

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПОЛУОСТРОВА ФАЙЛДС (О. КИНГ ДЖОРДЖ, ЗАПАДНАЯ АНТАРКТИКА)

вед. инженер Т.В. СКОРОСПЕХОВА¹, канд. геогр. наук И.В. ФЕДОРОВА^{1,2,3},
науч. сотр. А.А. ЧЕТВЕРОВА^{1,2}, вед. инженер Н.К. АЛЕКСЕЕВА^{1,4},
доктор геогр. наук С.Р. ВЕРКУЛИЧ¹, вед. инженер И.С. ЕЖИКОВ¹,
млад. науч. сотр. А.В. КОЗАЧЕК¹

¹ — ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: kozachek@aari.ru, tanchiz@gmail.com

² — Санкт-Петербургский государственный университет, e-mail: a.chetverova@gmail.com

³ — Казанский федеральный университет, e-mail: ifedorova@otto.nw.ru

⁴ — Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, e-mail: natalya.msk15@gmail.com

В период сезонных работ 58-й и 59-й Российской антарктической экспедиции на полуострове Файлдс (о. Кинг Джордж, Западная Антарктика) проводилось гидрохимическое обследование вод 29 озер, 3 ручьев и ледника Беллинсгаузена, где были отобраны образцы воды, снега и льда. Комплексные аналитические исследования собранного материала позволили получить современную, качественно новую информацию о содержании в водных объектах полуострова главных ионов, микроэлементов, биогенных элементов, а также об особенностях их изотопного состава. На основе полученных данных дается наиболее полная на сегодняшний день гидрохимическая характеристика вод озер полуострова, выявляются особенности отдельных водных объектов.

Ключевые слова: Западная Антарктика, полуостров Файлдс, озера, гидрохимия, гидрология.

ВВЕДЕНИЕ

Полуостров Файлдс является юго-западной оконечностью острова Кинг Джордж — крупнейшего острова в архипелаге Южных Шетландских островов (Западная Антарктика). Большая часть острова Кинг Джордж перекрыта оледенением, лишь незначительные его прибрежные участки свободны ото льда, в том числе и полуостров Файлдс, который отделен от остальной территории острова ледниковым куполом Беллинсгаузена (рис. 1). Полуостров сложен преимущественно вулканогенными породами (базальтами, туфами, андезитами и агломератами). Его рельеф в целом представляет собой мелкосопочник, с абсолютными высотами до 150–160 м над уровнем моря (Симонов, 1973).

На полуострове находится около 60 озер. Большинство из них мелководны и не велики по площади (менее 0,5 км²): они образовались преимущественно в результате экзарационной деятельности ледника, создавшей небольшие замкнутые

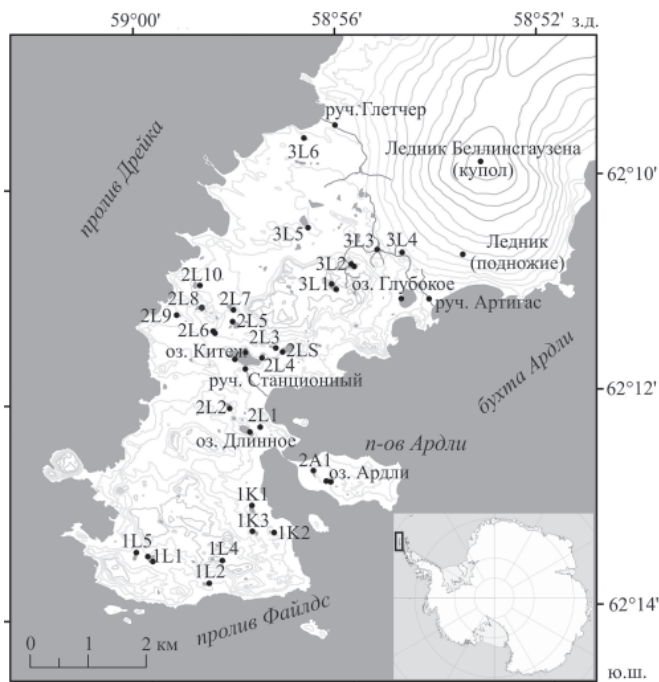


Рис. 1. Полуостров Файлдс. Исследованные озера и ручьи в период сезонных работ 2013–2014 гг.

котловины, со временем заполнившиеся водой. Помимо небольших водоемов, здесь располагаются четыре сравнительно крупных озера (Китеж, Длинное, Слаломное, Глубокое). Появление озера Глубокое, вероятно, связано с прошлой вулканической деятельностью: по одной из версий считается, что его котловина является кратером вулкана (Симонов, 1973), остальные три озера имеют тектонико-экзарационное происхождение. Питание озер происходит за счет атмосферных осадков (снега и дождя), а несколько водоемов вблизи ледника имеют дополнительное питание талыми ледниковыми водами. Большую часть года озера полностью покрыты льдом, самые мелкие из которых практически полностью промерзают в зимнее время. Вскрытие происходит в январе – феврале, в зависимости от характера весны, местоположения озера (высоты, удаленности от береговой линии) и особенностей окружающего рельефа. Часто небольшие озера, расположенные на возвышенностях, в течение летнего сезона так и не освобождаются полностью ото льда. В период весеннего снеготаяния возникает большое количество ручьев и более крупных водотоков, стекающих со склонов, впадающих в озера и вытекающих из них, образующих каскадные системы озер и в конечном счете впадающих в море.

Гидрологические и гидрохимические исследования водной системы полуострова прежде носили лишь эпизодический характер и выполнялись на крупных и наиболее доступных озерах (Длинное, Глубокое, Китеж). Последнее комплексное изучение озер проводилось в 1969–1971 гг. сотрудниками Советской антарктической экспедиции и было направлено на определение особенностей морфометрии и термики озер (Орлов, 1971). Учитывая важную роль водной системы в формировании большинства компонентов природной среды полуострова, а также наличие колоссальной антропогенной

нагрузки на полуостров (здесь расположен аэропорт, есть круглогодичные полярные станции России, Чили, Китая и Уругвая, высока численность туристов), имеющихся знаний о местных водных объектах явно недостаточно. В связи с этим в рамках сезонных работ 58-й и 59-й Российской антарктической экспедиции (РАЭ) были проведены дополнительные исследования, результаты которых приводятся в данной статье.

МЕТОДЫ

В ходе сезонных работ 58-й РАЭ (февраль – март 2013 г.) и 59-й РАЭ (январь – март 2014 г.) на полуострове Файлдс были отобраны пробы воды, снега и льда в 29 озерах, 3 ручьях и 2 точках на леднике Беллинсгаузена для проведения анализов на содержание основных ионов (Cl , SO_4 , Ca , Mg , Na), микроэлементов (Cu , Fe , Mn , Zn , Ni , Al , Cd), биогенных элементов (SiO_2 , PO_4 , NO_2 , NO_3), а также изотопного состава вод ($\delta^{18}\text{O}$, δD).

На месте отбора проб в озерах и ручьях портативными датчиками измерялись температура воды, pH, электропроводность воды и концентрация растворенного кислорода. Отбор проб воды производился преимущественно с берега, в полиэтиленовую посуду, объемом 50 мл. Для последующего анализа растворенных макро-, микро- и биогенных элементов отбираемые пробы воды фильтровались через шприцевые целлюлозно-ацетатные (СА) мембранные фильтры, с диаметром пор 0,7 мкм. Пробы на макро- и микроэлементы хранились при низких температурах (1,0–5,0 °C), пробы на биогенные элементы хранились замороженными, при температуре –18 °C до момента обработки.

Пробы снега и льда были отобраны в двух точках: на куполе и у подножия ледника (рис. 1); лед отбирался из поверхностного горизонта мощностью 30 см при помощи кольцевого бура. Пробы снега и льда хранились в замороженном состоянии при температуре –18 °C.

Лабораторный анализ проб воды, льда и снега на определение ионного состава и содержания микроэлементов выполнен в Ресурсном образовательном центре по направлению химия Санкт-Петербургского государственного университета. Ионный состав вод измерялся на ионном хроматографе «Стайер». Определение микроэлементов выполнено на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA-7000 с электротермической атомизацией пробы воды в графитовой кювете.

Пробы воды на содержание биогенных элементов обработаны на автоматическом проточном анализаторе (Skalar, San++) в российско-германской лаборатории полярных и морских исследований им. Отто Шмидта, Арктический и антарктический научно-исследовательского институт (АНИИ). Анализ изотопного состава вод выполнен в лаборатории изменений климата и окружающей среды (ЛИКОС) отдела географии полярных стран (АНИИ) на лазерном анализаторе изотопного состава Picarro L 2120-I с точностью $\pm 0,1$ ‰ для $\delta^{18}\text{O}$ и ± 1 ‰ для δD .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика вод

В соответствии с данными экспедиционных наблюдений, температура воды в озерах в период отбора проб колебалась от 0,5 до 7,5 °C. Воды исследованных ручьев и озер можно отнести к нейтральным и слабощелочным, диапазон значений pH составляет от 7 до 8,3. Значения общей минерализации, полученные в результате измерения электропроводности воды, изменялись от 15 до 151 мг/л, что характеризует

воды как слабоминерализованные (согласно ГОСТ 27065-86). Содержание растворенного кислорода в поверхностном слое воды в среднем составило 89 % насыщения с амплитудой значений от 63 до 106 %.

Изотопный состав озерных вод

В течение сезона 59-й РАЭ были отобраны пробы воды из 16 озер, а также образцы снега и льда с поверхности ледника Беллинсгаузена, которые использовались для получения информации об изотопном составе атмосферных осадков района. Результаты изотопного анализа подтверждают, что основным источником питания водоемов полуострова Файлдс являются атмосферные осадки. Изменение угла наклона линии регрессии между $\delta^{18}\text{O}$ и δD в озерных водах относительно линии регрессии между $\delta^{18}\text{O}$ и δD в атмосферных осадках свидетельствует о влиянии испарения на изотопный состав местных озерных вод (рис. 2).

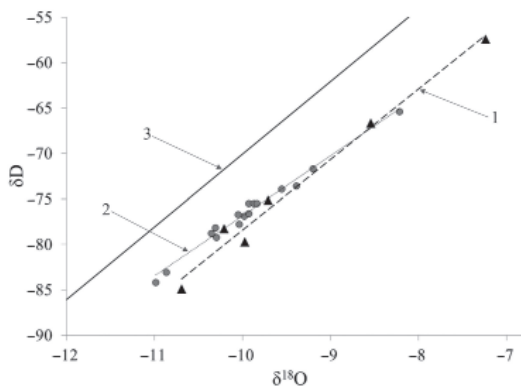


Рис. 2. Линии регрессии между $\delta^{18}\text{O}$ и δD : 1 — локальная линия метеорных вод (снег и лед с ледника Беллинсгаузена; уравнение регрессии: $y = 7,8x - 0,8$); 2 — локальная линия озерных вод п-ва Файлдс (уравнение регрессии: $y = 6,6x - 10,8$); 3 — глобальная линия метеорных вод (уравнение регрессии: $y = 8x + 10$).

Особенности формирования ионного состава вод озер

Результаты исследований показывают (табл. 1), что воды изученных озер полуострова Файлдс относятся к водам хлоридного класса натриевой группы первого, второго и третьего типов (ClNaI , ClNaII , ClNaIII) по классификации О.А. Алекина (Алекин, 1970). Наиболее высокое содержание хлоридов было обнаружено в трех крупных озерах полуострова – Китеж, Глубокое и Длинное, а также в небольших по площади озерах, расположенных на южной оконечности полуострова (№ 1L1, 1L2), и в озере на острове Ардли (оз. Ардли).

Присутствие ионов Na и Cl в озерных водах объясняется прежде всего активным морским влиянием, связанным с ветровым переносом брызг с поверхности моря на территорию полуострова (Матвеев, 1984). Постоянные ветра насыщают снег, покрывающий территорию полуострова, морскими солями. Это подтверждается данными исследований на леднике Беллинсгаузена и метеоплощадке станции Беллинсгаузен в период 54-й РАЭ (Мавлюдов, 2008), когда было зафиксировано повышение минерализации снега в ветреные дни: на вершине ледника минерализация снега, выпавшего при сильном ветре, достигала 260 мг/л. В ходе сезонных работ 59-й РАЭ также были

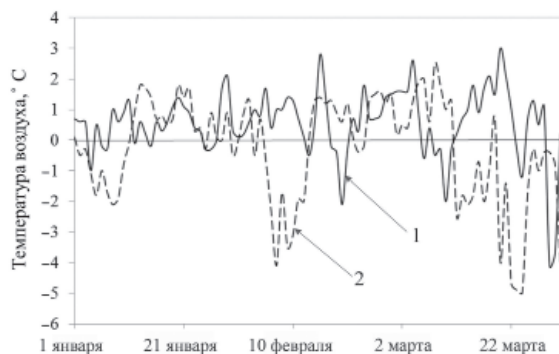


Рис. 3. Среднесуточные температуры воздуха на метеостанции Беллинсгаузен в период с января по март 2013 г. (1) и 2014 г. (2).

отобраны пробы снега и поверхностного слоя льда (мощностью до 30 см) у подножия и на вершине ледника. Анализ показал, что в составе снега и льда преобладающими являются ионы Cl и Na, при минимальном содержании K, Mg, SO₄. При этом, по сравнению с куполом, у краевой части ледника концентрации Cl и Na были повышены.

В летний период, во время таяния снега и льда, морские соли с тальми водами поступают в ручьи и озера, оказывая непосредственное влияние на формирование ионного состава озерных вод. Таким образом, характер антарктического лета, определяющий сроки вскрытия озер и интенсивность снеготаяния на водосборах, влияет также и на поступление морских солей в озера. Так, летний сезон 59-й РАЭ выдался более холодным в сравнении с предыдущим сезоном 58-й РАЭ (рис. 3). В конце января большинство озер полуострова были полностью покрыты льдом, а их водосборы снегом. Более того, 6 февраля 2014 г. произошло повторное замерзание озер, когда температура воздуха резко упала, и за 7 последующих дней выпало более 13 мм осадков (Балабанов, 2013; Ивашкевич, 2014). Тогда как в летний сезон 58-й РАЭ большинство озер, за исключением расположенных на сравнительно высоких участках юго-западной части полуострова, вскрылись ото льда полностью или частично уже в феврале. Такое отличие сезонов объясняет переход нескольких озер из одного типа вод в другой. Так, некоторые озера (№ 1K1, 2L6, 3L1, 3L2, 3L5), относившиеся по результатам 58-й РАЭ к третьему типу вод ClNaIII, свойственному морям и лиманам и обозначающему активное влияние моря на формирование озерных вод, по результатам 59-й РАЭ уже относились ко второму типу вод ClNaII, свойственному пресноводным водоемам.

Несмотря на переход вод некоторых озер из третьего типа вод ClNaIII во второй ClNaII, большинство водоемов полуострова Файлдс относительно сходно по ионному составу, что иллюстрирует полулогарифмическая диаграмма Шеллера, построенная по полученным данным (рис. 4). Также на диаграмме видно, что среди исследованных водоемов особенно выделяется озеро Длинное, замыкающее небольшую систему озер на восточной окраине центральной части полуострова. В нем было обнаружено относительно высокое содержание SO₄, составившее 28,9 и 58 мг/л в сезонах 58-й и 59-й РАЭ соответственно. Для сравнения, содержание SO₄ в остальных исследованных водоемах не превысило 8,5 и в среднем составило 4 мг/л. Вместе с этим в озере Длинное зафиксированы сравнительно высокие концентрации Ca: 10,8 мг/л — 58-я РАЭ, 20 мг/л — 59-я РАЭ, тогда как среднее значение Ca для водоемов полуострова составило 2,8 мг/л. Такая особенность состава вод озера Длинное, скорее всего, объ-

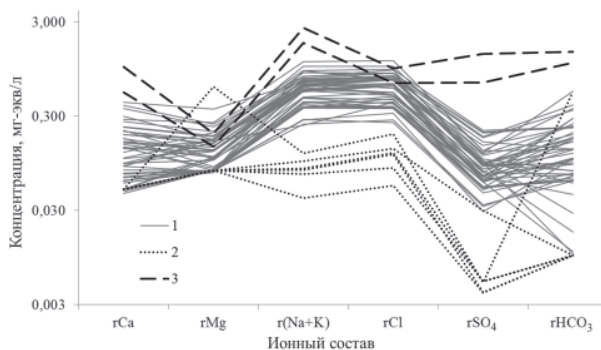


Рис. 4. Полулогарифмическая диаграмма Шеллера. Содержание преобладающих ионов (в пересчете на количество вещества эквивалента) в водах озер и ручьев п-ва Файлдс, на леднике Беллинсгаузена по данным 2013–2014 гг. 1 — озера п-ва Файлдс, 2 — ледник Беллинсгаузена, 3 — озеро Длинное.

яняется свойствами пород в пределах его водосбора: в то время как большинство водосборов на полуострове сложены преимущественно туфами и андезитами (Barton, 1964), на водосборе озера Длинное развиты агломераты, что может служить причиной повышенного содержания сульфатов в его водах. Другими причинами специфических гидрохимических характеристик озера могут быть наличие стока вод из слоя сезонного таяния грунтов, а также антропогенная деятельность на территории водосбора, в первую очередь активно используемая грунтовая дорога, проходящая вдоль озера.

Сравнение ионного состава вод озер полуострова Файлдс и водоемов других территорий краевой зоны Антарктиды обнаруживает как черты сходства, так и различия, определяющиеся особенностями залегающих коренных пород в районах, активностью поступления морских аэрозолей, местными метеорологическими условиями, а также разной степенью разбавляющего влияния талых ледниковых вод. Так, воды озер полуострова Файлдс в целом схожи по основному ионному составу с водами озер оазиса Холмы Ларсеманн (Восточная Антарктида), относящимися также к хлоридному классу натриевой группы (Федорова, 2003). Несмотря на то, что территория оазиса более удалена от моря, чем полуостров Файлдс, здесь морское влияние на формирование ионного состава озерных вод усиливается благодаря повышенному испарению и меньшему среднегодовому количеству выпадающих осадков (Сводные таблицы, 2010). В других районах Антарктики, например на оазисе Ширмахера, на

Таблица 1

Концентрации основных ионов в водах озер и ручьев (полуостров Файлдс) и в снеге и льде (ледник Беллинсгаузена) (по данным сезонных работ 2013–2014 гг.)

Макроэлементы	Ледник Беллинсгаузена		Озера и ручьи	
	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л
Ca ²⁺	0	0	0,8–20,1	0–1,0
Mg ²⁺	0–7,4	0–0,6	0,5–4,3	0–0,4
Na ⁺ и K ⁺	0,9–2,8	0–0,1	0,9–30,3	0–1,3
Cl ⁻	1,9–6,9	0,1–0,2	9,1–41,9	0,3–1,2
SO ₄ ²⁻	0,2	0	1,2–58,0	0–1,2
HCO ₃ ⁻	0–33,0	0–0,5	0–34,6	0–0,6

формирование озерных вод, помимо морского фактора, также оказывает сильное воздействие геологическое строение и локальные выходы гипсоносных грунтов, в связи с чем здесь, в отличие от полуострова Файлдс и оазиса Холмы Ларсеманн, преобладают воды гидрокарбонатного, гидрокарбонатно-хлоридного и в меньшей степени хлоридного классов натриевой группы. При этом водоемам оазиса Ширмахера свойственен сезонный переход группы вод от натриевых к кальциевым, а также периодический переход от вод гидрокарбонатного класса к сульфатному за счет влияния грунтовых вод (Федорова и др., 2011).

Содержание тяжелых металлов в озерах и ручьях

Измерение концентраций тяжелых металлов (ТМ) необходимо для отслеживания состояния водных объектов и антропогенного воздействия, которое в данном районе связано с использованием наземного транспорта, функционированием аэродрома и эксплуатацией станционных построек. Однако следует отметить, что содержание ТМ в озерах также может зависеть от особенностей состава местных горных пород, влияющих на формирование вод.

Измеренные концентрации ТМ в пробах вод (табл. 2) показывают, что их значения для большинства озер полуострова не превышают естественный уровень природных пресных вод (Виноградов, 1962; Боркис, 1982). Наименьшие концентрации были обнаружены в озерах, расположенных в южной части полуострова. Этот район отличается гористым, сильно пересеченным рельефом и реже, чем другие участки полуострова, посещается людьми, здесь отсутствуют постройки и дороги. Помимо этого в сезоны 58-й и 59-й РАЭ водоемы района оставались практически полностью покрыты льдом, а их водосборы — снегом. Наличие более устойчивого снежного покрова в течение летнего сезона по сравнению с другими участками полуострова обуславливает здесь более низкую интенсивность выветривания микроэлементов из горных пород, меньший сток талых вод с территории водосборов и, соответственно, понижение концентраций ТМ в водах, поступающих в озеро.

Сравнительно высокое содержание микроэлементов на фоне исследованных водных объектов было обнаружено в районе ледника Беллингаузена и в пределах водосбора озера Длинное. В северной части полуострова, у края ледника протекают ручьи Глетчер и Артигас, первый из которых впадает в пролив Дрейка на северо-западе, а второй — в бухту Ардли на юго-востоке, замыкая систему озер, расположенных вдоль ледника. В ручье Глетчер было зафиксировано содержание 34,9 мкг/л Fe и 77,4 мкг/л Al, в ручье Артигас — 55,4 мкг/л Fe и 50,2 мкг/л Al. В озере 3L4, из которого вытекает ручей Артигас, также были обнаружены повышенные концентрации Fe (3,75 мкг/л) и Al (22 мкг/л). Территория, на которой располагаются вышеупомянутые ручьи и озеро, максимально приближена к ледниковому куполу, где в летние сезоны велик объем стока талых вод и активно размываются отложения моренных гряд, что может влиять на рост количества поступающих в озеро и ручьи микроэлементов.

Озеро Длинное, отличающееся от прочих озер полуострова по составу основных ионов, выделяется также и сравнительно высоким содержанием микроэлементов. В летнем сезоне 58-й РАЭ в его водах было зафиксировано повышенное содержание нескольких элементов: Cu — 1,2 мкг/л, Fe — 6,2 мкг/л, Mn — 22,9 мкг/л, Zn — 6,0 мкг/л. Год спустя, в сезон 59-й РАЭ анализ проб показал понижение концентраций Cu — 0,4 мкг/л, Mn — 1,6 мкг/л и Zn — 0,8 мкг/л. При этом были обнаружены повышенные концентрации Ni — 0,4 мкг/л и Al — 17,5 мкг/л. Такие отличия, скорее

Содержание тяжелых металлов и биогенных элементов в водах ручьев и озер полуострова Файлдс (мкг/л)

Название объектов	Другие известные названия водных объектов	Дата	Микроэлементы							Биогенные элементы			
			Cu	Fe	Mn	Zn	Ni	Al	Cd	SiO ₂	PO ₄	NO ₂ +NO ₃	
58-я РАЭ, февраль – март 2013 г.													
Озеро 2S	Мираж [1], Unidad [2]	10.02.2013	< 0,10	< 0,20	0,2	0,9	0,2	1,2	< 0,05	881,2	3,0	< 1	
Озеро 2L3	б/н	10.02.2013	—	—	—	—	—	—	—	593,5	1,5	< 1	
Озеро 2L4	“	10.02.2013	—	—	—	—	—	—	—	803,9	2,0	< 1	
Ручей Станционный	б/н	12.02.2013	0,4	< 0,20	21,9	2,7	0,1	2,7	< 0,05	—	—	—	
Озеро Китиж	Kitish [2]	13.02.2013	< 0,10	< 0,20	1,3	1,0	< 0,10	0,7	< 0,05	505,3	< 0,2	< 1	
Озеро 2L5	б/н	13.02.2013	< 0,10	0,3	0,5	0,6	0,2	0,8	< 0,05	—	—	—	
Озеро 2L8	“	13.02.2013	0,4	< 0,20	2,8	0,6	0,1	0,3	< 0,05	743,3	1,4	1,2	
Озеро 2L10	“	13.02.2013	1,3	0,8	7,4	6,5	0,1	5,1	< 0,05	300,9	1,1	< 1	
Озеро 3L1	“	17.02.2013	< 0,10	0,3	9,1	2,2	0,1	0,4	< 0,05	251,1	< 0,2	< 1	
Озеро 3L2	Cisnes [2]	17.02.2013	0,1	1,4	1,2	2,5	< 0,10	1,6	< 0,05	600,8	< 0,2	< 1	
Озеро 1K1	Gran Marulla [2]	18.02.2013	< 0,10	0,4	< 0,10	0,7	0,2	2,1	< 0,05	1043,7	< 0,2	< 1	
Озеро 1K3	Гаошаньху [1], Shanboedan [2]	18.02.2013	< 0,10	< 0,20	0,2	0,6	0,2	2,6	< 0,05	1127,4	< 0,2	2,5	
Озеро 1L1	Jurasico [2]	18.02.2013	< 0,10	< 0,20	0,6	2,2	< 0,10	0,8	< 0,05	937,0	< 0,2	2,2	
Озеро 1L2	Belen [2]	18.02.2013	0,3	< 0,20	0,2	2,2	< 0,10	0,9	< 0,05	1032,7	< 0,2	1,4	
Озеро Глубокое	Профаунд [1], Deepre [2]	19.02.2013	< 0,10	< 0,20	13,1	0,5	0,2	0,9	< 0,05	581,5	< 0,2	< 1	
Озеро 3L3	б/н	19.02.2013	0,1	0,9	57,3	17,2	0,4	4,4	< 0,05	2219,7	8,1	4,6	
озеро 3L5	чил. Jade Hara	21.02.2013	0,1	0,3	34,4	2,0	0,1	0,3	< 0,05	2050,8	0,4	2,5	
Озеро 2L9	б/н	21.02.2013	—	—	—	—	—	—	—	285,3	< 0,2	1,4	
Озеро Ардли	“	25.02.2013	0,4	0,9	1,9	0,9	0,1	1,1	< 0,05	62,3	17,8	—	
Озеро Длинное	Лонг [1]	27.02.2013	1,2	< 0,20	22,9	6,0	0,2	3,7	< 0,05	1595,6	< 0,2	3,5	
Озеро 2L2	б/н	27.02.2013	< 0,10	< 0,20	0,9	2,8	< 0,10	1,1	< 0,05	526,9	< 0,2	1,8	
Озеро 1K2	Яньоху [1], Том [2]	27.02.2013	—	—	—	—	—	—	—	1133,7	< 0,2	1,0	

Название объектов	Другие известные названия водных объектов	Дата	Микроэлементы							Биогенные элементы			
			Cu	Fe	Mn	Zn	Ni	Al	Cd	SiO ₂	PO ₄	NO ₂ +NO ₃	
59-я РАЭ, январь – март 2014 г.													
Озеро Глубокое	Профаунд [1], Деере [2]	27.02.2014	0,2	< 0,20	0,2	2,7	0,2	1,1	< 0,05	—	—	—	
Озеро Длинное	Лонг [1]	01.03.2014	0,4	6,2	1,6	0,8	0,4	17,5	< 0,05	—	—	—	
Озеро Китеж (поверхность)	Kitish [2]	02.03.2014	0,4	11,8	0,6	4,0	0,1	14,6	< 0,05	—	—	—	
Озеро Китеж (глубина 11 м)	Kitish [2]	02.03.2014	0,4	3,6	0,3	11,0	0,4	4,4	< 0,05	—	—	—	
Озеро 2Л7	Marie Jose [2]	04.02.2014	0,2	1,0	1,6	0,7	< 0,10	5,1	< 0,05	—	—	—	
Озеро 3Л1	б/н	06.03.2014	0,2	< 0,20	0,2	1,0	0,6	1,7	< 0,05	—	—	—	
Озеро 3Л2	Cisnes [2]	06.03.2014	0,3	2,7	0,2	1,1	0,1	16,0	< 0,05	—	—	—	
Озеро 2Л6	б/н	08.02.2014	0,4	0,7	0,4	0,7	0,2	8,5	< 0,05	—	—	—	
Ручей Глетчер	Glastcher [2]	12.02.2014	0,2	34,9	1,3	0,8	0,6	77,4	< 0,05	—	—	—	
Озеро 3Л4	б/н	18.02.2014	0,6	3,8	0,6	1,1	0,1	22,0	< 0,05	—	—	—	
Озеро 1К1	Gran Marulla [2]	26.01.2014	0,4	3,1	0,6	1,7	0,2	5,0	< 0,05	—	—	—	
Озеро 1К2	Яньоху [1], Том [2]	26.01.2014	0,5	2,2	0,7	0,9	< 0,10	5,8	< 0,05	—	—	—	
Ручей Артигас	Artigas [2]	27.02.2014	0,5	55,4	0,8	1,4	0,1	50,2	< 0,05	—	—	—	
59-я РАЭ, ноябрь 2013 г. – январь 2014 г.													
Озеро Китеж	Kitish [2]	Ноябрь 2013	—	—	—	—	—	—	—	950,3	2,2	< 1	
Озеро Китеж	“	Декабрь 2013	—	—	—	—	—	—	—	1583,6	< 0,2	3,1	
Озеро Длинное	Лонг [1]	Ноябрь 2013	—	—	—	—	—	—	—	2544,6	< 0,2	8,1	
Озеро Длинное	“	Декабрь 2013	—	—	—	—	—	—	—	2601,8	1,9	6,1	
Озеро Глубокое	Профаунд [1], Деере [2]	Ноябрь 2013	—	—	—	—	—	—	—	726,5	2,6	< 1	
Озеро Глубокое	“	Декабрь 2013	—	—	—	—	—	—	—	893,2	0,5	< 1	
Озеро Глубокое	“	Январь 2014	—	—	—	—	—	—	—	1341,7	< 0,2	5,2	

Примечание: [1] — (Каменев, 2005); [2] — (Isia Rey Jorge-Penninsula Fildes, 1996).

всего, объясняются разницей температурных условий сезонов и, как следствие, разной активностью снеготаяния и формирования поверхностного стока. Озеро Длинное имеет сток в море, где в 1996 г. проводились исследования китайских ученых в морских водах на юго-востоке прибрежной части полуострова (Jiabin et al., 1996), которые выявили концентрации тяжелых металлов, по Cu и Zn близкие обнаруженным нами в озере Длинное в сезон 58-й РАЭ. По мере удаления от берега измеренные китайскими специалистами концентрации Cu и Zn постепенно уменьшались.

В сезон 59-й РАЭ в глубоководной части озера Китеж были отобраны пробы воды из поверхностного и придонного горизонта. Анализ показал содержание в поверхностном слое Fe — 11,8, Al — 14,6, Zn — 4,0 мкг/л. В придонном слое на глубине 11 м измеренные концентрации Fe и Al были ниже и составили 3,6 и 4,4 мкг/л соответственно. В период открытой воды Fe и Al поступают в озеро с поверхностным стоком, чем может объясняться их повышенная концентрация в верхней части водной толщи. Содержание Zn, наоборот, в придонном слое было повышено в сравнении с поверхностью и составило 11 мкг/л. Концентрации Cu, обнаруженные в придонном и поверхностном слое, практически идентичны и составили 0,37 и 0,38 мкг/л соответственно.

Содержание биогенных элементов в озерных водах

Измерение концентраций биогенных элементов в летний сезон 58-й РАЭ показало крайне низкие значения содержания фосфатов (PO_4), нитритов (NO_2) и нитратов (NO_3) и относительно высокое содержание силикатов (SiO_2) в большинстве озер полуострова Файлдс (табл. 2), что типично для водоемов полярных районов (Четверова и др., 2013).

Низкое содержание PO_4 , NO_2 и NO_3 в озерах полуострова объясняется несколькими причинами. Во-первых, летом многие водосборы озер остаются частично или полностью под снежным покровом, а наземная растительность — один из важнейших источников биогенных элементов (PO_4 , NO_2 , NO_3 , и др.) — встречается лишь на отдельных участках водосборов и представлена мхами и лишайниками. Еще одним фактором является низкая биологическая продуктивность водоемов вследствие суровости климатических условий. К тому же большая часть поступающих летом в водоемы биогенных элементов потребляется фитопланктонными организмами.

Влияние фитопланктона на содержание биогенных элементов подтверждается исследованиями, проведенными в зимний период в трех крупнейших озерах полуострова: Китеж, Глубокое и Длинное. Результаты анализа концентраций азотных соединений и фосфатов в подледный период (с мая по ноябрь 2013 г.) показали наличие PO_4 , NO_2 и NO_3 в озерах Глубокое и Китеж, тогда как в летний период концентрации этих же элементов были ниже порога обнаружения. В озере Длинное также было зафиксировано повышение концентраций в зимний период: азотных соединений до 8,1 мкг/л, фосфатов до 1,9 мкг/л. Кроме того, во всех трех озерах в зимний период прослеживался рост содержания SiO_2 : в озерах Китеж и Длинное более чем на 1000 мкг/л, в озере Глубокое — на 760 мкг/л.

В целом измеренные в водоемах концентрации SiO_2 изменялись в широком диапазоне от 62,3 до 2219,7 мкг/л. В 7 из 20 исследованных озер концентрации SiO_2 превысили 1000 мкг/л: такие значения свойственны озерам полярных областей при активном развитии криогенных процессов на водосборах (Четверова и др., 2013). Для сравнения, по данным исследований, проведенных в сезон 58-й РАЭ на материковых

станциях Антарктиды Прогресс и Новолазаревская, содержание силикатов в озерах изменялось в пределах 240–1490 мкг/л (Кучин, 2013).

Анализ распределения биогенных элементов в озерах полуострова Файлдс выявил наличие зависимости между особенностями условий на водосборах и концентрациями биогенных элементов, что характерно прежде всего для силикатов. Водосборы озер с повышенной концентрацией SiO_2 имеют следующие черты: сравнительно большую площадь, активное летнее снеготаяние и интенсивный поверхностный сток талых вод в летний период, наличие одного или нескольких впадающих в озеро ручьев. Озера с концентрациями силикатов менее 1000 мкг/л, наоборот, располагаются на малых, покрытых снегом водосборах, при этом поверхность озер частично или практически полностью оставалась подо льдом в летний период 58-й РАЭ. Максимальное содержание силикатов обнаружено в озерах 3L3 и 3L5, расположенных в северо-восточной (приледниковой) части полуострова, и составило 2219,7 и 2150,8 мкг/л соответственно. Также сравнительно большие концентрации силикатов обнаружены в озере Длинное — 1595,6 мкг/л. Минимальная концентрация SiO_2 была измерена в небольшом озере на острове Ардли (1A1) и составила 62,3 мкг/л, что в 10 раз меньше среднего значения для озер полуострова.

Отметим, что в том же озере 1A1 была измерена максимальная концентрация фосфатов (17,8 мкг/л), более чем в 10 раз превышающая среднее значение для исследованных озер. Возможной причиной отличительных параметров данного озера может быть присутствие на острове Ардли сравнительно крупных колоний пингвинов. Содержащий фосфаты помет птиц может переноситься ветрами или же непосредственно поступать в водоем, заметно повышая концентрацию PO_4 . На полуострове Файлдс колонии пингвинов отсутствуют, и концентрации фосфатов в озерных водах крайне малы: фосфаты были обнаружены лишь в 6 из 19 исследованных озер, и величины их содержания определены в пределах 0,4–8,1 мкг/л.

Содержание NO_3 во всех исследованных озерах в течение летнего периода, было ниже порога обнаружения (0,1 мкг/л). Окисленные формы азота ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$) были обнаружены лишь в половине исследованных озер, при этом измеренные концентрации незначительны и изменяются в диапазоне от 1 до 4,8 мкг/л. Так же как и в случае с силикатами, максимальные измеренные значения окисленных форм азота были обнаружены в двух озерах приледниковой части полуострова 3L3 (8,1 мкг/л) и 3L5 (2,5 мкг/л) и в озере Длинное (3,5 мкг/л).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках сезонных работ 58-й и 59-й РАЭ впервые выполнено комплексное исследование химического состава вод озер полуострова Файлдс, в результате которого получена новая информация о характеристиках, современных процессах и факторах формирования химического состава водоемов.

Состав озерных вод полуострова (включая основные ионы, микроэлементы, биогенные элементы и изотопы $\delta^{18}\text{O}$ и δD) в большинстве случаев схож, хотя и подвержен некоторым изменениям в зависимости от местоположения водоема, особенностей его водосбора, времени вскрытия водоема ото льда и степени морского влияния на него.

По ионному составу воды озер полуострова Файлдс относятся к хлоридному классу натриевой группы первого, второго и третьего типов (ClNaI , ClNaII , ClNaIII). Анализ биогенных элементов в летний период показал наличие малых концентраций фосфатов, нитритов и нитратов и относительно высокое содержание силикатов в

большинстве озер. Содержание тяжелых металлов (Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Al, Cd) ниже предельно допустимых концентраций и в большинстве водоемов незначительно.

При относительной однородности состава вод большинства озер на полуострове выделяются несколько объектов. В первую очередь это озеро Длинное, а также расположенные у краевой части ледника Беллинсгаузена ручьи Глетчер и Артигас и озеро ЗЛЗ. Озеро Длинное отличается самыми высокими значениями общей минерализации и повышенным содержанием силикатов. При этом по преобладающим ионам воды озера относятся к тому же типу, что и большинство озер полуострова, — хлоридно-натриевому (ClNaI). Кроме того, в озере Длинное зафиксированы сравнительно высокие концентрации тяжелых металлов Cu, Fe, Mn, Zn, Al. В ручьях Глетчер и Артигас были зафиксированы максимальные из измеренных во всех водных объектах полуострова концентрации Fe и Al. Ручей Артигас вытекает из озера ЗЛЗ, в котором также были обнаружены повышенные концентрации Fe и Al. В дополнение, озера Длинное и ЗЛЗ отличаются от остальных озер полуострова по содержанию биогенных элементов: в летний период 58-й РАЭ только в них были зафиксированы окисленные формы азота ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$).

Полученная в ходе работ характеристика гидрохимического состава вод полуострова Файлдс может быть использована в качестве основы для дальнейших исследований в данном направлении.

Исследования проведены с использованием оборудования ресурсного центра Научного парка СПбГУ «Ресурсный образовательный центр по направлению химия», а также при финансовой поддержке грантов РФФИ № 14-05-00787 и № 14-05-00548. Также авторы выражают благодарность Российской антарктической экспедиции за логистическое обеспечение работ на полуострова Файлдс в сезоны 58-й, 59-й РАЭ и участникам зимовочного состава 58-й РАЭ станции Беллинсгаузен за помощь в отборе проб воды в зимний период 2013 г. Изотопный анализ проводился при финансовой поддержке гранта РНФ 14-27-00030.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
- Бокрис Дж. О.М. Химия окружающей среды. М.: Химия, 1982. 672 с.
- Балабанов В.С. Отчет о выполнении метеорологических наблюдений на станции Беллинсгаузен в 58-й РАЭ. Фонды ААНИИ, ТМС-84 № 9891.
- Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
- ГОСТ 27065-86 Качество вод. Термины и определения. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. С. 11.
- Ивашкевич С. Отчет о выполнении метеорологических наблюдений на станции Беллинсгаузен в 59-й РАЭ. Фонды ААНИИ, ТМС-84 № 9951.
- Камнев Е.Н. Карта острова Кинг Джордж (Ватерлоо). Полуостров Файлдс масштаба 1:25 000 // Атлас океанов. Антарктика. СПб.: ГУНИО МО РФ, 2005. С. 40.
- Кучин В.А. Отчет о выполнении научных программ, технических заданий и логистических операций сезонной 58-й РАЭ. Т. 2. Экспедиционные работы и натурные исследования по действующим федеральным программам. СПб., 2013. 285 с.
- Мавлюдов Б.Р. Гляциологические работы на станции Беллинсгаузен: научно-технический отчет 54-й РАЭ. Фонды ААНИИ, инв. № О-3655. 2008. 43 с.

- Матвеев Л.Т.* Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 752 с.
- Орлов А.И.* Некоторые результаты лимнологических исследований на полуострове Файлдс // Информационный бюллетень Советской антарктической экспедиции. 1971. № 81. С. 73–77.
- Сводные таблицы климатических метеорологических данных для антарктических станций. СПб., 2010. URL: http://www.aari.aq/default_en.html [дата обращения 02.03.2016].
- Симонов И.М.* Озера п-ова Файлдс на о. Кинг-Джордж (о. Ватерлоо) // Информационный бюллетень Советской антарктической экспедиции. 1973. № 85. С. 16–21.
- 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.
- Федорова И.В., Веркулич С.Р., Потапова Т.М., Четверова А.А.* Оценка послеледникового развития озер оазиса Ширмахера (Восточная Антарктида) на основе гидролого-геохимических и палеогеографических исследований // Полярная криосфера и воды суши. М.: Paulsen, 2011. С. 242–251.
- Четверова А.А., Федорова И.В., Потапова Т.М., Бойке Ю.* Гидрологические и геохимические особенности современного состояния озер о. Самойловский в дельте р. Лены // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 1 (95). С. 97–110.
- Barton C.M.* Geology of South Shetland Islands. III. The stratigraphy of King George Island // British Antarctic survey scientific reports. 1964. № 44. 33 p.
- Isla Rey Jorge-Peninsula Fildes / Islas Shetland del Sur / XII Region de Magallanes Y de la / Antartica Chilena 1:10 000. Republica de Chile, 1996.
- Jiabin Pu, Yunna Fu, Zhongping Li.* Concentration level of heavy metals in the Great Wall Bay // Journal of Environmental Sciences. 1996. Vol. 8. № 1. P. 173–177.

*T.V. SKOROSPEKHOVA, I.V. FEDOROVA, A.A. CHETVEROVA, N.K. ALEKSEEVA,
S.R. VERKULICH, I.S. EZHIKOV, A.V. KOZACHEK*

CHARACTERISTIC OF HYDROCHEMICAL REGIME ON FILDERS PENINSULA (KING GEORGE ISLAND, WEST ANTARCTICA)

During 58th and the 59th seasons of the Russian Antarctic Expedition to the Fildes Peninsula (King George Island, West Antarctica) hydrochemical investigation of 29 lakes, 3 streams and glacier Bellinghausen have been carried out.

Detailed chemical analysis of water, snow and ice samples allows to get modern and qualitatively new information about major ions, trace elements, nutrients content of the objects as well as isotopic composition of Fildes peninsula water bodies. Data analysis provide the most comprehensive hydrochemical characteristic of lake on Fildes Peninsula and identifies individual characteristics of water bodies.

Keywords: West Antarctica, Fildes Peninsula, lakes, hydrochemistry, hydrology.