

УДК 556.332

РЕДКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В КОЛОНКАХ СОВРЕМЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР ОСТРОВА КИНГ-ДЖОРДЖ, АНТАРКТИКА

© 2024 г. З. И. Слуковский^{1,2,*}, А. В. Гузева³

Представлено академиком РАН С.В. Кривовичевым 29.12.2023 г.

Поступило 29.12.2023 г.

После доработки 17.01.2024 г.

Принято к публикации 18.01.2024 г.

Первичные исследования концентраций редких элементов в отложениях двух озёр острова Кинг-Джордж (Китеж и Глубокое) показали, что их геохимия отражает геологические особенности района. По сравнению с составом верхней части земной коры изученные отложения обогащены Cu, Cd, V, Tl, Mn, Ti и P. Аналогичные закономерности выявлены в геохимии вулканических и осадочных пород полуострова Файлдс. Тенденции изменения редкоземельных элементов (РЗЭ) в целом повторяют их поведение в породах, однако общая концентрация РЗЭ в донных отложениях озёр выше, что может быть связано с наличием органического вещества, накапливающегося в осадках водоёмов. В отличие от водной среды, химический состав донных отложений не отражает существенного влияния деятельности полярных станций. Однако небольшое увеличение концентраций Pb и Sb в верхних слоях отложений позволяет предположить влияние дальнего атмосферного переноса загрязняющих веществ.

Ключевые слова: редкие элементы, тяжёлые металлы, геохимические индикаторы, малые озёра, Южные Шетландские острова, Антарктика

DOI: 10.31857/S2686739724050097

Антарктика – регион Земли с уникальными климатическими, геологическими и экологическими условиями. С точки зрения загрязнения Антарктика считается отдалённой территорией, лишённой крупных антропогенных источников. Долгое время считалось, что это совершенно нетронутый регион, но это мнение подвергается сомнению недавними исследованиями [1, 2]. Антропогенное влияние здесь прослеживается, прежде всего, за счёт развития сети полярных станций из разных стран мира [3, 4]. Большинство таких станций расположено на прибрежных территориях, и одним из таких регионов является остров Кинг-Джордж.

Остров Кинг-Джордж – самый большой остров в архипелаге Южные Шетландские острова. На его территории расположены полярные

станции девяти разных стран. Большая часть острова Кинг-Джордж покрыта ледниками [5]. Самая обширная свободная ото льда зона на острове – полуостров Файлдс (рис. 1), на котором расположены полярные станции из России, Китая, Чили и Уругвая. Кроме того, полуостров Файлдс является самым популярным туристическим направлением в Антарктике благодаря своей близости к Южным Шетландским островам и американскому континенту. Также в центре полуострова Файлдс находится небольшой аэродром, принадлежащий Чили.

Полуостров Файлдс имеет хорошо развитую гидрографическую сеть с многочисленными реками, ручьями и озёрами [5]. Известно, что озёрные экосистемы полярных регионов чувствительны к изменениям окружающей среды, в том числе климата, экологии и антропогенным воздействиям. Одним из методов оценки состояния озера и его водосборной площади является изучение озёрных отложений [6]. Озёрные отложения фиксируют изменения в водоёме в течение длительного периода с использованием метода палеолимнологической реконструкции [7]. Это хорошо показано в многочисленных

¹Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского Научного Центра Российской Академии наук, Апатиты, Россия

²Институт геологии Карельского научного центра Российской Академии наук, Петрозаводск, Россия

³Институт озероведения Российской Академии наук – Федеральный Исследовательский Центр Российской Академии наук, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: slukovsky87@gmail.com



Рис. 1. Район исследования.



оз. Глубокое



оз. Китеж

Рис. 2. Фотографии колонок донных отложений изученных озёр острова Кинг-Джордж (фото З.И. Слукковского и Ю.Г. Хоменко).

исследованиях полярных озёр Северного полушария, например, на территории России [8]. В Антарктике такие исследования проводились нечасто. Учитывая, что озёра являются неотъемлемой частью внутренней водной системы, регулирующей речной расход и сохраняющей воду, а также принимая во внимание, что биологические процессы внутри озера и за его пределами

зависят от его состояния, в том числе для использования в качестве питьевой воды, изучение антарктических озёр в окрестностях полярных станций является важнейшей научной и практической задачей [3].

Целью работы является оценка уровня накопления редких элементов в донных отложениях

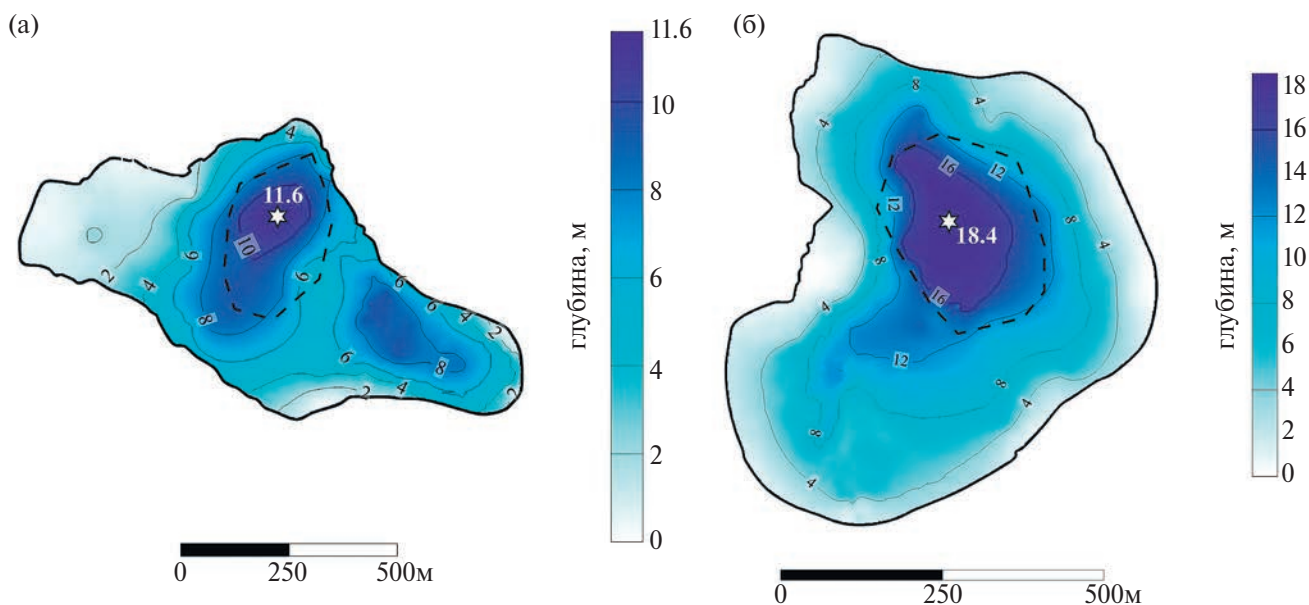


Рис. 3. Карты глубин озёр Китеж (а) и Уругвайское (б). Звёздочками отмечены районы максимальных глубин изученных водоёмов, а пунктирной линией внутри озёр – участки отбора проб воды и донных отложений.

двух озёр острова Кинг-Джордж с использованием методов палеолимнологической реконструкции, а также оценка потенциального антропогенного воздействия на водные объекты прибрежных районов Западной Антарктики.

Для исследования были выбраны два озера Китеж и Глубокое, которые расположены вблизи полярных станций России и Уругвая соответственно (рис. 1). Китеж – это самое большое (площадь 0.15 км^2) озеро на острове Кинг-Джордж. Оно имеет тектоно-ледниковое происхождение [5]. Питается атмосферными осадками и тальми водами. Рядом с озером работает аэропорт, принадлежащий Чили. Полярники российской станции Беллинсгаузен берут воду из Китежа для своих нужд. Озеро Глубокое имеет также второе название – Уругвайское, так как рядом с ним находится станция Артигас, принадлежащая этой стране. Котловина озера Глубокое вулканического происхождения: водоём находится в районе молодого кратера [5]. Вода пресная, поступает в озера в виде дождей и снега, а также при таянии ледников. На озере работает водонапорная станция уругвайских полярников.

Полевые исследования проводились в январе-феврале 2022 года, что соответствует летнему периоду в Южной полушарии Земли. Работы на озёрах проводились с использованием надувной ПВХ-лодки “Тайга-320”. Исследование глубин водоёмов выполнялось с помощью эхолота

Garmin Echomap Plus 42сv. Отбор проб воды осуществлялся с поверхностного слоя (до 1 м) прямо в пластиковую бутылку. Далее проба подкислялась азотной кислотой (до pH 1–2). Пробы воды не фильтровались, при помощи ICP-MS анализировалось общее содержание тяжёлых металлов, включающее и растворённые, и взвешенные лабильные формы.

Донные отложения обоих озёр отбирали при помощи пробоотборника гравитационного типа системы Стогхейма. Были отобраны колонки (рис. 2) из центральных участков каждого озера. Для данной работы были использованы колонка озера Китеж мощностью 22 см. Она была разделена на слои по 1 см до глубины 10 см и по 2 см от 10 до 22 см (всего 16 проб). Мощность изученной колонки озера Глубокое составила 27 см. Она была разделена на слои 0.5 см до глубины 5 см и на слои по 1 см с 5 до 27 см (всего 31 проба). Отложения озёр Китеж и Глубокое представлены серыми мягкими илами с примесью частиц алеврита. На поверхности донных отложений отмечен окисленный слой мощностью до 0.5 см ржаво-коричневого цвета.

После отбора пробы укладывались в пластиковые zip-пакеты, убирались в холодильник. В лабораторных условиях пробы высушивались при температуре $110 \text{ }^\circ\text{C}$. После этого образцы сушили и измельчали в порошок. Анализ химических элементов в пробах воды и донных отложений проводился с помощью масс-спектрометра

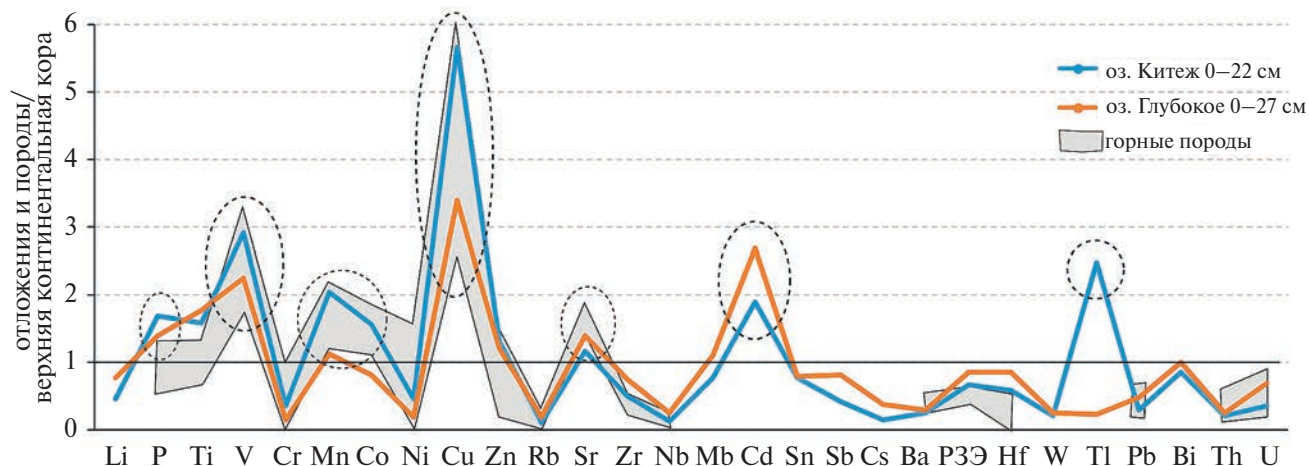


Рис. 4. Нормализация концентраций элементов в изученных отложениях озёр (даны средние значения по обоим колонкам отложений) и в горных породах п-ова Файлдс [11] по среднему составу континентальной коры [13]. Все значения представлены в логарифмической шкале

с индуктивно связанной плазмой XSeries-2. Для оценки суммарного содержания элементов проводили полное кислотное разложение с использованием HF, HNO₃ и HCl. Максимально подробно методика подготовки проб описана в ранней работе одного из авторов [9].

Измерение глубин водоёмов показало, что максимальная глубина озера Китежа — 11.6 м (рис. 3), что на полтора метра больше, чем считалось ранее, а максимальная глубина озера Глубокое — 18.4 м и это на 2.4 м больше более ранних сведений об этом водоёме [5]. Озеро Китеж имеет более сложную структуру своей котловины, так как она разделена на два участка (но не плёса), у каждого из которых есть своя максимальная глубина. Оба водоёма имеют выраженные литоральные зоны (до глубины около 1 м), где скапливается мелкий и крупный песок. На дне обоих озёр произрастает мох *Drepanocladus longifolius* (Amblystegiaceae).

Анализ химического состава воды показал, что в большинстве случаев концентрации химических элементов имеют не высокие значения: они сравнимы с данными, которые были получены ранее в 2013 и 2014 гг. [10]. В частности, результаты сопоставимы по таким тяжёлым металлам как Zn и Fe. В новых исследованиях оказалось, что концентрации Cu, Cd, Mn и Fe выше, чем в более ранних гидрохимических данных, датированных 2013 годом (табл. 1). Это может быть связано и с ростом антропогенной нагрузки на водные объекты, и с разницей в аналитических методах.

Таблица 1. Концентрации некоторых редких элементов в воде изученных озёр в сравнении с более ранними исследованиями

	Данные ICP 2022 года		Данные AAC [10] (2013–2014 годы)	
	оз. Китеж	оз. Глу- бокое	оз. Китеж	оз. Глубокое
Al	1.78	0.68	0.7–14.6	0.9–1.1
Mn	0.61	0.39	0.6–1.3	0.2–1.3
Fe	5.02	5.54	<0.2–11.8	<0.2–<0.2
Ni	0.06	0.05	<0.1–0.4	0.2–0.2
Cu	0.35	0.23	<0.1–0.4	<0.1–0.2
Zn	1.73	1.16	1.0–11.0	0.5–2.7
Cd	0.00	0.01	<0.05–<0.05	<0.05–<0.05

Нормирование усреднённых по всей длине колонок концентраций редких элементов в отложениях изученных озёр показало (рис. 4), что осадки обогащены такими элементами, как P, Ti, V, Mn, Cu, Sr, Cd и Tl (только отложения оз. Китеж). В то же время отмечено сильное обеднение Cr, Rb, Nb, Cs, Pb и Th. Схожие закономерности наблюдаются и в накоплении редких элементов горных пород полуострова Файлдс, которые представлены базальтами, андезибазальтами с переслаиванием вулканических брекчий, туфами, андезитами, дацитами, а также аллювиальными и коллювиальными отложениями [11]. Эти породы также обогащены P, V, Mn, Cu и Sr и обеднены Cr, Ni, Zr, Nb и Hf (рис. 4). Известно, что V активно накапливается в основных магматических породах, например, габбро и базальтах. Несмотря на то, что в отложениях озёр исследовался

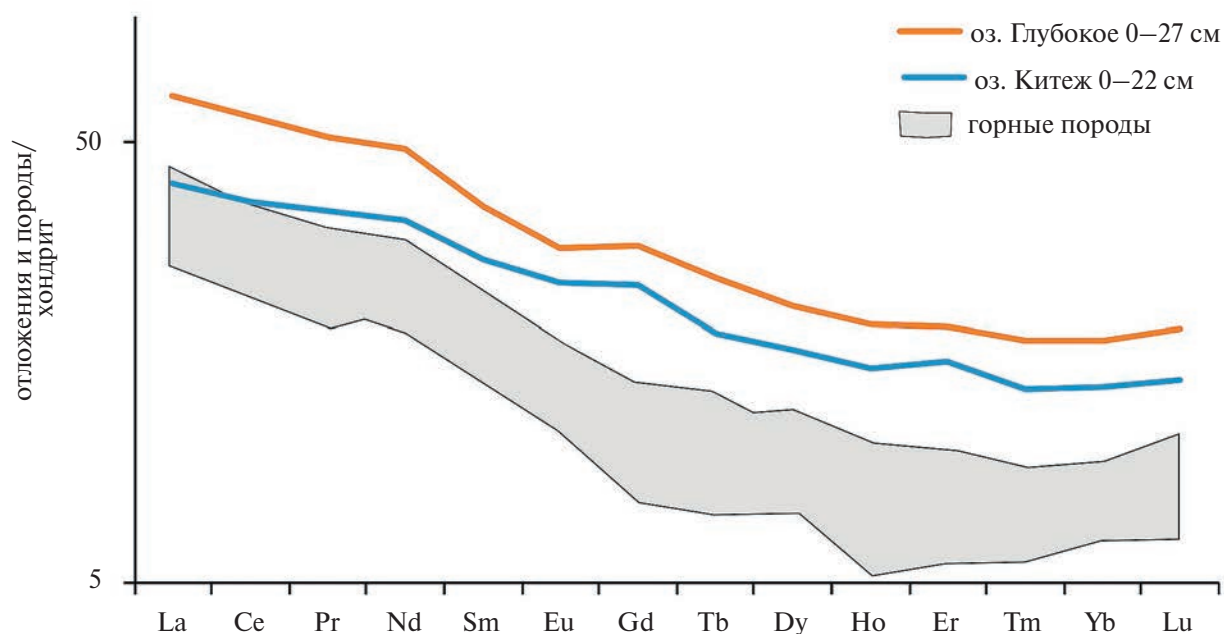


Рис. 5. Тренды нормированных по хондриту [15] концентраций РЗЭ в изученных отложениях озёр (даны средние значения по обоим колонкам отложений) и в горных породах п-ва Файлдс [11]. Все значения представлены в логарифмической шкале.

больший спектр редких элементов, чем в породах, можно заключить, что осадки унаследовали геохимическую специфику местного петрофонда. Схожие закономерности отмечены были ранее при изучении геохимии горных пород и донных отложений озёр другого района острова Кинг-Джордж — района бухты Адмиралтейской [12]. Хотя следует отметить, что в породах накапливается чуть больше V, Ni и Sr, а в отложениях озёр Китеж и Глубокое отмечен больший уровень накопления РЗЭ и Hf.

Диаграммы распределения РЗЭ в изученных отложениях озёр и породах полуострова Файлдс также показывают единство трендов, полученных по нормированию концентраций РЗЭ по хондриту (рис. 5). В обоих случаях отмечается обогащение лёгкими РЗЭ по отношению к тяжёлым. В то же время заметно, что общее содержание РЗЭ в отложениях озёр Китеж и Глубокое выше, чем в породах водосборной площади. Это может быть связано, как с интенсивностью выноса РЗЭ, преобладанием в осадках пелитовой фракции и окислительно-восстановительной обстановкой на границе вода–дно [14].

Кроме вышеуказанного, в отложениях изученных озёр Глубокое и Китеж величина аномалии Eu равна 0.89 и 0.95 соответственно. То есть отмечается небольшая “отрицательная” аномалия Eu, что свойственно осадочным образованиям.

В то же время в изученных породах величина в среднем составляет 1.06. Вероятно, это связано со снижением числа породообразующих минералов, например, плагиоклазов в отложениях. Известно, что плагиоклазы имеют резко выраженную “положительную” аномалию Eu.

Рассматривая геохимические особенности донных отложений озёр Китеж и Глубокое, следует отметить, что между этими водоёмами есть и различия, и сходства. Например, среднее содержание Cd, U, Sr и РЗЭ по всей колонке осадков выше в озере Глубоком, а в отложениях озера Китеж в большей степени накапливаются P, V, Mn, Co, Cu и Tl (рис. 4 и рис. 5). В более ранней работе, где изучались отложения литоральной зоны обоих озёр [16] указано, что в озере Китеж накапливается больше Mn, Co, Cu и V, а в Глубоком — намного больше Sr. Отчасти эту разницу можно объяснить различием в минералогическом составе отложений: в осадках литоральной зоны озера Глубокого больше кальцита и цеолитов, а в аналогичных отложениях озера Китеж — глинистых минералов [16]. Например, минерал гейландит из группы цеолитов включает в себя Sr, поэтому этим металлом больше обогащены отложения озера Глубокого по сравнению с отложениями озера Китеж. Хотя при сравнении отложений из центральных районов обоих озёр такого различия не отмечается.

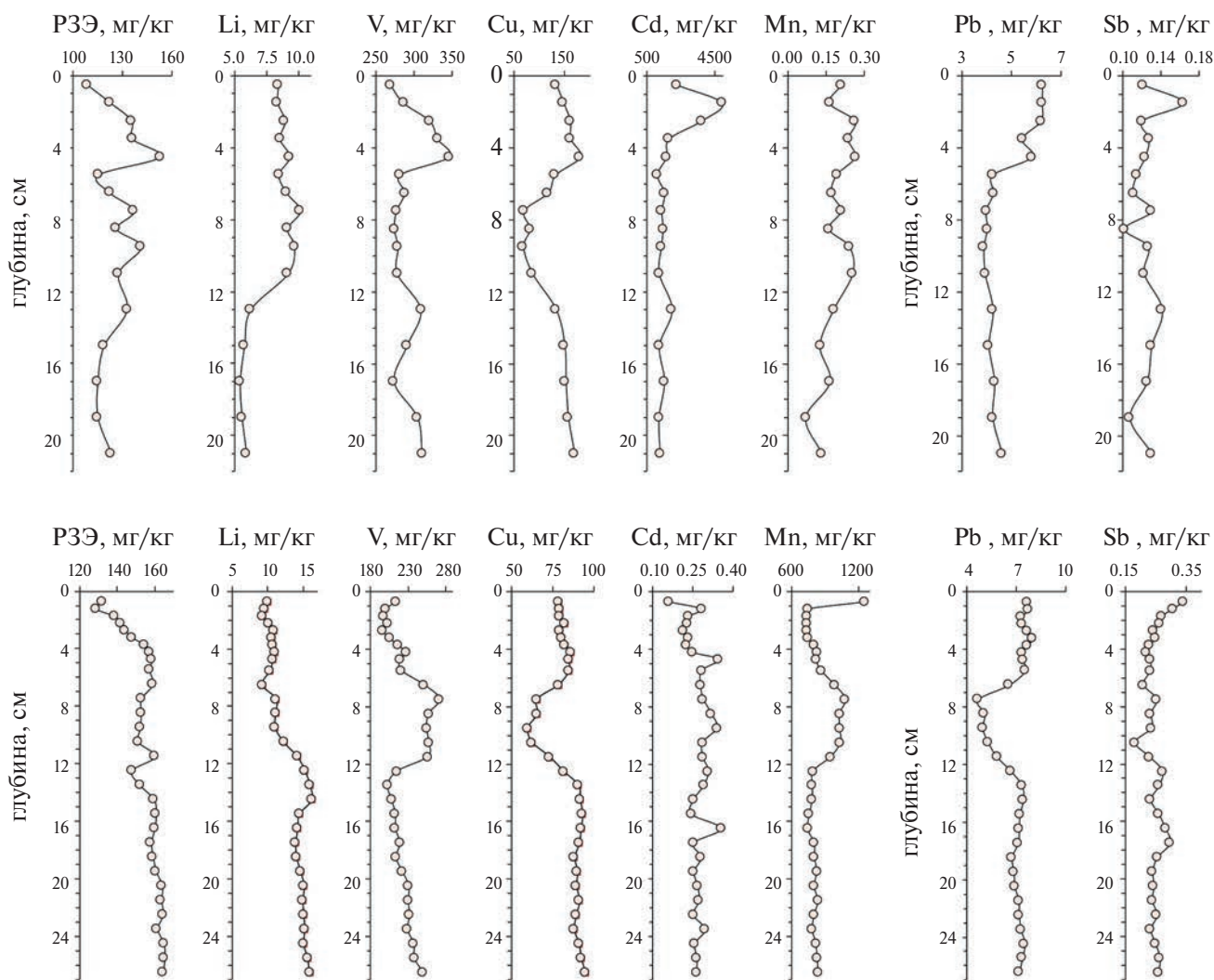


Рис. 6. Вертикальное распределение некоторых элементов в кернах отложений озёр Китеж (верхний ряд) и Глубокое (нижний ряд).

Не обнаружено также существенного различия в накоплении в изученных отложениях Li (рис. 4). В то же время на графиках вертикального распределения редких элементов заметно различие в накоплении этого металла в самых верхних слоях колонки донных отложений (рис. 6): в отложениях озера Китеж Li увеличивается в верхней части разреза (то есть в более молодых слоях), а в отложениях озера Глубокое — снижается в верхних слоях относительно нижних. Это может быть связано с большим числом глинистых минералов отложениях литорали озера Китеж, так как Li является индикатором глинистой фракции отложений [17], а также тем, что отложения озера Китеж в большей степени были подвергнуты выветриванию. В частности, ранее

отмечалось, что литоральные отложения озера Китеж имеют большую степень выветривания по сравнению с осадками по берегам озера Глубокое [16]. С другой стороны, исследования озёр острова Кинг-Джордж в районе бухты Адмиралтейской показывают, что отложения этого района Антарктики слабо поддаются выветриванию и преимущественно имеют схожую с коренными породами геохимию [12].

Нельзя исключать антропогенного фактора, который может объяснять некоторые геохимические различия между озерами Китеж и Глубокое. Кроме Li, в верхних слоях донных отложений озера Китеж отмечено повышенное содержание РЗЭ, V, Ni, Cd, Pb, Sb и ряда других редких элементов (рис. 6). Рядом с обоими

озерами работают полярные станции: с 1968 года российская станция Беллинсгаузен рядом с озером Китеж и с 1984 года – станция Артигас (Уругвай) рядом с озером Глубокое. Их геохимическое влияние уже демонстрировалось на примере исследования почв и озёр полуострова Файлдс [2, 3, 16, 18]. Также вблизи озера Китеж находится станция Чили и аэродром. Несмотря на то, что возраст осадков в данной работе не исследовался, можно лишь предположить, что верхние слои изученных донных отложений озёр относятся ко времени присутствия вблизи водоёмов человеческой активности. Косвенно о возрасте отложений можно говорить по скорости седиментации, насчитанной ранее для морских отложений вблизи острова Кинг-Джордж по активности в них Cs^{137} и составляющей 0.11–0.35 см в год [19]. В этой же работе отмечено повышенное содержание As и Pb в современных морских отложениях, что связывается с антропогенной деятельностью. В другой работе, проведённой на острове Кинг-Джордж, также отмечается антропогенное воздействие на водные экосистемы – на озёра полуострова Файлдс [2]. Авторы отмечают влияние деятельности полярных станций на накопление тяжёлых металлов в озёрных отложениях, а также влияние дальнего атмосферного переноса (на примере Hg), связанного со сжиганием угля, на геохимию современных осадков. В этой же работе установлено, что Pb и Sb хорошо коррелируют между собой [2], что можно отметить и в самых верхних слоях колонок отложений озёр Китеж и Глубокое, изученных в данной работе (рис. 6).

Для северных широт, включая Арктику, проявление феномена дальнего атмосферного переноса тяжёлых металлов известно давно. Отмечается повышение уровня накопления Pb, Cd, Sb, Hg, V и других элементов в ледниках Гренландии [20], донных отложениях малых озёр Мурманской области [6] и других природных “архивах”. Схожие работы проводились и в Антарктике, то есть в южных полярных широтах. Изотопы свинца исследовались на примере кернов снега в разных районах Антарктики [1]. Установлено, что наибольшее накопление их приходится на период с 1891 по 1994 г., что связано с дальним переносом загрязнителей. В другой работе описано влияние этого явления на накопление Hg и, вероятно, других тяжёлых металлов, в антарктических водорослях [2]. Таким образом, можно предполагать, что тенденции к повышенному накоплению Pb и Sb в верхних слоях отложений озёр Китеж и Глубокое (рис. 6) также имеют связь с дальним переносом поллютантов.

Однако нельзя исключать и природное происхождение этих явлений. Исследователи геохимии почв острова Кинг-Джордж указывают на литогенное происхождение концентраций Pb, Cd и ряда других металлов в изученных ими осадочных образованиях [4]. Требуются дальнейшие исследования и для донных отложений озёр прибрежных районов Антарктики.

Для оценки степени антропогенной нагрузки на исследованные озера был рассчитан индекс геоаккумуляции I_{geo} [6] для тяжёлых металлов (Pb, Cd, Sb, V, Ni и Cu) по обоим колонкам отложений озёр Китеж и Глубокое. Наиболее интересными являются верхние слои, поэтому в таблице 1 представлены данные для верхних 10 см колонок обоих изученных водоёмов (для озера Китеж – это 10 усреднённых образцов, для озера Глубокое – 15). В качестве фона, который всегда используется при расчёте этого показателя, использовались усреднённые данные с самых нижних слоёв изученных отложений (для озера Китеж – слои 16–22 см, для озера Глубокое – 22–27 см). Оценка показала, что отложения озёр относятся к незагрязнённым осадкам, так как все рассчитанные значения были ниже 0 (табл. 2). Аналогичные отрицательные значения I_{geo} были получены для литоральных отложений озера Глубокое по Cu, Ni, Pb, Zn, Mn и Cr [3], хотя в этой работе в качестве геохимического фона авторы использовали почвенные данные, полученные ранее другими исследователями. В то же время при оценке степени загрязнения почв полуострова Файлдс тяжёлыми металлами был установлен средний уровень загрязнения по Pb и Cd [18]. Авторы этой работы отмечают, что оба металла, а также Hg связаны с антропогенной деятельностью полярных станций в данном регионе Антарктики.

Таблица 2. Значения индексов I_{geo} для некоторых тяжёлых металлов из отложений (слой 0–10 см) изученных озёр (наверху минимальное значение выборки, внизу – максимальное)

Озеро	V	Ni	Cu	Cd	Sb	Pb
Китеж	–0.31	–0.25	–0.23	–0.08	–0.19	–0.03
	–0.68	–1.35	–1.61	–0.79	–0.88	–0.72
Глубокое	–0.39	–0.31	–0.67	–0.21	–0.31	–0.46
	–0.86	–1.34	–1.19	–1.31	–0.86	–1.23

Таким образом исследования химического состава воды и донных отложений двух антарктических озёр острова Кинг-Джордж показали следующее:

1. Содержание редких элементов в воде озёр Китеж и Глубокое сопоставимо с данными из более ранних исследований гидрохимии обоих водоёмов. Однако содержание Cu, Cd, Mn и Fe в новой работе оказалось выше, чем данные, полученные в один из предыдущих годов исследования водоёмов. Это может быть связано, как с усилением антропогенного влияния полярных станций, так и разницей в аналитических методах определения химического состава воды.

2. Геохимические особенности донных отложений изученных озёр повторяют особенности пород территории острова Кинг-Джордж. В обоих случаях установлено обогащение по P, V, Mn, Cu и Sr и обеднение по Cr, Ni, Zr, Nb и Hf. Кроме этого, и озёрные отложения, и горные породы района исследования имеют схожие тренды распределения редкоземельных элементов.

3. Вертикальное распределение редких элементов в колонках изученных отложений озёр показало, что в озере Китеж верхние слои осадков имеют повышенные концентрации PЗЭ, V, Ni, Cd, Pb, Sb. Это может быть влиянием интенсивного выветривания коренных пород и отложений вблизи береговой линии озера, а также влиянием деятельности полярных станций России и Чили (и аэродрома). Нельзя исключать воздействия дальнего атмосферного переноса на изученные водоёмы. В частности, на этот процесс указывают небольшие пики по Pb и Sb в верхних слоях колонок отложений обоих изученных озёр.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность руководству Российской антарктической экспедиции ААНИИ (Санкт-Петербург) за организацию экспедиции в район острова Кинг-Джордж, аналитикам Института геологии КарНЦ РАН (Петрозаводск) А.С. Парамонову, В.Л. Утицыной и М.В. Эховой за качественную оценку концентраций редких элементов в образцах проб, Е.В. Сырожко за составление карт глубин озёр и М.А. Шесткову за создание карты района исследований.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены в рамках проекта РНФ № 22-27-00131 (содержание тяжёлых металлов в воде и отложениях), а также в рамках проектов гос. заданий № FMEN-2024-0014 Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН и № FFZF-2024-0002 Института озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН (интерпретация данных).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной статьи заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Van de Velde K., Vallelonga P., Candelone J. P., Rosman K., Gaspari V., Cozzi G., Barbante C., Udisti R., Cescon P., Boutron C. F.* Pb isotope record over one century in snow from Victoria Land, Antarctica // *Earth and Planetary Science Letters*. 2005. V. 232. P. 95–108.
2. *Chu Z., Yang Z., Wang Y., Sun L., Yang W., Yang L., Gao Y.* Assessment of heavy metal contamination from penguins and anthropogenic activities on Fildes Peninsula and Ardley Island, Antarctic // *Science of The Total Environment*. 2019. V. 646. P. 951–957.
3. *Bueno C., Kandraticius N., Venturini N., Figueira R. C. L., Pérez L., Iglesias K., Brugnoli E.* An Evaluation of Trace Metal Concentration in Terrestrial and Aquatic Environments near Artigas Antarctic Scientific Base (King George Island, Maritime Antarctica) // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2018. V. 229 (398).
4. *Lin J., Sadique Rayhan A. B. M., Wang Y., Wu Z., Lin Y., Ke H., Li T., Chen K. and Cai M.* Distribution and Contamination Assessment of Heavy Metals in Soils and Sediments from the Fildes Peninsula and Ardley Island in King George Island, Antarctica // *Polar Research*. 2021. V. 40. P. 1–11.
5. *Симонов И. М.* Озера п-ова Файлдс на о. Кинг-Джордж (о. Ватерлоо) // Информационный бюллетень Советской антарктической экспедиции. 1973. № 85. С. 16–21.
6. *Даувальтер В. А.* Геоэкология донных отложений озёр. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. 242 с.
7. *Cooke C. A., Abbott M. B.* A paleolimnological perspective on industrial-era metal pollution in the central Andes, Peru // *Science of the Total Environment*. 2008. V. 393. P. 262–272.
8. *Slukovskii Z. I.* Geochemical indicators for paleolimnological studies of the anthropogenic influence on the environment of the Russian Federation: A review // *Water*. 2023. V. 15 (420).
9. *Slukovskii Z. I.* Background concentrations of heavy metals and other chemical elements in the sediments of small lakes in the south of Karelia, Russia // *Вестник МГТУ*. 2020. № 23(1). С. 80–92.
10. *Скороспехова Т. В., Федорова И. В., Четверова А. А., Алексеева Н. К., Веркулич С. Р., Ежиков И. С., Козачек А. В.* Особенности гидрохимического режима водных объектов полуострова Файлдс (о. Кинг Джордж, Западная Антарктика) // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2016. № 2 (108). С. 79–91.
11. *Machado A., Lima E. F., Chemale F., Morata D., Oteiza O., Almeida D. P. M., Figueiredo A. M. G., Alexandre F. M., Urrutia J. L.* Geochemistry constraints

- of Mesozoic–Cenozoic calc-alkaline magmatism in the South Shetland arc, Antarctica // *Journal of South American Earth Sciences*. 2005. V. 18(3–4). P. 407–425.
12. *Gunes Y., Balci N.* Sediment and Water Geochemistry Record of Water–Rock Interactions in King George Island, Antarctic Peninsula // *Antarctic Science*. 2022. V. 34(1). P. 58–78.
 13. *Wedepohl H. K.* The composition of the continental crust // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1995. V. 59. P. 1217–1232.
 14. *Дубинин А. В.* Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 2006, 360 с.
 15. *Sun S. S., McDonough W. F.* Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes / In: Saunders, A. D., Norry, M. J. (Eds.) // *Magmatism in the Ocean Basins*. London: Geological Society (special publications), 1989. V. 42. P. 313–345.
 16. *Alfonso J. A., Vasquez Y., Hernandez A. C., Mora A., Handt H., Sira E.* Geochemistry of Recent Lacustrine Sediments from Fildes Peninsula, King George Island, Maritime Antarctica // *Antarctic Science*. 2015. V. 27(5). P. 462–471.
 17. *Loring D. H.* Normalization of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments // *ICES Journal of Marine Science*. 1991. V. 48. P. 101–115.
 18. *Lu Z., Cai M., Wang J., Yang H., He J.* Baseline values for metals in soils on Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica: the extent of anthropogenic pollution // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2011. V. 184(11). P. 7013–7021.
 19. *Ribeiro A. P., Figueira R. C. L., Martins C. C., Silva C. R. A., França E. J., Bicego M. C., Mahiques M. M., Montone R. C.* Arsenic and trace metal contents in sediment profiles from the Admiralty Bay, King George Island, Antarctica // *Marine Pollution Bulletin*. 2011. V. 62(1). P. 192–196.
 20. *McConnell J. R., Edwards R.* Coal burning leaves toxic heavy metal legacy in the Arctic // *PNAS*. 2008. V. 34. P. 12140–12144.

TRACE ELEMENTS IN THE SEDIMENT CORES OF LAKES ON KING GEORGE ISLAND, ANTARCTICA

Z. I. Slukovskii^{a,b,#}, A. V. Guzeva^c

Presented by Academician of the RAS S.V. Krivovichev December 29, 2023.

^a*Institute of the North Industrial Ecology Problems of Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation*

^b*Institute of Geology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russian Federation*

^c*St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation*

[#]*E-mail: slukovsky87@gmail.com*

Primary studies of the concentrations of rare elements in the sediments of two lakes on King George Island (Kitez and Glubokoe) showed that their geochemistry reflects the geological features of the area. Compared to the upper part of the Earth's crust, the studied sediments are enriched in Cu, Cd, V, Tl, Mn, Ti and P. Similar patterns have been identified in the geochemistry of volcanic and sedimentary rocks of the Fildes Peninsula. Trends in REE changes generally follow their behavior in rocks, but the overall REE concentration in sediments of lakes is higher, which may be due to the presence of organic matter accumulating in sediments of water bodies. Unlike the aquatic environment, the chemical composition of sediments does not reflect the significant influence of the activities of polar stations. However, small increases in Pb and Sb concentrations in the upper sediments suggest the influence of long-range atmospheric transport of the contaminants.

Keywords: trace elements, heavy metals, geochemical indicators, small lakes, South Shetland Islands, Antarctica