

УДК 551.465

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О МИКРОЭЛЕМЕНТНОМ СОСТАВЕ ВОДЫ И ВЗВЕСИ В ВОДОТОКАХ И ОЗЕРАХ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ

© 2025 г. В. В. Гордеев*, А. А. Полухин**, Д. П. Стародымова,
Г. В. Борисенко, В. А. Чернов, М. В. Флинт

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

**e-mail: gord_vv@mail.ru,*

***e-mail: polukhin@ocean.ru*

Поступила в редакцию 21.06.2024 г.

После доработки 21.01.2025 г.

Принята к публикации 26.01.2025 г.

Впервые представлены результаты определения 44 микроэлементов в воде и взвешенном веществе водотоков 5 заливов (Благополучия, Цивольки, Степового, Абросимова и Медвежьего) и малых озер архипелага Новая Земля. Выявлены низкие концентрации растворенных микроэлементов по сравнению с их концентрациями в реках российской Арктики. Это связано с существенно подавленным химическим выветриванием на архипелаге в силу сурового климата и особенностей пород водосборов, а также повышенной активностью процессов сорбции и резко пониженной концентрацией растворенного органического вещества. Иная ситуация наблюдается по уровню содержаний микроэлементов в составе взвесей водотоков. Сходство в содержании химических элементов во взвеси водотоков и основных осадочных породах водосборов — анкеритолитовых сланцах — указывает на них как на важный источник поступления растворенных и взвешенных веществ в водотоки. Сравнение растворенных микроэлементов в водах водотоков Новой Земли и в реке Колыма показало, что водотоки заметно беднее микроэлементами.

Ключевые слова: Арктика, Новая Земля, выветривание, микроэлементы, водотоки, взвесь

DOI: 10.31857/S0030157425040051

ВВЕДЕНИЕ

Последние десятилетия особое внимание в проводимых Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН исследованиях уделяется морям российской Арктики, в первую очередь Карскому и Лаптевых. В рамках проектов “Экосистемы морей Сибирской Арктики” с 2007 г. выполнено 14 научных экспедиций на НИС “Академик Мстислав Келдыш” и “Профессор Штокман”, тематика которых охватывала, по сути, все основные направления океанологических исследований [21, 22, 24]. Значительная часть полученных результатов была обобщена в трех томах: “Экосистемы Карского моря — новые данные экспедиционных исследований. Материалы научной конференции” (2015) [27], “Экосистемы морей Сибирской Арктики” [23] и “Экосистемы Карского моря и моря Лаптевых. Экспедиционные исследования 2015 и 2018 гг.” [25]. Важное место в этих исследованиях занимали работы в заливах восточного Карского берега архипела-

га Новая Земля. Это определялось локализацией в заливах крупнейших в российской Арктике захоронений радиоактивных отходов и поступлением берегового стока — потенциального переносчика радиоактивных загрязнений, аккумулированных в ледниках, и сопутствующими накопленными экологическими рисками.

В условиях меняющегося климата в последние годы в экосистемах арктических морей происходят значительные сдвиги: существенно сокращаются площади многолетних льдов [40, 50], уменьшается время ледостава и толщина сезонного ледяного покрова [28]. Сокращение ледяного покрова Арктики снижает альбедо земной поверхности и поверхности моря — основную составляющую радиационного баланса Земли, возмущение которого определяет динамику планетарной климатической системы [4]. Радиационный форсинг приводит к освобождению шельфа от зимнего льда и увеличивает скорость отступления и таяния выводных ледников

арктических архипелагов. Согласно работе [12], в последние 10 лет значительно ускорилось отступление выводных ледников на архипелаге Новая Земля. Сокращение площади ледников с конца 20-го века составило 1000 км², а сокращение объема льда — 380 км³. В подобных условиях в субгляциальных областях происходит увеличение интенсивности поверхностного стока и последующей абразии берегов. Согласно существующим исследованиям [29, 31–33, 39, 40, 42, 48], отступление ледников увеличивает в реках, питаемых ледниками, концентрации биогенных соединений, а также органического вещества. Подобные изменения приводят к существенным изменениям гидрохимических и биогеохимических условий в арктической экосистеме [34, 43].

До начала направленных экспедиционных исследований в 2007 г. (54-й рейс “Академик Мстислав Келдыш”) практически ничего не было известно о химическом составе рек и ручьев, стекающих в море в результате таяния многочисленных ледников и снежного покрова на двух островах архипелага. В этом и последующих рейсах сотрудники лаборатории гидрохимии ИО РАН под руководством П.Н. Маккавеева провели неоднократные определения основных гидрохимических параметров вод поверхностного стока в заливы архипелага, таких как pH, O₂, Alk и концентрации неорганических форм N, P, C, Si [14, 26, 30]. Детальнее других были изучены особенности стока и распределения биогенов в водах залива Благополучия, а также в заливах Цивольки, Степового и Абросимова. Показано, что в поступающих с берегов архипелага водах содержится значительное количество биогенных элементов, повышены величины pH и щелочности. Авторы установили экспериментальным путем, что основным источником поставки биогенных элементов в воды заливов являются наиболее распространенные на архипелаге осадочные породы двух видов — так называемые “бурые” и “черные” сланцы, из которых и происходит выщелачивание биогенных элементов. Наибольшее влияние на экосистемы заливов оказывает именно поверхностный сток с берегов, при этом влияние стока на содержание биогенных элементов прослеживалось не более чем на 15–20 км от берега и практически не идентифицировалось в прилежащих водах Карского моря [14]. Схожие с Новой Землей процессы выщелачивания биогенных элементов из пород ледниковым стоком были показаны и на примере еще одного арктического архипелага — Западного Шпицбергена. Экспедиционные исследования [44], а также

эксперименты с образцами пород (доломитовые сланцы), подтвердили вынос биогенных элементов со стоком с ледника Тунабрин, обогащенным ими при контакте с подстилающей породой.

В недавних обобщающих работах было показано, что в условиях быстрого потепления в Арктике широкий спектр процессов — от таяния вечной мерзлоты до биологического поглощения и трансформации — может изменять химический состав речной воды [31–33]. Отмечается рост щелочности и концентрации карбонат-ионов, при снижении концентрации нитратного азота в стоках с 2/3 водосборного бассейна Северного ледовитого океана [45]. Последние исследования в области химического состава рек российской Арктики [35, 46] выявили региональные особенности распределений микроэлементов и общие тренды их изменчивости. Однако по состоянию на сегодняшний день в научной литературе отсутствуют данные о микроэлементном составе воды и взвеси водотоков Новой Земли.

Настоящая работа посвящена представлению результатов первых определений большой группы химических элементов в водотоках архипелага Новая Земля, впадающих в заливы Благополучия, Цивольки, Абросимова, Степового и Медвежий, а также малых озер на берегах заливов, по материалам 125-го и 128-го рейсов НИС “Профессор Штокман” (2013 и 2014 годы) [22, 23] и 76-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” (2019 год) [25].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Географическая характеристика района исследования

Архипелаг Новая Земля, крупнейший архипелаг Европейской Арктики, протягивается с севера на юг на 1000 км, занимает площадь 83 тыс. км² и состоит из двух крупных островов — Северного и Южного. Архипелаг представляет собой линейную складчатую систему, сложенную преимущественно породами палеозойского возраста (600–250 млн лет назад), включающими отложения кембрийского, ордовикского, силурийского, девонского, каменноугольного и пермского периодов [15]. На архипелаге преобладают плотные кристаллические породы, а также широко распространены карбонатные отложения различного генезиса и состава. На Восточно-Новоземельском геоблоке кембрийские, ордовикские и силурийские отложения представлены преимущественно терригенными породами: песчаниками, алевролитами, темноцветными

доломитовыми сланцами. В четвертичное время архипелаг испытывал и испытывает в настоящее время существенное поднятие и, как следствие, резкое преобладание абразии над аккумуляцией и сильный размыв четвертичных отложений на морских террасах [19].

Стоит отметить, что на архипелаге обнаружен ряд проявлений полезных ископаемых. Центральная часть архипелага характеризуется широким развитием эндогенного и экзогенного оруденения. Здесь установлены проявления марганца, меди, железа, свинца и других металлов, некоторые из которых имеют возможное промышленное значение [10, 11].

Оледенение на архипелаге занимает площадь 24400 км². До 73° с.ш. распространены лишь небольшие горные ледники, но севернее они постепенно переходят в сплошной покров. Самый крупный ледник достигает площади 30 км², но многие другие значительно меньше. В настоящее время происходит заметное сокращение ледников. Например, за период с 1952 по 2012 г. их площади уменьшились на Северном острове на 95 км² и на Южном на 56 км² [12].

На островах архипелага распространены арктические почвы, отличающиеся в силу подавленных процессов почвообразования малой мощностью и преобладанием слабокислых почв с низким содержанием органики. На севере развиты ледяные пустыни. В целом почвы крайне бедные, развиты спорадически и, вероятно, практически не влияющие на химический состав речных вод на архипелаге [2].

Речная сеть на архипелаге в результате новейших поднятий суши носит молодой характер. Все реки северного острова имеют смешанное ледниково-атмосферное питание и зимой промерзают до дна. Большинство рек короткие (наиболее крупная 130 км), преимущественно горного типа, с малыми глубинами (не более 3.5 м), быстрым течением (1.5–2 м/с), каменистым порожи́стым руслом. На свободной от ледников поверхности распространены многочисленные озера.

Краткая характеристика водотоков в заливы Новой Земли

Залив Благополучия — один из самых северных и крупных заливов острова Северный. Это фьордообразный залив протяженностью 11 км, максимальная ширина 7 км (рис. 1), максимальная глубина 175 м. Террасообразные берега заканчиваются у воды скалистыми обрывами, чередующимися песчано-галечными пляжами. В самой северной части залива расположена бухта Укром-

ная глубиной 30 м, отделенная от залива неглубоким узким перешейком. В бухту разгружается крупный ручей Базовый, несущий воду с ледника Налли и большое количество мелких ручьев и водотоков, преимущественно со снеговым питанием [23]. На северном берегу вблизи входа в залив расположена широкая бухта Визе. Пляжи, через которые протекают водотоки, сложены крошкой из анкеритолитового сланца.

Залив Цивольки — фьордообразный залив острова Северный, на входе имеет ширину 16 км, в узкой части до 3 км, оканчивается выводным ледником Серп и Молот, с которого разгружается мутный поток пресных холодных вод. Глубина залива достигает 150 м вблизи зоны абляции ледника, средняя глубина 70 м. На южном берегу залива, ближе к выходу, разгружается река Ладыгина. Берега залива пологие, до 10–20 м, изрезаны оврагами временных водотоков, переходят в крутые холмы высотой до 300 м.

Залив Медвежий — один из южных заливов о. Северный, имеет длину более 25 км. Берега крутые и обрывистые, прорезаны оврагами. К заливу спускались три ледника, из которых в настоящее время к берегу в вершине залива подходит самый большой из них — ледник Витте.

Залив Степового расположен на восточном побережье острова Южный. Протяженность залива вглубь острова составляет 11 км с максимальной шириной 1.8 км. Берега залива холмистые, обрывистые. В кутовой части берега низменные, песчано-галечные, с протяженными отмелями и осушками. В залив разгружается большое количество ручьев, а также река Степового, которая в устье разделяется на протоки [2, 13].

Залив Абросимова — один из самых южных заливов на восточном побережье острова Южный. Залив вдается в берег на 6 км, максимальная ширина 2 км, максимальная глубина до 20 м. Берега гористые, с галечными пляжами, на входе в залив обрывистые. Залив делится на две бухты, северную и южную. В южную разгружается одноименная река Абросимова и большое количество водотоков [2].

Описание мест отбора проб приведено в табл. 1 и на рис. 1.

Отбор образцов воды водотоков проводился с поверхности ручьев, речек, небольших озер на берегах заливов, то есть всех пресноводных водоемов, питающихся талыми водами снежников или ледников. Пробы на борту судов фильтровались через ядерные поликарбонатные фильтры (г. Дубна, РФ) с размером пор 0.45 мкм под вакуумом. Фильтрат отбирали в полиэтиленовые

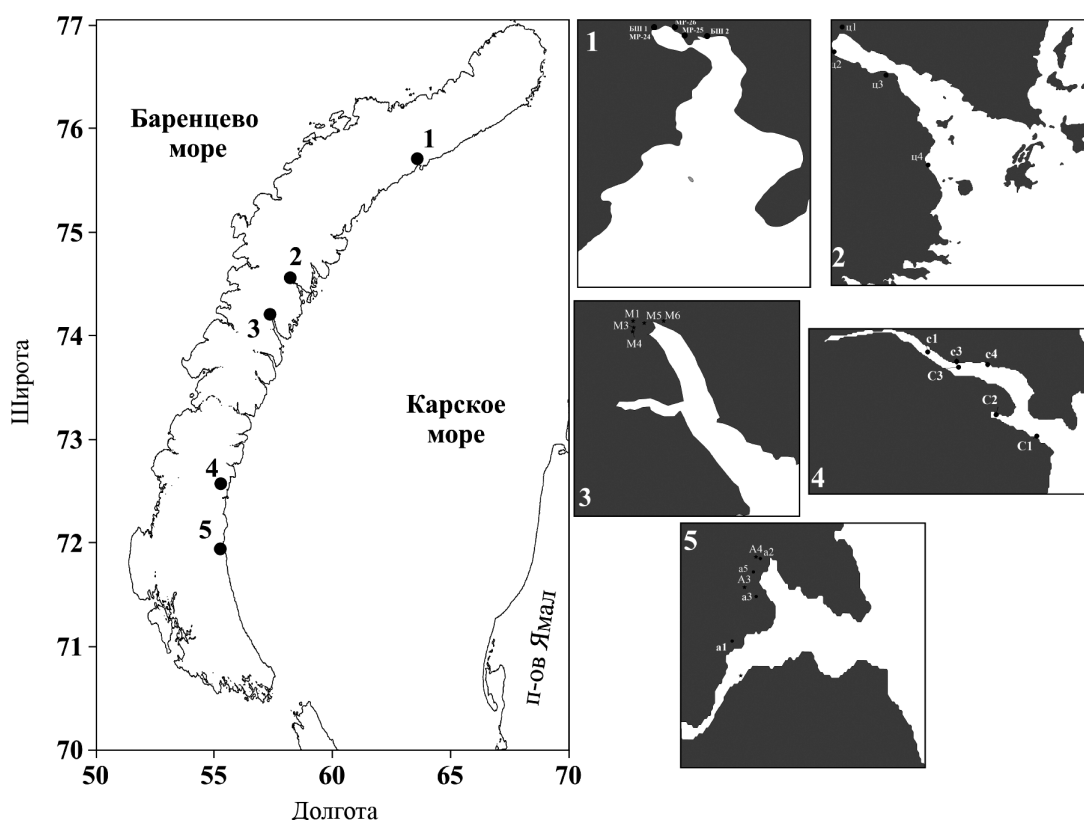


Рис. 1. Расположение заливов на Новой Земле: 1 – Благополучия, 2 – Цивольки, 3 – Медвежий, 4 – Степового, 5 – Абросимова.

Таблица 1. Перечень проб, отобранных в водотоках заливов Новой Земли в рейсах ИОРАН с описанием мест отбора

Проба	Рейс	Дата	Широта	Долгота	Описание
<i>Залив Благополучия</i>					
БШ 1	ПШ-125	15.09.2013	75.709	63.611	Водоток в бухте Укромная
БШ 2	ПШ-125	15.09.2013	75.695	63.714	Бухта Визе
МР-24	ПШ-128	30.08.2014	75.710	63.610	Бухта Укромная. Мелкий ручей. 100 м от устья. Соленоватая вода с водорослями. Дно – вязкий ил с крошкой сланца
МР-25	ПШ-128	30.08.2014	75.709	63.610	Эстуарий ручья в бухте Укромная
МР-26	ПШ-128	30.08.2014	75.703	63.663	Кут в северо-восточной части залива. Ручей, как в б. Укромная
Бурый сланец	ПШ-128	01.09.2014	75.710	63.610	Отобран в бух. Укромная, в русле ручья
Черный сланец	ПШ-128	01.09.2014	75.710	63.610	Отобран в бух. Укромная, в русле ручья
<i>Залив Цивольки</i>					
ц 2–1	ПШ-128	01.09.2014	74.543	58.206	Ручей, вытекающий из ледника. Вода прозрачная, дно и берег сложены черным сланцем, много водорослей
ц 2–2	ПШ-128	01.09.2014	74.543	58.209	Берег, зона смешения в месте впадения ручья
ц 3	ПШ-128	02.09.2014	74.539	58.207	Ручей, русло сложено чёрным сланцем
ц 4–1	ПШ-128	02.09.2014	74.374	58.611	Залив, похожий на лиман, в устье практически пересохой р. Ладыгина. Вода солоноватая, ложе ручья и береговая зона сложена черным песком (крошка черного сланца). В ручье много остатков ламинарий.
ц 4–2	ПШ-128	02.09.2014	74.373	58.612	Урез залива около лимана

Таблица 1. Окончание

Проба	Рейс	Дата	Широта	Долгота	Описание
<i>Залив Медвежий</i>					
M1	АМК-76	28.07.2019	74.207	57.38	Устье водотока около северной части ледника. Поток быстрый, мутный. Берег сложен мореной из крупного камня и сланца.
M3	АМК-76	28.07.2019	74.196	57.341	Зона абляции ледника
M4	АМК-76	28.07.2019	74.189	57.334	Устье водотока около южной части ледника. Поток быстрый, мутный. Берег сложен мореной из крупного камня и сланца, а также мелкого песка
M5	АМК-76	28.07.2019	74.204	57.407	Водоток на северном берегу залива, мелкий. Течение слабое, вода мутная.
M6	АМК-76	30.07.2019	74.160	57.509	Ручей в северной части залива, питаемый ледником. Дно галечное.
<i>Залив Степового</i>					
с 1–1	ПШ-128	04.09.2014	72.571	55.294	Мелкий ручей, частично покрыт льдом, дно и берега — черный сланец, местами на поверхности воды и льда грязная пена
с 1–2	ПШ-128	04.09.2014	72.571	55.294	Мелкий ручей, берега и дно — черный сланец, чистая вода, местами течет из-под земли
с 3	ПШ-128	04.09.2014	72.565	55.356	Солоноватое озеро
с 4	ПШ-128	04.09.2014	72.563	55.420	Лиман, в который впадают два ручья. Соединен протокой с заливом
C1	АМК-76	26.07.2019	71.561	58.241	Быстрый мелкий ручей с галечным дном.
C2	АМК-76	26.07.2019	74.543	58.209	Ручей, впадающий в лиман. Отделен от залива водотоком.
C3	АМК-76	26.07.2019	74.539	58.207	Лодочная станция в заливе, 0 м
C4	АМК-76	26.07.2019	74.374	58.611	Река с мощным потоком чистой воды. Дно галечное.
<i>Залив Абросимова</i>					
a1	ПШ-128	06.09.2014	71.942	55.276	Система из 3х озер, соединенных друг с другой протокой. 1-е озеро солоноватое, 2-е почти пресное, 3-е пресное
a2	ПШ-128	05.09.2014	71.936	55.332	Озеро
a3	ПШ-128	05.09.2014	71.939	55.367	Озеро
a5	ПШ-128	06.09.2014	71.947	55.303	Рукав дельты реки. Дно — мелкий, серый сланец. Вода солоноватая
A1	АМК-76	24.07.2019	71.917	55.330	Большая река. Поток медленный и мутный. Дно сложено преимущественно камнями с илом.
A3	АМК-76	24.07.2019	71.942	55.272	Ручей из глубины острова. Поток быстрый и чистый
A4	АМК-76	24.07.2019	71.950	55.287	Большое озеро с чистой водой

Примечание. * “ПШ-125” — 125 рейс НИС “Профессор Штокман” в Карское море, сентябрь 2013 г.; “ПШ-128” — 128 рейс НИС “Профессор Штокман” в Карское море, сентябрь 2014 г.; “АМК-76” — 76 рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” в Карское море, июль 2019 г.

флаконы и подкисляли особо чистой азотной кислотой до pH 2. Предварительно взвешенные фильтры с собранной на них взвесью высушивались и сохранялись для последующих исследований.

Образцы анкеритолитовых сланцев были отобраны в 2014 г. в зал. Благополучия с берега в районе точки БШ1 (см. рис. 1), вблизи устья впадающего в залив ледникового водотока р. Укромяна.

Массовая концентрация взвеси была определена как отношение массы вещества, собранного на фильтр, к объему профильтрованной воды. Образцы воды и взвеси из экспедиций 2013–2014 гг. были проанализированы методом пламенной атомной абсорбционной спектроскопии (ПААС) на спектрофотометре “Квант-2А” (определяемые элементы: Fe, Mn, Cu, Ni, Zn). Микроэлементный состав отдельных проб взвеси (отобранных в рейсах НИС “Профессор Штокман”), а также всех проб фильтрованной воды и взвеси, отобранных в рейсе 2019 г., был проанализирован методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на приборе Agilent 7500. Перед проведением химического анализа пробы взвеси были разложены смесью концентрированных кислот по методике, описанной в [1, 47]. Определение Fe и Zn во всех пробах проводилось методом ПААС. Ошибка определения не превышала 5–15% для разных элементов. Контроль правильности осуществлялся путем применения стандартных образцов речной воды SLRS-4 и SLRS-6 (Канада) при анализе воды и стандарта прибрежного осадка GSD-2 (КНР) — при анализе проб взвеси.

В работе было исследовано всего 30 проб воды и 34 пробы взвеси, отобранных на берегах заливов Благополучия, Цивольки, Абросимова, Степового в период летней межени в 2013 и 2014 гг. и на берегах тех же, а также залива Медвежьего, Степового и Абросимова в период спада весеннего стока в 2019 г.

В ситуации, когда пробы воды отобраны из самых разных водных объектов практически по одному экземпляру из каждого, наиболее предпочтительным представляется оперирование усредненными величинами по всем охваченным объектам.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Концентрации растворенных элементов. Результаты определения четырех металлов методом ПААС (см. верхнюю часть табл. 2), показывают, что даже при отмеченной вариации концентрации Fe и Mn уступают типичному для речных вод

уровню, а концентрации Zn во всей выборке оказываются ниже предела обнаружения этого метода. Напротив, концентрации никеля и меди несколько превышают речные концентрации.

В нижней части табл. 2 представлены данные определений большой группы элементов, в том числе Mn, Cu и Ni методом ИСП-МС, что позволяет подсчитать средние концентрации для всех имевшихся в распоряжении проб воды (30 проб

Таблица 2. Растворенные микроэлементы в водотоках и озерах архипелага Новая Земля

№ п/п	Проба	Растворенные формы элементов			
		Fe	Mn	Ni	Cu
		мкг/л			
Пределы обнаружения		1.0	0.5	0.5	0.5
Залив Благополучия					
1	БШ-1	27	48	н.о.	н.о.
2	БШ-2	52	3	н.о.	0.6
3	МР 24	21.1	5.8	4.1	3.2
4	МР 25	38.2	8.2	6.9	1.6
5	МР-26	7.8	н.о.	3.5	н.о.
Залив Цивольки					
6	ц 1—1	63	14	0.7	2.5
7	ц 1—2	10.3	н.о.	н.о.	н.о.
8	ц 2—1	9.2	5.8	2.2	н.о.
9	ц 2—2	92	13.4	н.о.	н.о.
10	ц 3—1	28.8	15.6	2.4	н.о.
11	ц 3—2	34	17.6	н.о.	н.о.
12	ц 4—1	18.6	52.1	6.4	1.1
13	ц 4—2	14.9	58.2	0.5	н.о.
Залив Степового					
14	с 1—1	27.7	7.4	3.5	н.о.
15	с 1—2	18.3	2.1	2.3	0.9
16	с 3	8.4	2.7	н.о.	8.8
17	с 4—1	н.о.	3.9	н.о.	н.о.
18	с 4—2	н.о.	3.9	н.о.	н.о.
Залив Абросимова					
19	а 1—1	5	5.9	1.9	н.о.
20	а 1—2	15.8	6.1	н.о.	3.9
21	а 2	42	13.7	2.6	7.1
22	а 3	53	12.7	6.2	1.6
23	а 5—1	24.4	2.3	н.о.	н.о.
24	а 5—2	10.4	1.9	3.1	3.9

Таблица 2. Продолжение

№ п/п	Проба	Растворенные формы элементов										мкг/л												нг/л											
		Fe		Mn	Ni	Cu	V	Co	Ge	As	Rb	Sr	Y	Mo	U	Cd	Cs	Ba	Pr	Nd	Sm	Eu	Dy	Er	Yb										
Пределы обнаружения		1.0	0.05	0.08	0.083	0.007	0.0026	0.009	0.08	0.0014	0.05	0.007	0.01	0.0004	0.0015	0.0007	0.7	0.51	4.4	0.8	0.21	0.2	0.18	0.4											
Залив Мелвежий																																			
25	М 6	н.о.	3.6	0.87	0.71	0.009	0.079	0.013	н.о.	0.04	53	н.о.	0.26	0.008	0.039	0.0009	0.7	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.										
Залив Степового																																			
26	С 1	6.9	0.74	0.38	1.5	0.079	0.007	0.009	0.12	0.14	62	0.007	0.39	0.005	0.012	0.0008	0.8	н.о.	6.6	1.35	0.22	0.6	1.2	1.3											
27	С 2	4.1	6.03	0.99	1.49	0.032	0.033	0.042	0.11	0.22	356	0.007	0.28	0.072	0.60	0.0013	9.4	н.о.	н.о.	2.25	0.42	1.0	0.63	н.о.											
28	С 3	н.о.	10.15	3.47	3.66	0.071	0.24	0.10	0.29	0.89	114	0.008	0.29	0.016	0.14	0.0018	1.9	1.4	12.3	0.8	н.о.	2.6	0.67	н.о.											
29	С 4	н.о.	0.54	0.20	0.75	0.052	0.003	0.009	0.08	0.07	17.4	н.о.	0.39	0.002	0.022	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.4	н.о.	0.72											
Залив Абрисимова																																			
30	А 1	н.о.	1.52	0.19	1.13	0.073	0.014	н.о.	0.082	0.066	13.7	0.009	0.08	0.004	0.019	н.о.	н.о.	н.о.	7.6	2.2	н.о.	1.3	1.3	1.3											
31	А 3	7.4	3.77	0.56	1.76	0.047	0.037	0.027	0.12	0.33	195	0.012	0.30	0.046	0.018	0.0023	3	0.8	8.3	1.5	0.55	1.6	1.6	0.8											
32	А 4	н.о.	2.4	0.41	5.82	0.14	0.026	0.026	0.49	1.42	213	0.009	1.19	0.051	0.024	0.0052	1.9	0.55	5.1	3.9	н.о.	1.1	1.95	2.8											
Средние значения		25.6	11.1	2.43	2.74	0.063	0.0284	0.032	0.18	0.40	128	0.009	0.40	0.026	0.109	0.002	2.95	0.92	8.0	2.0	0.40	1.23	1.23	1.38											
Стандартное отклонение (σ)		21.4	15.0	2.07	2.32	0.039	0.0785	0.03	0.15	0.50	119.03	0.00	0.33	0.03	0.20	0.00	3.27	0.44	2.70	1.08	0.17	0.73	0.52	0.84											
n		25	30	23	20	8	7	7	7	8	8	6	8	8	8	6	6	3	5	6	3	7	7	5											
Реки мира [36]		66	34	0.8	1.48	0.71	0.148	0.0068	0.62	1.63	60	0.04	0.42	0.372	0.08	0.011	23	40	152	36	9.8	30	20	17											
Отношение средних концентраций в водотоках и озерах Новой Земли к их среднемировой концентрации в реках мира (C _{водот./C_{реки}})		0.39	0.33	3.0	1.85	0.09	0.37	4.7	0.298	0.25	2.1	0.22	0.95	0.07	1.37	0.186	0.13	0.023	0.053	0.056	0.040	0.041	0.061	0.08											

из всех водотоков в 5 заливах и озерах Новой Земли). При построении табл. 2 учитывалось, что из 44 определявшихся элементов почти половина (21) оказалась ниже предела обнаружения применявшихся методов (26). К числу таких элементов отнесены те, концентрации которых ниже предела обнаружения во всех пробах (в мкг/л: $Zn < 1$, $Sc < 0.12$, $Nb < 0.0005$, $Hf < 0.0001$, $Ta < 0.001$, $W < 0.006$, $Tl < 0.002$, $Pb < 0.13$, $Bi < 0.004$, $Th < 0.0005$), а также обнаруженные менее чем в половине проанализированных проб, когда адекватно оценить среднюю концентрацию не представлялось возможным (Ti, Cr, Ga, Zr, La, Ce, Gd, Tb, Ho, Tm, Lu). По этой причине перечисленные элементы не были включены в таблицу.

Сравнение полученных концентраций со средними для речных вод показано на рис. 2.

Видно, что только 5 элементов в водотоках и озерах архипелага незначительно превышают среднемировые концентрации в реках (Ge примерно в 4.7 раза, Ni в 3, Sr в 2.1, Cu в 1.8, Cd в 1.4; Mo не отличается от рек мира). Элементы с отношением концентраций к среднему уровню в диапазоне 0.1–0.5 это Co, Fe, Mn, As, Rb, Y, U, Cs, Ba, с отношением 0.01–0.1 – Zr, V, Ga, у РЗЭ – Pr, Nd, Sm, Dy, Er – отношение около 0.04–0.05, у Yb – 0.08, остальных РЗЭ – ниже 0.01. Следует отметить, что для ряда тяжелых металлов и группы щелочноземельных элементов отношение $C_{\text{водот.}}/C_{\text{реки}}$ прямо снижается с ростом атомного веса – Co – 0.37, Mn – 0.29, Rb – 0.25, Y – 0.22, Cs – 0.18 и Ba – 0.13. Подобную тенденцию отмечали авторы работы о воде р. Колымы [17].

Столь низкие концентрации подавляющего числа микроэлементов в воде природных объек-

тов впервые отмечены нами за полвека исследований в области геохимии природных вод. Причины подобной ситуации будут рассмотрены в разделе “Обсуждение результатов”.

Содержание микроэлементов во взвеси. Концентрация взвеси в водотоках архипелага (табл. 3 и 4) колеблется в большом интервале – от 0.5 до 508 мг/л при среднем значении для всех 34 проб взвеси 38.8 мг/л. Самые низкие концентрации характерны для малых озер и спокойных приустьевых участков рек, тогда как высокие концентрации встречаются в высокодинамичных водотоках. Содержания химических элементов во взвеси показаны в табл. 3 и 4, где наряду с этими данными представлены средние концентрации элементов для всех исследованных в работе проб взвеси. Сравнение средних значений в водотоках и озерах со средними содержаниями во взвеси рек мира демонстрируется на рис. 3.

Основное количество элементов во взвеси водотоков и озер присутствует в концентрациях, сопоставимых со взвесью рек мира – отношения для них находятся в пределах от 0.5 до менее 2 (кроме Ti – 2.2, Mo – 2.3 и Cd – 2.8). Только у некоторых элементов отношение меняется от 0.5 до 0.1: Ti, As, Pb, Th, W, Ta, Nb, Bi. Таким образом, микроэлементный состав взвеси водотоков и озер архипелага гораздо ближе к среднемировому составу речной взвеси, чем это имеет место с растворенными формами элементов.

Соотношение растворенных и взвешенных форм микроэлементов. Еще в середине 70-х гг. прошлого века И.И. Волков [3] показал, что соотношение между растворенными и взвешенными формами элементов в речных водах зависит как от химических свойств элементов (от геохимической

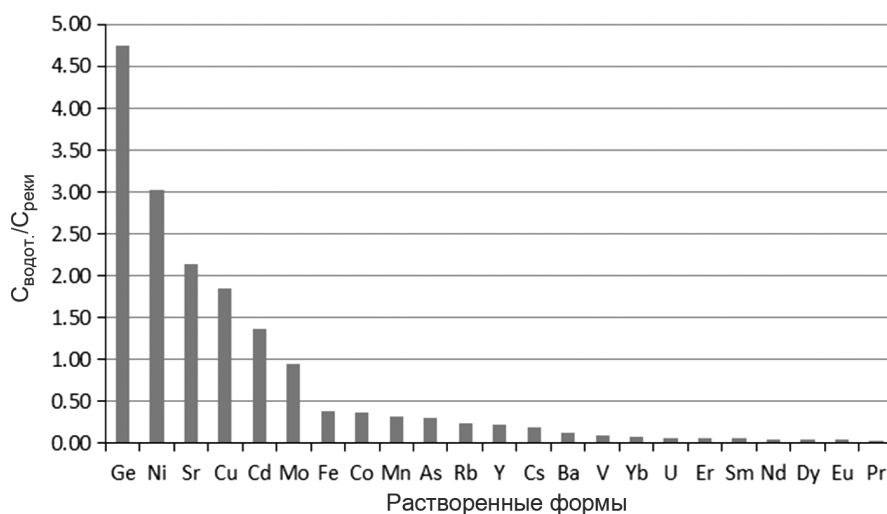


Рис. 2. Сравнение средней концентрации микроэлементов в водотоках и озерах Новой Земли с их среднемировой концентрацией в реках мира [36]: ($C_{\text{водот.}}/C_{\text{реки}}$).

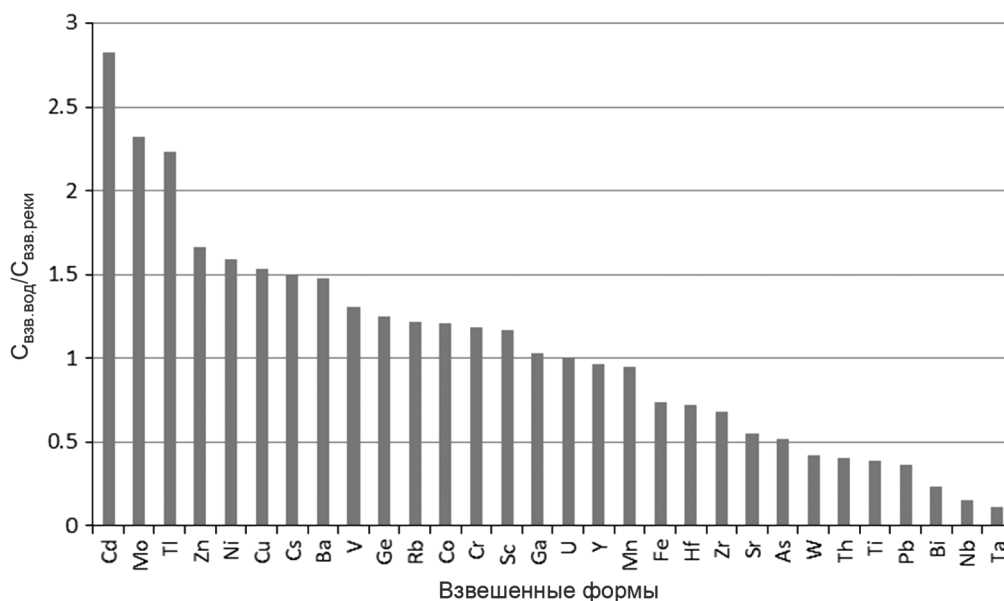


Рис. 3. Сравнение среднего содержания микроэлементов во взвеси водотоков и озер Новой Земли с их среднемировым содержанием во взвеси рек мира [49].

подвижности элемента зависит его концентрация в воде), так и от концентрации взвеси и содержания элемента в ней. Средняя концентрация взвеси в водотоках и озерах сравнительно низка (38.8 мг/л) и потому доля взвешенной формы элементов здесь существенно ниже, чем в среднем в реках. Наши данные показывают, что по отношению фракции растворенной части к суммарному содержанию элементы выстраиваются в ряд (в %) — Sr (97), Mo (60), Cd и Cu (40), Ni и Ge (35), As (20), U (17), Mn (15), Ba и Rb (9–10). Для остальных из определявшихся элементов резко преобладает взвешенная форма — от 98% для Fe до более 99% для всех РЗЭ.

В целом обнаруженная последовательность повторяет ту, которая ранее была установлена для речных вод, хотя и с иными величинами долей из-за более высокой концентрации взвеси в реках (около 30–50% от суммы в растворенном виде для Sr, As, Mo, Cd, тогда как для Fe, Ti, всех РЗЭ и ряда других малоподвижных элементов более 99% приходится на взвеси [6]).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как следует из представленных выше результатов, концентрации большинства растворенных химических элементов в водотоках и озерах довольно низки по сравнению со средними концентрациями в глобальном речном стоке. Причина этого вполне понятна — подавленное химическое выветривание по причине сурового климата и очень короткого периода (не более

2–3 месяцев в году), когда породы подвергаются выветриванию. Как выше отмечалось, малые реки архипелага имеют смешанное ледниково-атмосферное питание. К сожалению, нет никаких данных о микроэлементном составе снега и льдов в бассейнах заливов. Однако мы располагаем собственными данными о концентрациях 8 металлов в образцах снега и льда, полученных в 14-м рейсе НЭС “Академик Федоров” в сентябре-октябре 1998 г. на 4-х полигонах в Баренцевом море в районе 82° с.ш. между архипелагами Шпицбергена и Северная Земля [7]. Средние концентрации металлов в пробах снега (8 проб) составляли для Fe — 0.31 мкг/л, Cu — 0.22 мкг/л, Ni — 0.21 мкг/л, Cr — 0.06 мкг/л, Cd — 0.07 мкг/л и Pb — 0.04 мкг/л (концентрации Mn и Co во всех пробах оказались ниже пределов обнаружения метода беспламенного ААС — 0.5 мкг/л для первого и 0.1 мкг/л для второго). В 5 пробах льда из кернов, пробуренных во льдах толщиной 2–3 м, определения показали одинаковые со снегом концентрации Fe и Pb (определения Cd, Cu, Ni были признаны некондиционными из-за загрязнения проб при бурении льда).

Интересные результаты были получены в шведской арктической экспедиции “Имер-80” на переходе от Северной Гренландии до Земли Франца Иосифа летом 1980 г. [41]. Анализы проб свежеснежного снега показали еще более низкие концентрации, чем в нашей экспедиции 1998 г. Однако гораздо более близкие к нашим оказались концентрации в пробах лежалого (возрастом около 1 года) снега. Результаты шведских

Таблица 3. Содержание микроэлементов во взвеси водотоков и озер архипелага Новая Земля по материалам 2013–2014 гг.

№ п/п	Проба	Концен- трация взвеси, мг/л	Fe	Zn	Mn	Ni	Cu	Ti	V	Cr	Co	Ge	As	Zr	Nb	Mo	Ba	Tl	Pb	Th	U	
																						%
Залив Благополучия																						
1	БШ-1	5.5	1.6	100	350	13	31	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
2	БШ-2	230	1.5	107	500	40	31	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
3	МР24	1.29	2.9	380	110	н.о.	320	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
4	МР25	1.15	3.3	325	2000	108	390	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
5	МР26	0.40	3.94	н.о.	3000	100	184	790	55	120	19.2	1.5	н.о.	93	н.о.	25	440	н.о.	78	3.0	3.5	
Залив Цивольки																						
6	ц1-1	125	6.3	н.о.	1050	107	78	1680	320	163	30.3	1.65	26	188	3.6	4.7	1274	1.5	29	10.4	4.6	
7	ц1-2	508	0.98	н.о.	330	18	11	290	43	28	4.7	0.6	7.6	26	0.65	0.98	164	6.2	3.4	0.42	0.87	
8	ц2-1	1.73	4.4	350	1300	18	98	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
9	ц2-2	37.1	3.0	100	760	43	33	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
10	ц3-1	8.88	3.8	180	870	100	48	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
11	ц3-2	6.7	7.04	н.о.	4600	74	53	820	148	125	20.6	1.3	н.о.	128	1.1	8.7	288	0.37	13	4.3	3.8	
12	ц4-1	5.39	9.1	430	1500	230	110	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
13	ц4-2	1.46	5.5	720	2000	253	210	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
Залив Степового																						
14	с1-1	43.5	2.8	170	1450	90	56	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
15	с1-2	0.87	1.6	300	1250	н.о.	150	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
16	с3	2.58	0.82	290	870	н.о.	170	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
17	с4-1	69.2	1.3	60	500	35	24	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
18	с4-2	1.41	3.91	н.о.	2050	96	79	305	32	93	27	0.63	5	36	н.о.	15.5	134	н.о.	38	1.7	1.9	
Залив Абросимова																						
19	а1-1	1.14	3.25	310	1400	н.о.	21	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
20	а1-2	2.03	1.80	180	780	56	65	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
21	а2	37.9	1.85	н.о.	430	59	43	320	67	47	8.5	0.77	19	51	0.17	1.7	900	0.25	8.5	1.5	1.2	
22	а3	4.11	3.65	400	2300	21	11	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
23	а5-1	0.34	2.80	1100	2900	н.о.	320	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
24	а5-2	0.70	1.50	480	1300	370	200	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	

исследователей были следующими (первая цифра — свежеснежный снег, вторая — лежалый): Cu — 0.013 и 0.097, Ni — 0.022 и 0.195, Co < 0.005 и 0.006, Cd — 0.0004 и 0.005, Pb — 0.013 и 0.195 (все в мкг/л). Авторы делают вывод, что лежалый снег обогащен Cu, Ni, Cd, Pb в 7–15 раз относительно свежеснежного снега.

Эти данные свидетельствуют о том, что концентрации в талых водах снега и льда, по крайней мере, для рассмотренных здесь элементов, оказываются на более низком уровне, чем воды водотоков архипелага Северной Земли. Для достижения показанных в табл. 2 средних концентраций металлов явно недостаточно только одного источника талых вод. До наблюдаемого уровня концентраций требуется другой источник, а именно химическое выщелачивание пород водосбора. Даже подавленное химическое выветривание оказывается достаточным, чтобы повысить до наблюдаемого в водотоках и озерах уровень концентраций микроэлементов.

Важнейшим фактором влияния на геохимическую подвижность микроэлементов и их концентрацию в речных водах является концентрация в них растворенного органического углерода ($C_{орг}$). К сожалению, имевшиеся в данной работе пробы воды не предназначались для определений органического углерода. В литературе отсутствуют публикации с результатами определений $C_{орг}$ в водотоках и озерах Новой Земли. В работе [20] была сделана попытка оценить концентрацию $C_{орг}$ в водотоках залива Благополучия. Авторы использовали данные о содержании во впадающих в залив водотоках органического фосфора, которые были пересчитаны по стехиометрическому соотношению в концентрации $C_{орг}$. Средняя концентрация $C_{орг}$, по этой оценке, оказалась равной 0.28 мг/л. По личному сообщению Н.А. Беляева типичные концентрации $C_{орг}$ в водотоках зал. Благополучия не превышают 0.5 мг/л. Эти значения оказываются в разы ниже средней концентрации $C_{орг}$ в водах рек Арктики (Обь — 9.25 мг/л, Енисей — 8.3 мг/л, Лена — 8.7 мг/л, Колыма — 6.2 мг/л [35]).

В работах [18, 19, 35, 46] было показано, что тренд снижения концентраций микроэlementного состава речных вод с запада на восток связан не только с усилением суровости климата и резким увеличением распространенности сплошной многолетней мерзлоты на водосборах. Большую изменчивость концентраций микроэлементов по сравнению с изменчивостью минерализации вод авторы [18, 19, 46] связывали со значительным влиянием на их подвижность сорбционных процессов.

В небольшую группу элементов, средняя концентрация которых в водотоках и озерах Новой Земли слегка превышает речную концентрацию, входят высокоподвижные и довольно легко выщелачиваемые из пород водосбора Sr, Cd, Ni, Cu, а также Ge. В числе наиболее подвижных элементов в работе [36] были названы следующие из рассматриваемых в данной работе: Cd, As, Mo. Авторы использовали так называемый глобальный индекс мобильности, представляющий собой отношение C_w/C_c , где C_w — средняя концентрация элемента в глобальном речном стоке, а C_c — концентрация его в верхней континентальной коре. Эти отношения сравниваются с данным отношением для натрия, принятым за единицу. Для элементов Cd, As, Mo отношение C_w/C_c превышает таковое для Na в 2–3 раза [36]. В группу достаточно подвижных элементов, для которых C_w/C_c составляет немногим более 0.1 от C_w/C_c натрия, входят Sr, U, W, Mn, Ba, Rb, Cu, Co, Ni. Подобное отношение для германия составляет около 0.05 и к числу подвижных его трудно отнести. В свете сказанного трудно понять причину, по которой в группе элементов с относительно высокой концентрацией в водотоках Новой Земли оказался германий. К сожалению, в стандартах речной воды SLRS-4 и SLRS-6 данный элемент не был аттестован и мы не имели возможности проконтролировать надежность определений. В то же время, превышение его концентрации в природных водах над средним уровнем для рек мира (в 4.7 раза) является вполне обычным для микроэлементов с такими низкими концентрациями.

Для никеля более ожидаемым было бы место в группе элементов с отношением концентраций в водотоках к концентрациям в реках мира от менее 1 до 0.1 (рис. 2), куда входят некоторые щелочные — Rb, Cs, Ba и ряд тяжелых металлов. Учитывая в целом низкое содержание растворенных металлов в водотоках архипелага, даже незначительное превышение типичных для рек концентраций никеля вызывает предположение о возможном антропогенном загрязнении. Установлено, что основной источник воды для ледников архипелага — это атмосферные выпадения, тогда как растворенные и взвешенные вещества в водотоки и озера поступают как при таянии снега и льдов, так и при химическом и физическом выветривании пород водосбора. На источники воды указывают данные по изотопному составу вод ледников Розе и Цивольки [8, 9, 13]. В таком случае можно было бы предположить, что аэрозоли, обогащенные никелем, были перенесены к ледникам архипелага с Кольского полуострова,

Таблица 4. Содержание микроэлементов во взвеси водотоков и озер архипелага Новая Земля по материалам 2019 г.

№ п/п	Проба	Концентрация взвеси, мг/л	Fe	Zn	Mn	Ni	Cu	Ti	V	Cr	Co	Ge	As	Zr	Nb	Mo	Ba	Tl	Pb	Th	U	Sc	Ga
			%	мкг/г																			
Залив Медвежий																							
1	M1	65.6	4.30	285	1030	220	75	1750	223	154	30.8	1.36	15.5	77	2.0	2.75	738	1.15	12.4	6.35	3.27	20.1	18.5
2	M3	8.12	0.77	300	1190	194	99	2080	270	184	29.3	2.60	26.2	129	2.4	5.04	1360	1.5	17.7	8.51	4.69	24.9	25.5
3	M4	43.6	5.5	305	840	184	95	1650	275	163	27.6	1.60	27.5	179	2.7	5.32	1250	1.29	15.3	9.55	7.80	23.2	25.7
4	M5	69.0	5.3	350	1690	189	124	1700	251	175	40.6	2.20	25.8	156	2.5	5.0	1290	0.99	19.3	5.66	6.50	20.9	21.4
5	M 6	13.2	7.8	190	2850	180	130	1600	228	183	58.5	1.25	29.0	242	1.75	5.44	1580	0.68	26.4	6.82	4.20	27.4	21.7
Залив Степового																							
6	C1	1.44	4.80	550	3590	127	151	2720	175	227	33.6	2.0	17.2	127	1.9	4.40	875	0.4	20.7	3	1.76	19.4	10.1
7	C4	12.9	5.4	172	2180	154	80	2910	180	152	37.5	2.08	18.2	125	2.7	1.68	1020	0.43	19.5	4.5	2.47	21.1	18
Залив Абросимова																							
8	A1	6.0	5.80	200	1340	174	66	3720	193	159	24.9	2.2	16.5	105	3.3	1.27	482	0.33	13.4	4.9	2.07	25.6	18
9	A3	0.52	3.75	1100	4180	93	312	2540	96	310	21.3	1.05	16.1	18	1.65	0.78	236	н.о.	24.6	н.о.	н.о.	11.2	н.о.
10	A4	2.2	3.80	300	1830	121	83	2600	137	176	22.2	1.85	14.6	67	2.70	22.6	300	0.28	15.7	2.7	1.27	18.5	9.4
Средние значения		38.8	3.70	335	1600	119	116	1720	168	154	27.3	1.54	18.9	109	1.76	6.93	732	1.18	24.6	4.89	3.35	21.2	18.7
Стандартное отклонение (σ)		94.8	2.07	257	1100	84.4	97.6	1020	90.5	66.1	12.6	0.60	7.31	62.9	0.97	7.53	486	1.58	17.1	3.00	2.00	4.56	5.84
n		34	34	29	34	29	34.00	16	16	16	16	16	14	16	14	16	16	13	16	15	15	10	9
Реки мира [49]*		480	5.03	208	1679	74.5	75.9	4400	129	130	22.5	1.23	36.3	160	13.5	2.98	522	0.53	61.1	12.1	3.3	18.2	18.1
Отношение среднего содержания элементов во взвеси водотоков и озер Новой Земли к их среднемировому содержанию во взвесах рек мира (C _{взв.вод} /C _{взв.рек})		0.08	0.74	1.61	0.95	1.60	1.53	0.39	1.30	1.18	1.21	1.25	0.52	0.68	0.13	2.33	1.40	2.23	0.40	0.40	1.02	1.16	1.03
Бурый сланец			0.72	20.6	136	43.7	87.2	5480	262	100	3.8	3.0	9.2	176	15.3	0.58	300	н.о.	4.02	7.46	5.32	54	22.3
Черный сланец			0.56	32.2	202	57.2	56	5140	218	88	10.9	2.6	13.7	168	13.02	3.08	327	н.о.	4.19	7.51	3.65	46	18.7

Примечания: * РЗЭ в реках мира по [16].

Rb	Sr	Y	Cd	Cs	Hf	Ta	W	Bi	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
мкг/г																						
Залив Медвежий																						
125	129	18.1	9.9	8.2	1.97	0.076	0.26	н.о.	15.9	31.7	4.36	17.3	3.84	0.97	4.08	0.48	3.08	0.84	2.05	0.30	2.07	0.34
160	206	20.4	11.8	13.3	3.39	0.13	0.58	0.15	20.15	43.2	5.58	22.4	5.04	1.15	4.72	0.55	3.8	0.82	2.46	0.36	2.73	0.44
224	177	34.5	4.16	15.4	3.39	0.16	0.59	0.31	38.3	83.8	7.70	29.9	6.37	1.49	6.04	0.71	4.52	0.42	2.82	0.43	3.04	0.99
85	68	23.8	3.18	7.55	3.92	0.11	0.34	0.18	16.3	34.4	4.52	18.8	4.57	1.27	5.26	0.65	4.5	0.93	2.85	0.43	3.17	0.50
104	68	25.3	0.92	11.8	4.45	0.07	0.42	0.25	18.5	39.7	4.97	20	4.85	1.42	5.23	0.65	4.72	1.03	3.33	0.46	3.42	0.54
Залив Степового																						
69.5	95	19.6	1.79	8.6	2.35	0.21	1.98	н.о.	17.2	34.3	4.72	19.1	4.35	1.25	4.6	0.57	3.66	0.77	2.17	0.27	2.14	0.38
56.3	67	21.1	0.49	7.7	3.1	0.24	0.26	0.12	11.7	28	4.04	17.9	4.39	1.23	4.88	0.59	4.38	0.92	2.65	0.36	2.62	0.41
Залив Абросимова																						
73	76	24	0.35	6.9	2.5	0.21	0.62	н.о.	16.1	35.8	4.82	20.2	4.98	1.28	5.11	0.64	4.48	0.40	2.78	0.38	2.67	0.39
7.6	70.5	7.3	5.6	н.о.	н.о.	н.о.	2.5	н.о.	6.9	10.2	1.36	6.8	1.45	0.59	1.62	0.17	1.51	0.28	1.24	0.03	0.72	0.072
50.8	80	17.3	5.6	4.4	1.09	0.08	н.о.	н.о.	14	30.4	4.32	17.4	3.86	1.10	4.56	0.53	3.47	0.68	1.03	0.27	1.83	0.29
95	104	21.1	4.38	9.32	2.9	0.14	0.84	0.202	17.51	37.15	4.64	18.98	4.37	1.18	4.61	0.55	3.81	0.71	2.34	0.33	2.44	0.44
61.6	50.4	6.91	3.94	3.47	1.03	0.06	0.82	0.08	8.20	18.63	1.55	5.66	1.25	0.25	1.17	0.15	0.97	0.26	0.73	0.12	0.79	0.23
10	10	10	10	9	9	9	9	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
78.5	187	21.900	1.55	6.25	4.04	1.27	1.99	0.85	32	68	7.7	29	5.8	1.4	5.6	0.79	4.5	0.9	2.6	0.38	2.5	0.4
1.21	0.56	0.96	2.83	1.49	0.72	0.11	0.42	н.о.	0.55	0.55	0.60	0.65	0.75	0.84	0.82	0.70	0.85	0.79	0.90	0.87	0.98	1.09
137	21	27	0.39	4.32	н.о.	н.о.	н.о.	0.26	16.24	36.45	4.49	16.3	3.66	1.06	4.46	0.88	4.87	1.04	3.41	0.55	3.18	0.56
105	23	26	0.19	4.38	н.о.	н.о.	н.о.	0.28	35.33	70.56	8.84	29.58	6.15	1.61	5.42	0.77	4.81	0.80	3.13	0.54	3.11	0.53

где происходит обработка медно-никелевых руд и попадание этих металлов в атмосферу. Исследования траекторий потоков в атмосфере в регионе архипелага показали, что периодически такие заносы атмосферных масс на архипелаг из региона Кольского полуострова возможны [5]. В работе приведены данные для 9 металлов в аэрозолях приводного слоя (осень 2011 г.). Отметим, что массовое отношение Cu/Ni в аэрозолях для всей акватории Карского моря равно 7.2, при этом на широтах $75\text{--}80^\circ$ с.ш. отношение возрастает до 13.5. Однако отношение меди к никелю в водотоках Новой Земли близко к 1 (табл. 2, 3 и 4), что не дает оснований для предположения об атмосферном источнике как важном для загрязнения снега, ледников и водотоков архипелага никелем и медью и, вероятно, другими металлами.

Концентрация растворенного кадмия в водотоках и озерах мало отличается от средней для рек мира (0.08 мкг/л) [36]. Однако концентрация растворенного кадмия в водотоках архипелага (0.109 мкг/л) превышает его концентрацию в воде реки Колымы (0.0056 мкг/л) [35] почти в 20 раз (табл. 2). Сравнение с рекой Колымой мы проводим в связи с тем, что именно эта крупная река наиболее близка по климатическим условиям к водотокам архипелага среди других крупных рек российской Арктики. Причина столь высокой региональной концентрации кадмия не совсем понятна. Детальное рассмотрение всех 8 проанализированных проб воды (табл. 2) показывает, что только две пробы резко выбиваются из общего ряда — это пробы 4 и 5 в таблице, полученные в заливе Степового (0.6 и 0.14 мкг/л). Без этих проб среднее для остальных 6 определений составляет 0.019 мкг/л, что гораздо ближе к уровню в водах Колымы. Стоит отметить, что поступающие с континента в бассейн Карского моря воздушные массы оказываются обогащены кадмием более чем на порядок сравнительно с воздушными массами в атмосфере над морем и массами смешанного состава [5].

Элементы-гидролизаты — РЗЭ, и те, концентрации которых почти во всех пробах воды оказались ниже пределов обнаружения весьма высокочувствительного метода анализа ИСП МС — Ga, Ti, Zr, Hf, Th, составляют отдельную группу элементов с низкой геохимической подвижностью и очень низкими концентрациями в водотоках.

Полученные результаты позволяют прийти к выводу, что в водотоках и озерах архипелага только геохимически подвижные и умеренно подвижные элементы близки к среднемировым концентрациям в реках. Элементы с низкой гео-

химической подвижностью, в основном элементы-гидролизаты, имеют в водотоках и озерах Новой Земли концентрации в десятки и даже сотни раз ниже речных.

Содержания взвешенных форм элементов в водотоках Новой Земли показали близкие к типичным для речной взвеси значениям (табл. 3 и 4). Здесь необходимо упомянуть работу исландских геохимиков [37]. Проводились наблюдения за восемью реками Исландии с 1961 по 2004 г. В период с 1998 по 2003 г. отбор проб в каждой реке и измерение концентрации химических элементов в растворе и взвеси проводили по 8–10 раз в год. Это позволило провести оценки скоростей выветривания в результате изменения климата в каждом водосборе. Сделан вывод о том, что каждый градус повышения температуры воздуха приводит к увеличению речного стока на 6–16%, скорости химического выветривания — на 4–14% и физического выветривания — на 8–30% в разных реках. Отмечается большее влияние климата на изменение скорости физического выветривания по сравнению с химическим, при этом влияние сильнее для нетронутых ледовых бассейнов с молодыми слагающими их породами.

Можно допустить, что процессы, протекающие в реках Исландии в достаточно суровых климатических условиях с широким распространением ледников, в какой-то мере сопоставимы с условиями на архипелаге Новая Земля. При таком допущении можно ожидать, что при потеплении и прогрессирующем таянии ледников и промерзших до дна водотоков образуются потоки талой воды, которые за довольно короткий срок не успевают растворить и вымыть из пород водосборов химические элементы в объемах, типичных для рек умеренных широт (ослабленное химическое выветривание). В то же время водные потоки будут разрушать и вымывать частицы сланцев, отличающихся сравнительно рыхлой по сравнению с вулканическими базальтами Исландии структурой, оставляя при этом частицы взвеси мало измененными из-за ослабленного химического выветривания. Эти предположения вполне согласуются с теми результатами, которые представлены в нашей работе: относительно низким концентрациям большого числа растворенных элементов в водотоках Новой Земли сопутствует достаточно близкое соответствие химического состава взвешенных частиц среднему составу взвесей рек мира. Естественно ожидать, что вымываться в первую очередь будут элементы из наиболее растворимых пород, типа карбонатных, и элементы с высокой геохимической

подвижностью. Такая ситуация и наблюдалась нами. В группу элементов с относительно высокими концентрациями входят некоторые щелочные и щелочноземельные металлы, характерные для карбонатов (Sr, Rb), и другие элементы с высокой геохимической подвижностью (Cd, Ni, Mo, Cu).

В работе [45] было показано, что бурый и черный сланцы, которые более корректно называть песчаным анкеритовым сланцем и анкеритовым сланцем с углистой примесью, содержат соответственно 26 и 0.4% CaCO_3 и 0.5 и 1.0% $\text{C}_{\text{орг}}$ (по данным рентгено-флуоресцентного анализа). Нам удалось выполнить микроэлементный анализ двух образцов сланцев (табл. 3 и 4). Особый интерес представляют средние содержания группы РЗЭ, поскольку это элементы-гидролизаты, наименее подверженные химическому выветриванию. Сравнение с типичными содержаниями РЗЭ во взвеси рек мира показывает, что при переходе от самых легких к самым тяжелым РЗЭ происходит систематическое возрастание отношения от La (0.52), Ce (0.53), Pr (0.59) к Lu (0.95) (табл. 3 и 4).

Выше мы уже отмечали, что такие отношения снижаются систематически с увеличением атомной массы элемента у ряда щелочных и некоторых тяжелых металлов для их растворенных форм. Здесь мы видим обратную зависимость отношений для взвешенных форм РЗЭ: с увеличением атомной массы элементов растёт воздействие химического выветривания на содержания элементов.

Из рис. 4 следует, что оба типа сланцев и взвеси водотоков и озер архипелага Новой Земли по составу РЗЭ довольно близки, особенно легкие РЗЭ в буром сланце и взвесах. Эти данные не противоречат сделанному ранее выводу, что именно доломитовые сланцы представляют собой один из наиболее вероятных источников поставки как

растворенного, так и особенно взвешенного вещества в заливы Новой Земли.

Как было упомянуто ранее, за последние десятилетия резко возросло число публикаций с информацией об элементном составе воды и взвеси важнейших рек российской Арктики. Большой интерес представляет сравнение этих рек по уровню концентраций микроэлементов в их водах. При таком сравнении необходимо учитывать вероятность того, что результаты в разных публикациях могут быть плохо сопоставимы из-за разницы в методах отбора проб, их подготовки и анализе. С этих позиций наша недавняя публикация [35] свободна от подобных ограничений. Выполнены определения около полусотни микроэлементов в воде 4-х крупнейших рек Российской Арктики — Оби, Енисея, Лены и Колымы, пробы которых отбирались и анализировались в течение круглого года одинаково. Сравнение показало, что три самые крупные реки Арктики — Обь, Енисей и Лена — весьма близки как по уровню минерализации вод, так и по средним концентрациям микроэлементов, и только воды Колымы оказались заметно беднее растворенными химическими элементами. Авторы работы [18] сравнили средние составы вод Колымы и вод рек бассейнов Белого и Баренцева морей (ББ) и рек бассейнов морей Карского и Лаптевых (КЛ). Показано, что минерализация и концентрации растворенных микроэлементов в реке Колыме ниже, чем в водах рек западных арктических бассейнов соответственно в 1.8 (ББ) и в 1.4 раз (КЛ) и в 3.1 (ББ) и 1.8 раз (КЛ). Таким образом, крупнейшие реки российской Арктики по уровню минерализации и содержанию микроэлементов выстраиваются в следующий ряд в порядке их снижения — Северная Двина — Печора — Обь, Енисей, Лена — Колыма. Поскольку Колыма наиболее близка особенно по климатическим

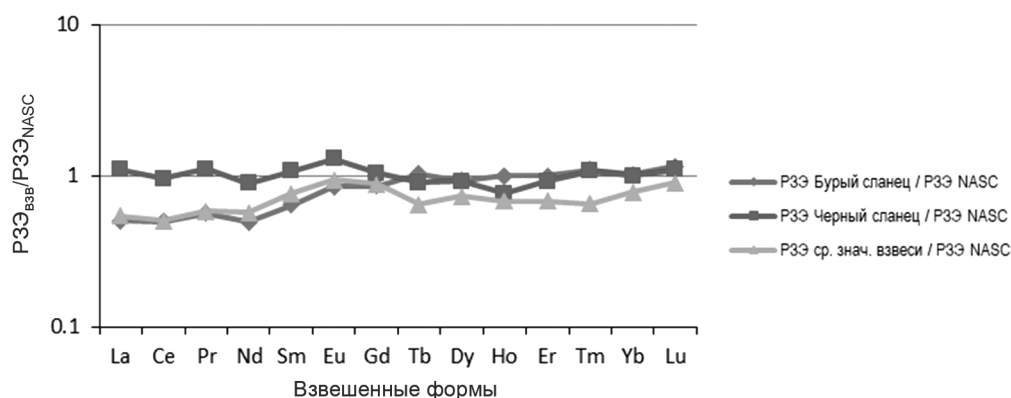


Рис. 4. Нормализованные на Северо-Американский сланец (NASC) [38] содержания РЗЭ в бурых и черных сланцах и во взвеси водотоков и озер Новой Земли.

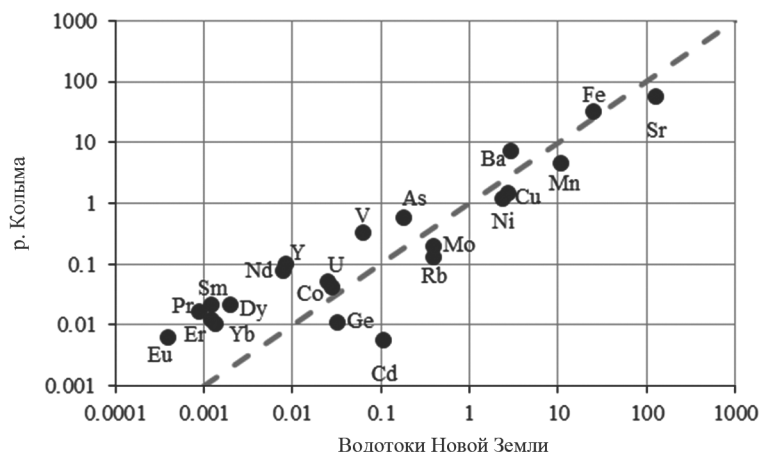


Рис. 5. Концентрации растворенных элементов в водотоках Новой Земли и реке Колыма (мкг/л) [35]. Пунктиром обозначена линия равных концентраций.

условиям в ее водосборном бассейне к характеристикам бассейнов водотоков архипелага, вполне естественно сопоставить полученные нами концентрации микроэлементов в водотоках с водами Колымы.

На рис. 5 сравниваются концентрации растворенных микроэлементов в водотоках и озерах архипелага взятые из табл. 2; данные по микроэлементам в воде Колымы заимствованы из работы [35].

Сравнение показало, что 12 элементов из 21 имеют более высокие концентрации в воде Колымы, тогда как остальные 9 близки или выше в водах водотоков и озер Новой Земли. В последнюю группу элементов входят наиболее геохимически подвижные Mn, Cu, Ni, Rb, Mo, Cd, Sr, V, а также Ge. В другой группе явно преобладают наименее подвижные элементы-гидролизаты.

Мы не имели возможности установить величину обогащения вод Колымы растворенными микроэлементами относительно водотоков Новой Земли ввиду того, что зависимость между ними носит нелинейный характер (рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе впервые представлены результаты определения большой группы микроэлементов в воде и взвеси водотоков и озер архипелага Новой Земли, полученные для проб из водотоков, впадающих в заливы Благополучия, Цивольки, Степового, Абросимова и Медвежьего по материалам экспедиций 2013, 2014 и 2019 гг. Большинство растворенных химических микроэлементов обнаружено в очень низких концентрациях.

Сравнение средних концентраций растворенных микроэлементов в водотоках и озерах ар-

хипелага с типичными для глобального речного стока, показало, что подавляющее число элементов, за исключением Ge, Sr, Ni, Cd, Mo, Cu, находятся ниже уровня концентраций в речном стоке в десятки раз. К числу элементов с наиболее низкими концентрациями относятся почти все элементы-гидролизаты и другие элементы с низкой геохимической подвижностью. Основной причиной столь низких концентраций является резко ослабленное химическое выветривание пород бассейна в условиях сурового климата, а также очень низкие концентрации растворенного органического углерода – важнейшего агента переноса микроэлементов в воде, а также влияние процессов сорбции в таких условиях.

Иная картина наблюдается для содержаний элементов во взвеси водотоков и озер. Довольно мало элементов, которые отклонялись от типичных содержаний в речных взвесах более чем в 2–3 раза в сторону увеличения; содержание всего 7 элементов из изученных отклоняется до 5–10 раз в сторону уменьшения. Поскольку ранее было установлено, что типичные речные взвеси близки по составу к осадочным породам верхней континентальной коры [6], то можно было ожидать близкого соответствия элементного состава взвеси водотоков и озер составу наиболее распространенных на архипелаге осадочных пород. К таким породам относятся, в первую очередь, доломитовые сланцы. Выполненные нами химические анализы двух образцов сланцев из залива Благополучия, показали сходство химического состава взвеси и сланцев, особенно по содержаниям наименее подверженным химическому выветриванию редкоземельных элементов. Отличались взвеси и сланцы только по содержаниям элементов с высокой геохимической

подвижностью. Подобные данные указывают на то, что взвешенное вещество водотоков Новой Земли представлено частицами разрушаемых при физическом выветривании сланцев, в слабой степени подверженными процессам химического выветривания.

Сравнение вклада растворенных форм элементов и их взвешенных форм в общее (суммарное) содержание в воде данного элемента показало, что для ряда элементов с высокой подвижностью преобладающей формой транспорта в водотоках является растворенная форма. При этом средняя концентрация самой взвеси во всех наших образцах равна 38.8 мг/л, что почти в 15 раз ниже средней для рек мира (480 мг/л). В то же время элементы с низкой геохимической подвижностью даже при таких низких концентрациях взвеси транспортируются в воде на 95–99% в составе взвесей.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН FMWE-2024-0020. Авторы посвящают эту работу своему другу, коллеге и учителю, идейному вдохновителю изучения химического состава стока водотоков Новой Земли Петру Николаевичу Маккавееву (1955–2020), руководителю Лаборатории биогидрохимии ИОРАН в период 2000–2020 гг. Мы выражаем благодарность экипажам НИС “Профессор Штокман” и “Академик Мстислав Келдыш” за профессионализм и помощь в работе экспедиции, а также коллегам из ИО РАН, принимавшим участие в высадках на Новую Землю и помогавшим в отборе проб, и Н.А. Беляеву за информацию о концентрации органического углерода в водотоках архипелага. Авторы искренне благодарят М.Н. Римскую-Корсакову за важные замечания и советы, позволившие существенно улучшить качество данной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычкова Я.В., Стародымова Д.П., Шайхутдинова К.В. и др. Особенности химической подготовки проб донных отложений для мультиэлементного анализа методом ИСП-МС // Вестник Московского университета. 2020. № 4. С. 45–54.
2. Владимиров М.В., Анохин В.М., Исаева О.В. и др. Атлас подводных потенциально опасных объектов Карского моря. СПб., 2012. 115 с.
3. Волков И.И. Химические элементы в речном стоке и формы их поступления в море (на примере рек Черноморского бассейна) // Проблемы литологии и геохимии осадочных пород и руд. М.: Наука, 1975. С. 85–113.
4. Головкин В.А. Энергетические аспекты изменения климата Земли: взгляд из космоса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 140.
5. Голубева Н.И., Бурцева Л.В., Громов С.А. Тяжелые металлы в атмосферном воздухе в акватории Карского моря // Экосистема Карского моря – новые данные экспедиционных исследований. М.: АПР, 2015. С. 232–236.
6. Гордеев В.В. Геохимия системы река-море. М.: И.П. Матушкина И.И., 2012. 452 с.
7. Гордеев В.В., Лисицын А.П. Тяжелые металлы в снежном и ледовом покрове Баренцева моря // Океанология. 2005. Т. 45. № 5. С. 777–784.
8. Дубинина Е.О., Коссова С.А., Мирошников А.Ю. и др. Изотопные (δD , $\delta^{18}O$) параметры и источники опресненных вод Карского моря // Океанология. 2017. Т. 57. № 1. С. 38–48. <https://doi.org/10.7868/S003015741701004X>.
9. Дубинина Е.О., Чижова Ю.Н., Коссова С.А. и др. Формирование изотопных (δD , $\delta^{18}O$, d) параметров ледников и водного стока с Северного острова архипелага Новая Земля // Океанология. 2020. Т. 60. № 2. С. 200–215. <https://doi.org/10.31857/S0030157420010098>.
10. Евдокимов А.Н., Каленич А.П., Крюков В.Д. и др. Новая Земля – перспективный ресурсный объект на Баренцево-Карском шельфе // Разведка и охрана недр. 2000. № 12. С. 40–43.
11. Ильченко В.О. Минералого-геохимические особенности свинцово-цинковых руд Павловского месторождения (архипелаг Новая Земля) // Записки горного института. СПб, 2003. Т. 155. Ч. 1. С. 18–23.
12. Корякин В.С. Ледники Новой Земли в XX веке и глобальное потепление // Природа. 2013. № 1. С. 42–48.
13. Коссова С.А., Дубинина Е.О., Чижова Ю.Н. и др. Источники опреснения вод заливов Южного острова Новой Земли по изотопным (δD , $\delta^{18}O$) данным // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 492. № 2. С. 99–104. <https://doi.org/10.31857/S2686739720060080>.
14. Маккавеев П.Н., Полухин А.А., Хлебонашев П.В. Поверхностный сток биогенных элементов с берега залива Благополучия (арх. Новая земля) // Океанология. 2013. Т. 53. № 5. С. 610–617.
15. Новая Земля. Под общей редакцией П.В. Боярского. М.: Европейские издания – Paulsen, 2009. 410 с.
16. Савенко В.С. Химический состав взвешенных наносов рек Мира. М.: ГЕОС, 2006. 173 с.
17. Савенко А.В., Савенко В.С., Ефимов В.А. и др. Микроэлементный состав вод устьевых участков р. Колымы // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 509. № 2. С. 272–275. <https://doi.org/10.31857/S2686739722602800>.
18. Савенко А.В., Савенко В.С., Ефимов В.А. и др. Гидрохимическая характеристика вод устьевых участков р. Колымы в современный период // Водные ресурсы. 2025. Т. 52. № 1 (в печати).

19. Семенков И.Н. Физико-географическая характеристика архипелага Новая Земля (литературный обзор). М.: МГУ им. Ломоносова, 2020. 40 с.
20. Степанова С.В., Недоспасов А.А. Особенности гидрофизического и гидрохимического режимов залива Благополучия (Новая Земля) // Океанология. 2017. Т. 57. № 1. С. 75–85.
<https://doi.org/10.7868/S0030157417010191>.
21. Флинт М.В. Отчет по морским экспедиционным работам НИС “Профессор Штокман”, 125 Научный Рейс. М.: ИО РАН, 2013. 38 с.
22. Флинт М.В., Поярков С.Г. Комплексные исследования экосистемы Карского моря (128-й рейс научно-исследовательского судна “Профессор Штокман”) // Океанология. 2015. Т. 55. № 4. С. 723.
<https://doi.org/10.7868/S0030157415040073>.
23. Флинт М.В., Арашкевич Е.Г., Артемьев В.А. и др. Экосистемы морей Сибирской Арктики. Материалы экспедиционных исследований 2015 и 2017 гг. // Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. М.: ООО “АПР”, 2018. 232 с. ISBN 978-5-904761-80-6.
24. Флинт М.В., Поярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А. и др. Экосистемы морей Сибирской Арктики – 2019: весенние процессы в Карском море (76-й рейс научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш”) // Океанология. 2020. Т. 60. № 1. С. 154–157.
<https://doi.org/10.31857/S0030157420010104>
25. Флинт М.В., Анисимов И.М., Арашкевич Е.Г. и др. Экосистемы Карского моря и моря Лаптевых: Экспедиционные исследования 2016 и 2018 гг. // Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. М.: ИП Ерхова И.М., 2021. 368 с. ISBN 978-5-6045279-2-4.
26. Хлебонашев П.В. Некоторые особенности химического состава поверхностного стока с Новой Земли // Экосистема Карского моря-новые данные экспедиционных исследований. М.: АПР, 2015. С. 78–82.
27. Экосистема Карского моря – новые данные экспедиционных исследований: Материалы научной конференции, Москва, 27–29 мая 2015 года / Под ред. Флинта М.В. М.: АПР, 2015. 320 с. ISBN 978-5-904761-49-3.
28. Birchall J.S., Bonnett N. Thinning sea ice and thawing permafrost: Climate change adaptation planning in Nome, Alaska // Environmental Hazards. 2020. V. 19. № 2. P. 152–170.
29. Bhatia M.P., Das S.B., Xu L. et al. Organic carbon export from the Greenland ice sheet // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2013. V. 109. P. 329–344.
30. Borisenko G.V., Polukhin A.A., Flint M.V. Dissolved silicon and nitrogen in glacial rivers and water of Blago bay (Russian Arctic, Novaya Zemlya): origin, variability and spreading // Arctic and Antarctic Research. 2023. V. 69(3). P. 356–373.
<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-3-356-3>
31. Diaz M., Bhatia M., Das S. et al. Trace metal nutrient distributions and transport in a Greenland ice-margin lake // AGU Fall Meeting Abstracts. 2021. V. 2021. P. B12C-02.
32. Dixon J.C., Campbell S.W., Durham B. Geologic nitrogen and climate change in the geochemical budget of Kärkevagge, Swedish Lapland // Geomorphology. 2012. V. 167. P. 70–76.
33. Dixon J.C. Contemporary solute and sedimentary fluxes in Arctic and subarctic environments: current knowledge // Source-to-sink fluxes in undisturbed cold environments. 2016. P. 39–51.
34. Fransson A., Chierici M., Nomura D. et al. Influence of glacial water and carbonate minerals on wintertime sea-ice biogeochemistry and the CO₂ system in an Arctic fjord in Svalbard // Annals of Glaciology. 2020. V. 61. № 83. P. 320–340.
<https://doi.org/10.1017/aog.2020.52>
35. Gordeev V.V., Pokrovsky O.S., Zhulidov A.V. et al. Dissolved Major and Trace Elements in the Largest Eurasian Arctic Rivers: Ob, Yenisey, Lena, and Kolyma // Water. 2024. V. 16. P. 316.
<https://doi.org/10.3390/w16020316>.
36. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river water. Ch. 5.09 // In: Holland H.D. et al. (Eds.) Treatise in Geochemistry. V.5. Amsterdam: Elsevier Pergamon, 2004. P. 225–272.
37. Gislason S.R., Oelkers E.H., Eiríksdóttir E.S. et al. Direct evidence of the feedback between climate and weathering // Earth and Planetary Science Letters. 2009. V. 277. № 1–2. P. 213–222.
38. Gromet L.P., Dymek R.F., Haskin L.A. et al. The “North American shale composite”. Its compilation, major and trace element characteristics // Geochim. Cosmochim. Acta. 1984. V.12. P. 2469–2482.
39. Hawkings J.R., Wadham J.L., Tranter M. et al. Ice sheets as a significant source of highly reactive nanoparticulate iron to the oceans // Nature communications. 2014. V. 5. № 1. P. 3929–3932.
40. Jenkins M., Dai A. The impact of Sea-Ice loss on Arctic climate feedbacks and their role for Arctic Amplification // Geophysical Research Letters. 2021. V. 48. № 15. P. e2021GL094599.
<https://doi.org/10.1029/2021GL094599>
41. Mart L. Seasonal variations of Cd, Pb, Cu and Ni levels in snow from the eastern Arctic Ocean // Tellus. 1983. V. 35B. P. 131–141.
42. Musilova M., Tranter M., Wadham J. et al. Microbially driven export of labile organic carbon from the Greenland ice sheet // Nature Geoscience. 2017. V. 10. № 5. P. 360–365.
43. Pain A.J., Martin J.B., Martin E.E. et al. Differences in the quantity and quality of organic matter exported from Greenlandic glacial and deglaciated watersheds // Global Biogeochemical Cycles. 2020. V. 34. № 10. P. e2020GB006614.

44. *Pogojeva M., Polukhin A., Makkaveev P. et al.* Arctic in-shore biogeochemical regime influenced by coastal runoff and glacial melting (case study for the Templefjord, Spitsbergen) // *Geosciences*. 2022. V. 12. № 1. P. 44. <https://doi.org/10.3390/geosciences12010044>
45. *Polukhin A., Makkaveev P., Miroshnikov A. et al.* Leaching of inorganic carbon and nutrients from rocks of the Arctic archipelagos (Novaya Zemlya and Svalbard) // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2021. V. 21. № 4. P. ES4002-ES4002.
46. *Savenko A.V., Savenko V.S.* Trace Element Composition of the Dissolved Matter Runoff of the Russian Arctic Rivers // *Water*. 2024. V. 16. P. 565. <https://doi.org/10.3390/w16040565>
47. *Starodymova D.P., Kravchishina M.D., Kochenkova A.I. et al.* Elemental Composition of Particulate Matter in the Euphotic and Benthic Boundary Layers of the Barents and Norwegian Seas // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023. V.11. № 1. P. 65. <https://doi.org/10.3390/jmse11010065>
48. *Tank S.E., McClelland J.W., Spencer R.G. et al.* Recent trends in the chemistry of major northern rivers signal widespread Arctic change // *Nature Geosciences*. 2023. V. 16. P. 789–796. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01247-7>
49. *Viers J., Dupre B., Gaillardet J.* Chemical composition of suspended sediments in rivers: new insight from a new database // *Sci. Total Environ.* 2009. V. 403. P. 853–868.
50. *Vihma T.* Effects of Arctic sea ice decline on weather and climate: A review // *Surveys in Geophysics*. 2014. V. 35. P. 1175–1214.

FIRST DATA ON TRACE ELEMENT COMPOSITION OF WATER AND SEDIMENT IN WATERCOURSES AND LAKES OF THE NOVAYA ZEMLYA ARCHIPELAGO

V. V. Gordeev*, A. A. Polukhin, D. P. Starodymova,
G. V. Borisenko, V. A. Chernov, M. V. Flint**

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*e-mail: gord_vv@mail.ru,

**e-mail: polukhin@ocean.ru

For the first time the results of determination of 44 trace elements in water and suspended solids of watercourses and lakes of 5 bays of Novaya Zemlya Archipelago (Blagopoluchiya, Tsivolki, Stepovogo, Abrosimova and Medvezhiego) are presented. Low concentrations of dissolved trace elements were revealed in comparison with their concentrations in the rivers of the Russian Arctic. This is due to significantly suppressed chemical weathering on the archipelago due to the harsh climate and peculiarities of watershed rocks, as well as increased activity of sorption processes and sharply reduced concentrations of dissolved organics. A different situation is observed in terms of the content of the same trace elements in suspended sediments of watercourses and lakes. The similarity in the content of chemical elements in suspended sediments of watercourses and lakes and the main sedimentary rocks of catchments — ankeritolic shales — directly points to them as the most important source of dissolved and suspended matter input into watercourses and lakes. A comparison of dissolved trace elements in the watercourses and lakes of Novaya Zemlya and the Kolyma River showed that the watercourses and lakes are significantly poorer in trace elements than the Kolyma river.

Keywords: Arctic, Novaya Zemlya, weathering, microelements, watercourses, suspended solids