

ГИДРОЛОГИЯ СУШИ И ГИДРОХИМИЯ

УДК 556.114:502.51(99)

DOI: 10.30758/0555-2648-2019-65-4-422-437

ОСНОВНЫЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТАРКТИЧЕСКИХ ОЗЕР ХОЛМОВ ТАЛА

С.В. КАКАРЕКА¹, Т.И. КУХАРЧИК¹, Ю.Г. КОКОШ^{1}, М.А. КУДРЕВИЧ¹,
Ю.Г. ГИГИНЯК², В.Е. МЯМИН³*

¹ — Государственное научное учреждение Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

² — Республиканский научно-практический центр по биоресурсам Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

³ — Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

*y-kokosh@mail.ru

CHEMICAL CHARACTERISTICS OF ANTARCTIC LAKES OF THE THALA HILLS

S.V. KAKAREKA¹, T.I. KUKHARCHYK¹, Yu.G. KOKOSH^{1}, M.A. KUDREVICH¹,
Yu.G. GIGINYAK², V.E. MYAMIN³*

¹ — Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

² — The Scientific and Practical Centre for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

³ — Belarusian State University, Minsk, Belarus

*y-kokosh@mail.ru

Received September, 16, 2019

Accepted October, 14, 2019

Keywords: Antarctica, hydrochemistry, lakes, mineralization, principal ions.

Summary

The article presents the results of measurements of the principal ions content, electrical conductivity and pH for 13 lakes and small (temporary) water ponds in the east part of the Thala Hills, Enderby Land, East Antarctica. Water sampling was carried out by participants of the seasonal Belarusian Antarctic expeditions in the period from 2011 to 2018.

The purpose of the study is the evaluation of the hydrochemical composition of lakes and temporary ponds of the Thala Hills (on an example of the Vecherny Oasis), identification of natural and anthropogenic factors which determine the variability of the hydrochemical parameters for

Citation: Kakareka S.V., Kukharchyk T.I., Kokosh Yu.G., Kudrevich M.A., Giginyak Yu.G., Myamin V.E. Chemical characteristics of antarctic lakes of the Thala Hills. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2019, 65 (4): 422–437. doi: 10.30758/0555-2648-2019-65-4-422-437.

assessment of vulnerability of lakes and temporary ponds to anthropogenic impacts and climate change.

It is shown that the waters of the lakes of this region are low mineralized with the sum of ions within the range of 10.6–87.5 mg/l (the average is 34.5 mg/l), electrical conductivity — 19.3–130.0 $\mu\text{S/cm}$ (61.3 $\mu\text{S/cm}$). The water is characterized as slightly acidic and neutral.

The waters of small (temporary) ponds are characterized by greater variability of hydrochemical parameters in comparison with lakes: the sum of ions is in the range of 6.7–915.0 mg/l (the average is 158.0 mg/l), the electrical conductivity is 4.6–1663.0 $\mu\text{S/cm}$ (the average is 267.0 $\mu\text{S/cm}$). Coefficients of variation for most compounds in the waters of temporary ponds exceed 100 %.

In most cases the predominance of sodium and chloride ions was established, which indicates the influence of marine aerosols on chemical composition of water lakes and temporary ponds. Elevated concentrations of mineral elements in the water of temporary ponds are caused by the lack of flow and, and as a consequence of this, the accumulation of salts as a result of evaporation.

Поступила 16 сентября 2019 г.

Принята к печати 14 октября 2019 г.

Ключевые слова: Антарктида, гидрохимический состав, минерализация, озера, основные ионы.

Статья посвящена анализу гидрохимических показателей озер и временных водоемов восточной части Холмов Тала (Земля Эндерби, Восточная Антарктида). Впервые для данного региона охарактеризовано содержание основных ионов и других гидрохимических показателей по результатам опробования водоемов в период с 2011 по 2018 г. в рамках сезонных Белорусских антарктических экспедиций. Показано, что озера, являясь низкоминерализованными с диапазоном суммы ионов в пределах 10,6–87,5 мг/л, со слабокислой и нейтральной реакцией среды, близки между собой по химическому составу. Воды малых (временных) водоемов характеризуются большей вариабельностью гидрохимических параметров. Установлено преобладание в большинстве случаев ионов натрия и хлоридов, что свидетельствует о влиянии морских аэрозолей на химический состав водоемов. Полученные данные являются основой последующих оценок уязвимости озер и временных водоемов к антропогенным воздействиям и климатическим изменениям.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований озер Антарктики обусловлена уникальностью этих природных образований, функционирующих в экстремальных условиях полярного региона [1, 2]. В перечне вопросов, которые остаются в фокусе внимания многих ученых разных стран уже несколько десятилетий, — гидрохимические свойства водоемов и их изменения [3, 4]. Помимо разнообразия генетических факторов, обусловивших основные различия внутриконтинентальных антарктических водоемов, важнейшими факторами, с которыми связана специфика их функционирования, являются отсутствие жидких осадков и постоянных водотоков, короткий летний сезон, за время которого не все озера освобождаются ото льда, различия горных пород водосборных территорий, близость расположения большинства озер к морскому берегу и ряд других.

Помимо озер, для условий Антарктики характерны временные водоемы, образующиеся в летний период за счет накопления талых снеговых и снежно-ледниковых вод в понижениях. Как и озера, они существенно различаются по химическому составу [5, 6]. Несмотря на кратковременность их функционирования, данные аквальные системы играют важную роль в оазисах как места фотосинтеза и быстрого развития водорослей [7] и в целом биогеохимических процессов, сопровождающихся формированием донных отложений [8, 9].

Изученность гидрохимических свойств водоемов оазисов Антарктиды, как и других природных компонентов, неодинакова. К наиболее изученным относятся озера оазисов Сухих долин Мак-Мердо, Холмы Ларсеманн, Сёва, Ширмахера, Вестфолль, Антарктического полуострова и ряда островов [6, 10–13 и др.]. Озера оазисов Земли Эндерби исследовались пока спорадически; имеющиеся немногочисленные публикации по гидрохимии касаются лишь некоторых из них в оазисах Молодежный и Полканова [3, 14, 15].

Для озер оазиса Вечерний, расположенного в восточной части Холмов Тала, опубликованные данные о гидрохимических свойствах озер отсутствуют, как и в целом об их общей характеристике. Первая информация была получена в середине 1970-х гг. и касалась общего количества озер и некоторых данных о термическом режиме [15]. Было выявлено около 20 озер; в отношении самого большого озера оазиса приведена площадь (1,5 га) и примерная глубина (4 м).

Систематические исследования начали выполняться белорусскими специалистами в составе сезонных Белорусских антарктических экспедиций (БАЭ) с 2008/09 г.; первые результаты исследований представлены в [8, 9], а также нашли отражение при подготовке оценки воздействия на окружающую среду при строительстве и функционировании Белорусской антарктической станции [16]. Характеристика содержания микроэлементов в озерах данного района приведена в [17].

Цель данного исследования — охарактеризовать гидрохимический состав озер и временных водоемов Холмов Тала (на примере оазиса Вечерний), выявить природные и антропогенные факторы, определяющие вариабельность гидрохимических показателей, для оценки уязвимости озер и временных водоемов к антропогенным воздействиям и климатическим изменениям. Рассматривались две группы водоемов: первая — озера, к которым отнесены постоянные водоемы с площадью более 400–500 м² и глубиной более 1 м, имеющие постоянный источник питания (снеговые или снежно-ледниковые талые воды); вторая — малые (в основном временные) водоемы, образующиеся в летний сезон за счет накопления талых снеговых вод в понижениях рельефа.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ

Исследования выполнены в оазисе Вечерний, расположенном в восточной части Холмов Тала, Земля Эндерби. Объектами исследований явились семь озер, шесть малых водоемов и один водоток (рис. 1).

Для сравнения отбор проб выполнялся в озере Лагерное в оазисе Молодежный, также относящегося к Холмам Тала. Применяемые для оазиса Вечернего названия озер являются условными (Нижнее, Верхнее, Верхнее-1 и т.д.); для их обозначения, так же, как и для временных водоемов, используются коды.

По результатам наблюдений на станции Молодежная, согласно [18], среднегодовая температура воздуха в данном районе составляет –11,0 °С, количество осадков — 496 мм.

Большинство озер оазиса расположено в долине, вытянутой между грядями практически параллельно берегу моря Космонавтов. Озера проточные; на самых низких отметках (40,3 м) расположено озеро Нижнее, в которое поступают воды из системы озер, получивших название Верхнее. Для данного озера при высоких уровнях характерен периодический сброс воды в бухту Лазурная по трещинам в леднике. Последний прорыв зафиксирован в 2009 г., когда в результате интенсивного таяния

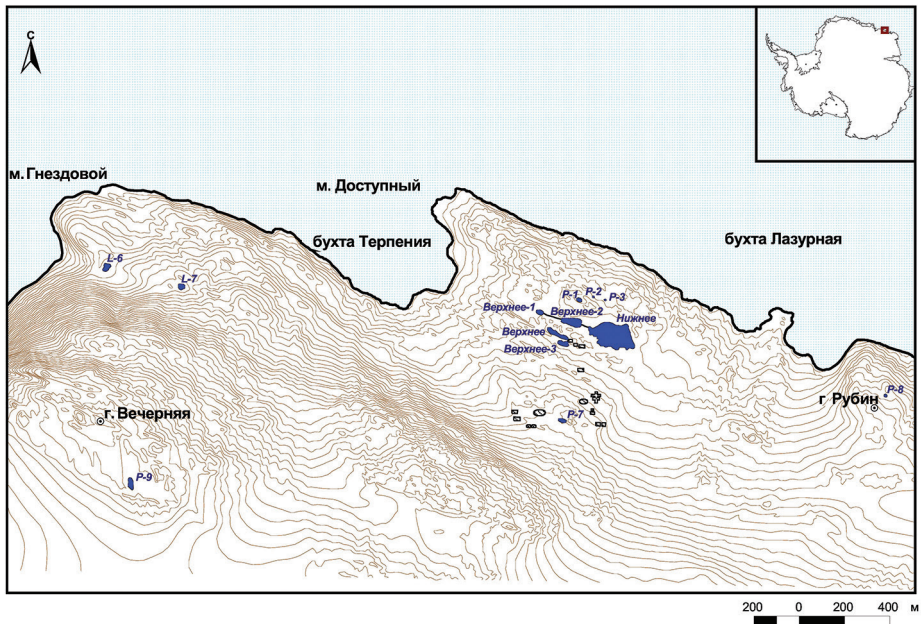


Рис. 1. Местоположение изученных озер и временных водоемов восточной части Холмов Тала, Земля Эндерби.

L-6, L-7 — коды озер; P-1, P-2, P-3, P-7, P-8, P-9 — коды временных водоемов

Fig. 1. Location of investigated lakes and temporary ponds in the east part of the Thala Hills, Enderby Land.

L-6, L-7 — lake codes; P-1, P-2, P-3, P-7, P-8, P-9 — temporary pond codes

снега произошло накопление воды в малых водоемах, расположенных выше в рельефе местности, и сброс сначала в озеро Верхнее, затем — Нижнее. Следствием прорыва явилось падение уровня воды в озере на 1–2 м.

По данным батиметрической съемки в рамках первой сезонной БАЭ 2008/09 г. максимальная глубина озера Нижнее составила 3,5 м. За период проведения БАЭ озеро ни разу не освобождалось ото льда полностью; в отдельные годы в январе-феврале возможно появление открытых закраин. Толщина льда варьирует от 0,7 до 2 м. В то же время, согласно М.В. Александрову [15], ранее в теплые годы озеро полностью освобождалось ото льда, как это было зафиксировано в 1967 г.

В отличие от озер, количество малых водоемов в оазисе значительно больше, и встречаются они практически повсеместно, где имеются условия для аккумуляции воды. Образуются временные водоемы между скалистыми грядками; их размеры существенно варьируют в зависимости от местоположения, наличия уклонов и других факторов. Многие водоемы полностью освобождаются ото льда к середине января-началу февраля. Вместе с тем имеются водоемы, в пределах которых на большей части сохраняется лед и в летний сезон. Конфигурация временных водоемов меняется в течение теплого периода, что определяется соотношением процессов притока талой воды и ее испарением и стоком.

Временные водоемы, выбранные в качестве объектов исследования, расположены на склоне и днище долины, где сформировались и озера, а также в пониже-

ниях в районе строительства станции, на сопке Рубин и на гребне гряды Вечерняя. Площадь водоемов варьирует от нескольких метров квадратных до сотен метров квадратных. Глубина временных водоемов, как правило, невелика (до 0,5 м), хотя для ряда из них данные пока отсутствуют.

Отбор проб воды проводился участниками сезонных 4-й (2011/12 г.), 5-й (2012/13 г.), 7-й (2014/15 г.), 8-й (2015/16 г.), 9-й (2016/17 г.) и 10-й (2017/18 г.) БАЭ. Использованы также результаты рекогносцировочных исследований первой сезонной БАЭ (2008/09 г.).

Основные параметры исследованных водоемов приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Основные параметры исследованных озер и временных водоемов
восточной части Холмов Тала**

Название и/или код водоема	Район	Долгота	Широта	Абс. высота, м	Площадь, м ²	Глубина макс., м	Кол-во проб
Нижнее, L-1	Долина между грядами м. Доступный и г. Вечерняя	46,15284	-67,65750	40,3	15000	4,0	7
Верхнее, L-2		46,14842	-67,65760	44	1500	1,5	4
Верхнее-1, L-3		46,14685	-67,65680	44	520	0,7	4
Верхнее-2, L-4		46,15495	-67,65628	42	2460	—	4
Верхнее-3, L-5		46,15449	-67,65706	42	830	—	1
L-6	Гряда м. Гнездовой	46,11033	-67,66470	42	1400	1,2	1
L-7		46,10809	-67,66011	57	600	1,4	1
P-1	Гряда м. Доступный	46,15695	-67,65560	45	350	0,4	2
P-2		46,16005	-67,65560	50	150	0,4	2
P-3		46,16062	-67,65580	46	130	0,5	2
P-7		46,15409	-67,66016	85	480	—	5
	Район строительства белорусской антарктической станции						
P-8	Сопка Рубин	46,18552	-67,65971	72	150	—	1
P-9	Гряда г. Вечерняя	46,11313	-67,66250	260	870	—	1

При отборе проб учитывалось местоположение водоемов и возможные источники антропогенного воздействия. В пределах водосбора озер Нижнее и Верхнее-1 располагаются остатки инфраструктуры бывшей полевой базы «Гора Вечерняя» Советской антарктической экспедиции, обеспечивавшей в период 1980-х — начала 1990-х гг. функционирование аэродрома.

Отбор проб осуществлялся в пластиковые контейнеры объемом 0,5 л и/или 0,25 л, которые предварительно были вымыты и высушены перед отправкой в Антарктиду. Перед отбором проб контейнеры ополаскивались дважды дистиллированной водой, затем — водой из водоема. Отбор проб осуществлялся непосредственно в емкости путем их полного погружения в воду. После отбора пробы плотно закрывались и хранились в холодном месте при температуре не выше 4 °С до доставки в Беларусь.

Пробоподготовка и химико-аналитические исследования выполнены в аккредитованной лаборатории биогеохимии и агроэкологии Государственного научного учреждения «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси».

Содержание хлоридов определялось титриметрическим методом с нитратом серебра (СТБ 17.13.05-39-2015), гидрокарбонат-ионов — титриметрически с использованием тетраборнокислого натрия (ГОСТ 31957-2012), сульфатов — турбидиметрически (СТБ 17.13.05-42-2015), натрия и калия — методом пламенной фотометрии (МВИ.МН 2140-2004), кальция и магния — титриметрически (СТБ 17.13.05-46-2016) и методом атомно-абсорбционной спектрометрии, величина рН определялась потенциометрическим методом (СТБ ISO 10523-2009), удельная электропроводность — с использованием кондуктометра.

Всего за шесть экспедиций было отобрано и проанализировано 37 проб воды для определения содержания макрокомпонентов, в том числе 22 пробы из озер, 13 проб из временных водоемов и 2 пробы из временного ручья. В 2012, 2013 и 2015 гг. отобраны также пробы из озера Лагерное, оазис Молодежный.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Озера. В водах озер зафиксированы низкие концентрации основных ионов (табл. 2). По величине рН воды классифицируются преимущественно как слабокислые (за исключением 2018 г., когда величина рН снизилась до 4,48 (кислые воды)).

Согласно полученным результатам, различия между озерами оазиса по величине рН, электропроводности, содержанию основных ионов незначительны. Несколько выделяется озеро Верхнее-1 (L-3), для которого характерны повышенные концен-

Таблица 2

Основные гидрохимические параметры озер восточной части Холмов Тала, Земля Эндерби

Название или код водоема	Показатель	Содержание, мг/л								рН	Удельная электропроводность, $\mu\text{См/см}$
		HCO_3^-	Cl ⁻	SO_4^{2-} , S	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма ионов		
Нижнее	Минимум	1,7	6,3	0,1	0,3	0,4	3,0	0,1	16,0	4,5	26,4
	Максимум	8,8	15,6	1,6	2,8	2,0	10,0	1,7	38,0	6,6	74,9
	Среднее	5,0	10,8	0,8	1,7	0,9	5,8	0,6	27,5	6,0	50,2
Верхнее	Минимум	3,2	4,2	0,3	н.о. ¹	0,3	2,4	0,3	11,5	5,9	19,3
	Максимум	10,1	18,4	1,8	3,6	2,3	15,0	1,2	58,3	6,9	61,7
	Среднее	5,6	11,2	0,9	1,3	1,1	7,3	0,6	30,3	6,5	52,9
Верхнее-1	Минимум	3,7	9,9	0,6	0,3	0,6	4,7	0,4	27,0	6,1	37,2
	Максимум	12,2	35,5	1,6	4,8	2,9	21,6	2,3	87,5	6,9	130,0
	Среднее	8,4	23,5	1,2	2	1,8	15,5	1,4	55,2	6,5	96,7
Верхнее-2	Минимум	2,2	11,0	0,7	2,2	0,6	3,9	0,1	28,4	5,9	43,4
	Максимум	6,1	19,9	1,8	5,4	1,9	15,6	0,8	49,8	6,5	81,8
	Среднее	4,0	14,6	1,0	3,3	1,2	7,3	0,5	34,4	6,3	56,6
Верхнее-3	Среднее ²	2,0	9,4	0,5	0,9	1,0	5,0	0,4	20,5	6,8	42,4
L-6	То же	1,2	4,5	0,2	0,8	0,5	2,8	0,2	10,6	6,8	24,0
L-7	“	1,2	14,1	0,6	1,6	0,8	7,1	0,4	27,2	6,6	61,5

Примечания. ¹ — здесь и далее в таблицах н.о. обозначает «не обнаружено»; ² — значения для озера Верхнее-3 получены по данным опробования 21.12.2017, для озер L-6 и L-7 — 21.01.2018.

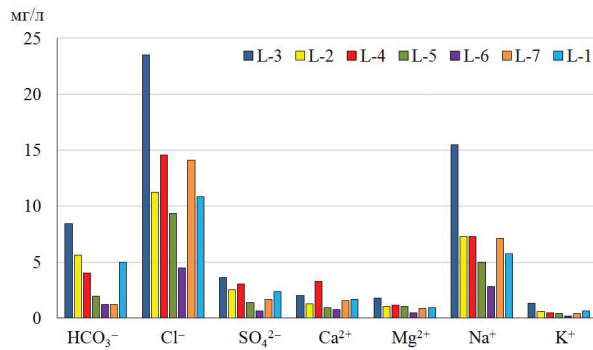


Рис. 2. Сравнительное среднее содержание основных ионов в водах озер восточной части Холмов Тала

Fig. 2. Comparative average content of principal ions in lakes water of the east part of Thala Hills

трации основных ионов, а также одно из озер в районе мыса Гнездовой (L-6), где зафиксированы самые низкие значения (рис. 2).

Полученные статистические параметры гидрохимического состава озер оазиса приведены в табл. 3.

Коэффициент вариации содержания основных ионов, а также величины удельной электропроводности и суммы ионов находится в диапазоне 50–85 %, для величины рН — составляет 9 %, что в целом свидетельствует о небольшом разбросе значений.

Таблица 3

Статистические параметры гидрохимического состава озер восточной части Холмов Тала

Параметр	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ , S	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма ионов	рН	Удельная электропроводность, мСм/см
Среднее, мг/л	4,91	13,68	0,87	1,87	1,13	7,97	0,69	33,21	6,33	59,3
Стандартная ошибка, мг/л	0,71	1,62	0,11	0,33	0,16	1,24	0,12	3,88	0,11	6,3
Медиана, мг/л	4,03	13,08	0,76	1,87	0,94	5,38	0,43	28,94	6,48	51,0
Стандартное отклонение, мг/л	3,19	7,59	0,53	1,54	0,75	5,81	0,58	18,22	0,53	29,5
Коэффициент вариации, %	65	55	62	82	66	73	85	55	8	50
Минимум, мг/л	1,22	4,18	0,06	н.о.	0,30	2,40	0,12	10,65	4,48	19,3
Максимум, мг/л	12,20	35,45	1,83	5,43	2,92	21,58	2,30	87,46	6,93	130,0

Малые водоемы и водотоки. В отличие от озер, различия между временными водоемами по содержанию минеральных элементов более существенные (табл. 4).

Максимальные значения основных ионов характерны для водоема Р-2, расположенного севернее озера Нижнее. В особенности выделяются повышенные концентрации хлоридов и натрия (рис. 3). Минимальные значения зафиксированы в водах временного водоема Р-7, расположенного в районе строительства станции. В целом различия в содержании основных ионов между максимальными и минимальными значениями достигают десятков раз.

**Основные гидрохимические параметры временных водоемов и водотока
восточной части Холмов Тала**

Название или код водоема	Показатель	Содержание, мг/л								рН	Удельная электро- проводность, µСм/см
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ , S	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма ионов		
Малые (временные) водоемы											
P-1	Минимум	1,7	63,3	2,98	2,5	2,6	39,9	1,4	128,9	5,98	—
	Максимум	9,8	76,6	3,95	3,0	4,7	54,0	1,6	154,9	6,42	—
	Среднее	5,7	69,9	3,47	2,8	3,6	46,	1,6	141,8	6,20	—
P-2	Минимум	14,6	395	5,91	5,6	14,6	244,0	1,1	708,4	6,34	1258
	Максимум	67,1	485	11,05	7,5	23,3	312,0	1,4	915,8	6,82	1663
	Среднее	40,9	440	8,48	6,5	18,9	278,0	1,3	812,1	6,58	1460
P-3	Минимум	4,9	22,9	0,27	1,4	0,61	14,9	0,6	46,1	5,60	61,9
	Максимум	19,5	76,6	1,63	3,9	6,9	48,4	1,4	162,1	6,59	300,5
	Среднее	12,2	49,8	0,95	2,6	3,8	31,6	0,96	104,1	6,10	181,2
P-7	Минимум	н.о.	2,8	0,08	н.о.	н.о.	1,1	0,05	6,7	5,21	11,9
	Максимум	1,8	10,9	0,86	4,0	0,6	5,8	0,5	21,2	6,25	38,7
	Среднее	1,2	7,5	0,44	2,2	0,3	3,2	0,2	15,5	5,67	28,8
P-8	Среднее ¹	1,9	7,7	0,05	1,1	0,8	4,0	0,4	17,5	6,43	35,6
P-9	“	19,0	49,9	2,12	7,8	4,7	30,0	1,2	119,2	7,47	227,4
Временный водоток											
S-32	Минимум	4,27	2,44	0,20	0,0	0,13	1,10	0,30	9,45	5,43	9,6
	Максимум	4,88	5,25	0,27	2,2	0,32	3,44	0,52	17,15	5,67	22,6
	Среднее	4,58	3,84	0,23	1,10	0,22	2,27	0,41	13,30	5,55	16,1

Примечание. ¹ — значения для водоемов P-8 и P-9 получены по данным опробования 21.01.2018.

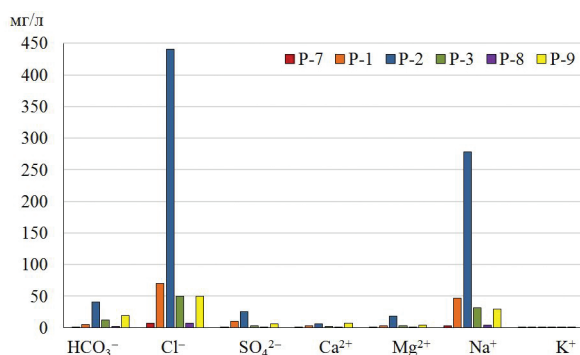


Рис. 3. Сравнительное содержание основных ионов в водах временных водоемов восточной части Холмов Тала

Fig. 3. Comparative content of principal ions in the waters of temporary ponds of the east part of Thala Hills

Коэффициенты вариации для большинства соединений для малых водоемов превышают 100 %; исключение составляют ионы кальция и калия с вариабельностью 70 и 75 % соответственно (табл. 5).

**Статистические параметры гидрохимического состава временных водоемов
восточной части Холмов Тала**

Параметр	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ , S	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма ионов	pH	Удельная электро- проводность, μСм/см
Среднее, мг/л	11,97	93,45	2,32	3,45	4,96	58,72	0,79	179,2	6,15	301,32
Стандартная ошибка, мг/л	5,42	43,65	0,88	0,70	2,06	27,75	0,16	80,4	0,17	146,95
Медиана, мг/л	3,42	22,91	0,86	2,85	1,70	14,90	0,57	46,1	6,25	38,70
Стандартное отклонение, мг/л	18,77	157,39	3,16	2,41	7,13	100,05	0,59	289,8	0,62	529,84
Коэффициент вариации, %	157	168	136	70	144	170	75	162	10	176
Минимум, мг/л	0,61	2,77	0,05	0,80	0,04	1,12	0,05	6,67	5,21	4,60
Максимум, мг/л	67,12	485,31	11,05	7,78	23,29	312,0	1,65	915,8	7,47	1663,00

Воды временного водотока содержат минимальные количества минеральных веществ по сравнению с озерами и малыми водоемами: сумма ионов в среднем оценивается в 13,3 мг/л (см. табл. 4).

ОБСУЖДЕНИЕ

Выполненные исследования показали, что по сумме ионов воды всех озер характеризуются как очень маломинерализованные (табл. 6).

Сопоставимы с ними некоторые временные водоемы, расположенные в районе сопки Рубин (Р-8) и площадки строительства станции (Р-7). Воды двух водоемов,

Таблица 6

Минерализация и кислотность вод водоемов восточной части Холмов Тала

Код водоема	Проточность	Сумма ионов ¹ , мг/л	Минерализация	Величина pH ¹	Кислотность вод
L-1	Проточное	16,0–38,0 (27,5)	Очень маломинерализованные	4,48–6,58 (5,99)	Слабокислые
L-2	То же	11,5–58,3 (30,3)	То же	5,93–6,85 (6,50)	То же
L-3	“	27,0–87,4 (55,2)	“	6,10–6,93 (6,45)	“
L-4	“	28,4–49,8 (34,4)	“	5,93–6,54 (6,33)	“
L-5	“	20,5	“	6,78	Нейтральные
L-6	“	24,0	“	6,80	То же
L-7	“	61,5	“	6,58	“
P-1	Слабопроточное	129–155 (142)	Маломинерализованные	5,98–6,42 (6,20)	Слабокислые
P-2	Непроточное	708–916 (812)	Повышенная минерализация	6,34–6,82 (6,58)	Нейтральные
P-3	Слабопроточное	46–162 (104)	Маломинерализованные	5,60–6,59 (6,09)	Слабокислые
P-7	Проточное	6,7–16,9 (14,0)	Очень маломинерализованные	5,21–5,84 (5,52)	То же
P-8	То же	17,5	То же	6,43	“
P-9	Слабопроточное	119	Маломинерализованные	7,47	Нейтральные

Примечание. ¹ — диапазон (в скобках — среднее значение).

расположенных к северу от озера Нижнее (Р-1, Р-3) и водоема на гряде Вечерняя (Р-9) относятся к маломинерализованным (сумма ионов в пределах 100–200 мг/л).

Из 13 проанализированных водоемов лишь в одном из них (Р-2) воды характеризуются повышенной минерализацией, сумма ионов в нем составляет 708–916 мг/л. По величине рН воды озер и временных водоемов характеризуются как слабокислые и нейтральные (рН = 5,21–7,47). Это означает, что источниками питания озер и временных водоемов в пределах оазиса Вечерний являются талые снеговые воды и воды снежников и ледников. Полученные данные по содержанию основных ионов свидетельствуют о сходстве озер, образовавшихся в послеледниковое время; возраст озера Нижнее составляет примерно 9–11 тыс. лет, согласно [19]. Незначительная вариабельность содержания минеральных элементов определяется объемом и интенсивностью поступления талых вод как в многолетнем режиме, так и в сезон снеготаяния, а также температурным режимом, влияющим на процессы испарения, как это показано на примере оазисов Ларсеманн [10, 11], Лютцов-Холл [12, 20] и др. В целом же факторы, определяющие химический состав озер, в оазисах могут различаться. По данным [21], для таких оазисов как Холмы Ларсеманн, Ширмахера, Бангера, к первой группе по значимости факторов относятся перенос морских аэрозолей с осадками, вымораживание солей, поступление ионов из верхних слоев грунтов озерных ванн, образование которых связано с морскими трансгрессиями, и лишь ко второй — талые воды снежников и ледников.

Сравнение содержания основных ионов, величины рН и удельной электропроводности в водах озер и временных водоемов оазиса Вечерний с помощью критерия Стьюдента показало, что при 5%-м уровне значимости ($p < 0,05$) различия средних значений между выборками достоверны для всех элементов: $t_{\text{крит}} = 2,06$ – $2,20$ при $t_{0,05} = 2,03$. Максимальные значения $t_{\text{крит}}$ (2,20) получены для хлоридов, ионов магния и гидрокарбонатов.

Исходя из полученных данных можно заключить, что проточность озер обеспечивает сохранение баланса привноса–выноса макрокомпонентов. О значительной роли проточности водоемов свидетельствует и тот факт, что среди временных водоемов оазиса Вечерний именно для проточных характерны самые низкие концентрации основных ионов, что согласуется с результатами исследований, приведенными в [22].

В непроточных и/или слабопроточных водоемах большее влияние на содержание минеральных элементов оказывают процессы испарения. По данным [9], температура вод временных непроточных водоемов оазиса Вечерний в период работы 5-й сезонной БАЭ (2012/13 г.) находилась в диапазоне +2...+16 °С, с превышением 10 °С для большинства водоемов. В то же время в проточных водоемах временного типа чаще всего температура фиксировалась до +6 °С, в редких случаях — до +12 °С. В озерах она варьировала от +0,2 до +4,1 °С. В работе [3] указано, что максимальная зафиксированная температура в мелководном водоеме с черным дном в оазисе Молодежный достигала 21,5 °С.

Следует отметить, что во временных водоемах из-за их небольшой площади и малой водной массы в наибольшей степени сказывается влияние интенсивности снеготаяния и наличия водотоков, которые в свою очередь зависят от погодных условий. Важный фактор, влияющий на химический состав водоемов Антарктики, — морские аэрозоли [4, 22, 23, 24]. Близость расположения водоемов оазиса Вечерний к береговой линии также не исключает возможности их поступления

с атмосферными осадками и ветровым переносом. Согласно полученным данным, в большинстве случаев в озерах и временных водоемах оазиса среди анионов доминируют хлориды, среди катионов — ионы натрия (табл. 7).

Таблица 7

Химический состав водоемов и водотока в восточной части Холмов Тала, %-экв

Объект	Параметр	НCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ , S	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Озера	Среднее	12,7	77,0	9,6	16,0	18,0	62,0	2,9
	Диапазон	4,4–21,0	67,0–87,0	7,6–12,5	8,0–30,0	14,6–23,4	49,0–73,0	2,1–3,9
Малые водоемы	Среднее	9,0	82,0	7,2	18,4	14,0	70,0	1,7
	Диапазон	4,3–16,8	73,0–91,0	1,1–15,8	2,3–25,0	7,0–22,0	56,0–80,0	0,2–3,0
Водоток	Среднее	39,7	52,8	7,4	18,0	12,1	59,5	7,8
	Диапазон	30,0–49,6	42,6–63,1	7,1–7,8	0–36,0	8,5–15,6	49–70	4,4–11,2

О тесной связи между суммой ионов и содержанием ионов хлора и натрия свидетельствует статистический анализ: коэффициент корреляции (*r*) для озер оценивается в 0,94–0,95. Величина удельной электропроводности в водах озер также в наибольшей степени обусловлена содержанием ионов хлора и натрия и, как следствие, суммой ионов (*r* = 0,94–0,96). Достаточно тесные связи (*r* = 0,82) выявлены в отношении содержания ионов магния и хлора.

В водах временных водоемов также отмечается очень тесная связь между суммой ионов и содержанием ионов хлора и натрия. Тесная связь (*r* = 0,97–0,99) выявлена между величиной удельной электропроводности и содержанием ионов хлора, натрия, магния, а также суммой ионов. Аналогичные коэффициенты корреляции характерны для следующих пар элементов: магний–хлориды, натрий–магний.

Выполненный нами отбор проб снегового покрова в районе оазиса Вечерний в период сезонных работ 2011/12 и 2012/13 г. показал, что с удалением от береговой линии в сторону ледникового купола содержание химических элементов в снеге снижается (табл. 8).

Таблица 8

Основные гидрохимические параметры снеговых и снежниково-ледниковых вод в восточной части Холмов Тала (по данным [16])

Район исследований (количество проб)	Содержание, мг/л								pH	Удельная электропроводность, мСм/см
	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ , S	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма ионов		
Территория Белорусской антарктической станции (22)	3,1	1,83	0,16	0,22	0,16	0,73	0,21	6,98	5,76	9,26
Ледниковый купол (5)	2,90	1,48	0,04	0,00	0,03	0,46	0,05	5,13	5,68	6,24

Несомненно, атмосферные осадки в районах морской Антарктики (полуострова, островов) существенно больше обогащены морскими аэрозолями. По данным [25], среднегодовое значение электропроводности для снеговых вод в районах прибрежных террас составляет 290 мСм/см, при максимальных значениях до 1613 мСм/см, тогда как в оазисе Вечерний она зафиксирована в диапазоне 5,1–20,7 мСм/см [16].

Сравнение снеговых вод и вод водоемов оазиса Вечерний показало, что они близки по химическому составу, хотя концентрации минеральных соединений в водоемах выше. Это обусловлено процессами их выщелачивания из горных пород и грунтов водосборов, с которых талые воды поступают в озера и временные водоемы. По данным [4, 26], во временных водотоках четко прослеживается увеличение концентрации основных ионов вниз по течению водотоков, возрастает также величина электропроводности. Увеличение значения электропроводности к концу летнего сезона (снеготаяния), согласно [6], объясняется снижением интенсивности водных потоков и увеличением контакта водной массы с горными породами и минеральными частицами. Представленные выше данные (см. табл. 4) для временного водотока в оазисе Вечерний свидетельствует о сходном со снеговыми водами содержании основных ионов в талых водах.

В целом по гидрохимическим свойствам озера Холмов Тала сопоставимы между собой, а также с другими оазисами Антарктики, где условия их питания сходны. В табл. 9, помимо данных авторов, представлены обобщенные данные из опубликованных работ для острова Ливингстон [6] и оазиса Ларсеманн [10].

Таблица 9

Сравнительные значения основных гидрохимических параметров озер Холмов Тала и других оазисов (в скобках приведен диапазон)

Показатель	Озера оазиса Вечерний, Холмы Тала, 2012–2018 гг.	Озеро Лагерное, оазис Молодежный, Холмы Тала, 2012–2015 гг., данные авторов	Озера п-ва Байерс, о. Ливингстона, 2001/02 г. [6]	Озера оазиса Ларсеманн, 1996 г. [10]
pH	6,28 (4,48–6,93)	6,21 (6,24–6,29)	6,98 (6,04–7,82)	7,62 (6,27–8,65)
Удельная электропроводность, $\mu\text{См}/\text{см}$	61,3 (19,3–130)	32,3 (22,6–43,2)	69 (20–189)	1247 (20,6–5520)
Cl^-	14,3 (4,2–35,4)	6,4 (5,5–8,0)	24,1 (0,65–143)	–
SO_4^{2-} , S	0,9 (0,06–1,83)	0,4 (0,2–0,6)	7,14 (0,39–31,03)	14,3 (1,0–49)
Na^+	8,25 (2,4–21,6)	3,7 (2,7–4,2)	18,2 (2,53–107,2)	128 (2,04–1172)
K^+	0,72 (0,12–2,3)	0,65 (0,3–1,1)	1,52 (0,21–10,29)	4,0 (0,05–35,3)
Mg^{2+}	1,2 (0,3–2,92)	0,7 (0,35–1,17)	2,33 (0,32–11,95)	17,4 (0,16–173)
Ca^{2+}	1,9 (н.о.–5,4)	0,8 (0,17–1,9)	4,0 (0,31–16,62)	6,8 (н.о.–67,0)

Следует подчеркнуть, что в отличие от многих других оазисов Антарктики (Ларсеманн, Ширмахер, Лютцов-Хольм, Бангера и др.), озера оазиса Вечерний не подпадают ни под один из типов озер, выделенных И.В. Федоровой [21] и Л. Недбаловой с соавторами [27]. Являясь неглубокими и небольшими по площади, проточными, со снеговым и снежно-ледниковым питанием, озера характеризуются как очень маломинерализованные, слабокислые и нейтральные, с преимущественно хлоридно-натриевыми, редко — гидрокарбонатно-хлоридными натриевыми или хлоридными кальциево-магниевыми-натриевыми водами. Малые (временные) водоемы оазиса сходны с озерами по химическому составу и источникам питания. Повышенная минерализация для ряда из них обусловлена их непроточностью и процессами испарения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые для восточной части Холмов Тала охарактеризован химический состав озер и временных водоемов. Установлено, что воды озер являются мало- и очень мало-минерализованными с преимущественно слабокислой и нейтральной реакцией среды. Среди катионов доминируют ионы натрия, среди анионов — хлориды; различия между озерами по содержанию химических веществ и химическому составу не выражены.

Талые снеговые воды и воды снежников и ледников являются основным источником питания водоемов.

Большая контрастность в содержании химических веществ отмечается между временными водоемами; в некоторых из них повышены концентрации основных ионов, что обусловлено их непроточностью и процессами испарения.

В оазисе Вечерний, в отличие от многих других оазисов Антарктики, не выявлено озер с морской или смешанной водой.

Полученные данные являются основой дальнейших исследований, в том числе для выявления временных трендов в изменении содержания основных ионов, величины рН, а также химического состава в связи с изменением климата, а также возможным антропогенным воздействием в связи со строительством станции. Результаты исследований могут быть экстраполированы на близлежащие оазисы Холмов Тала.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственных программ «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций на 2011–2015 годы» и «Мониторинг полярных районов Земли, создание Белорусской антарктической станции и обеспечение деятельности полярных экспедиций на 2016–2020 годы». Авторы выражают благодарность начальнику Белорусской антарктической станции А.А. Гайдашову и всем участникам экспедиций за содействие и помощь при отборе и транспортировке проб.

Acknowledgments. The study was conducted in the framework of programs “Monitoring of the polar regions of the Earth and ensuring the activities of the Arctic and Antarctic expeditions for 2011–2015” and “Monitoring of the polar regions of the Earth, the creation of the Belarusian Antarctic station and ensuring the activities of polar expeditions for 2016–2020”. The authors are grateful to the Head of Belarusian Antarctic Expeditions Alexei Haidashou and all participants of expeditions for their assistance and help in sampling and transportation of the samples.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hodgson D.A.* Antarctic lakes // *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs* / Bengtsson L., Herschy R.W., Fairbridge R.W. (Eds.). Springer, Dordrecht. 2012. V. 30. P. 26–31.
2. *Howard-Williams C., Hawes I., Doran P., Siegert M., Camacho A., Kaup E.* Diversity of Antarctic lakes, ponds and streams // *Antarctic Environmental Portal*. 2019. URL: <https://www.environments.aq/information-summaries/diversity-of-antarctic-lakes-ponds-and-streams> (дата обращения 16.08.2019).
3. *MacNamara E.E.* Some limnological observations from Enderby Land, Antarctica // *Limnol. Oceanograph*. 1970. V. 15. P. 768–775.
4. *Ńędzarek A., Tórz A., Podlasińska J.* Ionic composition of terrestrial surface waters in Maritime Antarctic and the processes involved in formation // *Antarctic Science*. 2015. V. 27 (2). P. 150–161.
5. *Healy M., Webster-Brown J.G., Brown K.L., Lane V.* Chemistry and stratification of Antarctic meltwater ponds; II Inland ponds in the McMurdo Dry Valleys, Victoria Land // *Antarctic Science*. 2006. V. 18. P. 525–533.

6. Toro M., Camacho A., Rochera C., Rico E., Bañon M., Fernandez-Valiente E., Marco E., Justel A., Avendano M.C., Ariosa Y., Vincent W.F., Quesada A. Limnological characteristics of the freshwater ecosystems of Byers Peninsula, Livingston Island, in Maritime Antarctic // *Polar Biology*. 2007. V. 30. P. 635–649.
7. Nędzarek A., Pocięcha A. Limnological characterization of freshwater systems of the Thomas Point Oasis (Admiralty Bay, King George Island, West Antarctica) // *Polar Science*. 2010. V. 4. P. 457–467.
8. 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.
9. Мямин В.Е., Никитина Л.В. Некоторые характеристики бактериопланктона пресноводных водоемов участка Вечерний оазиса Молодежный (Холмы Тала, Восточная Антарктида) // *Мониторинг состояния природной среды Антарктики и обеспечение деятельности национальных экспедиций: Материалы I Междунар. науч.-практ. конф.* Минск: Экоперспектива, 2014. С. 198–203.
10. Gasparon M., Lanyon R., Burgess J.S., Sigurdsson I.A. The freshwater lakes of the Larsemann Hills, East Antarctica: chemical characteristics of the water column // *ANARE Research Report*. 2002. V. 147. 28 p.
11. Gillieson D., Burgess J.S., Spate A., Cochrane A. An atlas of the lakes of the Larsemann Hills, Princess Elizabeth Land, Antarctica // *ANARE Research Notes*. 1990. V. 74. 173 p.
12. Matsumoto G.I. Geochemical monitoring of Antarctic lakes and their ecosystems // *Proc. NIPR Symp. Polar Biol*. 1994. V. 7. P. 158–172.
13. Quesada A., Camacho A., Rochera C., Velazquez D. Byers Peninsula: A reference site for coastal, terrestrial and limnetic ecosystem studies in maritime Antarctica // *Polar Science*. 2009. V. 3 (3). P. 181–187. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polar.2009.05.003>.
14. Симонов И.М. Оазисы Восточной Антарктиды. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 180 с.
15. Александров М.В. Ландшафтная структура и картирование оазисов Земли Эндерби. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 152 с.
16. Kakareka S., Kukharchyk T., Loginov V., Salivonchik S. Construction and operation of Antarctic research stations. An Experience of Comprehensive Environmental Evaluation. Minsk: StroyMediaProekt, 2016. 278 p.
17. Kakareka S., Kukharchyk T., Kurman P. Major and trace elements content in freshwater lakes of Vecherny Oasis, Enderby Land, East Antarctica // *Environmental Pollution*. 2019. V. 255. Part 1, December. Article 113126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113126>
18. Molodyozhnaya Station. Data. URL: <http://www.aari.aq/data/data.asp?lang=0&station=4/>. (дата обращения 14.12.2017).
19. Zazovskaya E., Mergelov N., Shishkov V., Dolgikh A., Miamin V., Cherkinsky A., Goryachkin S. Radiocarbon age of soils in oases of East Antarctica // *Radiocarbon*. 2016. P. 1–15. doi:10.1017/RDC.2016.75.
20. Murayama H., Watanuki K., Nakaya S., Nakaya S., Torii T. Monitoring of pond waters near Syowa Station (II) // *Memoirs NIPR, Special Issue*. 1984. V. 33. P. 187–193.
21. Федорова И.В. Современное состояние и устойчивость к воздействию внутренних водоемов Антарктиды: Дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36, 25.00.27. СПб., 2003. 236 с.
22. Klokov V., Kaup E., Zierath R., Haendel D. Lakes of the Bungler Hills (East Antarctica): chemical and ecological properties // *Polish Polar Research*. 1990. V. 11. P. 147–159.
23. Скороспехова Т.В., Федорова И.В., Четверова А.А., Алексеева Н.К., Веркулич С.Р., Ежииков 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.

24. *Abollino O., Aceto M., Buoso S., Gasparon M., Green W.J., Malandrino M., Mentasti E.* Distribution of major, minor and trace elements in lake environments of Antarctica // *Antarctic Sci.* 2004. V. 16. P. 277–291.
25. *Ńędzarek A., Rakusa-Suszczewski S.* Nutrients and conductivity in precipitation in the coast of King George Island (Antarctica) in relation to wind speed and penguin colony distance // *Polish J. Ecol.* 2007. V. 55. P. 705–716.
26. *Green W.J., Angle M.P., Chave K.E.* The geochemistry of Antarctic streams and their role in the evolution of four lakes of the McMurdo Dry Valleys // *Geochimica Cosmochimica Acta.* 1988. V. 52. P. 1265–1274.
27. *Nedbalova L., Nyvlt D., Kopacek J., Sobr M., Elster J.* Freshwater lakes of Ulu Peninsula, James Ross Island, north-east Antarctic Peninsula: origin, geomorphology and physical and chemical limnology // *Antarctic Science.* 2013. V. 25 (3). P. 358–372. doi:10.1017/S0954102012000934.

REFERENCES

- Hodgson D.A.* Antarctic Lakes. Encyclopedia of Lakes and Reservoirs (ed: Bengtsson L., Herschy R.W., Fairbridge R.W.). Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. 2012: 26–31.
- Howard-Williams C., Hawes I., Doran P., Siegert M., Camacho A., Kaup E.* Diversity of Antarctic lakes, ponds and streams. Antarctic Environmental Portal. 2019. Available at: <https://www.environments.aq/information-summaries/diversity-of-antarctic-lakes-ponds-and-streams> (accessed 16.08.2019).
- MacNamara E.E.* Some limnological observations from Enderby Land, Antarctica. *Limnol. Oceanograph.* 1970, 15: 768–775.
- Ńędzarek A., Tórz A., Podlasińska J.* Ionic composition of terrestrial surface waters in Maritime Antarctic and the processes involved in formation. *Antarctic Science.* 2015, 27 (2): 150–161.
- Healy M., Webster-Brown J.G., Brown K.L., Lane V.* Chemistry and stratification of Antarctic meltwater ponds; II Inland ponds in the McMurdo Dry Valleys, Victoria Land. *Antarctic Science.* 2006, 18: 525–533.
- Toro M., Camacho A., Rochera C., Rico E., Bañon M., Fernandez-Valiente, E., Marco, E., Justel, A., Avendano, M.C., Ariosa, Y., Vincent, W.F., Quesada A.* Limnological characteristics of the freshwater ecosystems of Byers Peninsula, Livingston Island, in Maritime Antarctic. *Polar Biology.* 2007, 30: 635–649.
- Ńędzarek A., Pocięcha A.* Limnological characterization of freshwater systems of the Thomas Point Oasis (Admiralty Bay, King George Island, West Antarctica). *Polar Science.* 2010, 4: 457–467.
- Giginiak Iu.G., Borodin O.I., Miamin V.E.* Research conducted in the Antarctic by Belarusian biologists. *Mater. II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Prirodnaia sreda Antarktiki: sovremennoe sostoianie izuchennosti».* Proceedings of the I International scientific-practical conference “The natural environment of Antarctica: the current state of knowledge”. Minsk: Konfido, 2016: 84–94. [In Russian].
- Miamin V.E., Nikitina L.V.* Some characteristics of bacterioplankton of freshwater bodies of the Evening Oasis Molodezhny site (Tala Hills, East Antarctica). *Mater. I Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Monitoring sostoianii prirodnoi sredy Antarktiki i obespechenie deiatel'nosti natsional'nykh ekspeditsii».* Proceedings of the I International scientific-practical conference “Monitoring of a condition of a natural habitat of Antarctic and sub-Antarctic and maintenance of activity of national expeditions”. Minsk: Ekoperspektiva, 2014: 198–203. [In Russian].
- Gasparon M., Lanyon R., Burgess J.S. & Sigurdsson I.A.* The freshwater lakes of the Larsemann Hills, East Antarctica: chemical characteristics of the water column. ANARE Research Report. 2002, 147: 28 p.

11. Gillieson D., Burgess J.S., Spate A., Cochrane A. An atlas of the lakes of the Larsemann Hills, Princess Elizabeth Land, Antarctica. ANARE Research Notes. 1990, 74: 173 p.
12. Matsumoto G.I. Geochemical monitoring of Antarctic lakes and their ecosystems. Proc. NIPR Symp. Polar Biol. 1994, 7: 158–172.
13. Quesada A., Camacho A., Rochera C., Velazquez D. Byers Peninsula: A reference site for coastal, terrestrial and limnetic ecosystem studies in maritime Antarctica. Polar Science. 2009, 3(3): 181–187. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polar.2009.05.003>.
14. Simonov I.M. *Oazisy Vostochnoi Antarktidi*. Oases of East Antarctica. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985. 180 p. [In Russian].
15. Aleksandrov M.V. *Landshafninaia struktura i kartirovanie oazisov Zemli Enderbi*. Landscape structure and mapping of Enderby Earth oases. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985: 152 p. [In Russian].
16. Kakareka S., Kukharchyk T., Loginov V., Salivonchik S. Construction and operation of antarctic research stations. An Experience of Comprehensive Environmental Evaluation. Minsk: SroyMediaProekt, 2016: 278 p.
17. Kakareka S., Kukharchyk T., Kurman P. Major and trace elements content in freshwater lakes of Vecherny Oasis, Enderby Land, East Antarctica. Environmental Pollution. 2019, 255(1, December): article 113126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113126>
18. Molodyozhnaya Station. Data. Available at: <http://www.aari.aq/data/data.asp?lang=0&station=4> (accessed 14.12.2017).
19. Zazovskaya E., Mergelov N., Shishkov V., Dolgikh A., Miamin V., Cherkinsky A., Goryachkin S. Radiocarbon age of soils in oases of East Antarctica. Radiocarbon. 2016: 1–15. doi:10.1017/RDC.2016.75.
20. Murayama H., Watanuki K., Nakaya S., Nakaya S., Torii T. Monitoring of pond waters near Syowa Station (II). Memoirs NIPR Special Issue. 1984, 33: 187–193.
21. Fedorova I.V. *Sovremennoe sostoianie i ustoichivost' k vozdeistviu vnutrennikh vodoemov Antarktidi*. Current state and resistance to the effects of inland waters of Antarctica. PhD. geogr. sci. diss. St.-Petersburg, 2003: 236 p. [In Russian].
22. Klovov V., Kaup E., Zierath R., Haendel D. Lakes of the Bunger Hills (East Antarctica): chemical and ecological properties. Polish Polar Research. 1990, 11: 147–159.
23. Skorospelkova T.V., Fedorova I.V., Chetverova A.A., Alekseeva N.K., Verkulich S.R., Ezhikov I.S., Kozachek A.V. Characteristic of hydrochemical regime on Fildes Peninsula (King George Island, West Antarctica). *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2016, 2: 79–91. [In Russian].
24. Abollino O., Aceto M., Buoso S., Gasparon M., Green W.J., Malandrino M., Mentasti E. Distribution of major, minor and trace elements in lake environments of Antarctica. Antarctic Sci. 2004, 16: 277–291.
25. Nędzarek A., Rakusa-Suszczewski S. Nutrients and conductivity in precipitation in the coast of King George Island (Antarctica) in relation to wind speed and penguin colony distance. Polish J. Ecol. 2007, 55: 705–716.
26. Green W.J., Angle M.P., Chave K.E. The geochemistry of Antarctic streams and their role in the evolution of four lakes of the McMurdo Dry Valleys. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 1988, 52: 1265–1274.
27. Nedbalova L., Nyvlt D., Kopacek J., Sobr M., Elster J. Freshwater lakes of Ulu Peninsula, James Ross Island, north-east Antarctic Peninsula: origin, geomorphology and physical and chemical limnology. Antarctic Science. 2013, 25 (3): 358–372. doi:10.1017/S0954102012000934.