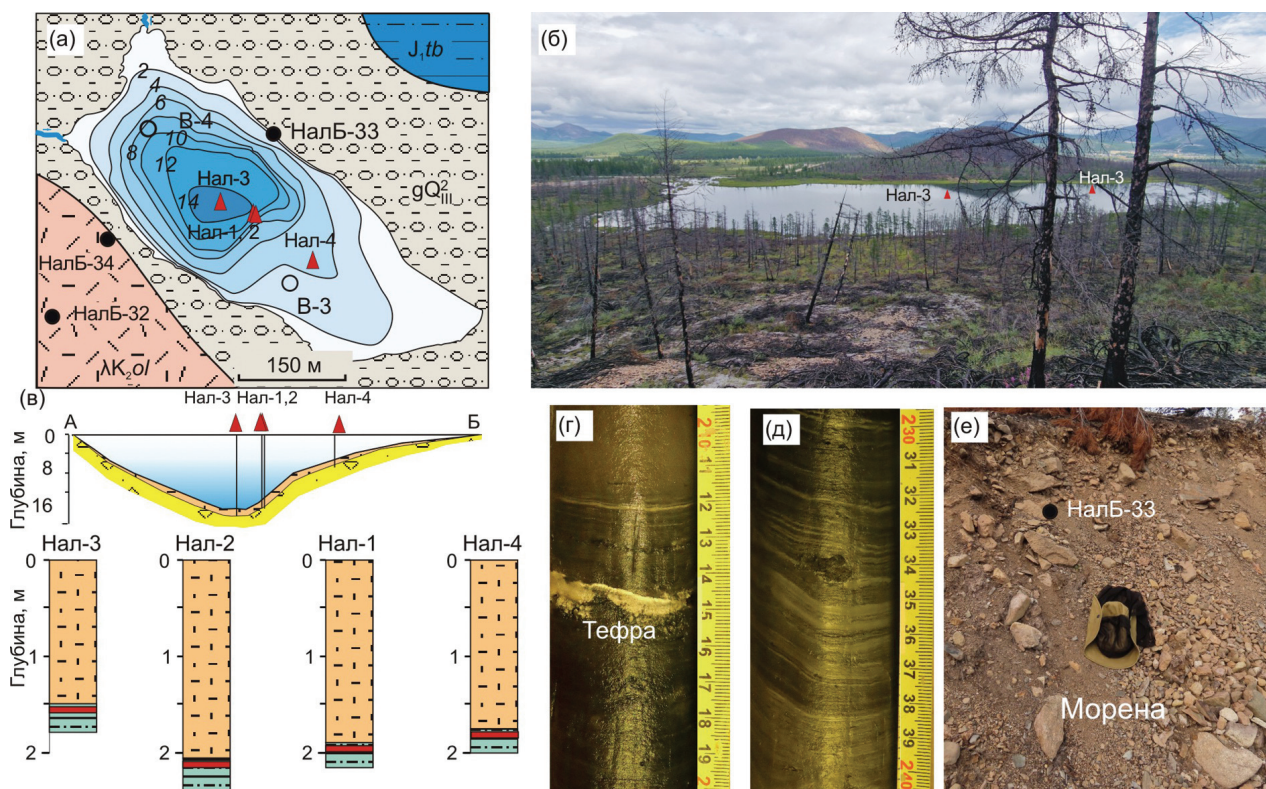


Рис. 6. Характеристика оз. Налимное: (а) – батиметрическая карта; (б) – общий вид озера; (в, г, д) – литологические характеристики озерных осадков; (е) – отложения морены.

Fig. 6. Characteristics of Lake Nalimnoye: (а) – bathymetric map; (б) – general view of the lake; (в, г, д) – lithological characteristics of lake sediments; (е) – moraine deposits.

Таблица 7. Литологические характеристики отложений оз. Налимное

Table 7. Lithological characteristics of Lake Nalimnoye sediments

Скважина	Координаты, с. ш., в. д.	Глубина, см	Слой 1, см	Слой 2, см	Тефра, глубина, см
Нал-1	61° 07.681' 152° 20.121'	215	0–195	195–215	?
Нал-2	61° 07.681' 152° 20.121'	235	0–214	214–235	214.5–215.5
Нал-3	61° 07.703' 152° 20.090'	175	0–144	144–175	144–145
Нал-4	61° 07.655' 152° 20.206'	200	0–180	180–200	180–181

морфометрические характеристики озер близкие. Озёра Грязевое и Щучье, расположенные в долине ручья Озерный в 500 м друг от друга, при одинаковых размерах и глубинах имеют различные характеристики озерного ложа. Озерная чаша оз. Грязевое глубокая, ≈ 10 м, она заполнена аллохтонными и автохтонными осадками мощностью 780 см. Отношение мощность осадка $\sim$ глубина ложа = 0.78. Максимальная мощность голоценовых осадков составляет 390 см, среди них мощность раннеголоценовых – 75 см. В оз. Грязевое осаднение осадка происходило по всей котловине, однако скорости осаднения материала были выше в глубоководной части озера (рис. 2в). В

позднем плейстоцене в озере накопилось 390 м осадка. В настоящее время илистые отложения распространены непосредственно у береговой линии.

Котловина оз. Щучье неглубокая, ≈ 2.5 м, максимальная мощность осадков в ней составляет ≈ 165 см. Отношение мощности осадка к глубине ложа составляет 0.66, что сравнимо с этим показателем для оз. Грязевое. Судя по уровню залегания тефры в разрезе, магнитным характеристикам и предварительным спорово-пыльцевым данным, накопление осадков в озере началось в позднем плейстоцене, однако – видимо – позже, чем в оз. Грязевое.

Котловина оз. Голубое незначительно заполнена материалом. В самой глубокой части озерной чаши (≈ 11.14 м) в течение голоцена накопилось всего 164 см осадка. Отношение мощность осадка ~ глубина ложа составляет 0.15. Прослой тефры, маркирующий границу раннего и среднего голоцена, находится в нижней части разреза на глубине 127.5 см. Он отмечен только в одной скважине. При формировании озера тонкий материал осаждался лишь в центральной части котловины. Эта тенденция сохраняется и сейчас, на мелководье озера (до 4 м) тонкий осадок отсутствует.

Оз. Налимное самое глубокое из исследованных озер. Максимальная глубина составляет 15.8 м (2023 г.), максимальная мощность осадков – 235 см. Отношение мощность осадка ~ глубина ложа составляет 0.12. По этому параметру озеро сопоставимо с оз. Голубое, однако характер заполнения озерной чаши отличается. В оз. Налимное прослой тефры вскрыт во всех скважинах, пробуренных на разных глубинах (рис. 6в). Накопление материала в голоцене в этом озере шло по всей котловине, а не только в центральной части, причем приблизительно с одинаковой интенсивностью на разных глубинах. Отложения раннего голоцена характеризуются тонкой ленточной слоистостью (рис. 6г, д), в то время как в осадках оз. Грязевое, Щучье и Голубое слоистость неотчетливая. В оз. Грязевое ясно выраженная тонкая слоистость отмечена для отложений холодного климата позднего плейстоцена. В других изученных озерах отчетливая слоистость выявлена в осадках раннего голоцена оз. Гранд (Эликчанская группа озер) ($60^{\circ} 44.8' \text{ с. ш.}, 151^{\circ} 52.2' \text{ в. д.}$) (Ложкин и др., 2010; Minyuk, Subbotnikova, 2021.)

Интерпретация магнитной восприимчивости осадков. Величина магнитной восприимчивости озерных осадков определяется количеством и, видимо, качеством магнитных минералов и зависит от многих факторов – источников сноса, степени выветривания, условий транспортировки и осадения, биопродуктивности бассейна, постседиментационных изменений и др. Основными источниками сноса для исследованных озер являются меловые вулканические породы кислого состава и верхнеплейстоценовые моренные отложения, среди которых преобладают породы кислого состава – риолиты, граниты. Величины магнитной восприимчивости этих пород невысокие: $(0.04\text{--}0.2) \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ для риолитов и $(0.03\text{--}0.13) \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ для гранит порфиров (табл. 2). Галька морены, сложенная разнообразными по составу породами, характеризуется более высокими значениями этого параметра $(0.07\text{--}1.22) \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$.

Средние значения МВ по всем пробам (62 образца) ольского комплекса и морены вблизи оз. Грязевое составляют $0.86 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$. Близкие значения $(0.57 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3)$ имеют озерные осадки позднего плейстоцена (слой 3), которые сложены преимущественно обломочным материалом. Магнитная восприимчивость голоценовых отложений слоя 1, вследствие разбавления детритового материала биогенным, на порядок ниже – $0.037 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$.

Такая же зависимость наблюдается для осадконакопления в оз. Щучьем. Средние значения МВ галечного материала, отобранного вблизи озера, составляют $0.34 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ (27 образцов). Величины МВ детритовых осадков позднего плейстоцена (слой 3) и органогенно-детритовых отложений голоцена (слой 1) составляют в среднем $0.20 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ (100 образцов) и $0.07 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ (139 образцов) соответственно.

Средние значения МВ гальки морены и пород ольского комплекса, опробованные вблизи оз. Голубое, невысокие – $0.10 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ (34 образца). Еще более низкие значения МВ, обусловленные присутствием биогенного материала, имеют голоценовые осадки озера: $\text{МВ} = (0.07\text{--}0.08) \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$.

Таким образом, магнитная восприимчивость осадков Тальских озер зависит преимущественно от магнитных свойств аллохтонного материала, приносимого с источников сноса, а также от соотношения обломочного и биогенного материала в осадках.

Наличие в осадках аутигенных железосодержащих минералов предполагает перераспределение железа в осадочной толще, которое может влиять на магнитную восприимчивость вмещающих отложений. Основными аутигенными минералами в исследованных озерах являются пирит и вивианит. Вивианит образует пылеватые рыхлые скопления, в то время как пирит встречается в виде фрамбоидов (рис. 2д). Эти минералы парамагнитные, однако железо для их образования могло поступать вследствие растворения магнитных минералов в восстановительных средах (Nowaczyk, 2011). Образование пирита, который часто встречается в осадках исследованных озер, контролируется концентрацией сульфатов, количеством и качеством органического вещества, количеством и химической активностью железосодержащих минералов, типом оксидантов (Berner, 1984; Wilkin, Arthur, 2001). Содержание аниона SO_4 в водах Тальских озер низкое – 0.30–0.87 мг/л (табл. 1). Предполагается, что сера высвобождалась при разложении органики. Среди магнитных сульфидов железа, существенно влияющих на магнитные свойства осадков, часто встречается грейгит (Peters, Dekkers, 2003; Roberts et al., 2011; Roberts, 2015). В оз. Грязевое в

переходных слоях от позднего плейстоцена к голоцену отмечены отложения с аномально высокими значениями магнитной восприимчивости, достигающими $1.72 \cdot 10^{-6}$ кг/м³ (Минюк и др., 2023а). На этом уровне обнаружены сульфидные минералы фрамбоидально-игольчатой формы грейгит-пирротинового состава.

Значение магнитных характеристик тефры. В осадках озер Северо-Востока России наиболее часто встречается тефра вулкана Курильского озера Камчатки с возрастом около 7600 лет (Мелекесцев и др., 1991;1; Ponomareva et al., 2004; Глушкова и др., 2014; Lozhkin et al., 2016 и др.). Она является важным стратиграфическим репером, маркирующим границу раннего и среднего голоцена. Тефра имеет риолитовый состав и диагностируется по характерному белому цвету. Однако во многих разрезах содержание вулканического материала незначительно и визуально обнаружить тефру не представляется возможным. В некоторых случаях ее можно идентифицировать по магнитным характеристикам, однако для этого необходимо, чтобы магнитные характеристики тефры и вмещающих осадков отличались. В изученных разрезах донных отложений Тальских озер наиболее мощные прослои тефры отмечены в оз. Грязевое. Они выдержаны по простиранию, слабо нарушены биотурбациями и не засорены вмещающими осадками. Гранулометрический состав тефры неоднородный. Наиболее мощный (3 см) прослой тефры из скв. Гз-6 разделен на нижнюю, среднюю и верхнюю части, тефра из скв. Гз-7 разделена на нижнюю и верхнюю части. Каждая из этих проб, а также тефра из оз. Голубое и Налимное расситованы на фракции > 100, 100–63, 63–40 и < 40 мкм,

и измерена величина магнитной восприимчивости. В тейфах доминирует фракция с размером зерен < 40 мкм, достигая 75 % в тейфе скв. Гз-7 (рис. 7б) Фракция размером > 100 мкм не превышает 10 %. Магнитная восприимчивость тейфы возрастает от грубых фракций к тонким (рис. 7а). Средние значения МВ по пробам варьируют в пределах $0.04–0.13 \cdot 10^{-6}$ кг/м³. По магнитной восприимчивости тейфра практически не отличается от органогенно-детритовых отложений голоцена из оз. Грязевое и Голубое. Поэтому для ее идентификации необходимо привлечение других петромагнитных параметров – коэрцитивной силы, остаточной коэрцитивной силы, парамагнитной компоненты и др. (Минюк и др., 2023б).

Значение данных для палеоклиматических реконструкций. Осадки Тальских озер содержат детальную информацию об изменениях природной среды в конце позднего плейстоцена – голоцене. Из всех пробуренных озер наиболее полный разрез этого интервала получен из оз. Грязевое. Хотя осадки озера еще изучаются, результаты комплексного исследования позволили получить информацию о природной обстановке последнего ледниково-межледникового цикла.

Для этапа позднего плейстоцена (26.1–12.5 тыс. кал. л. н.) реконструированы холодные климатические условия, отсутствие или редкие диатомеи, травянистая растительность (рис. 8).

Предполагается, что на озере существовал устойчивый ледовый покров, только в летнее время оттаивала кромка льда вблизи берега. В озерном бассейне накапливался относительно сильномагнитный слоистый тонкозернистый де-

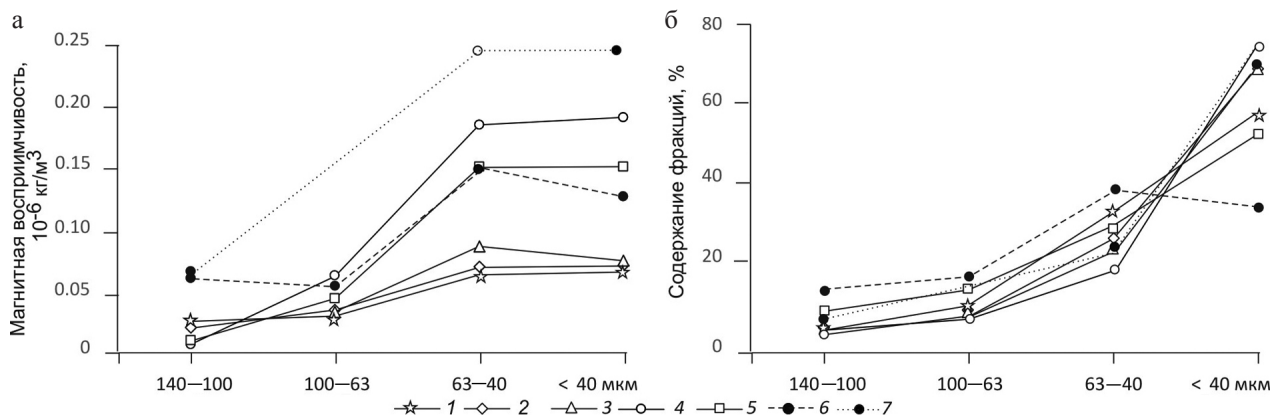


Рис. 7. Магнито-гранулометрические характеристики тефры: (а) – зависимость магнитной восприимчивости от размера гранулометрических фракций, (б) – гранулометрический состав тефры. Образцы: 1 – скв. Гз-6, верхняя часть; 2 – скв. Гз-6, средняя часть; 3 – скв. Гз-6, нижняя часть; 4 – скв. Гз-7, верхняя часть; 5 – скв. Гз-7, нижняя часть; 6 – скв. ГБ-1; 7 – скв. Нал-2.

Fig. 7. Magneto-granulometric characteristics of tephra: (a) – dependence of magnetic susceptibility on the size of granulometric fractions, (b) – granulometric composition of tephra. Samples: 1 – core Гз-6, upper part; 2 – core Гз-6, middle part; 3 – core Гз-6, lower part; 4 – core Гз-7, upper part; 5 – core Гз-7, lower part; 6 – core ГБ-1; 7 – core Нал-2.

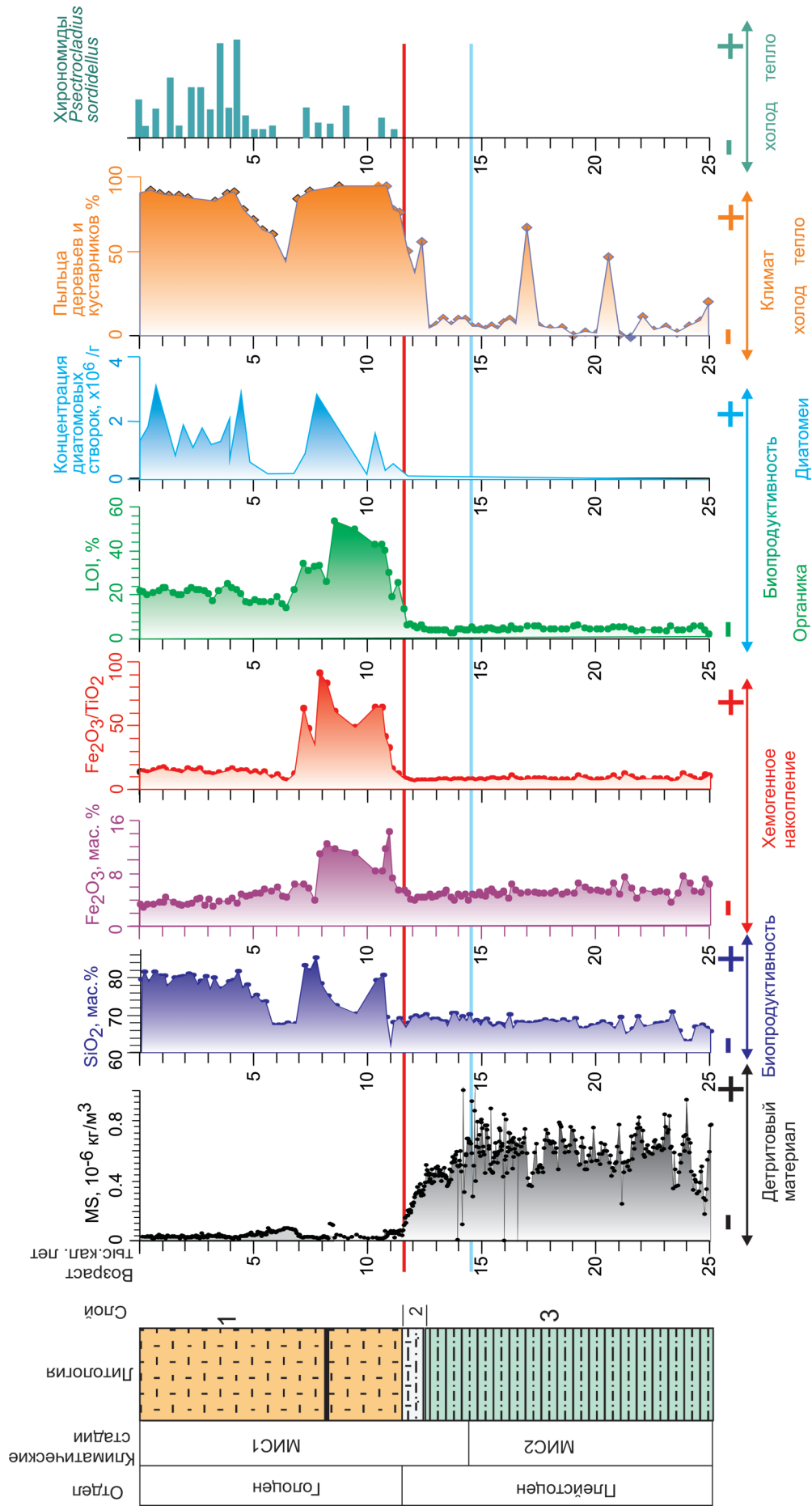


Рис. 8. Индикаторы изменений природной среды осадков скв. Гз-1 (оз. Грязевоe). МИС – морская изотопная стадия.

Fig. 8. Indicators of changes in the environment of core Гз-1 sediments (Lake Gryazevoe). MIS – marine isotope stage.

тритовый осадок. Отсутствие ветрового перемешивания препятствовало принесению грубо-зернистых осадков в центральные части озера. Бескислородные условия способствовали накоплению вивианита и пирита. Во время позднего дриаса (12.5–11.7 тыс. кал. л. н.), по кровле которого проводится граница плейстоцена и голоцена (Cohen, Gibbard, 2019), климатические условия изменились в сторону потепления. В осадках этого этапа постепенно увеличилось содержание органического вещества, приводя к уменьшению величин MB , J_s , J_{rs} . В водном бассейне увеличилось количество диатомей. В составе растительности окрестностей озера заметную роль стали играть древесные растения. В голоцене, после 11.7 тыс. кал. лет т. н. климатические условия изменились. В озере доминировало биогенное осадконакопление с обилием диатомей. Вследствие разбавления детритового материала биогенным кремнеземом и органикой величины скалярных магнитных характеристик осадков низкие. В раннем голоцене в озере происходило хемогенное накопление железа, содержания которого достигают 14.4 %. Холодные климатические условия установлены в интервале 5.8–7.8 тыс. кал. л. н. В осадках этого периода отмечены низкие содержания диатомей и низкие концентрации пыльцы деревьев и кустарников, кремнезема. Они обогащены глиноземом, титаном, магнием, цирконием, рубидием и характеризуются повышенными значениями магнитных параметров (MB , J_s , J_{rs}).

ВЫВОДЫ

1. Исследованные озера отличаются по мощности, строению и возрасту осадочного чехла, хотя морфометрические характеристики озер близкие. Озера Грязевое и Щучье самые мелководные среди изученных, однако они содержат самые древние осадки, датируемые поздним плейстоценом.

2. Вода озер ультрапресная гидрокарбонат-кальциевая.

3. Максимальные мощности осадков и скорости осадконакопления установлены в оз. Грязевое. Комплексные исследования отложений этого озера позволили реконструировать изменения природной среды в переходный период от позднего плейстоцена к голоцену. В позднем плейстоцене в озерах доминировало терригенное осадконакопление, в голоцене – органогенно-терригенное. Характерной особенностью осадков Тальских озер является наличие сульфидов железа фрамбоидального строения, пиритового и грейгит-пирротинового состава.

4. Магнитная восприимчивость осадков является индикатором климатических изменений.

Высокие значения этого параметра характерны для отложений позднего плейстоцена, сформировавшихся в холодных климатических условиях. Голоценовые осадки, вследствие разбавления терригенного материала органикой и биогенным кремнеземом, имеют низкие величины магнитной восприимчивости.

5. Вулканический пепел кислого состава выявлен практически во всех разрезах скважин. По магнитной восприимчивости он практически не отличается от вмещающих осадков.

Источник финансирования. Исследования выполнены за счёт средств Российского научного фонда, проект № 22-27-00444.

Авторы выражают благодарность С. С. Бурнатному, М. А. Морозовой, Е. Т. Морозову, Д. В. Недельскому, М. И. Макарову, Д. В. Петрову за проведение полевых работ.

ЛИТЕРАТУРА

Андерсон П. М., Ложкин А. В., Минюк П. С., Пахомов А. Ю. Изменение природной среды Охотско-Колымского междуречья в голоцене по данным ледниковых озер // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33. № 6. С. 70–80.

Брагин И. В., Челноков Г. А., Харитонова Н. А. Новые изотопно-геохимические данные по термальным водам Тальского месторождения (Магаданская область) // Тихоокеанская геология. 2021. Т. 40. № 6. С. 111–119. DOI: 10.30911/0207-4028-2021-40-6-111-119.

Буров Б. В., Нургалиев Д. К., Ясонов П. Г. Палеомагнитный анализ / Ред. В. П. Боронин. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1986. 167 с.

Геологическая карта. Лист Р-56-XXVII. Масштаб 1 : 2000000 / Составитель Н. Н. Лаврович. Второе издание. 2000.

Глушкова О. Ю., Ложкин А. В., Смирнов В. Н., Важенникова Л. Н. Вулканический пепел в голоценовых осадках Северного Приохотья и бассейна верхней Колымы // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2014. № 3. С. 3–13.

Измайлова А. В. Озерные водные ресурсы азиатской части Российской Федерации // Водные ресурсы. 2018. Т. 45. № 5. С. 453–462. DOI: 10.1134/S0321059618050097.

Ложкин А. В., Андерсон П. М., Белая Б. В., Глушкова О. Ю., Стеценко Т. В. Изменение растительного покрова Северо-Востока Сибири на границе плейстоцена и голоцена и в голоцене // Берингия в четвертичный период. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2000. С. 53–75.

Ложкин А. В., Андерсон П. М., Браун Т. А., Важенникова Л. Н., Матросова Т. В., Минюк П. С., Пахомов А. Ю., Соломаткина Т. Б. Новая летопись изменения климата и растительности северного Приохотья в течение изотопных стадий 1–4 // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2010. № 1. С. 63–70.

Мелекесцев И. В., Глушкова О. Ю., Кирьянов В. Ю., Ложкин А. В., Сулержицкий Л. Д. Происхождение

и возраст магаданских вулканических пеплов // Доклады Академии наук. 1991. Т. 317. № 5. С. 1188–1192.

Минюк П. С. Детритовое и хемогенное железо в озерных осадках Дальнего Востока: петрофизические и геохимические признаки // Проблемы Геокосмоса : Материалы 13-й международной школы-конференции / Отв. ред. Н. Ю. Бобров и др. Санкт-Петербург : ВВМ, 2021. С. 184–194.

Минюк П. С., Пожидаева Д. К., Бурнатный С. С. Гидрохимические характеристики природных и техногенных вод Магаданской области // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2022а. № 2. С. 45–58. DOI: 10.34078/1814-0998-2022-2-45-58.

Минюк П. С., Пожидаева Д. К., Бурнатный С. С., Черепанова М. В., Курьина И. В., Назарова Л. Б. Комплексные исследования плейстоцен-голоценовых осадков озера Грязевое, Магаданская область // Проблемы Геокосмоса-2022. Материалы XIV школы-конференции с международным участием. Отв. ред. С. В. Апатенков, А. А. Костеров, Е. Л. Лыскова, И. А. Миронова. Санкт-Петербург : Скифия-принт, 2022б. С. 40–47.

Минюк П. С., Пожидаева Д. К., Соцкая О. Т., Акинин В. В., Морозова М. А. Магнито-минералогические аномалии на границе плейстоцена и голоцена в озерных осадках Северо-Востока России // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023а. Т. 510. № 2. С. 194–200.

Минюк П. С., Пожидаева Д. К., Соцкая О. Т., Бурнатный С. С. Петромагнитные данные изменения природной среды голоцена в бассейне озера Чистое (Северное Приохотье) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2023б. № 2. С. 21–41.

Минюк П. С., Соцкая О. Т., Цыганкова В. И., Акинин В. В., Бурнатный С. С. Голоценовые пеплы в озерных осадках Приохотья: отличительные признаки // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2022в. Т. 505. № 1. С. 61–67. DOI: 10.31857/S2686739722070131.

Черепанова М. В., Минюк П. С., Пожидаева Д. К., Бурнатный С. С. Реакция диатомовых водорослей озера Грязевое (Магаданская область) на изменения окружающей среды Северного Приохотья в позднем плейстоцене-голоцене // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2022. № 3. Вып. 55. С. 70–86. DOI: 10.31431/1816-5524-2022-3-55-70-86.

Berner R. A. Sedimentary pyrite formation : An update // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1984. Vol. 48. P. 605–615.

Blaauw M., Christen J. A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // *Bayesian Analysis*. 2011. Vol. 6. Iss. 3. P. 457–474. DOI: 10.1214/11-BA618.

Cohen K. M., Gibbard P. L. Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years, version

2019 QI-500 // *Quaternary International*. 2019. Vol. 500. P. 20–31. DOI: 10.1016/j.quaint.2019.03.009.

Heiri O., Lotter A. F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: Reproducibility and comparability of results // *Journal of Paleolimnology*. 2001. Vol. 25. P. 101–110. DOI: 10.1023/A:1008119611481.

Lozhkin A. V., Brown T. A., Anderson P. M., Glushkova O. Yu., Melekestsev I. V. The importance of radiocarbon dates and tephra for developing chronologies of Holocene environmental changes from lake sediments, North Far East // *Тихоокеанская геология*. 2016. Т. 35. № 4. С. 14–27.

Minyuk P., Subbotnikova T. Rock magnetic properties of Grand Lake sediments as evidence of environmental changes during the last 60 000 years in North-East Russia // *Boreas*. 2021. Vol. 50. No. 4. P. 1027–1042. DOI: 10.1111/bor.12546.

Nowaczyk N. R. Dissolution of titanomagnetite and sulphidization in sediments from Lake Kinneret, Israel // *Geophysical Journal International*. 2011. Vol. 187. P. 34–44.

Peters C., Dekkers M. J. Selected room temperature magnetic parameters as a function of mineralogy, concentration and grain size // *Physics and Chemistry of the Earth*. 2003. Vol. 28. P. 659–667. DOI: 10.1016/S1474-7065(03)00120-7.

Ponomareva V. V., Kyle P. R., Melekestsev I. V., Rinkleff P. G., Dirksen O. V., Sulerzhitsky L. D., Zaretskaia N. E., Rourke R. The 7600 (14C) Year BP Kurile Lake caldera-forming eruption, Kamchatka, Russia: Stratigraphy and field relationships // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2004. Vol. 136. P. 199–222. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2004.05.013.

Roberts A. P. Magnetic mineral diagenesis // *Earth-Science Reviews*. 2015. Vol. 151. P. 1–47.

Roberts A. P., Chang L. A., Rowan C. J., Horng C. S., Florindo F. Magnetic properties of sedimentary greigite (Fe₃S₄): An update // *Reviews of Geophysics*. 2011. Vol. 49. RG1002. DOI: 10.1029/2010RG000336.

Walker M., Head M. J., Berkelhammer M., Björck S., Cheng H., Cwynar L., Fisher D., Gkinis V., Long A., Lowe J., Newnham R., Rasmussen S. O., Weiss H. Formal ratification of the subdivision of the Holocene series/epoch (Quaternary system/period) : Two new global boundary stratotype sections and points (GSSPs) and three new stages/subseries // *Episodes*. 2018. Vol. 41. No. 4. P. 231–223.

Wilkin R. T., Arthur M. A. Variations in pyrite texture, sulfur isotope composition, and iron systematics in the Black Sea : evidence for Late Pleistocene to Holocene excursions of the O₂–H₂S redox transition // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2001. Vol. 65. P. 1399–1416.

Wright Jr. E., Mann D. H., Glaser P. H. Piston corers for peat and lake sediments // *Ecology*. 1984. Vol. 65. P. 657–659. DOI: 10.2307/1941430.

Поступила в редакцию 21.08.2023.

Поступила после доработки 25.08.2023.

TALAYA GROUP LAKES (Magadan Oblast): A PROMISING OBJECT FOR PALEOCLIMATIC RECONSTRUCTIONS OF THE LATE PLEISTOCENE AND HOLOCENE

P. S. Minyuk, D. K. Pozhidaeva

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n. a. N. A. Shilo, FEB RAS, Magadan

The results of coring the Talaya group glacial lakes (Gryazevoye, Shchuchye, Goluboye, Nalimnoye), located in Magadan Oblast, are presented. Bathymetric maps were constructed; the thickness and structure of the lake sedimentary covers were determined. Magnetic characteristics of volcanic and glacial rocks as well as those of tephra are given. The nature of sedimentation in the lakes is compared. The transition interval from the Late Pleistocene to the Holocene is characterized by sediments from Lake Gryazevoye. Petromagnetic, geochemical, diatom, and palinological indicators of changes in the natural environment are exposed.

Keywords: lake sediments, Pleistocene, Holocene, tephra, magnetic properties.

REFERENCES

- Anderson, P. M., Lozhkin, A. V., Minyuk, P. S., Pakhomov, A. Yu., 2014. Environmental Changes of the Okhotsk-Kolyma Divide from Glacial Lake Sediments during the Holocene, *Pacific Geology*. 33, 6, 70–80 [In Russian].
- Berner, R. A., 1984. Sedimentary Pyrite Formation: An Update, *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 48, 605–615.
- Blaauw, M., Christen, J. A., 2011. Flexible Paleoclimate Age-Depth Models Using an Autoregressive Gamma Process, *Bayesian Analysis*. 6, 3, 457–474. DOI: 10.1214/11-BA618.
- Bragin, I. V., Chelnokov, G. A., Kharitonova, N. A., 2021. New Isotope-Geochemical Data on Thermal Waters of the Talskoe Deposit (Magadan Oblast), *Russian Journal of Pacific Geology*. 15, 602–609 [In Russian].
- Burov, B. V., Nurgaliyev, D. K., Yasonov, P. G., 1986. Paleomagnetic Analysis. Ed. V. P. Boronin. Kazan, KSU [In Russian].
- Cherepanova, M. V., Minyuk, P. S., Pozhidaeva, D. K., Burnatny, S. S., 2022. Diatom Response to Environmental Changes of the Northern Okhotsk Area (Magadan Oblast) during Late Pleistocene – Holocene from Gryazevoye Lake, *Bulletin of KRAESC. Earth Sciences*. 3, 55, 70–86. DOI: 10.31431/1816-5524-2022-3-55-70-86 [In Russian].
- Cohen, K. M., Gibbard, P. L., 2019. Global Chronostratigraphical Correlation Table for the Last 2.7 Million Years, Version 2019 QI-500, *Quaternary International*. 500, 20–31. DOI: 10.1016/j.quaint.2019.03.009.
- Geological Map, 2000. Sheet P-56-XXVII. Scale 1 : 2.000.000. Compiled by N. N. Lavrovich. 2nd edition [In Russian].
- Glushkova, O. Yu., Lozhkin, A. V., Smirnov, V. N., Vazhenina, L., 2014. Volcanic Ash in Holocene Sediments of the Northern Priokhotye and the Upper Kolyma Basin, *Bulletin of NESCFEB RAS*. 3, 3–13 [In Russian].
- Heiri, O., Lotter, A. F., Lemcke, G., 2001. Loss on Ignition as a Method for Estimating Organic and Carbonate Content in Sediments : Reproducibility and Comparability of Results, *Journal of Paleolimnology*. 25, 101–110. DOI: 10.1023/A:1008119611481.
- Izmaylova, A. V., 2018. Lake Water Resources in the Asian Part of the Russian Federation, *Water Resources*. 45, 5, 45–462. DOI: 10.1134/S0321059618050097 [In Russian].
- Lozhkin, A. V., Anderson, P. M., Belaya, B. V., Glushkova, O. Yu., Stetsenko, T. V., 2000. Changes in the Vegetation Cover of the Northeast of Siberia on the Edge of the Pleistocene and Holocene and in the Holocene, *Beringia in the Quaternary Period*. Magadan, NEISRI FEB RAS, 53–75 [In Russian].
- Lozhkin, A. V., Anderson, P. M., Brown, T. A., Vazhenina, L. N., Matrosova, T. V., Minyuk, P. S., Pakhomov, A. Yu., Solomatkina, T. B., 2010. New Chronicle of Climate Change and Vegetation of the Northern Priokhotye during Isotopic Stages 1–4, *Bulletin of NESCFEB RAS*. 1, 63–70 [In Russian].
- Lozhkin, A. V., Brown, T. A., Anderson, P. M., Glushkova, O. Yu., Melekestsev, I. V., 2016. The Importance of Radiocarbon Dates and Tephra for Developing Chronologies of Holocene Environmental Changes from Lake Sediments, North Far East, *Pacific Geology*. 35, 4, 14–27.
- Melekestsev, I. V., Glushkova, O. Yu., Kiryanov, V. Yu., Lozhkin, A. V., Sulerzhitsky, L. D., 1991. Origin and Age of Magadan Volcanic Ash, *Doklady Akademiyi Nauk*. 317, 5, 1188–1192 [In Russian].
- Minyuk, P. S., 2021. Detritus and Chemogenic Iron in Lake Sediments of the Far East: Petrophysical and Geochemical Features, *Proceedings of the 13th International School-Conference “Problems of Geocosmos” (March 24–27, 2021, St. Petersburg, Russia)*. Eds. N. Yu. Bobrov, Ye. I. Gordeyev, A. A. Kosterov, Ye. L. Lyskova, I. A. Mironova. St. Petersburg. 184–194 [In Russian].
- Minyuk, P. S., Pozhidaeva, D. K., Burnatny, S. S., 2022. Hydrochemical Characteristics of Natural and Technogenic Water Bodies in Magadan Oblast, *Bulletin of NESCFEB RAS*. 2, 45–58 [In Russian].
- Minyuk, P. S., Pozhidaeva, D. K., Burnatny, S. S., Cherepanova, M. V., Kuryina, I. V., Nazarova, L. B., 2022. Complex Studies of Pleistocene-Holocene Sediments from Lake Gryazevoye, Magadan Oblast, *Problems of Geocosmos-2022. Materials of the 14th School-Conference with International Participation*. Eds.

- S. V. Apatenkov, A. A. Kosterov, E. L. Lyskova, I. A. Mironova. St. Petersburg, Scythia-Print, 40–47 [In Russian].
- Minyuk, P. S., Pozhidaeva, D. K., Sotskaya, O. T., Akinin, V. V., Morozova, M. A., 2023. Magneto-Mineralogical Anomalies at the Pleistocene–Holocene Boundary in Lake Sediments of Northeastern Russia, *Doklady Earth Sciences*. 510, 2, 194–200 [In Russian].
- Minyuk, P. S., Pozhidaeva, D. K., Sotskaya, O. T., Burnatny, S. S. 2023. Petromagnetic Evidence of Holocene Environment Changes in Lake Chistoe Basin (Northern Priokhotye), *Bulletin of NESCFEB RAS*. 2, 21–41 [In Russian].
- Minyuk, P. S., Sotskaya, O. T., Tsygankova, V. I., Akinin, V. V., Burnatny, S. S., 2022. Holocene Ash from Lacustrine Sediments of the Okhotsk Area : Distinctive Features, *Doklady Earth Sciences* . 505, 1, 62–68. DOI: 10.31857/S2686739722070131 [In Russian].
- Minyuk, P., Subbotnikova, T., 2021. Rock Magnetic Properties of Grand Lake Sediments as Evidence of Environmental Changes during the Last 60 000 years in North-East Russia, *Boreas*. 50, 4, 1027–1042. DOI: 10.1111/bor.12546.
- Nowaczyk, N. R., 2011. Dissolution of Titanomagnetite and Sulphidization in Sediments from Lake Kinneret, Israel, *Geophysical Journal International*. 187, 34–44.
- Peters, C., Dekkers, M. J., 2003. Selected Room Temperature Magnetic Parameters as a Function of Mineralogy, Concentration and Grain Size, *Physics and Chemistry of the Earth*. 28, 659–667. DOI: 10.1016/S1474-7065-(03)00120-7.
- Ponomareva, V. V., Kyle, P. R., Melekestsev, I. V., Rinck, P. G., Dirksen, O. V., Sulerzhitsky, L. D., Zaretskaia, N. E., Rourke, R., 2004. The 7600 (14C) Year BP Kurile Lake Caldera-Forming Eruption, Kamchatka, Russia : Stratigraphy and Field Relationships, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 136, 199–222. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2004.05.013.
- Roberts, A. P., 2015. Magnetic Mineral Diagenesis, *Earth-Science Reviews*. 151, 1–47.
- Roberts, A. P., Chang, L. A., Rowan, C. J., Horng, C. S., Florindo, F., 2011. Magnetic Properties of Sedimentary Greigite (Fe₃S₄) : An Update, *Reviews of Geophysics*. 49. RG1002. DOI: 10.1029/2010RG000336.
- Walker, M., Head, M. J., Berkelhammer, M., Björck, S., Cheng, H., Cwynar, L., Fisher, D., Gkinis, V., Long, A., Lowe, J., Newnham, R., Rasmussen, S. O., Weiss, H., 2018. Formal Ratification of the Subdivision of the Holocene Series/ Epoch (Quaternary System/Period): Two New Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and Three New Stages/Subseries, *Episodes*. 41, 231–223.
- Wilkin, R. T., Arthur, M. A., 2002. Variations in Pyrite Texture, Sulfur Isotope Composition, and Iron Systematics in the Black Sea: Evidence for Late Pleistocene to Holocene Excursions of the O₂– H₂S Redox Transition, *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 65, 1399–1416.
- Wright, Jr. E., Mann, D. H., Glaser, P. H., 1984. Piston Corers for Pea and Lake Sediments, *Ecology*. 65, 657–659. DOI: 10.2307/1941430