

В настоящей работе освещены результаты обобщения экспедиционных работ, проведенных ААНИИ в 2001–2017 гг. Ежегодно проводимые гидролого-гидрохимические исследования позволили впервые дать объективную оценку региональных особенностей формирования компонентного состава и возможный характер пространственно-временной изменчивости состояния пресноводных экосистем архипелага. Представленная информация может быть использована специалистами при подготовке рекомендаций по экономически эффективному и экологически безопасному природопользованию арктических территорий. Содержание монографии полезно не только ученым, студентам и аспирантам, но и широкому кругу специалистов, разрабатывающих требования рационального природопользования.

ПРЕСНОВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

М. В. Третьяков, В. А. Брызгалов,
Е. В. Румянцева, К. В. Ромашова

ПРЕСНОВОДНЫЕ РЕСУРСЫ
**ЗАПАДНОГО
ШПИЦБЕРГЕНА**
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

*Монография посвящается памяти
Олега Федоровича Голованова, Николая Николаевича Фатеева
и Максима Валерьевича Каулио – участников экспедиции
Арктического и антарктического научно-исследовательского
института, погибших в авиакатастрофе
на Штицбергене в 2017 г.*

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РФ
АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ (ГНЦ РФ ААНИИ)

**М. В. Третьяков, В. А. Брызгалю,
Е. В. Румянцева, К. В. Ромашова**

**ПРЕСНОВОДНЫЕ РЕСУРСЫ
ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ
(многолетние исследования ААНИИ)**

Санкт-Петербург
2021

УДК 556+504(481-922.1)

ББК 20.1

Настоящая монография – первая из серии подготовленных монографий, посвященных современному гидрологоэкологическому состоянию пресноводных экосистем высокоширотной Арктики. Физикогеографические и климатические условия высокоширотной Арктики определяют региональные особенности функционирования на ее территории речных и озерных экосистем. Ежегодно проводимые гидролого-гидрохимические исследования позволили впервые дать объективную оценку региональных особенностей формирования компонентного состава водной среды и возможного характера пространственно-временной изменчивости состояния пресноводных экосистем Западного Шпицбергена.

Представленная информация может быть использована специалистами при подготовке рекомендаций по экономически эффективному и экологически безопасному природопользованию арктических территорий. Содержание монографии полезно не только ученым, студентам и аспирантам, но и широкому кругу специалистов, разрабатывающих требования рационального природопользования.

Рецензенты:

академик РАН, д-р геогр. наук В.А. Румянцев

д-р геогр. наук В.М. Анохин

ISBN 978–5–98364–105–1

© ГНЦ РФ ААНИИ, 2021

© М. В. Третьяков, В. А. Брызгалов,

Е. В. Румянцева, К. В. Ромашова, 2021

ПРЕДИСЛОВИЕ

Исследования современного экологического состояния окружающей среды Арктики еще надолго останутся актуальной научной проблемой, имеющей не только теоретическое, но и важное практическое значение. Особенно это становится очевидным при все большем проникновении в арктические районы хозяйственной деятельности человека, связанной в первую очередь с поисками и освоением углеводородного сырья, строительством разнообразных горнодобывающих промышленных объектов и сооружений, имеющих оборонное значение [50].

Для прогнозирования дальнейшей судьбы отдельных регионов Арктики, находящихся под сильным антропогенным воздействием, важно установить направления происходящих изменений природных характеристик, оценить их состояние и возможности возникновения потенциально опасных чрезвычайных ситуаций (в том числе и чрезвычайных экологических ситуаций).

Архипелаг Шпицберген в силу своего уникального географического положения является наиболее значимым объектом для оценки геоэкологических, климатических изменений, изучения и прогнозирования развития процессов западного сектора Арктики. Архипелаг характеризуется уникальным сочетанием природных факторов – географического положения, геологического сложения, климата и рельефа. Поэтому изучение химического состава основных компонентов окружающей среды этой высокоширотной и до сих пор малоизученной территории представляет большой научный интерес.

Важной составляющей устойчивого развития данного региона является сохранение стабильного природного функционирования наземных и водных экосистем, гидролого-экологическое состояние которых многие годы формировалось под влиянием внешних и внутрисистемных природных и антропогенных факторов. Понимание ценности и неповторимости ландшафтов архипелага обусловило бережное отношение к ним в течение многих веков как со стороны Норвегии, так и России, благодаря чему он и сегодня является в определенной степени образцом разумного природопользования и относительной экологической чистоты. Почти 60 % суши покрывают ледники, что необходимо учитывать в программе мониторинга. Наиболее важным минеральным ресурсом, добываемым на архипелаге, является уголь. Ведутся также поиски нефти и газа, что усиливает антропогенный пресс на исследуемую территорию. В связи с усилением последнего и федеральной значимостью архипелага возникла необходимость развития режимного мониторинга загрязнения наземных и прибрежных экосистем в районах локального антропогенного воздействия и в зонах аккумуляции вследствие дальней адвекции поллютантов в район архипелага [61].

Почему авторы приняли решение подготовить монографию, посвященную пресноводным ресурсам Западного Шпицбергена с подробным анализом пространственно-временной изменчивости их современного гидролого-экологического состояния? Два главных обстоятельства побудили нас выполнить такое обобщение. Первое – отсутствие в отечественной научной литературе

систематизированных работ по обобщению накопленной гидролого-гидрохимической информации по региональным специфическим особенностям функционирования водных систем архипелага и закономерностям изменчивости их состояния на фоновом уровне. Вторая причина – необходимость показать возможную роль антропогенного загрязнения в трансформации современного состояния поверхностных вод суши с выходом на оценку степени экологической опасности и прогноз возможных негативных последствий различных видов воздействия на пресноводные экосистемы такого уникального региона.

По существу, это первая обобщенная комплексная гидролого-экологическая характеристика современного состояния пресноводных ресурсов Западного Шпицбергена на основе систематизации и обобщения накопленной в ААНИИ во время проведения экспедиционных наблюдений 2001–2017 гг. гидрологической и гидрохимической информации.

Общее научное руководство проводимыми исследованиями в разное время осуществляли: С. М. Прямиков, Л. М. Саватюгин, Ю. В. Угрюмов. Руководителями гидролого-гидрохимических наблюдений на поверхностных водах суши Шпицбергена в экспедициях ААНИИ являлись: В. В. Иванов, Е. В. Шевнина, И. Ю. Соловьянова, М. В. Третьяков, О. Н. Медкова, О. Ф. Голованов, К. В. Ромашова.

Авторы благодарны всем гидрологам – участникам экспедиций ААНИИ на архипелаге Шпицберген.

Авторы выражают благодарность Н. Л. Петрову за техническую помощь в подготовке рукописи.

ВВЕДЕНИЕ

Социально-экономическое развитие общества в XX веке, в основном ориентированное на быстрые темпы экономического роста, породило беспрецедентное причинение вреда окружающей природной среде. Человечество столкнулось с противоречиями между растущими потребностями мирового сообщества и невозможностью биосферы обеспечить эти потребности [29].

Богатства природы, ее способность поддерживать развитие общества и возможность самовосстановления оказались неограниченными. Возросшая мощь экономики стала разрушительной силой для биосферы и человека.

Эволюция природной среды в современных условиях – процесс чрезвычайно многогранный с участием самых различных природных факторов (климатических, вулканических, ландшафтных, антропогенных, географических и др.), которые формируют состояние водных и наземных экосистем. В современных условиях существенную роль в их изменениях играет деятельность человека, использующего современную технику и технологии, и результаты этого превратились в мощный геохимический фактор.

Проблема устойчивости природных экосистем различных уровней иерархии и геосистем (природных, социальных, смешанных систем, рассматриваемых с точки зрения их размещения и функционирования на поверхности Земли) к антропогенному и техногенному воздействию в последнее время приобрела особое значение. Это объясняется тем, что влияние научно-технического прогресса, преобразующего общество и природную среду, ускоряется экспоненциально. Системы развиваются по схеме положительной обратной связи, постоянно изменяя пределы устойчивости в отдельных звеньях системы общество–природа, вызывая серьезные потрясения системы в целом [32, 38].

Переход к устойчивому развитию предполагает постепенное восстановление естественных экосистем до уровня, гарантирующего стабильность окружающей среды. С решением указанной проблемы неразрывно связана и проблема экологического нормирования, основным содержанием которой является поиск нормы состояния природной экосистемы, нормы воздействия на нее и ответной реакции экосистемы на внешнее воздействие.

Необходимо подчеркнуть, что наблюдаемая неизменность во времени свойств какой-либо экосистемы отнюдь не свидетельствует о ее устойчивости, и наоборот, экосистема с ярко выраженными колебаниями характеристик может быть устойчива к определенным внешним воздействиям [4].

Высокий темп социально-экономического развития оказывает заметное влияние на экологическое благополучие водных экосистем, устойчивость и чувствительность которых к антропогенному воздействию определяются морфометрическими особенностями водного объекта, физико-географическими условиями, гидрологическим и гидрохимическим режимами, трофностью, сапробностью, токсобностью водного объекта.

Если период действия антропогенного фактора больше периода релаксации водной экосистемы, то она необратимо изменяется.

Проблема оценки современного состояния водных экосистем непосредственно связана с проблемой экологического нормирования антропогенной

нагрузки на экосистемы в целях поддержания их природных структурно-функциональных характеристик, т. е. обеспечения устойчивого состояния экосистем [10].

Современная оценка качества воды и состояния пресноводных экосистем включает совокупность критериев, по которым оцениваются специфика структурно-функциональной организации сообществ гидробионтов и динамика развития водных биоценозов, т. е. критериев, которые связаны с обеспечением устойчивого функционирования естественных экологических систем и предотвращением их деградации (Федеральный закон от 10 января 2002 г. N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», ст. 25, 26).

Архипелаг Шпицберген в силу своего уникального географического положения, особенностей формирования водных ресурсов и своеобразия их биотической компоненты представляет собой прекрасный полигон с точки зрения изучения на фоновом уровне всего спектра ответных реакций разнообразных типов водных экосистем на внешнее воздействие естественного и антропогенного происхождения. Шпицберген один из немногих районов мира, где ледники уже сейчас вовлечены в хозяйственную деятельность.

На архипелаге Шпицберген регулирование деятельности осуществляется в соответствии с законом «Об охране природной окружающей среды архипелага Свальбард» (Королевство Норвегия). За последние 25 лет большая часть территории архипелага переведена в категорию природных парков и заповедников. А в последние годы идет перевод земель из категории «природный парк с умеренным природоохранным режимом» в категорию «природные заповедники», где запрещена практически любая деятельность и даже посещение крайне ограничено (только по специальному разрешению). Стратегия российского присутствия на архипелаге Шпицберген учитывает природоохранную политику и предусматривает оптимизацию и диверсификацию российской деятельности на архипелаге [48].

К основным экологическим проблемам районов российского присутствия на архипелаге Шпицберген относятся: механическое и нефтяное загрязнение территорий хозяйственной деятельности, техногенные нарушения почвенно-растительного покрова, накопление отходов производства (отвалы угледобычи) на промышленных площадках.

Важное значение имеют ресурсы пресных вод, используемых для водоснабжения, технических и бытовых нужд. Все российские и норвежские поселки обеспечены прибрежными водозаборами, откуда морская вода поступает для охлаждения котлов ТЭЦ и в коммунальные службы. Традиционно в системах водоснабжения используют небольшие озёра, но их объемы малы для гарантированного удовлетворения потребностей. Поэтому требуется создание искусственных водоемов, которые должны обеспечивать поселки водой. Для водоснабжения российских поселков широко применяют ледниковые воды, причем опыт эксплуатации зимнего водозабора на леднике Бертиль уникален и заслуживает тщательного анализа [67].

Помимо водоснабжения природные воды можно широко использовать для строительства разных сооружений из снега и льда – плотин, складов, ангаров и т. д. Реализация таких проектов, особенно с помощью разработанного в нашей стране метода факельного намораживания снега и льда, позволит в условиях архипелага и других холодных районов в короткие сроки и с небольшими

затратами создавать как временные, так и долговременные разномасштабные сооружения. Для намораживания можно использовать и соленую, например морскую, воду. При этом снежно-ледяной каркас будет автоматически распресняться и упрочняться как во время зимнего строительства, так и весной. Метод перспективен и для опреснения соленых вод, очистки бытовых и промышленных стоков от растворимых и нерастворимых примесей [67].

Благодаря малой минерализации и высокому качеству практически все природные воды Шпицбергена, как и других высокоширотных районов Земли, могут широко использоваться для нужд человека. Эти районы пока остаются надежными хранилищами стационарных и ежегодно возобновляемых запасов чистой пресной воды – быстро истощающегося богатства нашей планеты.

Начиная с 1930-х годов на Западном Шпицбергене, в районе Грэнфьорда в собственности России, представителем которой выступает трест «Арктик-уголь» находятся высокотехнологичные, автономные рудники «Баренцбург» и «Пирамида», которые включают в себя, помимо собственно шахт, морские порты, вертолетные площадки и наземные производственные и вспомогательные мощности (теплогосударства, автопарки, телестанции, подсобные хозяйства). Эти хозяйственные комплексы, наряду с естественным трансграничным переносом, оказывают существенное влияние на состояние ледников и ледниковый сток (включая его гидрохимические и гидробиологические показатели), которые в свою очередь определяют состояние прибрежных акваторий и береговых зон.

Интенсивность хозяйственной деятельности, особенности применяемых технологий, продуцирующих загрязняющие вещества, в том числе токсичные соединения (полициклические ароматические углеводороды, каменноугольные смолы, тяжелые металлы, сернистые соединения и другие вещества 1-го и 2-го классов опасности), могут приводить к интенсивному загрязнению наземных и водных экосистем. Так, например, в поверхностных водах может наблюдаться значительное (до трех раз) повышение минерализации, содержания фторидов, нефтепродуктов. В десятки и сотни раз могут возрастать концентрации тяжелых металлов (алюминия, мышьяка, ртути, меди, цинка, марганца и др.). Это особенно опасно для рек с малой и средней водностью, химический состав воды которых трансформируется под влиянием внешнего антропогенного воздействия.

Для получения информации, адекватно отражающей современное состояние объектов природной среды на Западном Шпицбергене, необходимо проведение комплексных экспедиционных наблюдений за природными объектами, позволяющих выявить возможные зоны интенсивного антропогенного влияния, оценить статус их экологического неблагополучия (зоны экологического риска, экологического кризиса и экологического бедствия) с целью разработки рекомендаций по оптимизации комплексного экологического мониторинга, в том числе и на водных экосистемах, рациональному использованию водных ресурсов и принятия целенаправленных мер по их оздоровлению.

Множество научных и практических проблем, решаемых на Шпицбергене, в числе которых исследования климата, оледенения, гидрологии суши и прибрежных районов моря, водных ресурсов, экологии и др., требуют знания гидролого-экологических особенностей поверхностных водных объектов суши.

На решение этой проблемы на островах Западного Шпицбергена нацелены усилия норвежских (NPI, UNIS и др.), польских (Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences) и российских ученых. Российский базовый комплекс наблюдений за состоянием окружающей среды и природных условий Западного Шпицбергена выполняется гидрометеорологической обсерваторией (ГМО) п. Баренцбург Мурманского УГМС. Те или иные гидрологические наблюдения на архипелаге выполняет сезонная гляциологическая экспедиция Института географии РАН, Кольский научный центр РАН, ММБИ, ПМГРЭ [80].

С 2001 г. ААНИИ возобновил научные исследования на архипелаге Шпицберген в рамках темы «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген», уделяя большое внимание гидрологическим и гидрохимическим исследованиям на поверхностных водных объектах. В настоящее время гидролого-гидрохимические наблюдения являются неотъемлемой частью экспедиционной деятельности ААНИИ на о. Западный Шпицберген и включают в себя мониторинг изменений элементов водного баланса, а также состояния водных объектов архипелага Шпицберген. В результате экспедиционных работ ААНИИ на поверхностных водных объектах архипелага Шпицберген, проводимых с 2001 г. по 2017 г., накоплен значительный материал. Целью проводимых исследований являлось получение на их основе современных оценок основных характеристик гидрологического и гидрохимического режима поверхностных водных объектов суши, а также оценок тенденций их изменения за последнее десятилетие.

Проведенные исследования требуют своего логического продолжения с целью охвата хотя бы одного полного вегетационного периода с целью разработки обоснованных рекомендаций по организации и функционированию региональной специализированной системы комплексного мониторинга гидрологического цикла и состояния окружающей среды, учитывающей физико-географические особенности региона и специфику техногенного воздействия.

В настоящей монографии освещены результаты обобщения экспедиционных работ ААНИИ на поверхностных пресных водах Западного Шпицбергена и оценки их современного состояния по приоритетным гидрологическим и гидрохимическим показателям.

В главе 1 изложены основные природные и антропогенные факторы воздействия на природную среду архипелага.

В главе 2 обобщены накопленные в литературе и экспедициях данные по общим характеристикам и разновидностям водных ресурсов Западного Шпицбергена и особенностям их гидрологического и гидрохимического режима.

Глава 3 посвящена подробному описанию выбранного авторами методического подхода к реализации поставленной задачи и массива используемых данных экспедиционных исследований за 2001–2017 гг.

В главе 4 изложены результаты оценки изменчивости гидролого-экологического состояния исследуемых пресноводных экосистем в современных условиях.

Полученные результаты будут необходимы в дальнейшем при реализации проектов, направленных на разработку рекомендаций по рациональному использованию водных ресурсов в уникальных по своей природе регионах и оптимизации системы режимного мониторинга гидролого-экологического состояния пресноводных экосистем удаленных регионов Российской Арктики.

Глава 1

ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН

1.1. Общая физико-географическая характеристика архипелага Шпицберген

Архипелаг Шпицберген, находящийся за полярным кругом в Северном Ледовитом Океане, ограничен 74 и 81 градусами с.ш., а также 10 и 35 градусами в.д. (рис. 1). Общая площадь составляет 61020 км². Из общей площади 60625 км² занимает суша, и 395 км² (то есть 0,6 %) – реки и озера [31, 95].



Рис. 1. Карта-схема архипелага Шпицберген

Крупнейшими островами архипелага являются: Западный Шпицберген (37 673 км²), Северо-Восточная Земля (14 443 км²), Эдж (5074 км²), Баренца (1288 км²), Белый (682 км²), Земля Принца Карла (615 км²) (рис. 1).

Крайние точки архипелага: остров Росса (80°50' с.ш., 20°21' в.д.) на севере, мыс Кремер на острове Белом (80°14' с.ш., 33°31' в.д.) на востоке, остров Кельхау (74°20' с.ш., 19°03' в.д.) на юге, мыс Фуглехукен на Земле Принца Карла (78°54' с.ш., 10°27' в.д.) на западе [31, 95].

Порядка 43,3 % территории архипелага находится на высоте от 0 до 299 м, 37,6 % – от 300 до 599 м, 14,7 % – от 600 до 899 м, и только 4,4 % территории лежит выше отметки 900 м.

Архипелаг Шпицберген в целом представляет собой крайний северо-западный выступ материковых структур Евразии и является своего рода уникальным естественным обнажением: здесь на дневную поверхность выходят кристаллические и складчатые породы фундамента и покровные осадочные комплексы. В геологическом строении архипелага принимают участие в разной степени метаморфизованные вулканогенно-осадочные и интрузивные комплексы докембрия и нижнего палеозоя, представленные гранитами, кристаллическими сланцами, гнейсам и мигматитами, филлитами, мраморами и метавулканиитами. Их перекрывают осадочные толщи среднего-верхнего палеозоя, мезозоя и палеогена, представленные красноцветными терригенными толщами, угленосными, карбонатными и кремнисто-карбонатными отложениями и песчаниками, вмещающие позднемезозойскую трапповую формацию. Завершают разрез полифациальные образования четвертичного возраста [21, 30, 99].

На Шпицбергене отмечены землетрясения силой 4–5 баллов. Сейсмологи допускают возможность максимальных землетрясений до 6–7 баллов. Архипелаг испытывает вертикальное поднятие земной коры со скоростью около 5 мм в год. Благодаря этому образовались морские террасы высотой до 100 и более метров. Некогда Шпицберген был ареной сильной вулканической деятельности. На севере имеются два потухших вулкана, в районе которых действуют горячие источники и фумаролы [30, 99].

Архипелаг Шпицберген находится в зоне сплошного развития многолетнемерзлых пород. Мерзлота прерывается только под водами морских заливов и, возможно, под дном долин самых крупных рек (рис. 2).

Мощность мерзлоты местами достигает 200 м. Летом оттаивает лишь незначительный верхний слой многолетнемерзлых пород – от 0,5 до 2,5 м толщиной.

Архипелаг Шпицберген – естественный полигон, где можно эффективно изучать и исследовать влияние разных природных и антропогенных факторов на состояние и устойчивость многомерзлотных пород.

Низкая средняя годовая температура воздуха (около –6 °С), большая продолжительность холодного периода в течение года (более восьми месяцев) и значительное количество выпадающих зимой осадков (на ледниках – более 600 мм) обусловили широкое распространение оледенения на архипелаге. На Шпицбергене насчитывается около 2128 ледников, площадь которых составляет 60 % от общей площади архипелага [30].

По характеру оледенения вся территория Шпицбергена делится на три крупные области: покровного, горно-покровного и горного (горно-долинного) оледенения [30]. Основная масса ледников архипелага (более 60 %) находится на острове Западный Шпицберген. Центральную часть острова Западный Шпицберген занимают горные ледники. К периферии острова приурочена область развития горно-покровного оледенения [47].



Рис. 2. Вид на горы и ледники

Главная особенность Шпицбергена – наличие больших территории с нетронутой дикой природой. Суммарная площадь расположенных здесь восьми национальных парков, пяти природных и 15 птичьих заповедников составляет выше 65 % всей территории (рис. 3).

Крупнейшим островом, входящим в состав архипелага Шпицберген, является остров Западный Шпицберген. Крайняя северная точка острова – мыс Верлегенхукен ($80^{\circ}04'$ с.ш. – $16^{\circ}15'$ в.д.), южная – мыс Сернесет ($76^{\circ}34'$ с.ш. – $16^{\circ}41'$ в.д.), западная – мыс Квальрюгпюнтен ($79^{\circ}33'$ с.ш. – $10^{\circ}39'$ в.д.), восточная – мыс Пайер ($78^{\circ}50'$ с.ш. – $21^{\circ}30'$ в.д.). Общая протяженность острова с севера на юг составляет около 389 км, с запада на восток – 231 км. Остров омывается водами Баренцева, Гренландского, Норвежского морей и Северного Ледовитого океана.

Большая часть острова Западный Шпицберген покрыта ледниками: площадь оледенения составляет около 21,2 тыс. км². Рельеф представляет собой сочетание горных массивов с плоскогорьями и широкими долинами. Наивысшими точками являются гора Ньютон (1713 м) и гора Перрьер (1712 м). Более 43 % территории находится на высоте более 300 м над уровнем моря. Побережье острова Западный Шпицберген сильно изрезано заливами, крупнейшие из которых – Исфьорд и Вийдефьорд – имеют протяженность более 100 км.

Остров Западный Шпицберген представляет собой среднегорную территорию с абсолютными отметками рельефа около 800–1300 метров. Рельеф острова Западный Шпицберген приближен к альпийскому типу [78]. Он характеризуется значительной расчлененностью земной поверхности, обусловленной тектоническим строением, чередованием сложной системы хребтов и платообразных возвышенностей, к которым приурочены ледники, глубоко врезаемыми долинами и острыми вершинами гор. Здесь сосредоточены почти все «тысячники» архипелага – 57 вершин, поднимающихся на 1000 и более ме-



Рис. 3. Особо охраняемые природные территории на Шпицбергене [95].

тров. Горы несут на себе глубокие следы воздействия ледников, водной эрозии и выветривания. Вследствие широкого распространения процессов переноса продуктов разрушения горных пород в нижележащие участки многие из гор окаймлены мощными конусами осыпей и усеяны обломочным материалом. На ряде участков вдоль берегов острова Западный Шпицберген на высоте 20–30 м над уровнем моря отмечаются прибрежные равнины, ширина которых достигает до 10 и более километров.

На западном побережье прибрежная равнина образует почти непрерывную низменную полосу, протянувшуюся на многие десятки километров. Обширные равнины расположены вдоль Лифдефьорда, Вудфьорда и Вийдефьорда. Прибрежные равнины сложены галечником, реже – крупно- и разнозернистыми песками. Многие участки прибрежных равнин заболочены.

Для северо-западной части острова Западный Шпицберген характерны остроконечные вершины и узкие гребни хребтов, разделенных глубокими продольными и поперечными долинами. Во многие долины спускаются ледники. Большинство из них берут начало на ледниковых плато Исаксена и Хольтедаля. На севере этой части острова расположена обширная равнина Рейнсдерфлюа со множеством болот и небольших озер.

В северо-восточной части острова Западный Шпицберген расположены два обширных ледниковых плато. В северных районах, для которых характерен столовый рельеф с высотами 200–300 м, лежит плато Осгорд. В южных, типично горных – плато Ломоносова. Между двумя этими плато в группе гор Хидениуса возвышается гора Ньютон – наивысшая точка архипелага (1713 м) и вторая по высоте гора Перрьер (1712 м). Рельеф центральной части острова Западный Шпицберген – обширное высокогорное плато, состоящее из ряда рассеченных речными долинами массивов, над которыми поднимаются отдельные вершины.

Южная часть острова Западный Шпицберген – сильно расчлененная горная область с хаотическим нагромождением остроконечных вершин, горных хребтов и глубоких долин, многие из которых заполняют языки ледников [99].

Климатические условия острова Западный Шпицберген определяются прежде всего его высокоширотным положением, влиянием теплого Западно-Шпицбергенского течения и режимом атмосферной циркуляции, характеризующимся устойчивым западно-восточным переносом воздушных масс вдоль Исландско-Карской ложбины пониженного давления и ее Шпицбергенской ветви, расположенной к западу от острова. Прохождение циклонов южнее архипелага обуславливает принос воздушных масс с востока и юга, а при движении циклонов через остров Западный Шпицберген или к северу от него – с запада и юго-запада [30].

Климатические условия на архипелаге Шпицберген характеризуются относительно небольшими колебаниями положительной температуры воздуха и частыми существенными колебаниями отрицательной температуры [73].

Температурный режим острова Западный Шпицберген определяется взаимодействием арктического воздуха с воздухом умеренных широт, проникновение которого облегчено специфическими чертами атмосферной циркуляции района. Влияние теплых воздушных адвекций значительно повышает средние температуры воздуха в зимние месяцы и среднюю годовую температуру [91].

Климатическая норма средней годовой температуры воздуха в Баренцбурге составляет минус 6,1 °С, средней температуры самого теплого месяца июля – плюс 5,5 °С. Абсолютный максимум температуры был зарегистрирован в июне 1999 г. и составил плюс 20,3 °С. Наиболее холодный месяц – февраль. Средняя температура февраля – минус 14,7 °С. Абсолютный минимум температуры воздуха – минус 39,8 °С был зарегистрирован в Баренцбурге зимой 1986 г. [6].

По средним многолетним данным устойчивый переход температуры через 0 °С в сторону положительных значений – 4 июня, в сторону отрицательных значений – 21 сентября.

На широте Баренцбурга с 19 апреля по 24 августа – полярный день, с 28 октября по 15 февраля – полярная ночь.

Самым теплым 11-летним периодом стал период наблюдений с 2003 по 2013 гг. В XXI веке на Шпицбергене были побиты многие рекорды средней температуры воздуха: 2012 г. на Баренцбурге по значению средней годовой температуры воздуха стал самым теплым за весь период наблюдений. Аномалия составила плюс 4,1 °С. Зима 2012-го также стала самой теплой за весь период наблюдений. Самая теплая весна была отмечена в 2006 г., самое теплое лето – в 2011 г., самая теплая осень – в 2000-м [6].

Положительная аномалия средней месячной температуры воздуха отмечалась во все зимние месяцы (ноябрь–март) 2013–2014 гг.

В ноябре 2013 г. аномалия средней месячной температуры воздуха составила плюс 1,2 °С. Количество выпавших за месяц осадков – 81,9 мм – более чем на треть превысило климатическую норму. 15 ноября за период времени менее 12 часов выпало 23,6 мм осадков в виде снега, что превысило значение критерия опасного явления на 3,6 мм. Всего за 15–16 ноября выпало 32,1 мм осадков, прирост снежного покрова составил 35 см.

Средняя температура воздуха в декабре была такой же, как и в ноябре и превысила свою климатическую норму на 4,2 °С. Осадков выпало 69 % от климатической нормы. Преобладали осадки в виде снега. Дождь отмечался лишь однажды – в день, когда температура воздуха достигла максимального значения – плюс 4 °С.

Февраль 2014 г. стал самым теплым за весь период наблюдений. Средняя месячная температура воздуха составила плюс 2,3 °С, что на 12,4 °С выше нормы. Число дней с оттепелью – 11. Максимум температуры воздуха – плюс 4,1 °С был зафиксирован 12 февраля. До 28 февраля средняя суточная температура воздуха ни разу не опускалась ниже минус 10 °С. Количество выпавших за месяц осадков 11,7 мм составило лишь 21 % от климатической нормы. Высота снежного покрова на метеорологической площадке за месяц уменьшилась на 15 см.

Первая декада марта 2014 г. продолжала оставаться аномально теплой. Отмечалось четыре дня с оттепелью, 7 марта максимальная температура воздуха составила плюс 2,3 °С. И только во второй декаде марта температура воздуха стала соответствовать своей климатической норме. В целом в марте аномалия средней месячной температуры воздуха составила плюс 5,9 °С. Осадков выпало 74 % от климатической нормы.

Летние температуры воздуха изменяются в меньшем диапазоне, чем зимние. Значения температуры воздуха на уровне моря в летние месяцы прежде всего различны между центральной частью острова Западный Шпицберген и его периферией. Летом температура воздуха в центральной части острова в среднем на 2 °С выше, чем на его крайних частях [98].

Для острова Западный Шпицберген характерны значительные скорости ветра. Средняя многолетняя скорость ветра в Баренцбурге составляет 3,4 м/с, в Пирамиде – 2,9 м/с. Вероятность сильных ветров возрастает к северу и северо-востоку. Наибольшей силы ветры достигают в первой половине зимы. В это время на острове часто бушуют метели. В Баренцбурге за год бывает до 70 дней с метелями.

Вследствие различной степени нагревания летом и охлаждения зимой суши и моря в прибрежных районах острова Западный Шпицберген наблюда-

ется муссонный ход ветров: зимой преобладают ветры с суши на море, летом – с моря на сушу. Во многих районах острова направление ветров определяется особенностями рельефа. Во фьордах и узких долинах преобладают ветры, совпадающие с направлением их осевых линий.

В местах распространения обширных ледников на острове наблюдаются ледниковые (катабатические) ветры.

Относительно часто, особенно в январе–феврале и мае–июне, на архипелаге бывают штили, во время которых зимой наблюдаются наиболее сильные морозы.

Архипелаг Шпицберген относится к району избыточного увлажнения. По данным зональной гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург», в среднем за год здесь выпадает около 570 мм осадков, число дней с осадками не менее 0,1 мм равняется 198. Преобладают твердые осадки в виде снега, наибольшей высоты снежный покров достигает в апреле. По средним многолетним данным устойчивый снежный покров устанавливается в последних числах сентября, сход – в середине июня. В течение всего года наблюдается высокая относительная влажность воздуха [6].

Основным осадкообразующим фактором на архипелаге Шпицберген в холодный период года является адвекция теплого и влажного воздуха из Северной Атлантики. Повторяемость интенсивных циклонов в холодный период года значительно выше. Южные ветры с высоким влагосодержанием воздуха обеспечивают в Баренцбурге выпадение большого количества осадков. В теплый период циклоническая деятельность ослабевает, соответственно, уменьшается количество осадков. По средним многолетним данным продолжительность жидких осадков в теплый период года составляет около 400 ч., или 69 % от общей продолжительности всех видов осадков, твердых осадков – около 100 ч. (17 %), смешанных – 80 ч. (14 %). В холодный период года продолжительность выпадения жидких осадков составляет 6 %, смешанных – 6 %, твердых – 88 %.

Оценка изменений режима осадков в Баренцбурге для теплого (июнь–сентябрь) и холодного (октябрь–май) периодов с 1966 по 2015 гг. показала [7]:

- наметившуюся тенденцию увеличения осадков в 2001–2015 гг. как в холодный, так и в теплый периоды;
- в зимние месяцы осадков выпадает в 1,5–2 раза больше, чем в летний;
- осадки до 10 мм в сутки отмечаются ежегодно, практически в каждом месяце холодного периода;
- в последние 15 лет количество дней с сильными осадками возросло;
- выпадение твердых и смешанных осадков возможно в любом из месяцев теплого периода, как и выпадение жидких осадков возможно в любом из месяцев холодного периода года.

При геоботаническом районировании архипелаг Шпицберген рассматривают как отдельную таксономическую единицу «автономный округ арктических тундр» с делением острова Западный Шпицберген на четыре зоны [2].

Первая зона арктических полярных пустынь которая охватывает восточную часть острова Западный Шпицберген. Суровость климата обусловила здесь невысокий уровень видового разнообразия сосудистых растений и несомкнутый, разорванный характер растительного покрова, в котором особое значение приобретают мохообразные и лишайники.

Вторая северо-арктическая тундровая зона, которая занимает северное и северо-восточное побережье и южную часть острова. Растительный покров здесь также не сомкнут, характерны субнивальные группировки, в которых доминирует *Phippsia algida*, и пятнистые тундры с преобладанием *Luzula confusa*.

Третья средне-арктическая тундровая зона, которая сменяет северо-арктическую по мере продвижения с востока на запад острова Западный Шпицберген и уменьшения суровости климата. Характерны пятнистые тундры с доминированием кустарничков *Dryas octopetala*, иногда совместно с *Cassiope tetragona*. Сомкнутость растительного покрова достигает 25–50 %.

Четвертая зона тундровой растительности внутренних фьордов, которая включает внутренние части побережий крупных фьордов: Исфьорд, Бельсунн, Конгсфьорд, Вудфьорд и Вийдефьорд.

Таким образом, на острове проявляется меридиональная зональность смены растительности, обусловленная климатическими причинами и осложненная современным оледенением.

Во флоре острова Западный Шпицберген преобладают арктические и арктоальпийские виды с циркумполярным или почти циркумполярным ареалом. Наряду с этим достаточно широко представлены амфиатлантические виды, составляющие до 18 % флоры [2].

Кроме того, на Шпицбергене отмечается ряд заносных видов сосудистых, которые, как правило, не способны прожить здесь более одного вегетационного периода. На архипелаге также произрастает 250 видов мхов и примерно 605 видов лишайников [2].

1.2. Природные факторы трансформации природной среды

Одно лишь географическое расположение архипелага должно говорить о том, что условия погоды в районе Шпицбергена отличаются от всех других районов Арктики. Архипелаг расположен в северной части океана, отделяющего Гренландию от Скандинавии, внутри единственного большого разрыва в массиве суши, окружающем полярный бассейн. Через эти «ворота» идет чрезвычайно интенсивный обмен водными и воздушными массами между средними и высокими широтами [98].

В течение всего года океанские течения и ветры обеспечивают перенос тепла на север. Этим объясняется высокая температура в атлантическом секторе Арктики. В целом, общее количество тепла, получаемое зимой поверхностью от солнца в арктических районах, гораздо меньше.

Вечная мерзлота полностью отсутствует под большими озерами и ледниками, а также фьордами, так как изолирующий слой воды и льда помогает теплу, поднимающемуся из земных глубин, сдерживать промерзание грунта.

Даже там, где вечная мерзлота подобна броне, можно найти слабые места. Кое-где талая вода ледников просачивается вниз сквозь трещины в скальном основании и попадает в более глубокие слои, лежащие ниже вечной мерзлоты. Таким образом, вода может находиться в глубине под давлением и в конце концов под напором выбраться на поверхность. Здесь она замерзнет и за много лет выстроит ледяные холмы, покрытые гравием и камнями в десятки метров высотой.

Вода из нижних слоев, с более умеренной температурой, противостоит воздействию суровых температур на поверхности. Как уже упоминалось, температура на скальном основании, под крупными ледниками остается сравнительно высокой круглый год – близкой к 0 °С. Поэтому талая вода может вытекать из-под ледника на равнину даже в середине зимы. Если воздух окажется холодным, вода замерзнет довольно быстро после своего выхода на поверхность, образовав обширные поля льда перед ледником площадью до 1 км² и даже больше [95].

В западной многоснежной зоне Западного Шпицбергена на террасированном горном склоне расположен п. Баренцбург, а п. Пирамида – в малоснежной центральной равнине этого острова, на предгорной равнине с малой эрозионной расчлененностью. В первом районе сумма зимних осадков и снегозапасы на уровне моря в 2,5 раза больше, чем во втором. В п. Баренцбург и его окрестностях толщина снежного покрова может достигать 5 м. Интенсивны метели северо-восточного направления [43].

Снежные лавины в районе Баренцбурга и в целом на Шпицбергене невелики по объему, но многочисленны и наносят материальный ущерб. При сильных метелях под бровкой плато быстро накапливаются снежные карнизы, которые затем, благодаря малой механической прочности свежего метелевого снега, обрушиваются, иногда инициируя сход лавин со всего склона. Имеются случаи разрушения транспортной галереи горнодобывающего комплекса [43].

Весной в обоих районах сходят многочисленные мокрые лавины. Однако даже при дружном снеготаянии они малы по объему, скорости движения и дальности выброса и почти никогда не достигают подножия склона. В период снеготаяния в районе Баренцбурга возникает интенсивная эрозия почвогрунтов, обусловленная рядом природных и антропогенных факторов. Повышенное снегонакопление на склоне плато и особенно в поселке (50–150 г/см²) способствует сохранению снежного покрова до наступления теплой и солнечной погоды. Значительная техногенная запыленность всей снежной толщи определяет направленное загрязнение ее поверхности и интенсификацию таяния, причем модуль талого стока достигает сотен л/(с·км²). Уклоны русел временных водотоков, составляющие 10–25 ‰, при характерных расходах воды 10–100 л/с обеспечивают высокую эрозионную способность таких ручьев [43]. Особенно интенсивная эрозия возникает на искусственных насыпных террасах.

Водоснежные потоки обнаружены на леднике Бертиль и р. Мунин в районе п. Пирамида и в русле ручья Улаф у п. Баренцбург. Для противодействия эрозии и подтоплению поселка выше по склону построен бетонный нагорный канал, который должен был перехватывать и отводить склоновый сток, однако к весне он полностью забивается снегом. Поскольку водный поток, учитывая малые уклоны канала и близкую к 0 °С температуру воды, не в силах размывать скопившийся снег, талая вода из канала устремляется ручьями вниз на поселок и дороги.

Малая величина снегозапаса на территории п. Пирамида и прилегающем склоне обычно обуславливает незначительную эрозионную деятельность талых вод. Она резко активизируется лишь при редком сочетании многоснежной зимы с дружной весной. Находящийся на склоне над поселком крупный отвал пустой породы, содержащий слои снега и льда, служит очагом зарождения гляцио-техногенных селей, которые сходят по ручьям Угольному и Центральному.

Сведений о водоснежных потоках пока мало, однако несомненно, что они формируются как на леднике Бертиль и р. Мунин в районе Пирамиды, так и в русле ручья Улаф у Баренцбурга.

Разнообразные природные и техногенные наледы особенно интенсивно формируются в районе Пирамиды, где зима значительно холоднее, а толщина снега меньше, чем в районе Баренцбурга. Почти вся обширная пойма р. Ми-мер благодаря ее малым уклонам и подпору подруслового стока, создаваемому полузапрудой, покрыта наледью толщиной 2–3 м, а в куполах наледных бугров – до 5 м. Большинство наледей Пирамиды интенсивно нарастает в октябре–декабре, затем рост их замедляется либо совсем прекращается, кроме случаев устойчивой водоотдачи источника, обычно техногенного. С мая до конца июня большинство наледей исчезает. Исключение составляют лишь те, которые в период таяния заносятся слоем грунта толщиной более 10–20 см. На территории Баренцбурга благодаря большому естественному и техногенному снегонакоплению и значительным уклонам поверхности существенного наледобразования не наблюдается. Ближайшая крупная наледь расположена в долине р. Грён. Хотя в некоторых местах на поверхности этой наледи всю зиму появляется вода. Сильный сероводородный запах делает ее непригодной для водоснабжения.

Зимой климатические условия Шпицбергена благоприятны для искусственного наледобразования, которое может применяться для создания временных дорог, переправ и других инженерных сооружений, а также для намораживания холодильников.

Немаловажную роль в изменчивости природной среды Шпицбергена играют и воздушные массы, связанные с южной и западной ветвями циклонов, отходящими от исландского минимума. Северная ветвь этих циклонов проходит над акваториями Гренландского и Норвежского морей и вносит в Арктику аэрозоли не только из Европы, но и с восточного побережья Северной Америки. В целом ситуация, благоприятствующая переносу загрязняющих веществ из этих районов, занимает лишь около 15 % годового времени. Однако именно с ней связаны максимальные выпадения осадков, приносимых циклонами. Вблизи Шпицбергена может осуществляться разгрузка воздушных масс в небольшой зоне приполюсной барической депрессии [35].

Потепление климата последних лет (рис. 4) и рост высоты границы питания на территории острова Западный Шпицберген стали причиной увеличения площади зон абляции на всех ледниках. Это привело к усилению таяния на ледниках и увеличению ледникового стока [41].

Кривая линия соответствует 11-летнему скользящему осреднению. Прямыми тонкими линиями показаны линейные тренды за периоды 1948–2013 гг. и 1976–2013 гг. [6]

Наиболее существенно рост площадей абляции был отмечен на горно-долинных ледниках, для большинства из которых их баланс массы стал устойчиво отрицательным. Для всех горно-долинных ледников острова в настоящее время характерно сокращение размеров, которое выражается в понижении поверхностей и отступании краев ледников (табл. 1). Особенно сильно потепление сказалось на ледниках, оказавшихся полностью ниже высоты границы питания: Вёринг, Альдегонда, Линне, Тунге, Ларс, Хорн, Хамберг и др.

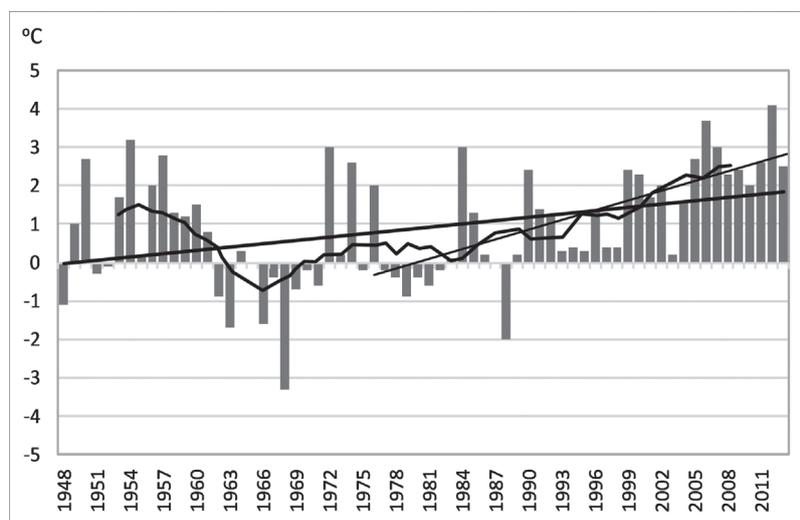


Рис. 4. Аномалии средней годовой (январь–декабрь) температуры воздуха за период наблюдений с 1948 по 2013 гг. по данным ГМО «Баренцбург» [6]

Таблица 1

Понижение поверхности и баланс массы некоторых горно-долинных ледников острова Западный Шпицберген [58]

Ледник	Интервал высот, м	Ориентация	Площадь ледника, км ^{2*}	Средний баланс массы, г/см ²
Альдегонда	80–650	ВСВ	10/7	–86
Западный Грэнфьорд	6–749	ВСВ	39/19,5	–63
Восточный Грэнфьорд	30–749	С	11,2/10,1	–99
Брюде	220–560	С	1,87/1,25	–81
Линне	125–400	С	4,0/2,7	–81
Тавле	200–775	СВ	12/11,2	–94
Тунге	280–650	С	3,0/2,5	–81
Лонгйир	200–1000	ССВ	3,5/3,4	–34
Брэггер	50–550	С	12/10,5**	–47
Ловен	70–700	С	2,5/1,9**	–36
Эрик	20–650	ВЮВ	10/9***	–23
Вальдемар	130–510	З	2,7–2,6	–54

Примечание: * в числителе – площадь ледника в 1936 г., в знаменателе – в 2002–2003 гг., ** – 1966/1990 гг., *** – 1938/1990 гг.

Анализ имеющихся данных показывает, что многие выводные ледники горнопокровного оледенения также деградировали с 1936 г. по 1990 г. Однако потепление климата затронуло эти ледники в меньшей степени, чем горные ледники. Это связано с тем, что повышение высоты границы питания за это время в наибольшей степени сказалось только на выводных ледниках [58]. Языки некоторых покровных ледников с 1936 г. отступили до трех и более километров. При этом соотношение площади аккумуляции ко всей площади ледника изменилось не так сильно.

На Шпицбергене распространены формации криогенных, нейтральных и слабокислых почв арктического климата. В развитии арктических почв большую роль играет мерзлота. Господствует физическое выветривание. Почвообразующими породами здесь являются щебнистый элювий и делювий массивных кристаллических и плотных осадочных пород, а также моренные, морские и аллювиальные отложения различного механического состава, преимущественно алеврито-песчаные с крупнообломочным материалом (щебень-галька). Гранулометрический состав почв определяется происхождением и составом почвообразующих пород. В разных почвах можно выделить фракции, которые доминируют в большинстве случаев. Среди песчаных частиц доминирующей является фракция мелкого песка (размеры частиц 0,25–0,05 мм), а среди пылеватых частиц – фракция крупной пыли (0,05–0,01 мм). В сумме эти две фракции составляют 52–58 % от массы мелкозема. Минимальное содержание илстых частиц характерно для почв морских террас – 7 ± 1 %, а максимальное – для почв на речном аллювии – 21 ± 2 %. Почвы, сформированные на других породах, содержат 11–13 % илстых частиц. Содержание физической глины (частицы < 0,01 мм) используется для обобщенной оценки гранулометрического состава. Почвы на морских породах по этому показателю в целом можно отнести к супесям (17 ± 3 % физической глины), почвы коренных террас, а также на пролювии – к средним суглинкам, а почвы на аллювии – к тяжелым суглинкам (46 ± 1 % физической глины) [74].

Почвы Шпицбергена характеризуются относительно бедным химическим составом. Так, например, содержание SiO_2 в почвах на супесчаных и суглинистых породах разного происхождения колеблется от 72 до 75 %, а в почвах на речном аллювии составляет около 71 %. Отличительной особенностью почв архипелага является крайне низкое валовое содержание CaO (в среднем оно составляет 0,71 %). Почвы, сформировавшиеся на разных породах, в целом, достаточно близки по валовому содержанию основных химических элементов. Исключение составляют почвы на речном аллювии, отличающиеся более значительным содержанием большинства элементов [74].

Реакция почв слабокислая и нейтральная (рН от 6 до 7), реже – слабощелочная. В более суровых условиях встречаются арктические пустынные почвы. Значительные пространства здесь занимают каменные россыпи, эоловые пески. На оголенных участках грунты слабо затронуты почвообразованием или покрыты тонкой почвопленкой с цианобактериями. Арктические болотные почвы распространены на участках, увлажненных талыми проточными водами ледников. В устьях рек, заливаемых морскими водами, встречаются маршевые солончаки, а на птичьих базарах – биогенные аккумуляции.

1.3. Антропогенные факторы загрязнения природной среды

В полярных широтах устойчивость природных экосистем к внешним воздействиям в значительной мере определяется экстремальными природными условиями, что характерно и для архипелага Шпицберген. К числу таковых относятся низкие среднегодовые температуры, сложная гидрометеорологическая обстановка, дефицит кислорода, резкие вариации геомагнитного поля, долгие полярная ночь и полярный день. Нельзя недооценивать и негативную роль техногенного фактора. В целом удаленность архипелага от промышленного влияния мегаполисов создает достаточно благоприятные условия существования человека и его практической деятельности. Однако в последние годы усиление техногенного воздействия на экосистемы архипелага внушает серьезные опасения.

На Западном Шпицбергене к основным источникам загрязнения следует отнести: добычу угля в поселках Свеагрува и Баренцбург, мощные ТЭЦ и котельные, отвалы сопутствующей породы (рис. 5).

Значительно меньший вклад в загрязнение вносят транспорт, геологоразведочные работы, отвалы золы, сжигание мусора.

Основную роль в локальном загрязнении Шпицбергена играют местные горнодобывающие (угольные) и энергетический комплексы.

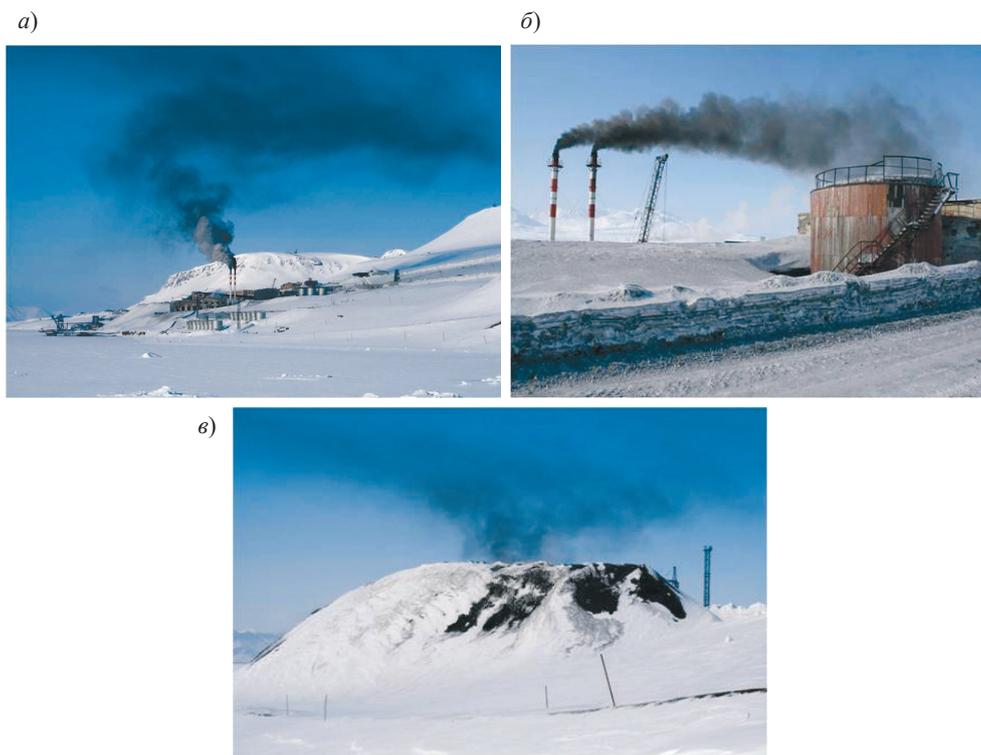


Рис. 5. Основные источники загрязнения: а) добыча угля в Баренцбурге; б) ТЭЦ и котельные; в) отвалы сопутствующей породы

Первая промышленная разработка месторождений угля началась в долине Адвентфьорда, когда Джон Лонгйир в 1906 г. получил права на добычу и основал поселок Лонгйир. В 1916 г. права на добычу были проданы норвежской компании Store Norske Spitsbergen Kulkompani AS (Store Norske) [31].

В настоящее время активную хозяйственную деятельность на архипелаге Шпицберген ведут две страны – Норвегия и Россия.

Большая часть угля, добываемого норвежскими шахтерами, производится на шахте компании Store Norske в п. Свеагруве. Здесь расположен самый крупный на Шпицбергене и второй по уровню добычи в Европе угледобывающий комплекс. Производительность предприятия – 2,7 млн т угля в год. Мощность угольного пласта составляет от 3,8 до 5,0 м. Добыча ведется подземным способом. Добытый уголь транспортируется к морскому порту по 13-километровой дороге, проложенной по леднику [30].

Российская хозяйственная деятельность на острове Западный Шпицберген началась в 1923 г. с покупки акций компании «Англо-Русский Грумант», созданной эмигрантами из России. В 1927 г. наша страна покупает лицензионный участок «Гора Пирамида». В 1931 г. организуется Государственный трест «Арктикуголь», которому переданы все имущество, права и обязательства Советского Союза на Шпицбергене.

В апреле 1932 г. трест «Арктикуголь» приобретает у голландской компании «Неспиико» шахту «Баренцбург» на берегу Грэнфьорда и еще один земельный участок, Тундру Богемана, расположенный на северном побережье Исфьорда. В очень сжатые сроки были построены новые и восстановлены старые шахты, что позволило уже к 1936 г. добыть всеми рудниками треста «Арктикуголь» миллион тонн угля [38].

Во время Второй мировой войны работы на рудниках были прекращены и весь персонал советских шахт был эвакуирован в Архангельск. В результате рейда немецкой эскадры на Шпицберген шахты и рабочие поселки были полностью уничтожены. Восстановление рудников началось в 1946 г., и к 1950 г. все довоенные шахты были вновь введены в строй. К настоящему времени трест «Арктикуголь» является собственником четырех угольных месторождений общей площадью около 251 км²: Баренцбург (56,30 км²), Тундра Богемана (68,4 км²), Грумант (79,30 км²), Пирамида (47,05 км²) [31].

Рудник Грумант и портовый погрузочный комплекс в поселке Колсбей по экономическим причинам были закрыты в 1961 г. По оценкам, выполненным трестом «Арктикуголь», разведанные запасы угля на месторождении составляют около 100 млн т. Разработку этого месторождения планируется возобновить после того, как закончится промышленная добыча угля на руднике Баренцбург.

Рудник Пирамида прекратил добычу угля в 1998 г., остаточные запасы угля составляли свыше 3 млн т.

Ряд таких установленных в настоящее время факторов, как наличие в организмах чаек хлороорганических соединений, высокая доля тяжелых металлов в донных осадках фьордов и близлежащей акватории, усиливает необходимость идентификации различных видов загрязняющих веществ с определением их вклада в экосистемы региона.

В настоящее время уже выявлено, что среди загрязняющих веществ глобального распространения особое место занимают полициклические арома-

тические углеводороды (ПАУ), отличающиеся высоким уровнем химической устойчивости и канцерогенности [3]. Поступление в окружающую среду первых двух из трех основных типов (петрогенные, биогенные и пирогенные) связано с топливным сырьем и продуктами его переработки.

Кроме того, на фоне разработки месторождений каменного угля в начале 1990-х годов при бурении скважин на северо-восточном берегу бухты Петунья на глубине от 200 до 750 м были обнаружены нефте- и газонасыщенные отложения среднекаменноугольного возраста [18].

Таким образом, величина естественного поступления полициклических ароматических углеводородов в природную среду в результате размыва выходов угля и диссипации нефти может существенно возрасти при их промышленном освоении. Следует учесть и потери при хранении, транспортировке угля, а также атмосферной эмиссии продуктов сжигания различных видов топлива. Установлено, что уровень загрязнения этими соединениями донных отложений прибрежья архипелага Шпицберген существенно превышает аналогичные показатели для Баренцева моря [81]. Из неприродных источников загрязнения особую опасность для биосферы представляют хлорорганические соединения.

Данные о наличии других загрязняющих веществ на Шпицбергене, в частности радиоактивных материалов, немногочисленны. Можно лишь догадываться, что ядерные испытания 1960-х годов на Новой Земле затронули и природную среду архипелага [62]. Действительно, анализ распределения искусственных радионуклидов в донных осадках Кольского залива [62] показал, что максимум их содержания приходится на середину 1960-х и отвечает повышенному выпадению ^{137}Cs из атмосферы. Однако сейчас в целом поверхностные слои донных осадков Баренцева моря характеризует фоновый уровень радиоактивности, который в среднем колеблется от 0,5 до 6 Бк/кг [60, 62]. Так, содержание ^{137}Cs в пределах шельфа архипелага Шпицберген не превышает 3 Бк/кг, локально достигая 10–17 Бк/кг в алевритовых и глинистых осадках заливов Конгсфьорд, Хорнсунн, Норденшельда и др.

Выброс искусственных радиоизотопов в атмосферу в результате аварии в Чернобыле привел к возникновению нового маркирующего горизонта в толще осадков на ледниках Шпицбергена. Уровень бета-активности загрязненных осадков местами повышен на два порядка [60].

В целях сохранения природной уникальности архипелага Шпицберген одной из задач является исследование современной трансформации загрязняющих веществ по отдельным компонентам природной среды.

1.3.1. Загрязнение атмосферного воздуха

Значительная часть аэрозолей возникает в результате превращения в атмосфере газовых примесей. Количество пыли, образующейся вследствие такого преобразования газов, в несколько раз превышает ее прямой выброс [11].

Скорость осаждения аэрозольных частиц определяется их плотностью и размерами. В этом плане аэрозоли делятся на легкие или мелкодисперсные, к которым относятся частицы от тысячных долей микрона до 5–8 мкм, и тяжелые – до сотен микрон. Мелкодисперсные аэрозоли переносятся на значительные расстояния от источника и играют существенную роль в формирова-

нии фоновых показателей загрязнения. Основную массу аэрозоля составляют частицы, превышающие 2 мкм и главным образом частицы, размер которых достигает сотни микрон. Такие частицы не вовлекаются в дальний перенос и, осаждаясь вблизи источника, образуют пятно локального загрязнения.

Согласно теории атмосферной диффузии [11], распространение примесей в приземном слое воздуха подчиняется экспоненциальному закону. С возрастанием высоты источника загрязнения значения максимальной концентрации аэрозолей вблизи него уменьшаются, но возрастает ареал их распространения.

В весенний и летний периоды 2017 г. отбор проб атмосферного воздуха производился на территории п. Баренцбург, п. Пирамида, в районе расположения ЗГМО «Баренцбург» и вблизи консульства, в окрестностях поселка, в районе свалки бытовых отходов, в устье р. Грён и на противоположной стороне залива Грёнфьорд в районе оз. Стемме, в районе мыса Дрессельхус. В пробах атмосферного воздуха определялись концентрации пыли, газовых примесей и легколетучих органических соединений (ЛОС). Также был проведен отбор проб атмосферного аэрозоля для определения соединений тяжелых металлов (Ni, Co, Zn, Cd, Cu, Pb, Cr, Hg) и мышьяка, хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ), и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ).

Определяемые полициклические ароматические углеводороды и хлорорганические соединения включали в себя:

– ПАУ – сумму концентраций 16 приоритетных ПАУ: нафталина, аценафтилена, флуорена, аценафтена, фенантрена, антрацена, флуорантена, пирена, бенз(а)антрацена, хризена, бенз(б)флуорантена, бенз(к)флуорантена, бенз(а)пирена, дибенз(аh)антрацена, индено(123cd)пирена, бенз(ghi)перилена;

– полихлорбензолы – сумму концентраций пентахлорбензола и гексахлорбензола;

– ГХЦГ – сумму концентраций α -, β - и γ -изомеров ГХЦГ;

– ДДТ – сумму концентраций 2,4 ДДЕ, 4,4 ДДЕ, 2,4 ДДД, 4,4 ДДД, 2,4 ДДТ и 4,4 ДДТ;

– полихлорциклодиены – сумму концентраций гептахлора, альдрина, октахлорстирола, хлорэпоксида, транс-хлордана, цис-хлордана, транс-нонахлора, цис-нонахлора, фотомирекса, мирекса.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы (табл. 2):

– в весенний период 2017 г. в пробах атмосферного воздуха максимальные концентрации достигали: по пыли – 7,23 мкг/м³, по диоксиду серы – 2,35 мкг/м³, оксиду углерода – 413 мкг/м³, диоксиду азота – 1,13 мкг/м³;

– в летний период отмечена тенденция повышения максимальных концентраций: по пыли – до 9,12 мкг/м³, диоксиду серы – до 3,22 мкг/м³, оксиду углерода – до 486 мкг/м³, диоксиду азота – до 2,13 мкг/м³;

– в весенний период из хлорорганических соединений (ХОС) в пробах воздуха обнаружены следующие соединения: сумма полихлорбензолов – до 0,032 нг/м³; сумма ГХЦГ – до 0,013 нг/м³; сумма ДДТ – 0,020 нг/м³; сумма 15 конгенеров ПХБ – 0,144 нг/м³ при среднем значении < 0,05 нг/м³;

Таблица 2

**Интервалы и средние значения концентраций
загрязняющих веществ в атмосферном воздухе [Приложение, п. 26]**

Показатель	Весенний период		Летний период	
	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее
Пыль, мкг/м ³	5,67–7,23	6,16	6,27–9,12	7,13
Диоксид серы, мкг/м ³	1,59–2,35	1,86	2,05–3,22	2,44
Оксид углерода, мкг/м ³	375–413	381	404–486	448
Диоксид азота, мкг/м ³	0,45–1,13	0,71	0,67–2,13	1,24
Сероводород, мкг/м ³	< 0,5	–	< 0,5	–
Летучие органические соединения, мкг/м ³	< 1,00	–	< 1,00	–
Соединения тяжелых металлов, мкг/м³				
Железо	< 0,01	–	< 0,01	–
Марганец	< 0,0004	–	< 0,0004	–
Цинк	< 0,002	–	< 0,002	–
Медь	< 0,0004	–	< 0,0004	–
Никель	< 0,0008	–	< 0,0008	–
Кобальт	< 0,0004	–	< 0,0004	–
Свинец	< 0,002	–	< 0,002	–
Кадмий	< 0,00004	–	< 0,00004	–
Хром	< 0,0004	–	< 0,0004	–
Ртуть	< 0,0004	–	< 0,0004	–
Мышьяк	< 0,002	–	< 0,002	–
Полициклические ароматические углеводороды, нг/м³				
Нафталин	< 0,2	–	< 0,2	–
Аценафтилен	< 0,2	–	< 0,2	–
Флуорен	< 0,5	–	< 0,5	–
Аценафтен	< 0,5	–	< 0,5	–
Фенантрен	< 0,01	–	< 0,01	–
Антрацен	< 0,02	–	< 0,02	–
Флуорантен	< 0,1	–	< 0,1	–
Пирен	< 0,1	–	< 0,1	–
Бенз(а)антрацен	< 0,01	–	< 0,01	–
Хризен	< 0,03	–	< 0,03	–
Бенз(б)флуорантен	< 0,02	–	< 0,02	–
Бенз(к)флуорантен	< 0,01	–	< 0,01	–
Бенз(а)пирен	< 0,05	–	< 0,05	–
Дибенз(аh)антрацен	< 0,05	–	< 0,05	–
Индено(123cd)пирен	< 0,1	–	< 0,1	–

Показатель	Весенний период		Летний период	
	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее
Полициклические ароматические углеводороды, нг/м³				
Бенз(ghi)перилен	< 0,05	–	< 0,05	–
Сумма ПАУ	< 0,05	–	< 0,05	–
Хлорорганические соединения, нг/м³				
Сумма полихлорбензолов	< 0,01–0,032	< 0,01	< 0,01	–
Сумма ГХЦГ	< 0,01–0,013	< 0,01	< 0,01	–
Сумма ДДТ	< 0,01–0,020	< 0,01	< 0,01	–
Сумма полихлорциклодиенов	< 0,01	–	< 0,01	–
Сумма ПХБ	< 0,05–0,144	< 0,05	< 0,01	–

– в летний период в атмосферном воздухе концентрация соединений группы ПАУ, хлорорганические соединения (ХОС), такие как сумма ГХЦГ, ДДТ, хлорбензолов, полихлорбифенилов (ПХБ), сероводорода и летучих органических соединений была ниже предела обнаружения.

Для оценки роли атмосферного воздуха в загрязнении окружающей природной среды часто используют лишайники, способные улавливать многие микропримеси из окружающей среды. Содержание поллютантов в лишайниках в сотни раз могут превышать соответствующие концентрации в атмосфере. Исследования, проведенные у п. Нью-Олесунн, на мысе Лайелл (западное побережье Ван-Келенфьорда), показали, что содержание серы в лишайниках не превышает фоновое, а степень загрязненности не превышает установленных норм [77].

В то же время, микроэлементный состав мхов и лишайников на о. Западный Шпицберген свидетельствует о наличии вокруг п. Баренцбург факела рассеяния загрязняющих веществ (табл. 3). Однако их накопление не столь ярко. Лишь непосредственно около поселка можно отметить небольшое увеличение в отдельных пробах концентраций соединений железа, свинца, стронция, лития, марганца и кобальта.

Повышенные концентрации отдельных элементов обнаружены лишь в пределах 3–5 км от поселка по направлению преобладающих ветров. Если для лития и стронция это связано в первую очередь с расположением на берегу фьорда и с заносом с открытой летом морской поверхности аэрозолей, то для остальных не исключено влияние процессов добычи и использования местного угля. Обращает на себя внимание и некоторое накопление свинца во мхе *Drepanocladus* в районе залива Хорнсунн, что связано с близким расположением исследовательской станции и частыми заходами судов, использованием вертолетов.

Единичные данные в окрестностях п. Лонгйир также свидетельствуют о некотором накоплении свинца и меди в фитоиндикаторах (*Cetraria sp.*). Не исключено, что это обусловлено влиянием аэропорта и автодороги [35].

Таблица 3

Содержание микроэлементов во мхах и лишайниках (мкг/кг) [35]

Вид	Район	Соединения				
		меди	цинка	марганца	железа	свинца
<i>Sprhagnum rubellum</i>	Грёндален	6,40	21,1	80,90	2345,3	3,20
<i>Cladina rangiferia</i>	Рейндален	1,50	12,7	–	–	2,40
<i>Cladonia gracilis</i>	Грёндален	1,60	9,10	–	–	7,70
<i>Cetraria sp.</i>	Сассендален	1,40	14,2	39,20	243,6	10,3

Вид	Район	Соединения				
		кадмия	никеля	кобальта	хрома	стронция
<i>Sprhagnum rubellum</i>	Грёндален	0,20	6,10	2,40	1,80	21,10
<i>Cladina rangiferia</i>	Рейндален	0,10	1,30	–	–	–
<i>Cladonia gracilis</i>	Грёндален	0,20	2,30	–	–	–
<i>Cetraria sp.</i>	Сассендален	0,23	0,05	0,10	0,20	48,30

1.3.2. Загрязнение снежного покрова

Снежный покров обладает рядом свойств, позволяющих использовать его в качестве индикатора загрязнения атмосферных осадков и воздуха, а также исследуемых водных объектов и почв [14].

Информация о характере и уровне загрязненности снежного покрова [14] позволяет сделать следующие заключения:

- загрязнение снежного покрова приводит к ускорению, по сравнению с чистым снегом, на 2–3 недели сроков его схода;
- определение интенсивности выпадения и суммарного объема пыли на территории вокруг источников загрязнения важно для оценки антропогенных воздействий на растительный и почвенный покров;
- по данным о загрязнении снежного покрова можно судить о степени загрязнения воздуха.

Исследования, проведенные в период максимального снеготаяния в мае 1987 г., показали, что загрязненность снежного покрова (концентрация пыли определялась весовым методом) в поселке изменялась: от 134 до 1503 т/км² с тенденцией увеличения вблизи дорог и других местных источников загрязнения до 129–134 т/км² с тенденцией снижения по мере удаления от ТЭЦ. В среднем за год на территорию поселка поступает 380 т пыли, а интенсивность выпадения составляет 480 т/км² в год [42].

Проведенный в зимний сезон 2014 г. отбор свежеснеговывпавшего снега и интегральных проб из снежных шурфов в окрестностях п. Баренцбург и п. Лонгйир показал, что концентрация нерастворимых частиц в пробах снега в окрестностях п. Баренцбург в апреле 2014 г. варьировала от 30,2 до 108,9 мг/л (в среднем 57,8 мг/л). В окрестностях п. Лонгйир концентрации нерастворимых частиц были также высокими и варьировали от 81,8 до 123,9 мг/л (среднее значение – 102,9 мг/л). Такие высокие концентрации нерастворимых частиц в снеге рассматриваемого района связаны с тем, что в данном районе добывается уголь. При переработке и сжигания угля происходит выделение в атмосферу угольной пыли и продуктов сгорания [75].

Общая площадь антропогенного загрязнения, включая сам поселок, составляет 5,3 км², где отлагается 600 т пыли в год. Проведенные исследования позволили сделать вывод об узком, локальном характере загрязнения вокруг п. Баренцбург.

В снежном покрове, отобранном в районе поселка, отмечается повышение (до 1–4 мг/л) содержания сульфатов, что связано с использованием для отопления местных сернистых углей. Следует при этом отметить, что заметного увеличения сульфатов на морском побережье не наблюдалось [35].

Изучение распределения концентраций соединений тяжелых металлов вблизи источников поступления этих компонентов в атмосферу показало, что в п. Баренцбург и его окрестностях отмечены повышенные концентрации металлов в наиболее загрязненном снеге с обилием включений минеральных частиц вблизи местной ТЭЦ до следующих максимальных величин (мкг/л): *Cd* (кадмий) – 1,0; *Cu* (медь) – 11,7; *Pb* (свинец) – 7,4; *Ni* (никель) – 5,4; *Mn* (марганец) – 12,3. В большинстве же точек отбора в поселке и вблизи него концентрации металлов заметно ниже (мкг/л): *Cd* – 0,2; *Cu* – 0,6; *Mn* – 1,3; *Pb* – 0,8; *Ni* – 0,1. В снежном покрове и талой воде вблизи свалки мусора в районе п. Баренцбург обнаружено возрастание кадмия более чем в 10 раз по сравнению с фоном.

Сравнение результатов анализов снега в поселке и на точках, удаленных от него на юго-восток за цепь гор высотой 400–500 м, выявило некоторое уменьшение концентрации свинца и никеля. Для остальных элементов уменьшения не обнаружено.

Изучение сезонных слоев в снежном шурфе вблизи поселка показало заметное уменьшение содержания кадмия, марганца и меди в нижней части толщи в слоях осеннего снега и фирна. Подобное распределение обусловлено не только особенностями по сезонам года вымывания различных металлов из атмосферы, но и процессами перераспределения их внутри снежника. Обращает на себя внимание отсутствие подобного перераспределения свинца. В пробах воды, вытекающей из-под снега по мерзлой почве на окраине поселка, отмечено наличие повышенных концентраций ряда металлов (мкг/л): кадмия (*Cd*) – 0,5; меди (*Cu*) – 2,0; марганца (*Mn*) – 70,0; свинца (*Pb*) – 3,0; никеля (*Ni*) – 2,5; лития (*Li*) – 12,5. Это, вероятно, объясняется не только интенсивным выносом микроэлементов из снежного покрова, но и их наличием вблизи автомобильной дороги, животноводческой фермы и свалки мусора.

В этот же период максимального снеготаяния проведено определение микроэлементов и в снежном покрове на удалении до 30 км от поселка на

противоположном берегу Грэнфьорда, на ледниках Вёринг, Альдегонда и в долине оз. Линне [35]. В пробах снега с ледника Вёринг концентрации металлов были ниже по сравнению с окрестностями поселка. В смешанном годовом слое среднее содержание составило (мкг/л): по кадмию – 0,09; меди – 0,54; марганцу – 3,1; свинцу – 0,43; никелю – 0,06. Следует отметить, что в отдельных слоях снега наблюдается некоторое повышение содержания рассматриваемых микроэлементов, что можно объяснить относительной близостью и открытостью ледника к поселку. Еще более низкие концентрации металлов определены в снеге в долине Линне, вытянутой в меридиональном направлении на 20 км. На севере долина открывается к Исфьорду, а с трех других сторон окружена хребтами высотой 400–700 м. Особенности местной атмосферной циркуляции несомненно воздействуют на распределение в снежном покрове металлов, имеющих здесь следующие средние значения (мкг/л): свинец – 0,40; кадмий – 0,04; медь – 0,45; марганец – 0,6. Распределение свинца по долине равномерно, но лишь в одной точке на северо-востоке отмечается его резкое увеличение до 1,24 мкг/л, что, вероятно, связано с влиянием выбросов ТЭЦ, приходящих через ущелье в горной цепи при частых восточных ветрах. Здесь же повышено содержание кадмия и меди.

Анализ накопленной в АНИИ информации за 2002–2005 гг. по уровню содержания загрязняющих веществ в снежном покрове в районе п. Баренцбург и в точках фонового мониторинга позволил сделать следующие выводы (табл. 4):

- суммарное содержание нефтяных углеводородов по своим максимальным значениям в окрестностях п. Баренцбург в 7,9 раз превышало максимальные значения в точках фонового мониторинга (91,0 мкг/л);
- суммарное содержание полициклических ароматических углеводородов по своим максимальным значениям в окрестностях поселка в два раза выше, чем в точках фонового мониторинга с очевидным доминированием в их составе нафталина;
- в окрестностях поселка в 1,8 раз выше фонового содержание полихлорбифенилов;
- среди соединений тяжелых металлов во всех исследуемых пробах, отобранных в окрестностях п. Баренцбург преобладают соединения цинка, меди, никеля и свинца.

Таблица 4

Интервалы и средние уровни содержания загрязняющих веществ в снежном покрове района расположения п. Баренцбург, его окрестностей и точек фонового мониторинга за период 2002–2005 гг. [31]

Параметр	Поселок Баренцбург		Окрестности п. Баренцбург		Точки фонового мониторинга	
	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее
Суммарные НУ, мкг/л	12,7–93,3	59,6	19,5–718	109	< 2–91,0	46,3
Полициклические ароматические углеводороды						
Нафталин, нг/л	52,8–466	299	< 2–381	201	< 2–376	133

Продолжение табл. 4

Параметр	Поселок Баренцбург		Окрестности п. Баренцбург		Точки фонового мониторинга	
	Интер- вал	Среднее	Интер- вал	Среднее	Интер- вал	Среднее
Аценафтилен, нг/л	< 5,0–10	< 5,0	< 5–15,6	3,03	< 5,0–15	< 5,0
Флуорен, нг/л	< 2,0– 13,8	4,54	< 2–33,1	5,54	< 2–12,4	4,36
Аценафтен, нг/л	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
Фенантрен, нг/л	< 0,5– 17,1	6,45	< 5–100	12,9	< 0,5–21	7,86
Антрацен, нг/л	0,31–0,9	0,60	< 0,2– 16,2	1,80	< 0,2–3	1,05
Флуорантен, нг/л	< 1–13,6	424	< 1–117	12,0	< 1–8	3,56
Пирен, нг/л	< 1–9,8	3,02	< 1–83,3	8,74	< 1–5,7	2,06
Бенз(а)антрацен, нг/л	< 0,1–5,6	1,60	< 0,1– 54,5	6,09	0,1–4,9	1,32
Хризен, нг/л	< 0,3–6,9	1,92	< 0,3– 59,0	6,53	< 0,3–6,4	1,80
Без(б)флуорантен, нг/л	< 0,2–6,2	2,04	< 0,2– 37,6	7,24	< 0,2–5,4	2,20
Без(к)флуорантен, нг/л	< 0,1–5,6	1,52	< 0,1– 27,8	5,36	< 0,1–2,6	1,64
Бенз(а)пирен, нг/л	< 0,5–2,6	0,86	< 0,5–44	5,49	< 0,5– 2,38	0,85
Дибенз(аh)антрацен, нг/л	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Индено(123cd)пирен, нг/л	< 1,0	< 1,0	< 1–8	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Бенз(ghi)перилен, нг/л	< 0,5	< 0,5	< 0,5–25	2,32	0,5	< 0,5
Сумма ПАУ, нг/л	111–515	356	16,3–941	306	25,8–467	204
Хлорорганические соединения						
Сумма полихлорбензолов, нг/л	< 0,05– 0,18	0,09	< 0,05– 0,32	0,10	< 0,05– 0,89	0,25
Сумма ГХЦГ, нг/л	2,69– 13,7	7,76	< 0,05– 14,1	5,99	2,20– 23,9	10,8
Сумма ДДТ, нг/л	0,43– 2,71	1,58	< 0,05– 4,12	1,18	< 0,05– 1,79	0,85
Сумма полихлорциклоди- енов, нг/л	< 0,05– 0,19	< 0,05	< 0,05– 0,07	0,05	< 0,05	–
Сумма ПХБ, нг/л	2,33– 13,2	5,71	0,18– 21,6	5,56	0,42– 4,52	3,19
Тяжелые металлы						
Цинк, мкг/л	1,90– 7,73	5,59	2,48– 35,1	10,8	7,2–13,8	9,61

Параметр	Поселок Баренцбург		Окрестности п. Баренцбург		Точки фонового мониторинга	
	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее
Медь, мкг/л	1–6,10	2,55	0,86–3,62	1,91	1,30–4,30	2,26
Никель, мкг/л	1–11,8	5,84	0,90–10,0	4,57	2,36–10,2	4,87
Свинец, мкг/л	< 0,3–12,9	3,63	0,40–6,50	2,41	0,81–5,60	3,39
Кадмий, мкг/л	0,28–1,56	0,76	0,09–2,03	0,50	0,07–1,06	0,32
Ртуть, мкг/л	0,007–0,022	0,012	< 0,005–0,014	0,008	0,005–0,01	0,007
Мышьяк, мкг/л	< 0,1–1,47	0,49	< 0,1–1,70	0,37	< 0,1–0,84	0,32

В ходе проведенных весенних экспедиционных исследований 2017 г. в образцах снежного покрова, отобранных в районе расположения п. Баренцбург, проводилось определение содержания компонентов минерального состава: хлоридов, сульфатов, щелочных и щелочно-земельных металлов – натрия (*Na*), калия (*K*), кальция (*Ca*), магния (*Mg*), соединений азота (нитритов, нитратов, аммония), нефтяных углеводородов, фенолов, ПАУ, ХОС и ТМ (табл. 5). Анализ информации, приведенной в таблице 5, позволяет сделать следующие выводы:

– максимальные значения рН отмечены в снежном покрове в районе оз. Стемме, а пониженные значения рН фиксировались в снежном покрове у г. Стурхеда;

– максимальные концентрации ионов хлорида и калия зафиксированы в снежном покрове в районе вертолетной площадки, ионов сульфата и натрия – в районе свалки бытовых отходов, а взвешенных веществ (23,9 мг/л) – в снежном покрове в районе отвала горных пород южнее поселка;

– концентрации *минеральных форм азота* в снежном покрове изменялись: для аммония – от 6,0 до 55,0 мкг/л при среднем содержании 14,1 мкг/л; для нитратов – от 14,0 до 33,0 мкг/л при среднем содержании 21,3 мкг/л; для азота общего – от 18,0 до 120 мкг/л при среднем значении 46,9 мкг/л; для азота нитритного – ниже предела обнаружения;

– среди *полициклических ароматических углеводородов (ПАУ)* обнаружены: нафталин (5,00–66,0 нг/л), флуорен (4,0–36,0 нг/л), аценафтен (5,0–19,0 нг/л), фенантрен (9,00–167,0 нг/л), флуорантен (1,0–15,0 нг/л), пирен (1,0–26,0 нг/л);

– концентрации хлорбензолов, пестицидов групп ГХЦГ, ДДТ, ПХБ и соединений суммы полихлорциклодиенов были ниже пределов обнаружения;

– концентрации тяжелых металлов в пробах снега изменялись: для железа – от 6,00 до 260 мкг/л (среднее – 36,5 мкг/л); марганца – от 0,70 до 5,10 мкг/л

(в среднем 2,21 мкг/л); цинка – от 8,00 до 40,0 мкг/л при среднем содержании 18,4 мкг/л; меди – от 1,60 до 7,00 мкг/л при средней концентрации 3,17 мкг/л; никеля – от 0,50 до 3,00 мкг/л, при среднем содержании 1,12 мкг/л; кадмия – от < 0,1 до 0,19 мкг/л при средней концентрацией < 0,1 мкг/л; хрома – от < 0,3 до 6,30 мкг/л при средней концентрацией 1,60 мкг/л; ртути – от < 0,01 до 1,30 мкг/л при средней концентрации < 0,01 мкг/л;

– максимальное содержание ртути было отмечено в пробе снега в районе р. Грён, а концентрации кобальта, свинца и мышьяка были ниже предела обнаружения.

Таблица 5

Компонентный состав снежного покрова в районе п. Баренцбург в 2017 г.

Показатель	Интервал	Среднее
Компоненты минерального состава		
Водородный показатель, ед. рН	5,20–8,41	6,03
Нитритный азот, мкг/л	< 0,5	–
Нитратный азот, мкг/л	14,0–33,0	21,3
Аммоний, мкг/л	6,00–55,0	14,1
Хлориды, мг/л	2,40–23,2	6,96
Сульфаты, мг/л	0,41–4,90	1,42
Натрий, мг/л	2,44–13,9	5,00
Калий, мг/л	< 0,25–0,63	0,42
Кальций, мг/л	< 0,25–1,04	0,49
Магний, мг/л	< 0,25–1,85	0,77
Взвешенные вещества, мг/л	1,13–23,9	15,6
Суммарные НУ, мкг/л	11,0–137	40,8
Фенол, мкг/л	< 0,5	–
Полициклические ароматические углеводороды, нг/л		
Нафталин	5,00–66,0	24,1
Аценафтилен	< 5,0	–
Флуорен	4,00–36,0	9,71
Аценафтен	< 5,0–19,0	11,0
Фенантрен	9,00–167	33,1
Антрацен	< 0,2–10,0	5,33
Пирен	< 1,0–26,0	4,71
Флуорантен	< 1,0–15,0	3,71
Бенз(а)антрацен	< 0,1	< 0,1
Бенз(б)флуорантен+перилен	< 0,2–1,00	< 0,2
Бенз(а)пирен	< 0,5	< 0,5
Сумма ПАУ	20,0–314	74,9

Показатель	Интервал	Среднее
Соединения тяжелых металлов, мкг/л		
Железо	6,00–260	36,5
Марганец	0,70–5,10	2,21
Цинк	8,00–40,0	18,4
Медь	1,60–7,00	3,17
Никель	0,50–3,00	1,12
Кобальт	< 1,0	–
Свинец	< 1,0	–
Кадмий	< 0,1–0,19	< 0,1
Хром	< 0,3–6,30	1,60
Ртуть	< 0,01–1,30	< 0,01
Мышьяк	< 1,5	–
Хлорорганические соединения, нг/л		
Сумма полихлорбензолов	< 0,05	–
Сумма ГХЦГ	< 0,05	–
Сумма ДДТ	< 0,05	–
Сумма полихлорциклодиенов	< 0,05	–
Сумма ПХБ	< 0,05	–

Максимальные уровни содержания железа были зафиксированы в пробах снега, отобранных в районе мыса Дрессельхус, а цинка и меди – в районе расположения отвалов горных пород и шлака от ТЭЦ.

Таким образом, снежный покров территории поселка и его окрестностей в 2017 г. характеризуется повышенными, по сравнению с фоновыми районами Российской и Канадской Арктики (Карское море и ледник Агассиз на о. Элсмир), концентрациями пестицидов группы ДДТ, ПХБ и некоторых ПАУ. Загрязнение снежного покрова ПАУ, НУ, тяжелых металлов и ПХБ связано с региональными и локальными особенностями данного района Арктики.

1.3.3. Загрязнение ледников

Анализ ледникового покрова и подмерзлотных льдов информативен при исследовании эволюции химического состава приповерхностных вод и осадков. Результаты определения содержания микроэлементов во льдах и снегах ледника Фридьоф показали низкое их содержание (табл. 6).

Низкая концентрация отмечена и для соединений свинца (*Pb*), кобальта (*Co*) и хрома (*Cr*). Результаты анализа говорят о слабом перераспределении тяжелых металлов внутри ледника, что позволяет отождествлять химический состав льда с атмосферными осадками отдельных временных отрезков. Низ-

кая концентрация рассматриваемых компонентов указывает на слабое поступление техногенных и других аэрозолей в этом районе. В верхних слоях льда обнаружено повышенное по сравнению с более глубокими слоями содержание кадмия, что может свидетельствовать о большем его накоплении в современных слоях по сравнению с древними [34, 35, 46].

Таблица 6

Содержание соединений тяжелых металлов во льдах ледника Фритъоф в 1981–1984 гг. [35]

Глубина, м	Концентрация соединений, мкг/л				
	железа	меди	марганца	цинка	кадмия
1,5–7,0	434,8	4,89	9,24	26,5	0,48
16,03–17,27	1413,0	9,78	13,0	39,1	0,17
22,7–23,24	488,9	8,33	6,67	–	0,36
25,02–26,98	478,3	5,43	10,3	2,00	0,17
34,89–36,87	391,3	4,35	9,78	25,0	0,065
43,59–46,77	863,6	5,68	9,09	–	0,36
44,61–46,51	478,3	23,9	8,04	23,9	0,15
54,83–56,73	173,9	23,9	4,89	33,7	0,33
60,50–62,90	255,3	2,91	4,79	37,2	0,13
62,54–64,51	43,5	4,89	10,3	20,6	0,13
72,10–73,88	43,5	4,89	9,24	33,7	0,11
81,25–83,21	977,8	17,2	12,6	37,8	0,44
90,53–92,33	391,3	5,98	9,78	26,1	0,086
91,80–93,26	826,1	2,17	7,61	62,0	0,043
99,52–101,17	166,7	5,56	9,72	15,3	0,055
109,14–111,23	95,2	4,76	7,74	26,2	0,047

Исследования, проведенные на более удаленном от местных источников загрязнения ледника Западный Грэнфьорд, показали более низкое содержание металлов в снеге и керне льда Западного Грэнфьорда по сравнению со скважиной ледника Фритъоф (табл. 7).

Таблица 7

Концентрация тяжелых металлов в керне льда Западного Грэнфьорда [46]

Пределы колебания	Концентрация соединений, мкг/л								
	меди	цинка	марганца	железа	кадмия	свинца	никеля	кобальта	хрома
Минимум	0,15	4,50	0,13	1,00	0,01	0,01	0,05	0,04	0,05
Максимум	6,60	314,3	2,50	69,4	0,49	4,28	0,96	1,30	0,40
Среднее n*= 42	1,70	31,3	0,80	27,5	0,20	0,90	0,30	0,30	0,10

Примечание: *n – число проанализированных проб.

Из рассматриваемых компонентов наиболее низкие концентрации обнаружены для лития (*Li*) и стронция (*Sr*) (не превышающие 0,05 мкг/л). Столь же низкий уровень концентрации металлов характерен и для ледяной толщи Восточного Грэнфьорда (табл. 8).

Таблица 8

Содержание микроэлементов в керне Восточного Грэнфьорда [35]

Глубина, м	Концентрация соединений, мкг/л					
	меди	цинка	марганца	железа	свинца	кадмия
0,005–0,75	1,3	2,5	0,4	8,2	0,9	0,03
0,75–1,36	0,3	1,6	0,3	11,3	1,0	< 0,03
4,48–5,93	0,2	1,0	0,1	3,7	0,4	< 0,03
36,79–56,36	1,6	2,5	0,5	6,8	1,4	0,03
97,75–105,22	0,5	1,1	0,3	6,4	0,3	0,03
141,66–151,43	1,0	1,6	0,4	11,6	2,3	0,03
414,21–229,52	0,5	1,6	0,5	5,0	0,3	0,03
336,73	0,3	2,2	0,4	7,6	0,3	0,03
372,11	2,2	3,3	0,8	34,6	0,6	0,26
399,40–400,8	1,6	4,0	0,4	9,7	1,7	0,03
443,70–447,00	0,7	10,4	0,4	4,0	1,4	0,16
508,90–548,40	0,8	5,1	0,3	3,1	1,5	0,03

Глубина, м	Концентрация соединений, мкг/л				
	никеля	кобальта	хрома	стронция	лития
0,005–0,75	1,0	< 0,5	< 0,05	< 0,1	< 0,5
0,75–1,36	< 0,8	< 0,5	< 0,05	< 0,1	< 0,5
4,48–5,93	0,2	0,5	0,05	0,1	0,5
36,79–56,36	0,2	0,5	0,05	0,1	0,5
97,75–105,22	0,2	0,5	0,05	0,1	0,5
141,66–151,43	0,2	0,5	0,05	0,1	0,5
414,21–229,52	0,2	0,5	0,05	0,1	0,5
336,73	0,2	0,5	0,05	0,1	0,5
372,11	0,7	0,5	0,07	0,1	0,5
399,40–400,8	0,2	0,5	0,05	0,1	0,5
443,70–447,00	0,2	0,5	0,05	0,1	0,5
508,90–548,40	0,2	0,5	0,05	0,1	0,5

Распределение большинства микроэлементов по толще льда относительно равномерно. Кроме некоторого увеличения содержания в современной снежной толще для соединений меди, цинка, свинца, железа наблюдается относительно синхронное небольшое накопление на глубинах в интервале 36–50 м, 127–140 м, 250–260 м, 290–310 м, 350–370 м и в самой нижней толще на глу-

бине свыше 460 м. Подобные всплески концентрации характерны и для микроэлементов ряда других рассматриваемых скважин, что обусловлено всплесками естественного поступления аэрозолей и, возможно, частичной миграцией в толще ледника.

Начиная примерно с глубины 20–25 м, что соответствует в разрезе 40–50-м годам прошлого столетия, все перечисленные выше металлы имеют явную тенденцию к увеличению концентраций, что естественнее всего связать с ростом содержания промышленных выбросов в аэрозолях.

1.3.4. Загрязнение почв

По данным российских исследователей Полярно-альпийского ботанического сада-института КНЦ РАН, в районе п. Баренцбург на различных геоморфологических структурах сформировались почвы, которые можно отнести к одному типу серогумусовых (дерновых) арктотундровых почв с профилем O-AУ-C, мало различающимся по основным генетическим характеристикам.

Всего в изучаемом районе можно выделить четыре основные группы почв, сформированных на разных породах: морские террасы (морские супеси и суглинки); коренные террасы (делювиальные, солифлюкционные и элювиальные породы); конусы выноса (пролювиальные породы); речные (аллювиальные породы) [51].

Почвы Шпицбергена характеризуются кислой и слабокислой реакцией и бедностью основаниями, среди которых преобладает кальций. В районе выхода карбонатных пород реакция почв становится нейтральной. Изучение форм подвижных микроэлементов в почвах выявило некоторые их геохимические особенности. Так, характерно относительное обогащение верхних органических горизонтов почв автономных ландшафтов соединениями магния, свинца, кобальта и хрома, а в отдельных случаях – цинка и меди. Отмечается аккумуляция стронция в верхних растительно-торфянистых горизонтах параллельно с накоплением в них солей магния, натрия и калия, что свидетельствует о выпадении этого элемента с аэрозолями морского происхождения. В целом же уровни концентрации микроэлементов в местных почвах, несомненно, зависят от содержания их в почвообразующих и коренных породах, как это имеет место в других регионах. Однако очень короткий летний, относительно теплый период, близкое залегание многолетней мерзлоты замедляют химическое выветривание и взаимодействие растительности с минеральным субстратом. Это приводит к возрастанию значения поступления микроэлементов, в том числе имеющих техногенное происхождение, из атмосферы.

С востока поселок Баренцбург ограничен грядой гор высотой 500–700 м, выстроившихся параллельно береговой линии. Поэтому, например, местная ТЭЦ (высота трубы – 30 м) в подобных орографических условиях не может повлиять на распространение загрязняющих веществ во внутренние районы острова. Проведенное исследование [35] на террасовидных поверхностях двух уровней (50 м и 200 м) показало, что по сравнению с фоновыми территориями в почвах нижнего яруса (минеральная часть верхнего гумусового горизонта) отмечается заметное накопление подвижных соединений марганца, желе-

за, меди, свинца, кадмия, никеля, кобальта и лития. В почвах более высокого гипсометрического уровня подобное превышение наблюдается по следующим металлам: молибден, железо, хром, никель, кобальт, цинк, стронций. Все это может свидетельствовать об избыточном поступлении этих элементов в результате техногенной деятельности [35].

Опубликованные в 2014 г. результаты изучения аккумуляции и миграции тяжелых металлов в арктических почвах западного побережья острова [49] позволили оценить распределение валового содержания отдельных металлов по почвенному профилю в районе п. Баренцбург (рис. 6).

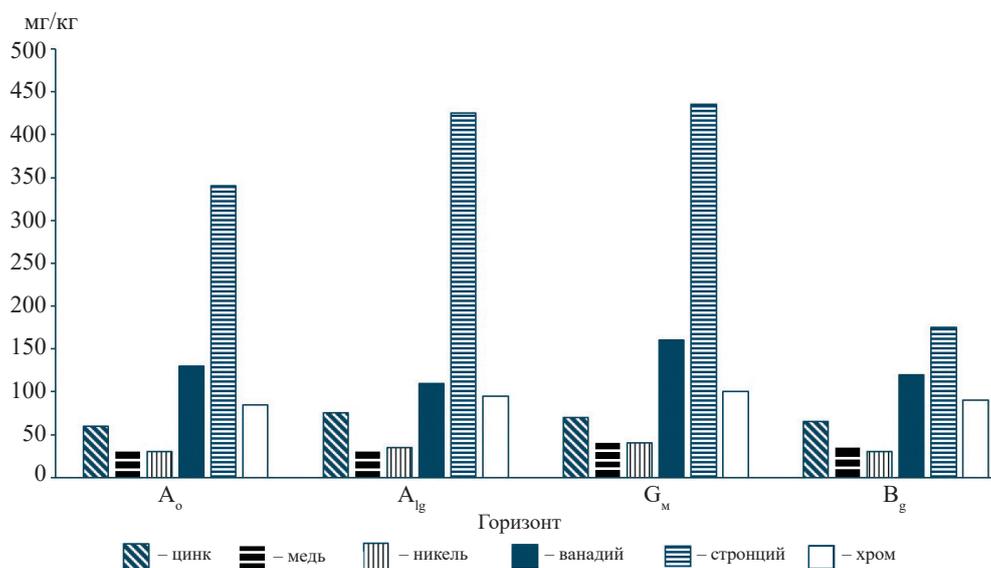


Рис. 6. Распределение валового содержания тяжелых металлов по почвенному профилю аркто-тундровых глеевитых типичных торфянистых почв в районе п. Баренцбург [49]: A₀ – подстилка из мхов, корней осок и других растений мощностью до 2 см, нижняя граница неровная; A_{1g} – гумусово-торфянистый горизонт с признаками глеевых подтеков в верхней части горизонта, мощность горизонта 7 см; G_m – оглеенный, темно-сизый, суглинистый; B_g – оглеенный горизонт мощностью до 5–7 см, коричнево-бурый с сизоватым оттенком, с большим количеством корней

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

- повышенное содержание цинка (*Zn*) отмечается в почвенных образцах, отобранных из горизонтов, имеющих яркие признаки оглеения, и, по-видимому, связано с выщелачиванием из подстилающих пород карбонатов, в которых *Zn* имеет свойство накапливаться;
- во всех почвенных профилях обнаруживаются слабые вариации суммарного содержания меди (*Cu*) по слоям, что связано с тем, что медь – малоподвижный элемент в почвах и проявляет большую склонность к химическому взаимодействию с минеральными и органическими компонентами;
- суммарная концентрация никеля (*Ni*), так же как и меди, незначительно варьирует по профилю и во многом определяется его содержанием в материнских породах;

- распределение содержания ванадия (*V*) довольно равномерно вниз по почвенному профилю;
- высокая концентрация стронция (*Sr*) отмечается на всех почвенных профилях с наибольшими значениями в центральной части профиля, где развиваются процессы оглеения;
- во всех почвенных разрезах наблюдается слабая дифференциация хрома (*Cr*) по горизонтали;
- содержание кобальта (*Co*) и свинца (*Pb*) ниже диапазона измерений массовой доли определяемого компонента.

Таким образом, на аккумуляцию и миграцию тяжелых металлов в арктических почвах архипелага Шпицберген влияют специфика почвообразовательного процесса, содержание металла в материнской породе и дальний перенос тяжелых металлов атмосферными потоками на аэрозольных частицах

Исследование вертикального распределения тяжелых металлов проводилось также и на реликтовых плоскобугристых травяно-гипново-сфагновых болотах долин Колес и Рейндален. Полученные данные (табл. 9) свидетельствуют об относительно равномерном распределении металлов в толще торфяника, что характерно для фоновых территорий. Лишь наиболее мобильные соединения свинца, цинка и никеля имеют заметный пик на глубине 15–30 см, что связано не только с особенностями распределения металлов по стеблю сфагнумов, но, вероятно, и с близостью границы многолетней мерзлоты.

Таблица 9

Вертикальное распределение тяжелых металлов в торфяно-гипново-сфагновом болоте в долине Рейндален [35]

Глубина, см	Концентрация в мг/кг сухого вещества				
	Соединения				
	меди	никеля	цинка	свинца	кадмия
0–2	2,9	4,0	29,8	3,3	0,2
2–5	3,6	5,0	37,4	5,6	9,3
5–10	3,7	8,0	19,8	5,7	0,3
10–15	2,8	9,2	78,0	11,7	0,3
20–30	4,4	20,0	65,4	6,7	0,3
30–40	3,8	10,2	30,7	6,2	0,4
40–50	1,4	4,3	7,4	5,2	0,5
50–60	0,8	5,0	3,3	3,2	0,5
60–70	1,6	5,0	10,3	3,9	0,2
70–80	2,0	2,9	6,5	5,4	0,1

По результатам, включенным в обзор загрязнения природной среды в районах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген за 2002–2005 гг., можно заключить, что за исследуемый период наблюдений отмечались превышения концентраций по суммарным НУ (до 32 ПДК), сумме ПХБ (до 7,9 ОДК), сумме ПАУ (до 6 ПДК), мышьяку (до 4,8 ПДК), по бенз(а)пирену (до 4,5 ПДК), по меди, никелю и цинку (соответственно до 1,3, 2,1 и 1,9 ОДК) (табл. 10).

Таблица 10

**Интервалы и средние уровни содержания загрязняющих веществ
в почвах района расположения п. Баренцбург, его окрестностей и точек
фонового мониторинга за период 2002–2005 гг. [30]**

Параметр	Поселок Баренцбург		Окрестности п. Баренцбург		Точки фонового мониторинга	
	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее
Суммарные НУ, мкг/г	< 2–1590	217	< 2–302	69,0	< 2–131	33,8
Полициклические ароматические углеводороды						
Нафталин, нг/г	40,8–2046	706	32,2–3203	463	48,3–562	205
Аценафтилен, нг/г	< 1–143	38,2	< 1–164	21,5	< 1–26,4	5,90
Флуорен, нг/г	0,4–302	72,1	< 0,4–484	37,3	< 0,4– 30,1	8,59
Аценафтен, нг/г	< 1–25,3	6,60	< 1–28,2	1,80	< 1–5	< 1
Фенантрен, нг/г	< 0,1– 2238	759	< 0,1–2414	328	< 0,1–400	117
Антрацен, нг/г	0,77–183	40,6	0,57– 232,34	29,0	2,7–15,7	6,31
Флуорантен, нг/г	2,3–567	178	< 0,5–599	90,7	< 0,5– 26,5	16,4
Пирен, нг/г	< 0,5–546	195	< 0,5–421	75,3	< 0,5– 54,8	28,6
Бенз(а)антрацен, нг/г	1,26–86,9	32,9	< 0,05– 65,2	15,6	< 0,05– 4,62	2,52
Хризен, нг/г	< 0,1–485	109	< 0,1–481	64,8	< 0,1– 41,4	21,5
Бенз(б)флуорантен, нг/г	2,135–186	91,15	3,1–140	42,8	4,45– 29,43	20,2
Бенз(к)флуорантен, нг/г	0,62–108	38,9	0,62–92,03	17,6	2,89–7,11	5,32
Бенз(а)пирен, нг/г	0,63–139	43,6	< 0,2–159	22,2	0,65–10,8	6,09
Дибенз(аh)антрацен, нг/г	< 0,2–40,5	12,4	< 0,2– 55,33	8,11	< 0,2–3	1,37
Индено(123cd)пирен, нг/г	0,4–79,7	38,4	0,4–76,3	15,6	< 0,4– 8,71	2,34
Бенз(ghi)перилен, нг/г	0,2–93,6	43,4	< 0,2–111	24,4	2,8–9,94	5,95
Сумма ПАУ, нг/г	73,9–7172	2405	67,3–8140	1258	72,4– 1188	453
Хлорорганические соединения						
Сумма полихлорбензолов, нг/г	< 0,05– 5,01	1,36	< 0,05– 4,37	0,81	< 0,05– 3,66	0,49
Сумма ГХЦГ, нг/г	0,29–2,63	1,21	< 0,05– 8,28	1,38	< 0,05– 8,28	1,23

Параметр	Поселок Баренцбург		Окрестности п. Баренцбург		Точки фонового мониторинга	
	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее
Сумма ДДТ, нг/г	0,86–57,4	12,6	0,05–27,8	4,63	0,1–27,8	3,69
Сумма полихлорциклодиенов, нг/г	0,05–8,10	1,25	0,05–9,31	0,44	< 0,05–0,20	< 0,05
Сумма ПХБ, нг/г	2,54–903	152	0,87–473	35,9	0,42–37,0	4,88
Тяжелые металлы						
Цинк, мкг/г	45,0–114	74,3	36,3–95	62,2	37,4–80,4	55,2
Медь, мкг/г	24,9–43,5	33,9	15,0–44,4	28,2	20–36,2	27,4
Никель, мкг/г	12,1–50,1	28,0	7,00–52,8	22,9	13,1–32,5	21,1
Кобальт, мкг/г	1,08–17,9	8,11	1,24–14,5	8,79	3,7–15,2	8,86
Свинец, мкг/г	3,50–21,1	9,74	2,50–20,8	10,5	2,7–14,1	9,76
Кадмий, мкг/г	0,05–0,22	0,14	0,05–0,29	0,15	0,08–0,24	0,12
Ртуть, мкг/г	0,028–0,25	0,12	0,01–0,24	0,11	0,014–0,22	0,13
Мышьяк, мкг/г	2,17–9,27	4,09	1,14–9,66	5,57	2,19–8,89	5,62

Согласно Методическим указаниям [65], степень загрязнения почв бенз(а)пиреном на территории центральной части поселка оценивается как сильная. В окрестностях степень загрязнения почв бенз(а)пиреном характеризовалась как слабая, тогда как в почвах, прилегающих к поселку фоновых участков, присутствие бенз(а)пирена не определялось. Высокие уровни загрязнения почв бенз(а)пиреном, по-видимому, обусловлены влиянием локальных источников.

Концентрации большинства соединений тяжелых металлов в почвах обследованной территории изменялись в пределах, характерных для почв Новоземельской провинции арктических тундр. Лишь концентрации мышьяка в почвах всех участков обследованной территории, включая фоновые, в 1,6–4,8 раза превышали ориентировочно допустимое количество (ОДК). Наблюдавшиеся повышенные концентрации мышьяка во всех пробах почв, вероятно, в большей степени обусловлены высоким геохимическим фоном на территории архипелага, нежели техногенным загрязнением.

Кроме того, все измеренные концентрации мышьяка были намного ниже ОДК, установленной для оценки загрязнения почв в жилых районах [30].

Соотношение содержания конгенов полихлорбифенилов (ПХБ), идентифицируемых в почве, позволяет различать конгенеры, переносимые из источников, расположенных ближе 10 км, и конгенеры, переносимые на дальние расстояния. К первым относятся более низколетучие соединения с высоким молекулярным весом, ко вторым – более легкие конгенеры, адсорбированные на частицах, выпадающими на поверхность с сухими и влажными осадками, и относительно легколетучие соединения, поступающие в результате дальнего атмосферного переноса.

В пробах почвы, отобранных на территории поселка Баренцбург и его окрестностей в ходе летних экспедиционных исследований 2017 г. проводилось определение содержания нефтяных углеводородов, неполярных алифатических углеводородов (НАУ), летучих ароматических углеводородов (ЛАУ), полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), тяжелых металлов и хлорорганических соединений (ХОС).

Подробный анализ полученных данных позволил сделать следующие обобщения:

- содержание *нефтяных углеводородов* было зафиксировано в 68 % всех исследованных образцов почвы, и изменялось в пределах от < 50 до 450 мкг/г со средней величиной 103 мкг/г;

- во всех точках отбора содержание *неполярных алифатических углеводородов* (бензол, толуол, изопропилбензол и этилбензол) было ниже предела обнаружения;

- суммарные концентрации ЛАУ изменялись в пределах от < 0,1 до 0,91 нг/г (максимальные значения отмечены в пробах почвы, отобранных в районе склада стройматериалов на глубине 5–20 см);

- среди *полициклических ароматических углеводородов (ПАУ)* концентрация их суммарного содержания изменялась в пределах от 78,3 до 6700 нг/г (среднее значение 1482 нг/г), при максимальном значении суммарного содержания ПАУ, зафиксированного на территории вертолетной площадки в слое почвы 5–20 см;

- из *хлорорганических соединений (ХОС)* пентахлорбензол обнаружен в 43 % проб, гексахлорбензол отмечен в 93 % проб, метаболиты ДДТ – в 0–68 % проб почвы;

- максимальные суммарные концентрации ХОС в пробах почвы достигали по *хлорбензолам* – 2,51 нг/г; Σ ДДТ – 6,61 нг/г;

- зафиксированные максимальные суммарные концентрации полихлорбифенилов находилось в диапазоне значений от 0,20 до 554 нг/г при среднем значении 66,4 нг/г сухого веса;

- во всех отобранных пробах почва были обнаружены все контролируемые тяжелые металлы, кроме олова и кадмия (обнаружен в 82 % образцов почвы).

Средние концентрации соединений тяжелых металлов составили: для *железа* – 29714 мкг/г (при разбросе значений от 22000 до 70000 мкг/г); *марганца* – 348 мкг/г (при диапазоне от 100 до 2000 мкг/г); *цинка* – 55,5 мкг/г (варьирование значений от 38,0 до 75,0 мкг/г); *меди* – 18,4 мкг/г (концентрации в пределах от 12,0 до 45,0 мкг/г); *никеля* – 22,0 мкг/г (значения изменяются от 14,0 до 45,0 мкг/г); *кобальта* – 10,4 мкг/г (изменение концентраций от 6,10 до 28,0 мкг/г); *свинца* – 16,7 мкг/г (разброс значений от 7,20 до 48,0 мкг/г); *кадмия* – 0,12 мкг/г (при варьировании содержания от < 0,05 до 0,53 мкг/г); *хрома* – 35,3 мкг/г (значения колеблются от 15,0 до 51,0 мкг/г); *ртути* – 0,061 мкг/г (при разбросе значений от 0,012 до 0,176 мкг/г); *мышьяка* – 15,1 мкг/г (варьирование значений от 7,00 до 110 мкг/г).

1.3.5. Загрязнение озер и рек

Возможный уровень загрязненности пресноводных водоемов Шпицбергена в районе расположения п. Баренцбург оценивался при реализации различных программ по мониторингу экологического состояния природной среды:

- районов деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген;
- при выполнении хоздоговоров с трестом «Арктикуголь» на мониторинг экологической обстановки на лицензионных участках;
- при проведении совместных российско-норвежских экспедиций по обследованию мест загрязнений на территории архипелага Шпицберген [30, 31].

За период 2002–2013 гг. в ААНИИ накоплен большой объем данных – как полевых наблюдений, так и результатов химико-аналитических исследований. Информационный массив, полученный при проведении экологического мониторинга на архипелаге. Шпицберген, также расширен результатами НПО «Тайфун» по изучению характера загрязненности поверхностных вод озера Стемме, используемого для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения поселка (начиная с 2002 г.) и р. Грён (с 2003 г.) [30].

Анализ полученной информации позволил сделать следующие выводы:

- содержание синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) в речных водах находилось в пределах от < 10 до 42,0 мкг/л, значимые уровни содержания зафиксированы в 33 % отобранных проб, в водах озера значимые концентрации СПАВ достигали значения 64,0 мкг/л и отмечены в 15 % проб;
- концентрации индивидуальных фенолов (алкилфенолов, хлорфенолов и нитрофенолов) в водах озера и рек были ниже предела обнаружения (0,5 мкг/л), что не позволяло их надежно идентифицировать;
- суммарное содержание нефтяных углеводородов (НУ) в поверхностных водах оз. Стемме находилось в интервале от нижнего предела обнаружения до 120 мкг/л в 63 % отобранных проб, а в речных водах – в 64 % проб при максимальных величинах 44 мкг/л;
- суммарное содержание соединений группы ПАУ в озере изменялось от 0,5 до 713 нг/л, а в водах р. Грён от 0,5 до 406 нг/л;
- в водной среде р. Грён и оз. Стемме регулярно фиксировались пестициды групп ГХЦГ и ДЦТ, хлорбензолы, а также ПХБ (уровни содержания октахлорстирола, и практически всех пестицидов полихлорциклодиенового ряда – альдрина, гептахлора, гептахлорэпоксида, фотомирекса, мирекса были ниже пределов обнаружения);
- уровни содержания ряда тяжелых металлов в р. Грён (железо, медь, свинец, хром) сопоставимы с уровнями в озере, что указывает на одинаковые условия поступления этих соединений в воды рассматриваемых объектов.

Повышенное содержание цинка, никеля, кадмия, марганца отмеченное с 2007 г. обусловлено изменением гидрологических и геологических условий и особенностей формирования подземного питания в районе долины и русла р. Грён, а также наличием в пределах водосбора горных выработок и отвалов пород, обеспечивающих дополнительное поступление со склоновым и грунтовым стоком в русло реки.

Таким образом, сопоставляя уровни содержания растворенных и взвешенных загрязняющих веществ в озере и реке, можно отметить, что большое влияние на химический состав поверхностных вод оказывает тип питания водотоков и водоемов. Самым высоким общим содержанием загрязняющих веществ (растворенная форма и взвесь) характеризуются воды р. Грён, в питании которой значительную долю составляет поверхностный сток в отличие от оз. Стемме, где преобладающим типом питания является ледниковый сток.

За период наблюдений с 2002 г. по 2010 г. максимальное содержание нефтяных углеводородов составило десятые доли установленных ПДК (до 0,7 ПДК); содержание нормируемых ХОС (сумма ГХЦГ составляла 0,002 ПДК, сумма ДДТ – 0,01 ПДК, сумма ПХБ – 0,021 ПДК). Из анализируемого списка тяжелых металлов обнаруженные концентрации железа (0,2 ПДК), марганца (0,07 ПДК), никеля (0,6 ПДК), свинца (0,2 ПДК), кадмия (0,6 ПДК), кобальта (0,02 ПДК), цинка (0,01 ПДК) составляли десятые и сотые доли ПДК; меди (0,002 ПДК), ртути, мышьяка – тысячные доли ПДК.

Качество поверхностных вод озера за период с 2002 по 2013 г. полностью соответствовало установленным российским гигиеническим нормативам и ПДК. Значение удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) за весь период наблюдения позволяет классифицировать воды оз. Стемме как условно чистые (1-й класс).

Согласно рыбохозяйственным нормативам в воде р. Грён за весь период наблюдений отмечалось превышение ПДК по содержанию марганца – до 59 ПДК, бенз(а)пирена – до 5,4 ПДК.

Из загрязняющих веществ в речных водах в 2017 г. были выявлены нефтяные углеводороды, ТМ, соединения групп ПАУ и ХОС, а в воде оз. Стемме, помимо вышеперечисленных загрязняющих веществ, обнаруживались соединения группы летучих ароматических углеводородов (ЛАУ).

Содержание *синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ)* в водах озера в периоды наблюдений и реке осенью не превышало предел обнаружения (< 10 мкг/л). Суммарное содержание *нефтяных углеводородов (НУ)* в поверхностных водах оз. Стемме в весенний период наблюдений составляло в среднем 28,5 мкг/л, осенью изменялось от < 2,0 до 2,70 мкг/л. В водах Грён содержание НУ колебалось от 7,30 до 7,50 мкг/л при среднем значении 7,40 мкг/л.

Суммарные концентрации *неполярных алифатических углеводородов (НАУ)* и *индивидуальных фенолов* (алкилфенолов, хлорфенолов и нитрофенолов) в поверхностных водах оз. Стемме и р. Грён за периоды наблюдений были ниже пределов чувствительности методик анализа (< 0,1 мкг/л и < 0,5 мкг/л соответственно), что не позволяло их надежно идентифицировать.

Среди соединений группы *летучих ароматических углеводородов*, обнаруженных в озерных водах в осенний период исследований, были отмечены значимые концентрации пара- и метаксилолов. Концентрации остальных соединений ЛАУ находились ниже предела обнаружения (< 0,1 мкг/л). Так, среднее содержание суммы пара- и метаксилолов в водах озера составляло 4,05 мкг/л.

Из 16 контролируемых *полициклических ароматических углеводородов (ПАУ)* в озерных водах в весенний период наблюдений 2017 г. не удалось иден-

тифицировать ни одно из соединений. В летне-осенний период в водах озера обнаруживались нафталин, флуорен, аценафтен, фенантрен и антрацен. Максимальные концентрации соединений из группы ПАУ в озерных водах за летне-осенний период наблюдений составили: нафталина – 5,00 нг/л, флуорена – 16,0 нг/л, аценафтена – 8,00 нг/л, фенантрена – 35,0 нг/л, антрацена – 2,00 нг/л. Таким образом, среднее суммарное содержание соединений группы ПАУ в водах оз. Стемме в летне-осенний период составило 26,3 нг/л.

В воде р. Грён были обнаружены нафталин, флуорен, аценафтен, фенантрен и флуорантен. Среднее суммарное содержание соединений группы ПАУ в речных водах составило 13,5 нг/л.

Из контролируемых *хлорорганических соединений (ХОС)* в воде р. Грён были однократно обнаружены пестициды групп ДДТ и ПХБ, их концентрации составляли: для суммы ДДТ – 0,12 нг/л, суммы ПХБ – 0,13 нг/л.

В водах оз. Стемме в весенний период наблюдений не удалось обнаружить ни одного хлорорганического соединения (ХОС). В летне-осенний период было однократно зафиксировано содержание соединения группы полихлорированных бифенилов (ПХБ) составившее 0,16 нг/л.

Максимальные концентрации *тяжелых металлов (ТМ)* в озерных водах весной составили: для марганца – 3,1 мкг/л, для цинка – 11,0 мкг/л, для меди – 2,50 мкг/л, для никеля – 1,10 мкг/л. Концентрации железа, кобальта, свинца, кадмия, хрома, ртути, мышьяка и олова не превышали пределов чувствительности используемого метода анализа. Осенью в озерных водах максимальные концентрации составили: марганца – 1,30 мкг/л, никеля – 1,50 мкг/л, кобальта – 1,10 мкг/л, остальные ТМ находились ниже предела обнаружения.

В пробах речных вод в летне-осенний период максимальное содержание тяжелых металлов составило: для марганца – 1130 мкг/л (средняя концентрация 1045 мкг/л), цинка – 2,40 мкг/л (средняя концентрация 2,35 мкг/л), никеля – 31,0 мкг/л (средняя концентрация 20,5 мкг/л), кобальта – 7,90 мкг/л (средняя концентрация 6,90 мкг/л). Концентрации железа, меди, свинца, кадмия, хрома, ртути, мышьяка и олова находились ниже пределов обнаружения.

Глава 2

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ СУШИ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА

На Шпицбергене для технических и бытовых нужд используются воды разного происхождения. Все поселки обеспечены прибрежными водозаборами, откуда морская вода поступает для охлаждения котлов ТЭЦ и в коммунальные службы. Для строительства разных сооружений (плотин, складов, ангаров и т. д.) широко используются снег и лед. Реализация таких проектов, особенно с помощью разработанного в нашей стране метода факельного вымораживания снега и льда, позволяет в условиях архипелага и других холодных районов в короткие сроки и с небольшими затратами создавать как временные, так и долговременные разномасштабные сооружения. Для намораживания можно использовать и соленую (например, морскую) воду. При этом снежно-ледяной каркас автоматически распресняется и упрочняется как во время зимнего строительства, так и весной. Метод перспективен для опреснения соленых вод, очистки бытовых и промышленных вод от растворимых и нерастворимых примесей.

Наиболее важное значение имеют ресурсы пресных вод, используемые для водоснабжения. С точки зрения использования водных ресурсов, дефицитных в зимний период, наиболее благоприятны территории центральной части острова – Земли Норденшельда и Диксона, где расположены основные поселки, и северной – Земля Андре, а также западная периферия острова. Здесь в течение всего года существуют источники пресной воды в виде озер и ледников, а гидрография благоприятствует созданию искусственных пресных водоемов.

На Шпицбергене имеется множество небольших озер и водоемов. Большинство из них образовались во впадинах прибрежных равнин, а некоторые настолько мелкие, что зимой промерзают до дна. Больше всего таких озер, в основном крохотных, на о. Медвежий, где они покрывают более десятой части поверхности острова. Самое крупное – озеро Хауссватнет, имеет всего 2,5 км в длину [95, 98].

Реки питаются тающими ледниками, и появление в них текущей воды – надежный признак наступления лета. Там, где ледники не достигают моря, от них отходят мелкие, сильно разветвляющиеся речки из талой воды, протекающие вдоль дна долин или через прибрежные равнины. Эти реки переносят огромное количество взвеси, ила и мелких камней, отколовшихся от скальной породы под разрушающим воздействием ледника. Обширные участки моря перед ледниками и устьями рек окрашены этим измельченным материалом.

Несмотря на то, что реки по большей части мелководны, их не следует недооценивать. Среди них могут быть и потоки с бурным течением, которые трудно преодолевать пешеходу. К тому же, вода в них всегда очень холодная.

В Баренцбурге действует уникальная система водоснабжения. Источником питьевой воды является приледниковое оз. Стемме, расположенное на противоположном берегу залива. По трубопроводу, проложенному через залив Грэнфьорд, вода поступает в Баренцбург.

Залив Грёнфьорд является частью Исфьорда – одного из самых крупных фьордов о. Западный Шпицберген. Он ориентирован в меридиональном направлении, его протяженность составляет примерно 16,5 км. Ширина залива увеличивается от 1,8 до 5,4 км (на севере) [41].

В залив впадает несколько ручьев и рек. Наиболее крупными реками являются Грён, Грёнфьорд, Бретъёрна, Альдегонда, Брюде, Конгресс. Залив имеет свободный и достаточно интенсивный водо- и ледообмен с Исфьордом.

Следует учитывать, что ледниковые источники зимнего водоснабжения не вполне надежны. Продолжающаяся (и усиливающаяся) деградация оледенения Шпицбергена безусловно затруднит эксплуатацию ресурсов воды ледника, но может привести и к ликвидации зимнего стока. Термокарстовые явления в конечной морене, подпруживающей озеро, могут повлечь за собой частичный и даже полный спуск воды [43].

Химический состав природных вод на архипелаге Шпицберген формируется под влиянием географического положения, климатических и почвенно-геологических факторов. Как и в большинстве высокоширотных районов, удаленность от мощных источников техногенного загрязнения способствует образованию маломинерализованных атмосферных осадков [67].

2.1. Общая характеристика водных ресурсов

Ресурсы пресных вод архипелага подразделяются:

- на снежный покров и деятельный слой ледников;
- грунтовые и подземные воды;
- озёра;
- малые водотоки;
- крупные реки.

2.1.1. Снежный покров

Большое количество таких причин, как местоположение и высота местности, характер подстилающей поверхности, действие ветра, экспозиция склонов, лавины, оттепели, формируют неравномерное распределение снеготопливных запасов по площади водосборного бассейна. Кроме того, в пределах архипелага существенна пространственная неоднородность распределения количества осадков.

За период экспедиционных наблюдений ААНИИ 2001–2017 гг. на водосборе р. Альдегонда было выявлено, что, как правило, наибольшая высота снега наблюдается на бортах ледника, что связано с метелевым переносом снега вблизи крутых склонов и действием лавин [93].

Межгодовая изменчивость высоты снега на водосборе рек:

– Альдегонды: в период максимального снегонакопления имеет незначительную тенденцию к увеличению, достигая наибольшей средней высоты в 2008 г. (рис. 7).

– Грён: существенной тенденции в многолетней изменчивости высоты снега не прослеживается (рис. 8).

На водосборе р. Бретъёрна расположены два крупных ледника – Восточный и Западный Грёнфьорд. Наблюдения за максимальным снегонакоплением

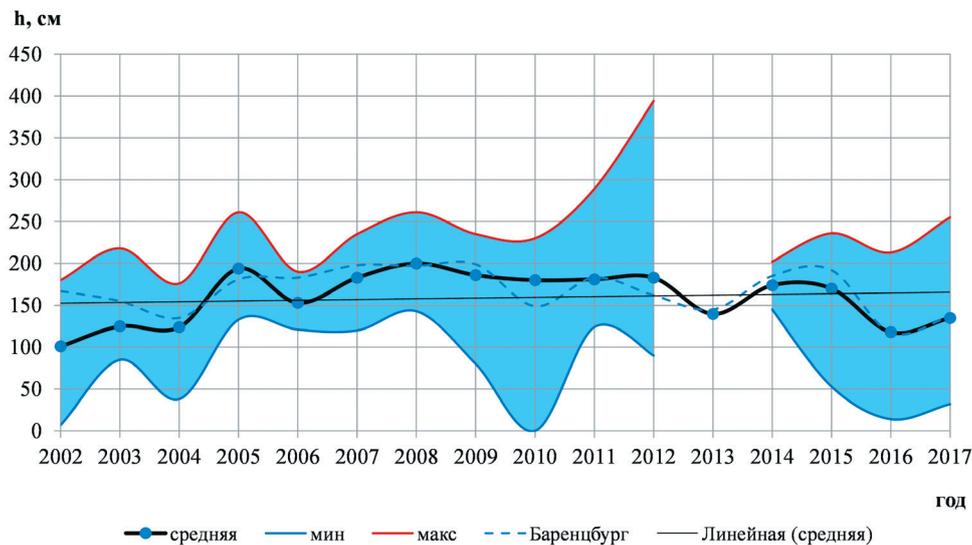


Рис. 7. Межгодовая изменчивость высоты снега на водосборе р. Альдегонда в период максимального снегонакопления

на леднике Западный Грэнфьорд было начато в 2005 г., на леднике Восточный Грэнфьорд – в 2013 г.

Характер залегания снежного покрова на леднике Западный Грэнфьорд равномерный. Для ледниковой части водосбора характерна зависимость высоты снежного покрова от абсолютной высоты водосбора. Средняя многолетняя высота снежного покрова на леднике Западный Грэнфьорд составляет 168 см.

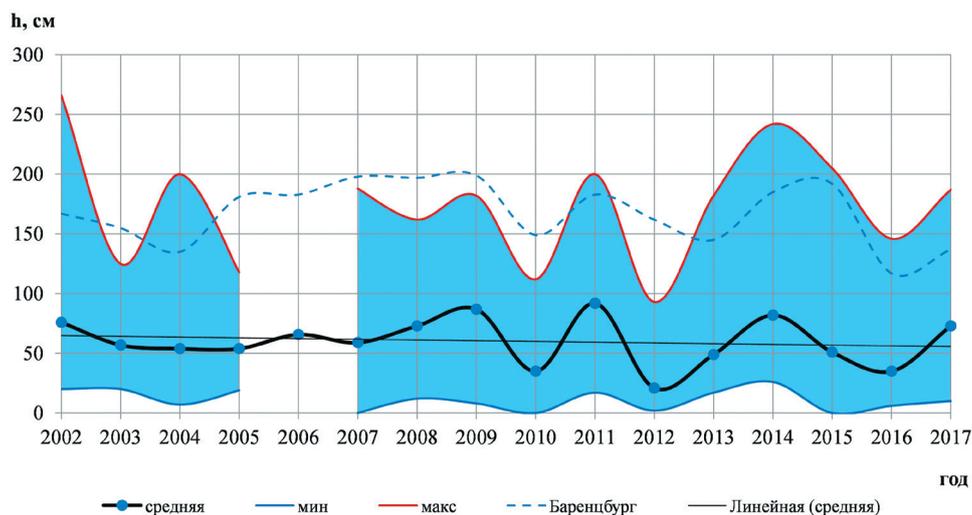


Рис. 8. Межгодовая изменчивость высоты снега на водосборе р. Грэн в период максимального снегонакопления

Многолетние изменения высоты снега на леднике не имеют значимого тренда (рис. 9).

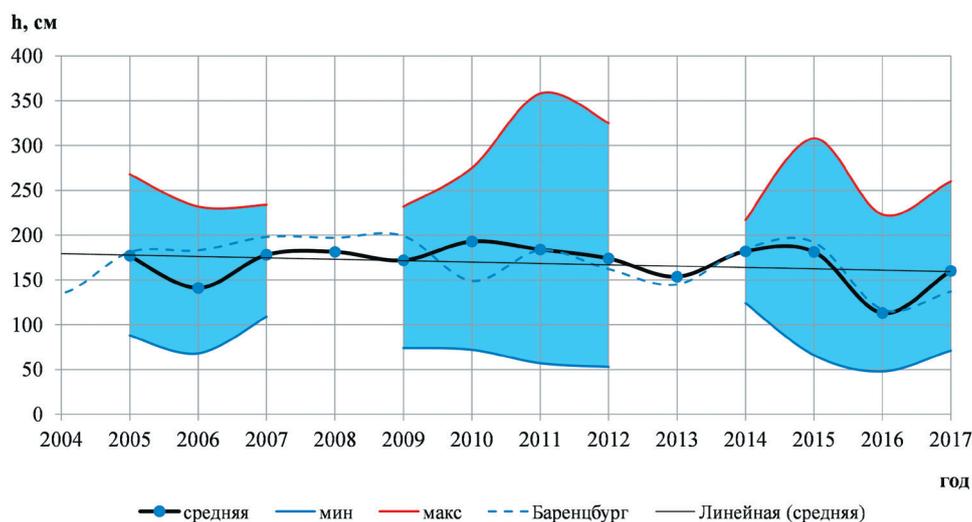


Рис 9. Межгодовая изменчивость высоты снега на леднике Западный Грэнфьорд (водосбор р. Бретьерна) в период максимального снегонакопления

На леднике Восточный Грэнфьорд (водосбор р. Бретьерна) наблюдения за снегозапасами проводились в 2013 г. и 2016 г. По результатам этих наблюдений средняя высота снега составляет 102 см, а плотность – 0,294 г/см³.

На других речных водосборах наблюдения за максимальными снегозапасами немногочисленны. Снегосъемки на них проводились либо эпизодически, либо начаты в последние годы.

На водосборе р. Конгресс по данным наблюдений 2015-го, 2016-го, 2017-го средняя высота снега составляет 73 см, а плотность – 0,330 г/см³. На водосборе р. Брюде по данным наблюдений за 2016-й и 2017-й средняя высота снега составляет 100 см, а плотность – 0,340 г/см³.

Запас воды в снеге (водный эквивалент Q_с) за период наблюдений на водосборе:

- р. Альдегонда: изменялся от 347 мм (2016 г.) до 801 мм (2012 г.) и составляет в среднем 659 мм, при незначительной многолетней тенденции в водозапасах (рис. 10);

- р. Грэн: изменялся от 131 до 396 мм и составляет в среднем 253 мм с незначительной тенденцией к уменьшению на этом водосборе (рис. 11);

- на леднике Западный Грэнфьорд: изменялся от 385 мм (в 2016 г.) до 830 мм (в 2010 г.), составляя в среднем 686 мм (рис. 12).

В химическом составе содержащихся в снеге примесей преобладают морские компоненты, концентрации которых уменьшаются с высотой и при удалении от побережья. В то же время избыточные по сравнению с морской водой

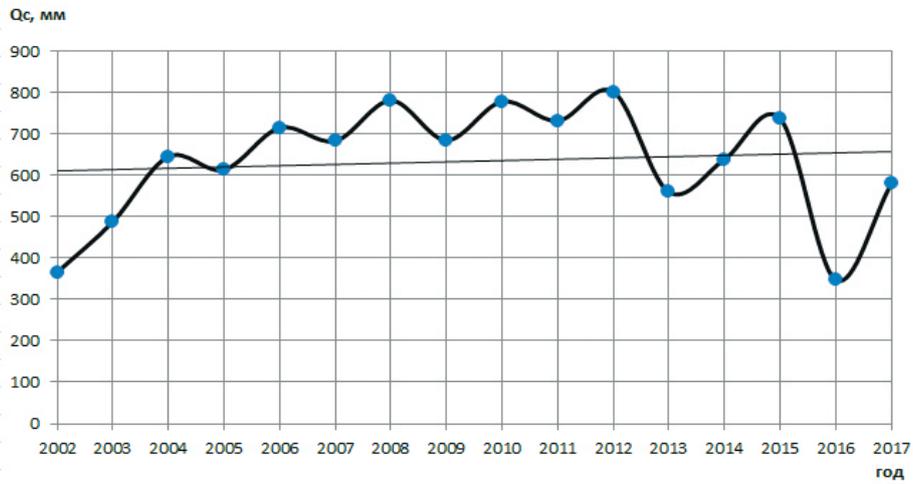


Рис. 10. Межгодовая изменчивость запасов воды в снеге (водного эквивалента) на водосборе р. Альдегонда в период максимального снегонакопления

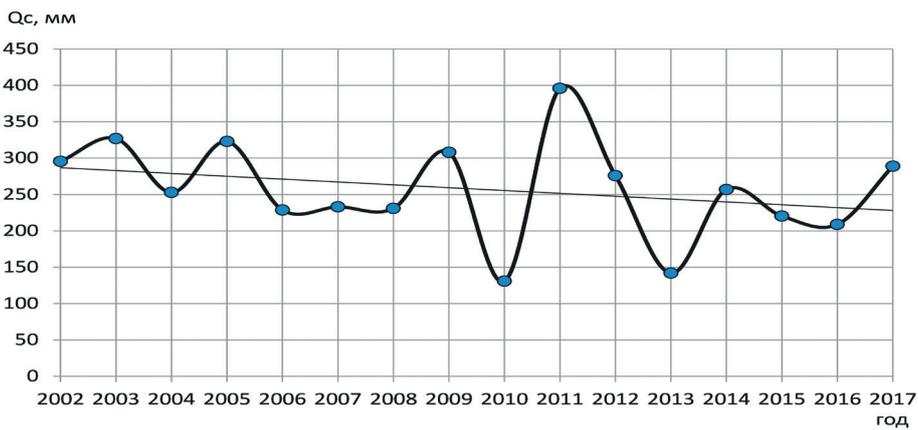


Рис. 11. Межгодовая изменчивость запасов воды в снеге (водного эквивалента) на водосборе р. Грэн в период максимального снегонакопления

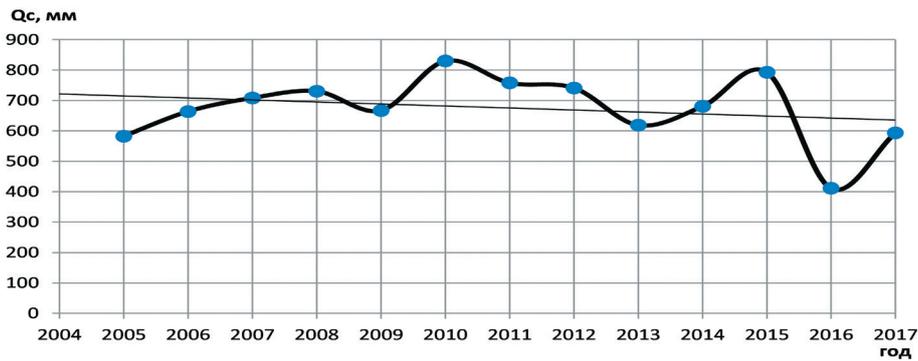


Рис. 12. Межгодовая изменчивость запасов воды в снеге (водного эквивалента) на леднике Западный Грэнфьорд (водосбор р. Бретье́рна) в период максимального снегонакопления

концентрации сульфатов, аммония и нитратов в снежной толще снижаются в направлении с юго-востока на северо-запад [21] и отражают влияние регионального переноса атмосферного аэрозоля из северной Европы.

В целом по архипелагу химический состав снега формируется главным образом под влиянием природных источников. Содержание макро- и большинства микрокомпонентов, а также общая минерализация соответствуют фоновым показателям для арктических районов.

В связи с длительным залеганием сезонного снежного покрова вклад эоловой составляющей в истинную минерализацию снега и льда невелик. Он возрастает с увеличением континентальности климата и снижением смежности от периферии к центру главного острова, хотя при сильных ветрах запыленность поверхности снежного покрова может быть значительной и в прибрежных областях [21]. Минерализация снега в конце холодного периода года меняется от 5 до 30 мг/л и обычно не превышает 10–15 мг/л, лишь вблизи угледобывающих рудников она может возрасти до 50–80 мг/л. Техногенное воздействие обычно локализуется в радиусе первых километров от местных источников.

При таянии минерализация снега снижается, причем распреснение наиболее интенсивно в начале периода абляции. Причина концентрации ингрессионных примесей в первых порциях талой воды заключается в том, что основная часть растворимых примесей находится в водной пленке на поверхности кристаллов и в поровом пространстве снежной толщи. На начальном этапе таяния они быстро вымываются сначала из поверхностного слоя, а затем из всей толщи неглубокого снежного покрова. Как показали измерения на Шпицбергене, минерализация снега в процессе таяния быстро снижается в 3–5 раз по сравнению с первоначальной.

2.1.2 Ледники

Ледники широко распространены на архипелаге Шпицберген, занимая около 60 % территории островов [72].

Архипелаг Шпицберген – один из районов полярного оледенения, где, по данным радиозондирования, широко распространены политермические ледники, состоящие из верхнего слоя холодного льда и нижнего слоя теплого водосодержащего льда. Большинство таких ледников идентифицировано по данным аэрорадиозондирования, выполненного в 1974–1984 гг. на частотах 60, 440 и 620 МГц [15, 72].

Качественным индикатором этих ледников служат такие заметные различия в характере радиолокационных отражений из их толщи как:

- отсутствие внутренних отражений в холодном льде (за исключением отражений от погребенных трещин, каналов и колодцев);
- идеальное рассеяние радиоволн на включениях воды в теплом льде;
- внутренний отражающий горизонт, соответствующий поверхности раздела холодного и теплого льда.

Для ледников Шпицбергена характерны дренажные системы, которые образуются в результате абляции и имеют разные свойства в зависимости от активности ледников. Преобладающая форма дренажа пассивных холодных ледников – поверхностная, а более активных – поверхностная и внутренняя.

В зависимости от степени активности ледника и температуры льда их соотношение может меняться.

Некоторые исследователи полагают, что существуют две различные внутриледниковые дренажные системы: летняя и зимняя [86]. Последнюю можно определить по наледям, образующимся у выходов воды на краях ледников в период с сентября по май. Водообмен в этих системах дренажа зависит от сезона года, и часто они функционируют совместно. Например, часть летней дренажной подледниковой системы может функционировать и в зимний период, в то время как основная часть будет закрыта льдом и снегом. И наоборот, зимняя часть дренажной системы может существовать и в летнее время, однако ее воды будут разбавляться большими количествами поверхностных талых вод, поэтому их объем в общем стоке реки будет несущественным.

В зависимости от рельефа поверхности ледника его внешние дренажные системы могут быть только маргинальными (на выпуклых ледниках), только центральными (вогнутых) или сложно устроенными (неровная или широкая поверхность).

В последние десятилетия в климатической системе Арктики происходят значительные изменения. Экстремальное усиление циклонической составляющей и повышение температуры воздуха вызвало существенные изменения в Северном Ледовитом океане и в оледенении Шпицбергена. Архипелаг, несущий на себе огромную массу пресной замороженной воды, находится под значительным воздействием основных климатообразующих факторов, имеющих долгопериодную изменчивость и взаимодействующих между собой при значительном числе обратных связей. Эти реакции проявляются прежде всего в изменении баланса массы небольших ледников Шпицбергена, интенсивно отстающих в последние десятилетия [36, 53, 59].

Исследования на ледниках вблизи российского поселка Баренцбург стали проводиться с 1965 г., когда советские гляциологи приступили к изучению ледников Шпицбергена [37, 72, 85, 96].

Анализ динамики ледников Земли Норденшельда показал, что они довольно чутко реагируют на изменения климата. Было отмечено, что ледники в течение XX века имели отрицательный баланс массы и непрерывно отступали. При этом наиболее интенсивно они отступали в течение последних десятилетий. Однако примерно с 2003 г. ситуация в некоторой степени изменилась, и деградация ледников несколько замедлилась. При этом в нижних частях ледников интенсивность таяния льда практически не изменилась, а в верхних частях ледников таяние льда сократилось вдвое и более. Это явление сопровождается повсеместным понижением высоты границы питания ледников, которая в настоящее время вернулась к уровню 1980-х. [59].

На архипелаге Шпицберген по температурному режиму можно выделить два типа ледников:

- холодные: Варде, Вёринг, Брюде, Линне, Восточный Грэнфьорд, северная часть ледника Западный Грэнфьорд, Баалсруд, Тунге, Лонгйир, Ларс, Вальдемар, Мюррей (рис. 13);
- политермальные: Бертиль, Альдегонда, Тавле, Ханс, Торель, Вереншельда, Ловен, Дрён, Брёггер (рис. 14).

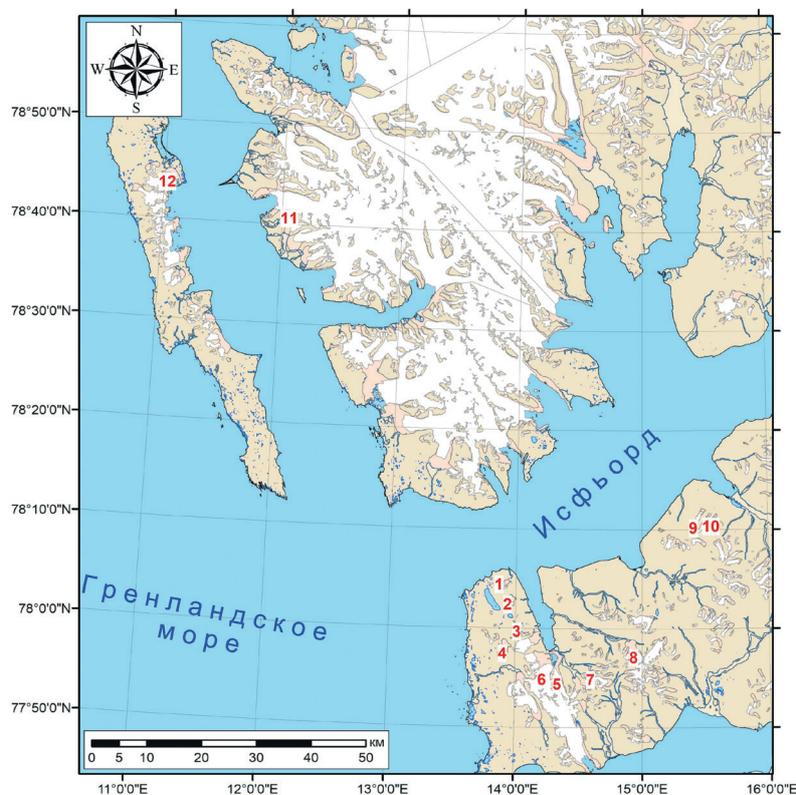


Рис. 13. Холодные ледники в пределах архипелага [54]: 1 – Варде, 2 – Вёрринг, 3 – Брюде, 4 – Линне, 5 – Восточный Грёнфьорд, 6 – северная часть ледника Западный Грёнфьорд, 7 – Баалсруд, 8 – Тунге, 9 – Лонгйир, 10 – Ларс, 11 – Вальдемар, 12 – Мюррей

Для **холодных ледников** типично однородное сложение ледяной толщи холодным льдом, т. е. льдом с отрицательной температурой [54].

В холодных ледниках обычно преобладают поверхностные дренажные системы, а внутренние дренажные системы для таких ледников не характерны. Отдельные элементы внутреннего дренажа встречаются только на ледниках, строение которых благоприятствует движению воды в толще льда. Это может происходить, когда вода прогревается либо вне территории ледника, либо в озерах (на поверхности или у края ледника). Количество одновременно поглощаемой ледником воды в этом случае должно быть очень велико. В противном случае малое количество воды будет способствовать блокированию каналов наледями. Большое значение в образовании дренажных систем холодных ледников имеет врезание потоков в лед и образование узких глубоких каньонов (до 6–12 м глубиной, иногда более). Часто такие каньоны служат альтернативой сбросу вод через внутренние дренажные системы или путями подвода воды к колодцам. Каньоны, засыпаемые снегом или «залечиваемые» сверху натечным льдом, превращаются в полноправные элементы внутренних дренажных систем ледников – пещерные дренажные каналы [54].

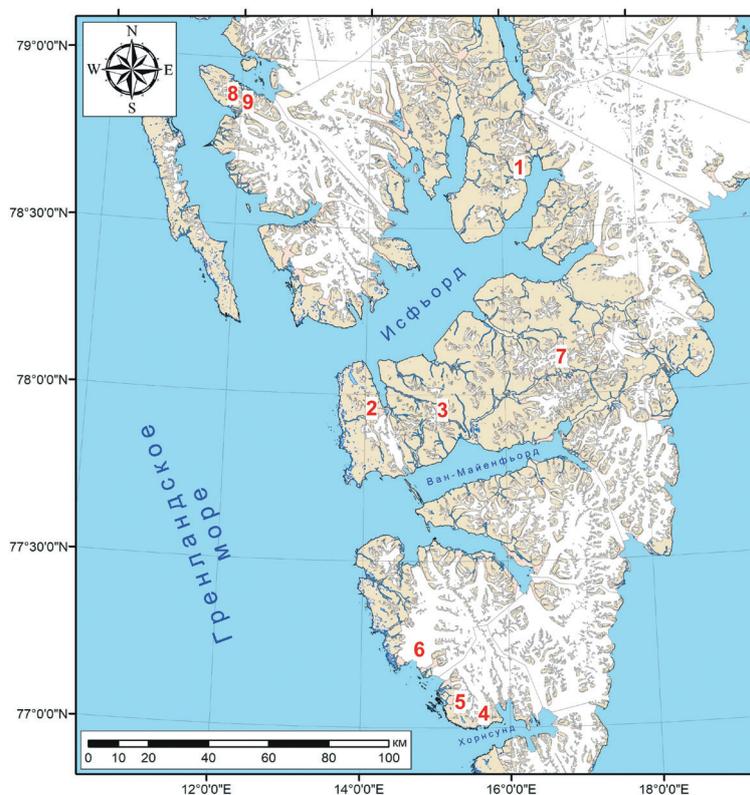


Рис.14. Политермальные ледники в пределах архипелага: 1 – Бертиль, 2 – Альдегонда, 3 – Тавле, 4 – Ханс, 5 – Вереншельда, 6 – Торель, 7 – Дрен, 8 – Брёггер, 9 – Ловен [54]

В зависимости от строения ледника поверхностные дренажные системы разделяют на маргинальные на выпуклых ледниках (Линне, Лонгйир, Мюррей), центральные на вогнутых ледниках (Тунге, Восточный Грэнфьорд) или сложно устроенные на неровной поверхности ледников (Вальдемар, Западный Грэнфьорд). Наиболее типичной для холодных ледников является маргинальная структура дренажа.

Температура льда в холодных ледниках отрицательная вплоть до ложа. Это означает, что вода, попадающая в лед по трещинам, с большой долей вероятности замерзнет. Поэтому талая вода на таких ледниках стремится течь по поверхности. На краях ледников вблизи контактов с горными породами или моренными отложениями таяние льда идет несколько быстрее, чем в центре ледников, что связано с отражением тепла от горных пород.

Многочисленные исследования показали, что каждому холодному леднику присуща своя структура дренажа, что связано с особенностями строения индивидуальных ледников.

Ледник Брюде – условное название склонового ледника к северу от ледника Альдегонда в верховьях долины Брюде (в ее юго-западной части). Ледник

имеет длину 1200 м, ширину 2500 м, ориентирован на север. Нижняя точка – 220 м ниже уровня моря, верхняя – 560 м [54].

Ледник расположен в одноименной долине на западном берегу залива Грэнфьорд. Ранее ледник занимал всю долину, но теперь он представлен несколькими обособленными ледяными массивами. Самый крупный ледяной массив разделен надвое грядой срединной морены, которая возвышается над озером на 10–20 м [54].

Обе ветви ледника располагаются на склоне поперечного хребта, отделяющего ледник Брюде от ледника Альдегонда. Трещины отмечены только в самой верхней части ледника. Обе ветви ледника в нижней части склонов упираются в озера, лежащие на моренных отложениях.

На основном леднике отмечены только поверхностные водотоки, причем на северной ветви потоки имеют меньшие размеры, поскольку поверхность ледника в нижней части была довольно сильно заморенена.

Южная ветвь ледника, напротив, сложена чистым льдом и обрывом высотой до 3 м и спускается в озеро. На леднике отмечены несколько центральных русел и маргинальные водотоки (у западного края ледника и у срединной морены).

Проведенные исследования [57] показали, что отступление языка с 1936 г. составило около 500 м (7,5 м в год), поверхность понизилась на 60 м. В правой части ледника снижение поверхности составило 80 м, отступление края льда – около 400 м. Понижение поверхности в средней части склона составило 60 м, а в верхней – 40 м.

Ледник Вёринг – небольшой ледник площадью около 2 км² расположен на западном берегу залива Грэнфьорд и ориентирован на северо-восток [54].

Его длина – около 1,4 км, ширина – около 0,7 км [58].

Низшая точка ледниковой поверхности расположена на высоте 170 м, наивысшая имеет отметку более 400 м.

Средняя высота ледниковой поверхности – 240 м. Ледник расположен в обширном цирке, частично перегородженном скалистой грядой. Ледник огибает гряду и вытекает из цирка, формируя язык, не достигающий до оз. Стемме, являющегося источником водоснабжения п. Баренцбург. Нижняя часть языка ледника покрыта чехлом моренных отложений толщиной до 0,5 м, который покрывает всю поверхность льда. Из-за того, что под покровом моренных отложений лед тает медленнее, чем чистый лед, на языке ледника сформировался холмистый рельеф, выступающий над поверхностью чистого льда.

Ледник находится на северных склонах и имеет только поверхностные дренажные системы древовидной формы, которые разделяются на две основные – восточную краевую и западную краевую. Первая из них собирает воду в восточной и южной частях ледника и полностью расположена на льду. Отсутствие больших уклонов поверхности ледника привело к тому, что каналы не сильно заглублены в лед, а на выровненных поверхностях врезки русел минимальны. Западная дренажная система собирает воду из верховий ледника: сначала она течет по льду, потом переходит на край ледника, затем уходит от него и водопадом стекает вниз, после чего вновь попадает на ледник в сильно заморененной мертвой части языка. Здесь вода, прогретая на скалах, сильно врезается в лед, образуя глубоко пропиленные меандры. Присыпанные моренным материалом участки наклонных каньонов меандрирующего русла

образуют небольшие пещеровидные полости малой протяженности. Все они возникли во льду при врезании водотока сверху. Обследование прилегающего к леднику заморенного склона показало, что на нем существует несколько промытых русел (в настоящее время сухих), которые расположены к северо-западу от современного русла с водой. По ним сбрасывалась вода с ледника, когда его размеры были существенно больше. Обследование его поверхности показало, что зона болот здесь отсутствует, трещин почти нет, а сам ледник находится в стадии быстрой деградации.

Исследования показывают [59], что отступление языка с 1936 г. составило около 900 м (или около 13 м/год), понижение поверхности в пределах современного поля льда оказалось равным 35–70 м (или 0,5–1,0 м/год). За этот период площадь поверхности ледника сократилась примерно втрое. С 2005 по 2010 г. понижение поверхности ледника на высоте 184 м составило 8,8 м (или 1,46 м/год), а на высоте 313 м – 5 м (или 0,84 м/год).

Ледник Восточный Грёнфьорд расположен в южной части Грёнфьорда. Длина ледника – около 7 км, ширина – до 2,2 км. Язык расположен на высоте 30 м, а верхняя точка – на высоте 749 м. У левого борта в районе перевала к соседнему леднику Западный Грёнфьорд понижение поверхности составило 90 м. Понижение морены между ледниками Западный Грёнфьорд и Восточный Грёнфьорд в районе языка оказалось равным 73–85 м [57]. Ледник является северной ветвью двускатного (переметного) ледника Грёнфьорд–Фритьоф. На леднике отмечено понижение интенсивности абляции по крайней мере до высоты 450 м. Отмечен один крупный центральный водоток, который собирает воду с большей части ледника и сбрасывает ее в колодец в основании срединной морены между ледниками Восточный Грёнфьорд и Западный Грёнфьорд. Колодец расположен примерно в 1,5 км от языка ледника, потом нижняя часть языка дренируется многочисленными не очень крупными водотоками. Ниже языка ледника из пещеры, расположенной в основании гряды срединной морены, выходит вода. Видимо, эта пещера первоначально образовалась путем врезания в лед поверхностного водотока вдоль края срединной морены [36].

Ледник является типичным поверхностным водотоком, врез которого в лед иногда достигает 6–8 м. Однако смущает присутствие крупной наледи у языка ледника, которая формируется ежегодно. Все встало на свое место после находки в 2004 г. нескольких ледниковых колодцев в верхней части ледника, приуроченных к его левому борту. Это означает, что маргинальный внутриледный дренаж питается не только поверхностными, но и внутриледными водами. А сам ледник Восточный Грёнфьорд имеет теплое ядро. Поэтому в качестве примера развития поверхностной дренажной сети может рассматриваться только самая нижняя часть ледника – не более 1–1,5 км длиной.

Между озером и языком ледника располагается крупный массив мертвого льда, прикрытый толстым (до 1 м толщиной) слоем моренных или озерных отложений. Пересеченный холмистый рельеф с большим количеством мелких озер в многочисленных понижениях между холмами свидетельствует о развитии ледникового карста.

С повышением рельефа интенсивность понижения поверхности льда изменялось последовательно до 100 м (или 1,5 м/год), 50 м (или 0,75 м/год), 30 м (или 0,45 м/год), а вблизи перевала – на 20 м (или 0,3 м/год).

Язык ледника с 1936 г. отступил примерно на 1,2 км, что составляет около 18 м в год. Поверхность льда в районе языка понизилась не менее чем на 130 м, т. е. интенсивность понижения поверхности – около 2 м в год. У левого борта ледника в районе перевала к соседнему леднику Западный Грэнфьорд понижение поверхности льда по сравнению с 1936 г. составило около 90 м. Понижение морены между ледниками Западный Грэнфьорд и Восточный Грэнфьорд в районе языка ледника за тот же период оказалось равным 73–85 м. С повышением рельефа интенсивность понижения поверхности льда изменялась последовательно до 100, 50, 30 м, а вблизи перевала – до 20 м [36].

Особенно заметные изменения произошли в последние 10–12 лет, когда в летний период снеговая линия поднималась выше отметки 500 м и ледник полностью оказывался в области абляции. Современные радиолокационные исследования показывают, что на леднике Восточный Грэнфьорд не только сокращается общая толщина ледника, но и изменяется положение теплого и холодного слоев льда [96].

Термометрические измерения в скважинах на леднике Восточный Грэнфьорд показали сложную пространственную картину распределения температуры в его приповерхностном слое. Самые низкие температуры в скважинах отмечены на языке ледника, а самые высокие – в верховьях ледника, в области накопления фирна.

Ледник Западный Грэнфьорд расположен в южной части Грэнфьорда, к западу от ледника Восточный Грэнфьорд. Длина ледника – до 9 км, ширина – до 7 км. Нижняя точка расположена на высоте 6 м над уровнем моря, верхняя – 749 м [54, 57].

К основной части, ориентированной в основном на север, прилегает ледник Восточный Грэнфьорд, а с северо-запада – другой присклоновый ледник длиной около 2 км и шириной 3 км. Последний имеет несколько центральных поверхностных дренажных каналов, которые, меандрируя, сбегают к его языку. Расходы потоков невелики, поэтому их заглубление в лед невелико. Только один водоток с расходом около 100 л/с врезался в лед на глубину до 3–4 м [37].

В довольно крутой языковой части ледника шестует множество меандрирующих каналов, врезанных в лед (до 3–4 м). Вверх по леднику поверхность постепенно выполаживается, и число врезов водотоков уменьшается.

У правого борта ледника Западный Грэнфьорд, против выхода малого ледника, отмечены большие протоки с расходами 100 л/с, которые образуют глубокие меандры и поглощаются в огромные колодцы. На небольшом участке (100×200 м) сосредоточено около 15 таких «поглотителей» [54].

В целом для ледника характерны только поверхностные дренажные каналы, которые дренируют ледник на всем его протяжении. Большинство русел поверхностных водотоков не очень сильно врезано в лед. Но были и исключения. В центральной части ледника обнаружен открытый ледяной каньон с высотой стенок до 12–15 м [54].

С 1936 г. ледник северной части отступил на 800 м (что соответствует примерно 12 м/год), здесь уровень льда понизился на 57 м (или 0,85 м/год). На протяжении левой части языка ледника понижение поверхности изменялось до 65 м (или 1 м/год) с редкими увеличениями значений до 110 м (1,6 м/год). В средней части ледника понижение поверхности менялось от 20 до 50 м (или от

0,3 до 0,75 м/год). Язык ледника отступил с 1936 по 2003 г. на 2,3–2,5 км (что равнозначно отступанию со скоростью 34–37 м/год). В районе языка ледника понижение поверхности за 67 лет составило 140 м (или 2,1 м/год). Наблюдения на леднике с 2003 г. показали, что произошло практически полное отделение левой присклоновой части от основного ледника. Понижение поверхности на высоте 50 м составило 18,5 м (или 3,1 м/год), а на высоте 300 м – 7,4 м (или 1,2 м/год). При этом отмечено, что выше 400 м над уровнем моря в последние годы на леднике происходит накопление массы снега [57].

Ледник Линне расположен к западу от ледника Альдегонда. Он находится в верховьях меридиональной долины Линне, в ее южной части. Длина ледника – около 3 км, ширина – до 1 км. Язык ледника расположен на высоте 125 м, верхняя точка – на высоте около 400 м. Ледник ориентирован на север [54, 59].

Ледник Линне относится к ледникам горно-долинного типа и имеет отличную от ледника Альдегонда ориентировку – с юга на север. Ледник расположен в верхней части долины Линне непосредственно к западу от ледника Альдегонда. Максимальная отметка его поверхности – 450 м, минимальная – 150 м. В самой широкой части ледник имеет немногим более 900 м, его длина с притоками – около 2,5 км [57].

Ледник имеет выпуклую поверхность, поэтому основными дренами на нем являются маргинальные каналы, собирающие воду с мелких центральных водотоков и с правого притока ледника. Только на крутом склоне ледника, в районе его языка, глубина вреза канала достигала 2–3 м, а выше он проходит по поверхности льда. Перед языком ледника располагается несколько мелких озер. Между ледниками Альдегонда и Линне – несколько мертвых массивов льда и целый ряд крупных ледниковых озер.

Если в 1936 г. ледники Линне и Альдегонда имели общий ледораздел, то теперь они далеко разошлись. На месте соединения ледников остались лишь отдельные массивы мертвого льда и несколько крупных ледниковых озер. Поверхность ледника Линне за истекший период понизилась на 75–110 м [54], в районе нынешнего языка – на 75 м (или 1,1 м/год), в 500 м к северу от современного языка – на 95 м (или 1,4 м/год), а в восточной части языка ледника – на 110 м (или 1,6 м/год). На современной отметке в 200 м отмечено понижение поверхности на 80 м (или 1,2 м/год), а на высоте 300 м – примерно на 40 м (или 0,6 м/год). Максимальная средняя скорость понижения поверхности ледника составляла около 1,0 м/год. Наблюдения на леднике в 2003 и 2004 гг. показали, что среднее понижение поверхности ледника составляло около 1,6 м/год, при этом вся поверхность ледника оказалась ниже высоты границы питания. Понижение поверхности ледника с 2005 по 2008 г. в среднем составило от 0,34 до 1,17 м водного эквивалента (среднее 0,8 м) [59].

Ледник Лонгйир находится в верховьях долины Лонгйир (левый приток долины Адвентдален) непосредственно к югу от п. Лонгйир. Длина ледника – 4,5 км, ширина – до 700 м, самая нижняя точка расположена на высоте 200 м, самая высокая – на высоте 1000 м. Ледник спокойный, трещин почти нет. При этом в 2004 г. сезонная снеговая линия поднималась выше самой высокой отметки ледника, т. е. выше 1000 м [54].

Дренажная система ледника принципиально не изменилась с 2002 г. По-прежнему имеются две маргинальные системы стока и одна центральная.

Поскольку маргинальные системы стока начинаются из верховьев ледника, а центральная – с середины, маргинальные водотоки врезаны в лед сильнее. Маргинальный поток левого борта имеет более глубокий врез, так как его протяженность и площадь водосбора существенно больше, чем у правого маргинального потока. Правый маргинальный поток течет в весьма неглубоком (до 4 м) каньоне, часто выходя на поверхность. В средней части ледника маргинальный канал получает приток воды, стекающей с соседнего ледника Ларс, расположенного гипсометрически выше. Только в самой нижней части ледника водоток оказался погребенным во льду. Центральный водоток представлял собой обычный ледяной каньон, который трассировался до самого языка ледника. С 1936 г. язык ледника оставался примерно на одном месте, но заморенная часть льда в нижней части ледника увеличилась по протяженности на 200–400 м. На контакте чистого льда и морены в средней части ледника понижения поверхности льда за этот период практически не произошло. В средней части ледника отмечено понижение поверхности, что хорошо видно также и по боковым моренам по краям ледника. Эта зона протянулась от 1 до 3,5 км от языка ледника. По ширине ледника понижение поверхности несколько разнится: в средней части у левого борта оно составило 60 м, у правого борта – 40 м. В верхней части этой зоны поверхность ледника понизилась на 30–50 м. В верховьях ледника понижения поверхности льда не отмечалось [57].

Ледник Тунге расположен в верховьях долины Грендален, на ее левом борту, к западу от ледника Тавле. В верховьях эти ледники разделены общим водоразделом. Длина ледника – 3,7 км, ширина – до 800 м. Самая низкая точка расположена на высоте около 200 м, самая высокая – на высоте 800 м. Ледник ориентирован на север [54].

Основная система дренажа приурочена к левому борту ледника. В средней и верхней части расширенной долины ледника это русло получает многочисленные притоки. В нижней части ледника водоток течет в ледяном каньоне глубиной до 6 м, который в самой нижней части перекрыт наледным льдом, так что язык ледника дренируется как бы из ледниковой пещеры. К средней части ледника ледяной каньон местами пережат, и вода на этих отрезках течет в запечатанном внутриледном канале. В верхней части ледника водотоки почти не заглублены в лед. Внутренней системы дренажа на леднике не обнаружено, видимо, из-за малой толщины льда.

Язык ледника с 1936 г. отступил на 900 м (средняя скорость отступления около 13 м в год). Не исключено, что под мореной у языка ледника сохранился мертвый лед. Понижение поверхности льда на языке ледника достигало 110–120 м, далее по леднику понижение поверхности составило 60 м [57, 59].

Ледник Ларс расположен в правом притоке той же долины, что и ледник Лонгйир. Ледник можно условно разделить на две части: значительно заморенная в нижней части ледника (толщина морены 1 м и более) и чистый лед в верховьях. В той части ледника, что состоит из чистого льда, расположены самые крупные водотоки. При этом водоток, который дренирует самую верхнюю часть ледника, покидает территорию ледника и стекает в соседнюю более глубоко врезанную долину на край ледника Лонгйир. Кроме этого водотока на леднике отмечены маргинальные потоки и относительно небольшой центральный водоток, который начинается на языке ледника [54].

На выположенных участках ледника водотоки располагаются почти на поверхности льда, но на крутом языке ледника потоки врезаются в лед глубокими меандрами и поглощаются льдом вблизи контакта с замороженным льдом. Вниз по долине отмечается только замороженный лед. Вблизи языка ледника отмечено окно во льду, в котором обнажалось ложе ледника с протекающими по нему водотоками. Ниже окна находится только замороженный лед с каналами в основании. На поверхности морены отмечены небольшие подвешенные озёра. На языке ледника имеется единый водоток, вытекающий в тальвеге долины из ледникового грота.

Водотоки текут по поверхности, врезаясь в нее глубокими меандрами на крутых участках склона, и уходят под лед в окрестностях контакта с замороженным (мертвым) льдом. Дальше вниз по долине вода, видимо, протекает по контакту льда и породы, причем в некоторых местах водотоки обнажаются (в наиболее врезанных участках долины). В языковой части ледника водотоки протекают в основании льда, а на поверхности морены есть подвешенные озёра и травянистая растительность.

Ледник Вальдемар площадью около 3 км² примыкает на юге к леднику Оватсмарк [54]. Для ледника характерна исключительно поверхностная дренажная система. Она сохранялась во время режимных наблюдений за балансом массы ледника в течение последних 10 лет. На языке ледника, у его левого борта, непосредственно за срединной мореной несколько лет назад существовало наледное озеро. Впоследствии произошел сброс воды из озера через канал, прорезанный во льду водным потоком.

В средней части ледника обнаружен крошечный ледниковый колодец, который находится в зачаточном состоянии. Его появление, видимо, связано с раскрытием трещины на пути водного потока. Никаких других признаков существования системы внутреннего дренажа на леднике найдено не было. За 60 лет общая структура дренажа ледника не изменилась. Длительная стабильность дренажной системы свидетельствует об отсутствии трещин во льду. Также отмечен рост числа поверхностных водотоков при деградации ледника и уменьшение их количества в период увеличения размеров ледника.

Ледник Баалсруд расположен в верховьях долины Грэнфьорд, к востоку от ледника Восточный Грэнфьорд. Длина ледника – 3,7 км, ширина – до 1,5 км, ледник течет с востока на запад и является переметным. Язык ледника расположен на высоте 160 м, перевальная точка – на высоте 410 м. Для ледника характерен поверхностный сток по двум крупным маргинальным каналам [54].

На отдельных участках отмечается изменение положения русла водотока (глубина вреза в лед около 1 м) из-за того, что зимой он запечатан наледным (наложенным) льдом. В отличие от старого меандрирующего водотока образовался новый прямолинейный водоток.

На леднике очень мало наложенного льда. Сезонная снеговая линия на леднике, вплоть до перевала, не обнаружена, что говорит о деградации ледника. При этом отмечается более интенсивное таяние чистого льда по сравнению с замороженными участками его языка. Сток воды происходит и по правому маргинальному каналу, но он практически по всей длине перекрыт снегом.

Ледник Мюррей расположен в северной части о. Земля Принца Карла и имеет длину около 10 км, ширину – до 3 км. Язык ледника спускается в море.

Верхняя точка ледника расположена на высоте более 600 м. Для ледника характерен в основном поверхностный сток, хотя наличие остатков наледей у бортов свидетельствует о возможном наличии внутренней дренажной системы стока талых вод [54]. Для заболоченной части характерны водоснежные потоки. Правая краевая морена трассируется от высокого скального останца с птичьим базаром. Большое количество органических веществ на склоне обусловило то, что срединная морена изобилует растительностью, которая развивается на тонком слое дерна (5–10 см), лежащего на льду.

Согласно измерениям, с 1936 г. поверхность ледника понизилась на 50–80 м.

Для **политермальных ледников** характерно двухслойное строение: сверху расположен слой холодного льда, а внизу (у ложа) – слой теплого льда. В зоне абляции таких ледников слой холодного льда приморожен к ложу. Соотношение толщины холодного и теплого льда оказывает влияние на ледники разными способами. Наличие внутри ледника одновременно холодного и теплого слоев льда создает условия для своеобразного протекания целого ряда гидрологических процессов внутри ледяной толщи. Присутствие внешнего слоя холодного льда на леднике заставляет воду течь сквозь лед вполне определенным образом или даже полностью пресекает движение воды во льду [56]. Политермальное строение ледника может способствовать подпруживанию подледниковых вод примороженным краем ледника, которое, в конечном счете, может привести к ледниковому паводку или прорыву озера, подпруженного политермальным ледником.

Политермальная структура ледника может приводить к особому режиму течения льда со своеобразными пространственными и сезонными особенностями. Своеобразие динамики движения политермальных ледников связано с зависимостью вязкости льда от его температуры, что делает ее достаточно трудной как для восприятия, так и для моделирования. Это происходит не только из-за того, что внутри ледяной толщи отмечается труднопредсказуемый рост градиентов скоростей напряжений (с учетом скольжения льда по ложу), но и из-за наличия в ней тепловых потоков и фазовых переходов.

Тепловой режим политермальных ледников во многом зависит от изменений климата. В первую очередь это сказывается на изменении толщины слоя теплого льда [25, 27]. Эти изменения и проявляющиеся вариации в характере распространения площадей теплого и холодного льда на ложе ледников, как предполагают, могут быть причиной быстрых подвижек (пульсаций) ледников, хотя это, возможно, и не является единственным решающим фактором. Изменение доли площади ложа, к которой приморожен ледниковый лед, также может оказывать влияние на скорость эрозии ложа подледниковыми потоками, что ведет к изменениям в химическом составе подледниковых вод и в количестве взвешенного материала, переносимого водой.

Среди ледников Шпицбергена довольно широко распространены политермальные ледники, обладающие своими специфическими особенностями.

Ледник Альдегонда расположен в 10 км к юго-западу от п. Баренцбург на западном берегу Грёнфьорда. Длина ледника – около 3 км, ширина – до 2 км. Самая нижняя точка расположена на высоте около 80 м над уровнем моря, самая высокая – около 700 м ниже уровня моря [57].

Максимальная толщина льда составляет 216 м [85]. Этот горно-долинный ледник имеет двухслойное строение с холодным верхним слоем и теплым нижним, который характеризуется нулевыми температурами льда и повышенным содержанием воды.

На леднике Альдегонда имеется несколько транзитных водотоков, которые, зарождаясь в верховьях, пересекают весь ледник, минуя трещины и ледниковые колодцы (мельницы). Средняя длина пробега воды в таких истоках равняется длине всего ледника (более 3 км). Число таких транзитных водотоков на леднике крайне мало, они не играют значительной роли в общей структуре поверхностного дренажа ледника [16, 55]. Вода с языка ледника стекает в нескольких местах – у левого борта, в центре и у правого борта. Часть воды имеет поверхностное происхождение, а часть вытекает из-под ледника.

Поверхностные водотоки можно видеть в центре языка и у правого борта ледника. У его левого борта вода большей частью выходит из-под льда, меньшей – стекает по меандру из центральной части ледника [85].

В течение 2001–2010 гг. практически на всей поверхности ледника отмечалось таяние льда. Это говорит о том, что в настоящее время вся поверхность ледника расположена ниже высоты границы питания (исключение – некоторые участки склона на орографически правом борту ледника). Это свидетельствует о деградации ледника [16]. К настоящему времени язык ледника отступил на расстояние около 2 км от берега моря, тогда как в начале XX века он спускался в воды фьорда. Сейчас нижняя точка языка ледника расположена на высоте около 100 м, а верхняя – на высоте около 600 м над уровнем моря. Сравнение топографической карты 1936 г. и данных по съемке поверхности ледника в 2002 г. позволило оценить величины изменения ледника за этот период. Оказалось, что за 67 лет площадь ледника сократилась с 9,1 до 7,0 км², что соответствует уменьшению площади ледника со скоростью около 31,3 тыс. м²/год. Язык ледника за этот период отодвинулся от своего положения приблизительно на 2 км (или 30 м/год). За указанный период поверхность льда сильно понизилась.

Ледник Тавле расположен в верховьях долины Грэндален. Длина ледника – 6 км, ширина – около 2 км. Самая низкая точка – 200 м, самая высокая – 700 м [59].

В верховьях ледника отмечено понижение поверхности на 40 м (или 0,6 м/год), а в средней части ледника произошло понижение поверхности на 70–80 м (или 1,0–1,2 м/год). С 1936 г. язык ледника на северо-западе отступил на 300 м, и понизился на 100 м (или 1,5 м/год); в районе водораздела рек Грэн и Семмельдале край льда отступил на 200 м (или на 3 м/год), уровень льда практически не изменился. В северной части язык отступил на 400 м (или на 6 м/год), высота поверхности льда практически не изменилась. Наблюдения на леднике с 2003 г. показали, что язык ледника отступил незначительно. Понижение поверхности на высоте 228 м в 2009–2011 гг. составило более 4 м (или 2 м/год), а на высоте 364 м – 2,15 м (или 1,07 м/год). Выше 490 м над уровнем моря последние годы на леднике происходит некоторое накопление массы снега [59].

Ледник Бертиль расположен к западу от горы Пирамида, он ориентирован с севера на юг, имеет длину 5 км, ширину – до 1 км, перепад высот – 500 м. На языке ледника лед покрыт обломками морены. К языку ледник постепенно

сужается до 0,5 км, по краям – боковая морена шириной до 0,1–0,3 км. Скорость движения льда в средней части ледника составляет около 2,5 м/год.

В летнее время внутренний сток ледника обеспечивается поглощением воды с поверхности через ледниковые колодцы, расположенные вдоль ледниковой трещины в верхней части ледника и выше трещины, а также колодцы у правого борта ледника [56].

Анализ динамики ледников Шпицбергена показал, что они довольно чутко реагируют на изменения климата. Было отмечено, что ледники в течение XX века имели отрицательный баланс массы и значительно деградировали. Наиболее интенсивно ледники отступали в течение последних десятилетий. Однако примерно с 2003 г. деградация ледников несколько замедлилась. При этом в нижних частях ледников интенсивность таяния льда практически не изменилась, а в верхних частях ледников таяние льда сократилось вдвое и более. Это явление сопровождается повсеместным понижением высоты границы питания ледников, которая в настоящее время вернулась к уровню 1980-х годов. Все это свидетельствует о наметившейся тенденции к похолоданию климата, что подтверждается результатами исследований в других частях нашей планеты [59].

2.1.3. Грунтовые и подземные воды

Обнаруженные на Шпицбергене меж- и подмерзлотные водоносные комплексы залегают на глубинах 100–200 м и более. Вода в них часто значительно минерализована, до 10 г/л и более, и имеет разный химический состав. Много хлоридных натриевых вод. Нередко встречаются и напорные воды [76]. В разных частях архипелага глубинные воды выходят на поверхность в виде источников. К зонам тектонических разломов приурочены термальные источники, расположенные, например, на севере о. Западный Шпицберген в районе потухшего вулкана Сверре. В южной части острова также были обнаружены источники минеральных вод, в том числе вблизи оз. Конгресс [76]. Термальные и холодные источники минеральных вод острова могут быть использованы для бальнеологических целей.

Питание такие воды получают от таяния ледников, снежников, сезонного снега и жидких атмосферных осадков, а разгружаются они во временные водотоки, ручьи, реки и озёра. Зимой водоносный комплекс четвертичных отложений, как правило, полностью промерзает.

Специфическая черта, отличающая внутри- и подледниковый сток от поверхностного – его существование в течение всего года на многих ледниках архипелага. Сток в холодный период связан с объемом динамических запасов воды в фирновой толще, теле ледника, у его ложа и в подледниковых таликовых зонах [23, 27]. Они ежегодно пополняются при поступлении воды с поверхности в период абляции, в основном в первой его половине в условиях снижения пропускной способности внутрiledниковой гидросети. Дополнительные объемы воды дает внутри- и подледниковое таяние льда. Зимний сток характерен для теплых и двухслойных ледников, имеющих области «теплого» водосодержащего льда и талики у ложа [23].

Многочисленные приледниковые наледи Шпицбергена образуются при выходе ледниковых вод на дневную поверхность в холодный период года. К настоящему времени обнаружено более 120 приледниковых наледей на островах Западный Шпицберген, Земля Принца Карла и Эдж [27].

На Шпицбергене существует четыре типа наледей: связанные с выходами грунтовых (мерзлотных и межмерзлотных) вод на поверхность; ассоциирующиеся с пинго; речные наледи и наледи, образованные выходами внутриледниковых и подледниковых вод. Размеры наледей зависят от объема зимнего стока, местоположения выходов ледниковых вод и морфологии приледниковых долин. Максимальные по размерам наледи с площадью до нескольких квадратных километров и объемом в миллионы кубических метров образуются у крупных выводных ледников, оканчивающихся на значительном расстоянии от моря в широких плоских долинах. В зависимости от средней высоты водосбора и объема наледи последняя может сохраняться до конца августа, а иногда даже до наступления холодного периода, образуя тем самым многолетние наледи [86].

Наблюдения показывают, что зимний сток с ледников связан с наличием подледниковых таликов и присутствием внутри- и подледных дренажных систем. Размеры и положение наледей могут сильно меняться от года к году, в большей степени это зависит от вариации строения подледных систем дренажа. Потепление климата и отступление ледников ведут к перестройке их внутренних и подледниковых дренажных систем, а также к распространению многолетнемерзлых пород вверх по долине вслед за отступающим ледником. У небольших политермальных ледников с этим связано уменьшение размеров подледникового талика и объемов зимнего стока и, как следствие, сокращение размеров приледниковых наледей.

Часть внутриледниковых вод, несомненно, имеет грунтовое питание, о чем свидетельствует их большая минерализация. При этом минерализация воды в течение зимнего периода может увеличиваться, а ее химический состав меняться [86]. Наблюдения на наледях показали, что минерализация и химический состав льда и наледоформирующих вод могут существенно отличаться. Основной механизм формирования химического состава льда – вовлечение воды, а вместе с ней и солей в межкристаллическое пространство [40]. Криохимические процессы приводят к обеднению наледного льда солями: при кристаллизации – плохо растворимыми, а весной – хорошо растворимыми. При замерзании и постепенном концентрировании наледоформирующей воды часть растворенных в ней солей осаждается. Состав осадков зависит от литологии водосбора.

Химический состав талых вод на ледниках зависит от минерализации льда и его загрязненности моренным материалом. Минерализация воды в наледниковых потоках в целом соответствует минерализации льда [8, 34]. При этом в крупных ручьях она может в 3–4 раза превышать солесодержание во льду, а в мелких быть несколько меньше. При контакте текущей воды с мореной на поверхности или у бортов ее минерализация повышается до 50–100 мг/л и более, а химический состав меняется в зависимости от состава моренных отложений и их растворимости. Минерализация воды в маргинальных ручьях зависит от доли ледникового и внеледникового питания. На леднике Бертиль вблизи поселка Пирамида увеличение доли внеледникового питания вниз по течению таких ручьев приводит к обогащению воды сульфатами и ионами магния.

В ручьях, дренирующих малые безледные водосборы, минерализация воды летом в целом выше, чем на ледниковых ручьях, и зависит от химического состава снега, а также растворимости пород в поверхностном слое грунта.

Так, в августе 1985 г. минерализация воды ручья Улаф, дренирующего безледный водосбор в окрестностях Баренцбурга возросла от 120 до 250 мг/л. В то же время в устьевой части ледникового ручья Геррит на восточном побережье Биллефьорда она менялась от 100 до 130 мг/л.

Сток воды и растворенных солей в ручьях, дренирующих элементарные ледниковые бассейны, складывается из ледниковой и неледниковой компонент, вклад которых зависит от степени оледенения, высотного положения ледников и времени года. Доля разных источников поступления воды и солей определяет основные фазы гидрохимического режима ледниковых ручьев. Так, ручей Бертиль (створ находился в 200 м от края ледника) в мае, т. е. до начала интенсивного таяния, имеет преимущественно внутрiledниковое питание, и минерализация воды достигает 100–180 мг/л. В июне при усилении таяния и стока минерализация воды постепенно снижается до 35–40 мг/л. По измерениям на ряде ледниковых ручьев минимальные значения минерализации воды составляют 20–40 мг/л. В июле и первой половине августа повышение минерализации до 45–60 мг/л связано с быстрым уменьшением заснеженности склонов ледниковой долины и выносом солей из оттаивающего деятельного слоя грунта в моренных отложениях. Ход минерализации отражает режим стока: при росте расходов, в результате таяния ледника она снижается. При понижении температур воздуха минерализация возрастает до 70–80 мг/л во второй половине августа и до 100–150 мг/л в сентябре. Средняя за теплый период года минерализация воды ручья Бертиль равна 40–45 мг/л, а модули ионного стока из бассейна ледника (площадь – 9,6 км², доля ледников – 58 %, ледниковый сток – 70 % суммарного) составляют 25–40 т/км².

По данным наземного радиозондирования 2004–2006 гг. мини-аналоги подледниковых антарктических озер размером до 1,4 км были обнаружены на архипелаге Шпицберген на ледниковом плато Амундсена [20].

Ледниковое плато Амундсена находится в крупной межгорной впадине, которая практически полностью заполнена теплым льдом. Объем льда составляет 27,1 км³, а его максимальная толщина – 631 м. В центральной части ледникового плато на ложе выявлены замкнутые котловины, на дне которых может скапливаться вода. Участки возможного скопления воды приурочены к участкам «плоского» ложа и заметно отличаются по своим отражающим свойствам от границы раздела лед–подстилающие породы. Эти участки имеют протяженность до 1400 м и, судя по энергетическим характеристикам отраженных сигналов, могут быть связаны со сравнительно тонким слоем воды у ложа.

2.1.4. Озера

На архипелаге Шпицберген общие запасы озерных вод достигают порядка 1 км³, что составляет 1,5–2 % суммарного годового поверхностного стока воды [23]. Озёра в основном ледникового происхождения. Много мелких карстовых и термокарстовых озер. Они распространены на западной периферии о. Западный Шпицберген и в его северной части.

Озеро Конгресс расположено на западном берегу залива Грэнфьорд в изолированной котловине с абсолютной отметкой уреза воды 95 м. Озеро имеет округлую форму и составляет в диаметре около 1 км (рис. 15). В озеро впадают несколько ручьев.



Рис. 15. Общий вид на озеро Конгресс

По результатам замеров экспедицией ААНИИ максимальная глубина озера не превышает 55 м, его площадь составляет 0,53 км², длина береговой линии – 2,9 км. В озеро впадает порядка четырех ручьев, вытекает р. Конгресс.

Ледовые явления начинают возникать на озере в конце сентября при понижении температуры воздуха ниже 0 °С. Средняя толщина льда, по сведениям экспедиций ААНИИ (май 2004), достигает 1,3 м. Таяние льда начинается в начале июня, и в середине июля озеро очищается ото льда.

Озеро Бретьёрна расположено в кутовой части залива Грёнфьорд и отделено от него мощными моренными валами.

Водосбор оз. Бретьёрна расположен в нижнем течении р. Грёнфьорд с востока и отделен от реки обширным моренным комплексом, образованным таянием ледника Западный Грёнфьорд. Озеро образовано за счет отступления ледников Восточный Грёнфьорд и Западный Грёнфьорд и питается за счет постоянного поступления воды с этих ледников (рис. 16).

Озеро молодое, его первое изображение появилось на картах, построенных на основе материалов аэрофотосъемки 1936 г., где озеро имеет сток в долину Грёнфьорд. Площадь зеркала озера тогда составляла около 0,10 км². В 2005 г. экспедицией ААНИИ были проведены работы по определению морфометрических характеристик оз. Бретьёрна. Было установлено, что в настоящее время озеро увеличилось в размерах (примерно в 16 раз) и изменило направление стока. Общая площадь зеркала озера на 2005 г. составляет 1,64 км², длина водоема – 2205 м. Сток из оз. Бретьёрна осуществляется непосредственно в залив Грёнфьорд.

Наибольшая глубина озера – 29,9 м, средняя – 12,1 м. Дно озера у берегов песчано-илистое, характеризуется резким увеличением глубин в западной части озера и довольно пологим противоположным берегом, что в свою очередь подтверждает ледниковую теорию происхождения озерной котловины.



Рис. 16. Общий вид на озеро Бретьёрна

Основными источниками питания озера являются водотоки, берущие начало на ледниках Западный Грёнфьорд и Восточный Грёнфьорд.

Озеро Стемме расположено в межгорной котловине на западном берегу залива Грёнфьорд в 2,7 км от берега. Озеро имеет ледниковое питание за счет притока вод ледника Варде, расположенного севернее озера, и вод ледника Вёринг, морена которого подпирает южный берег озера (рис. 17).

Площадь зеркала озера составляет 0,013 км², площадь водосбора – 5,2 км², максимальный объем озера – 516 тыс. м³, длина озера – 595,5 м, ширина – 377 м, максимальная глубина – 12,8 м, средняя глубина – 4,2 м [82]. Берега озера пологие, южный берег приглубый. Озеро закрыто с северо-запада склонами отрогов водоразделов Фребольдрюгген, с южной стороны – склоном ледника Вёринг, и только с восточной стороны открыто для ветрового воздействия.

Уровненный режим характеризуется подъемом уровня в период снеготаяния (в течение первой декады июня) и постепенным падением его в зимний период (начиная с третьей декады сентября). Подъем уровня осуществляется за счет таяния снежного покрова в весенне-летний период. Максимальная высота поднятия уровня определена нивелировкой по характеру деятельности высоких вод на отметке 85,5 м. В осенний период отмечается понижение уровня до отметки 81,5 м [82].

Ледовые явления на озере начинают появляться в сентябре. Образование льда начинается с западной стороны (причина тому – более холодные воды ручьев ледника) и заканчивается в юго-восточной части озера. Максимальная толщина льда достигает 1,28 м. Таяние льда начинается в конце мая, и в середине июля озеро очищается ото льда. Свободный ото льда период колеблется от 55 до 68 дней [82].



Рис. 17. Общий вид на озеро Стемме

Поверхностный приток в озеро осуществляется в основном с ледника Варде в западную часть озера двумя ручьями. В теплое время года приток обеспечивается за счет верховодки. В зимний период все ручьи, впадающие в озеро, перемерзают. Сток из озера в летний период осуществляется через перелив ригеля (восточная часть) ручья Васстак и за счет фильтрационного потока (юго-восточная часть) в ручей Водозаборный, который не перемерзает летом. Ручей Васстак вытекает из оз. Стемме в восточной части и впадает в залив Грэнфьорд. Длина ручья составляет 3,3 км. Вода озера используется для водоснабжения Баренцбурга. На озере находится насосная станция, обеспечивающая подачу воды для поселка.

Большинство озер Западного Шпицбергена проточные, их питание главным образом ледниковое и снеговое, что определяет невысокую минерализацию воды, до 100–200 мг/л, и ее пригодность для питья. Минерализация снижается в весенне-летний период при поступлении талых вод и возрастает осенью и зимой в результате притока грунтовых. Химический состав озерных вод зависит от вклада питающих источников. Как правило, летом преобладают кальций, гидрокарбонатные и сульфатные ионы, а зимой повышается содержание натрия, калия и хлоридов.

Если на берегах или дне озер находятся источники, химический состав воды может сильно изменяться. Так, на северо-западном берегу оз. Конгресс в него впадают минеральные источники, функционирующие в летний период, по химическому составу характеризующиеся как слабосоленоватые, сульфатные кальциевые и имеющие запах сероводорода с дебитом 26–28 л/с. В результате повышается минерализация воды, возрастает ее жесткость. Зимняя разгрузка вод источника происходит по подрусловым каналам в чашу озера [76].

2.1.5. Речная сеть

Исследования, проводимые с 1976 г. Шпицбергенской гляциологической экспедицией Института географии АН СССР [26], показали, что речная сеть на островах Шпицбергена хорошо развита. В его центральной части протекают крупные реки длиной более 15–20 км с площадью водосборов в сотни квадратных километров и максимальными расходами более 100 м³/с.

Речная сеть архипелага Шпицберген включает горные и долинные реки, реки с большой степенью оледенения водосбора и реки без ледникового питания, реки с озерами и без. Наиболее крупные реки протекают на острове Западный Шпицберген: Рейндален (протяженность около 50 км), Сасендален (40 км) и Адвентдален (35 км) (рис. 18). Реки текут по днищам плоских широких долин, сильно меандрируют, делятся на отдельные рукава и образуют эстуарии в приустьевых участках. Многие водотоки архипелага имеют крутой профиль русла [31].

В период половодья реки несут большое количество наносов. Длина большинства водотоков ограничивается первыми километрами и лишь в мало оледенелой центральной части о. Западный Шпицберген длина крупных рек достигает 20 км и более.

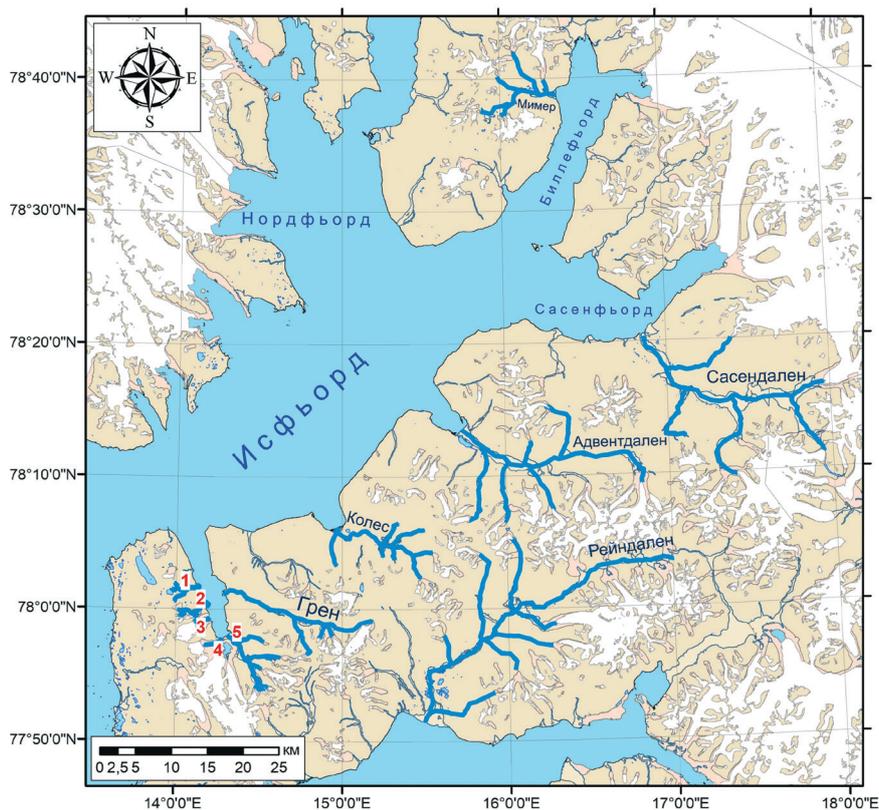


Рис. 18 . Речная сеть архипелага Шпицберген: 1 – Конгресс, 2 – Брюде, 3 – Альдегонда, 4 – Бретъерна, 5 – Грэнфьорд

Таяние снега на реках начинается во второй половине мая. В первые 10–15 дней после перехода средней суточной температуры воздуха через 0 °С в сторону положительных значений она, как правило, сохраняется близкой к нулю, а расходы воды на реках обычно не превышают 1–2 м³/с. Начало половодья, вызванное повышением средней суточной температуры воздуха до 2–3 °С, отмечается в первой половине июня, а его пик – в конце июня – начале июля. В период формирования максимальных расходов воды на большей части территории бассейнов рек сохраняется снежный покров.

После прохождения пика половодья заснеженность территории и расходы воды быстро снижаются. Это особенно характерно для рек внутренних частей острова, где снегозапасы в нижних частях бассейнов незначительны. При замедленном повышении температуры воздуха в первой половине периода абляции доля заснеженных поверхностей в течение длительного периода остается значительной, половодье с несколькими пиками растягивается почти на месяц [30]. Летние паводки, иногда с расходами, превышающими максимальные расходы половодья, формируются во второй половине лета при выпадении ливневых осадков в дни с высокой температурой воздуха.

Осенние паводки, вызванные адвекцией теплых воздушных масс и выпадением обложных осадков, наиболее характерны для западной периферии острова.

Период постоянного поверхностного стока на реках продолжается шесть месяцев и обычно заканчивается к концу октября.

В период с ноября до середины мая поверхностного стока в реках практически нет, хотя во время оттепелей вода на поверхности снега в руслах может появляться в любом из этих месяцев. После устойчивого перехода средней суточной температуры через 0 °С в сторону отрицательных значений начинается промораживание отложений на пойме, а после прекращения поверхностного стока – и в руслах рек [30].

Во время существования поверхностного стока русла рек претерпевают значительные изменения. В период до прохождения пика половодья вода течет вначале по снегу, а затем по слою русловой наледи, полное разрушение которой завершается в конце июня. В последующий период значительные деформации русла (как правило, его углубление) наблюдаются при прохождении максимальных паводочных расходов воды. На спаде паводков и в период межженных расходов в прибрежной части русел происходит отложение взвешенных илистых и мелких песчаных наносов.

Река Грэн. Река Грэн является одной из самых больших на о. Западный Шпицберген. Расположена в западной части Земли Норденшельда.

Река Грэн впадает в залив Грэнфьорд с востока. Водосбор этой реки, имеющий площадь 98 км², характеризуется небольшим уклоном и относительно небольшой степенью оледенения – 13 %. Длина реки 22 км [87]. Свое начало река берет с ледника Тавле. В верховьях река течет в узком каньоне, в среднем и нижнем течении долина расширяется, и в русле реки развивается пойменная многорукавность. При впадении реки в залив образована широкая дельта, на десятки метров выдвинутая в залив (рис. 19).

Основные притоки река принимает с юга в верхнем и среднем течении. Пойма реки расчленена отдельными протоками, в нижнем течении в период половодья они сливаются в единое русло шириной до 70 м и глубиной до 1,5 м.



Рис. 19. Общий вид на реку Грён

Ширина плоского днища долины около 2–3 км, окружающие склоны поднимаются до высоты 925 м [87]. Оледенение бассейна представлено небольшими долинными и каровыми ледниками. В месте впадения первого большого притока, берущего начало на леднике Тунге, долина расширяется и переходит в классическую троговую. Рисунок русла реки в среднем течении из практически прямолинейного превращается в сложное скопление русловых макроформ. Ширина русла достигает 800–900 м. Положение русла реки не является стабильным во времени. Процесс активного свободного меандрирования в среднем и нижнем течении реки свидетельствует о большой величине расходов как донных, так и взвешенных наносов. В нижнем течении река имеет широкую, сильно распластанную дельту, выдающуюся на первые десятки метров в залив, и сильно изобилующую подвижными скоплениями наносов. Течение реки на этом участке долины приобретает более спокойный характер, отмечается наличие зон мертвого пространства, в пределах которых скорость течения реки ниже начальной скорости гидрометрической вертушки.

Режим стока воды в реке Грён зависит от реакции ледников на метеорологические условия. Существенное влияние оказывает выпадение интенсивных осадков. Сток взвешенных наносов формируется преимущественно за счет эрозионных процессов в гидрографической сети приледниковой зоны и, в меньшей степени, за счет смыва почвогрунтов с поверхности водосборов (склоновая эрозия). Большое количество взвеси в крупных реках является характерной чертой Шпицбергена, поскольку большая часть территории архипелага, не покрытая ледниками, не имеет растительного и почвенного покрова и горные потоки дренируют суглинистый грунт [66].

Количество взвешенных наносов в реке тесно связано с режимом стока. При одинаковых расходах летом мутность воды возрастает в результате обнажения и оттаивания пород деятельного слоя на склонах и моренных отложе-

ниях у ледников. Приледниковая зона служит одним из основных поставщиков взвешенных наносов.

Река Альдегонда. Водосборный бассейн реки Альдегонда расположен на западном побережье залива Грэнфьорд. Общая площадь водосбора – 9,4 км². Значительную часть речного бассейна занимает ледник Альдегонда, при этом на 2007 г. степень оледенения бассейна составляет 70,2 %. По мере отступления края ледника, длина реки Альдегонда с каждым годом увеличивается и, по данным 2008 г., составляет 2,1 км [94]. Река протекает по моренному комплексу, в нее впадает несколько притоков, вытекающих из озер, расположенных на морене ледника Альдегонда. Мощность моренных отложений не превышает десяти метров, ниже залегают коренные породы. Несмотря на достаточно большой уклон (0,040 ‰ русла), река в среднем и нижнем течении имеет стабильное русло. Дно гравийно-галечное (рис. 20).



Рис. 20. Общий вид на реку Альдегонда

Река протекает по долине, сложенной моренными отложениями, местами на поверхность водосбора выходят коренные породы, которые стесняют русло реки. На водосборе имеется несколько небольших озер площадью до 100 м². При впадении в залив Грэнфьорд река Альдегонда образует небольшую дельту, положение которой нестабильно.

Река Грэнфьорд. Река берет свое начало с ледников Янсон и Баалсруд. Площадь водосборного бассейна р. Грэнфьорд составляет 70,1 км². Общая площадь оледенения бассейна составляет 7 км². Длина ее – 8,5 км (11,7 км с притоком Ямна). Основными источниками реки служат как ледники у ее истока, так и ледники Западный Грэнфьорд и Восточный Грэнфьорд, снежники, расположенные на склонах долины [92].

В верхнем течении долина реки имеет ящикообразный поперечный профиль и характеризуется наличием четко выраженных террасовых уровней. В среднем течении в реку впадает полноводный правый приток. В нижнем течении русло р. Грэнфьорд огибает большой моренный комплекс, образованный ледниками Западный Грэнфьорд и Восточный Грэнфьорд. При этом происхо-

дит постоянный размыв моренных отложений, являющихся основными поставщиками наносов. В нижнем течении река разделяется на несколько рукавов, положение которых не является стабильным.

На протяжении всего своего течения в р. Грэнфьорд широко развиты процессы меандрирования, обусловленные наличием большого количества взвешенных и влекомых наносов. Река впадает в Грэнфьорд, образуя в месте впадения обширную заболоченную дельту. В нижнем течении река разделяется на несколько рукавов (рис. 21).



Рис. 21. Общий вид реки Грэнфьорд в нижнем течении

Среднее значение мутности воды составляет 0,71 г/л при средней величине расходов 2,50 м³/с. Пик мутности воды совпадает с пиком расходов воды в реке – 1,66 г/л и 3,49 м³/с, соответственно [87].

Река Конгресс. Площадь водосборного бассейна – 10,3 км². Река Конгресс вытекает из одноименного озера, расположенного в глубокой горной впадине. Это единственный речной бассейн, не имеющий прямого ледникового питания. Река берет начало, вытекая из-под земной поверхности, длина – 3,8 км (рис. 22).



Рис. 22. Общий вид реки Конгресс

В реке наблюдается минимальная мутность – 0,0013 г/л, расход наносов – 0,001 кг/с. В период прохождения ливневых дождей мутность может повышаться на порядок, оставаясь тем не менее незначительной. Следует отметить, что в периоды наблюдений не отмечалось продолжительного выпадения осадков. Значительного смыва рыхлого материала со склонов бассейна не наблюдается [86, 87].

Река Брюде. Река Брюде протекает на западном берегу залива Грёнфьорд и имеет длину 4,3 км. Площадь водосбора реки – 13,4 км². На 2004 г. площадь оледенения бассейна – 3,9 км². Степень оледенения – 30 %.

Река берет свое начало при слиянии ледниковых ручьев, которые, фильтруясь сквозь рыхлые отложения ледников Брюде и Хефтье, формируют многочисленные пороги и водопады. В среднем течении река протекает в каньоне, глубина которого составляет 15 м. При впадении в залив река образует широкую дельту, сложенную перемытым моренным материалом (рис. 23).



Рис. 23. Общий вид реки Брюде

Эпизодические наблюдения показали наличие в реке незначительной мутности (среднее – 0,023 г/л) с расходом взвешенных наносов 0,012 кг/с [87]. Небольшое значение мутности обусловлено тем, что в среднем течении реки фильтруется через отложения донной морены ледников Брюде и Хефтье. В настоящее время река не является существенным поставщиком наносов в залив. Хотя наличие у реки обширной дельты говорит о том, что ранее она выносила заметные объемы твердого материала.

Река Бретьёрна. Река, вытекающая из приледникового оз. Бретьёрна, имеет площадь водосборного бассейна 45 км². Она является своего рода соединительным каналом оз. Бретьёрна с заливом Грёнфьорд. Длина реки – 600 м. Река огибает моренный комплекс, образованный ледниками Восточный Грёнфьорд и Западный Грёнфьорд, который находится в состоянии интенсивного разрушения (рис. 24). На расстоянии 400 м от залива Грёнфьорд река имеет однорукавное русло при больших расходах воды. Степень оледенения водосбора – 50 %.



Рис. 24. Общий вид реки Бретьёрна

Регулированием стока с ледников Восточный Грэнфьорд и Западный Грэнфьорд и приледниковым оз. Бретьёрна объясняется относительно небольшая изменчивость характеристик речного стока. В 2003 г. мутность реки менялась от 0,138 до 0,363 г/л, расход воды менялся от 5,10 до 8,10 м³/с, а расход наносов – от 0,7 до 2,7 кг/с. В формировании стока наносов в реке играют эрозионные процессы активно разрушающие моренные отложения ледников Западный Грэнфьорд и Восточный Грэнфьорд.

Река Колес. Река Колес расположена восточнее Грэнфьорда, недалеко от поселка Грумант (рис. 25).

Как показывают наблюдения, расход воды в реке в период летней межени в среднем составляет около 7,00 м³/с (величина измеренных расходов – от 3,60 до 10,4 м³/с). Вода в реке достаточно мутная – 0,53 г/л. Средний расход наносов – 4–5 кг/с.

Река Мимер. Водосборный бассейн р. Мимер расположен в центральной части о. Западный Шпицберген на западном берегу залива Биллефьорд в непо-



Рис. 25. Общий вид реки Колес

средственной близости от п. Пирамида. Общая площадь водосбора р. Мимер составляет 83,6 км². Процент оледенения водосбора равен 47 %.

Река Мимер впадает в залив Мимер, промывая широкую низкую пойму, мало подверженную вертикальным деформациям.

Река Мимер длиной 13,5 км берет начало из оз. Войново на высоте 340 м и впадает в Биллефьорд. Почти на всем протяжении река имеет хорошо выраженную долину с крутыми склонами. В среднем течении она протекает по глубокому каньону, который местами сужается до 10–15 м. В нижней части долина расширяется до 1–2 км, река течет по нескольким руслам шириной в меженный период 5–8 м, глубиной 0,5–0,6 м, а в период половодья – соответственно 20–25 м и 1–1,5 м.

Рельеф бассейна р. Мимер, кроме устьевой части, сильно расчленен ущельями, по которым текут многочисленные бурные потоки, впадающие в реку на всем ее протяжении. Высота поверхности бассейна изменяется от 0 до 1029 м над уровнем моря. Около 25 % площади бассейна, равной 115 км², покрыто ледниками. В верхнем течении, от истока до впадения первого притока, река носит горный характер. Она течет большей частью в ущелье, уклоны достигают 30% и более. Берега ограничены высокими, местами отвесными скалистыми склонами. Русло одноканальное, с небольшим врезом в днище долины (до 1 м), течение воды в реке бурное. Скорость течения увеличивается до 1 м/с. Дно реки сложено валунно-галечным материалом. Река относится к рекам долинного типа (рис. 26).



Рис. 26. Общий вид реки Мимер

Река протекает в широкой долине, сложенной гравийно-галечно-песчаным, моренным материалом. Ширина долины составляет 2–1,5 км. Левый и правый склоны долины – крутые с максимальными отметками 1029 м (гора Ретершельд) и 645 м (гора Игдрасилькампен) соответственно. Левый склон в левом борту долины сложен коренными террасами, ограниченными восьмидесятиметровой горизонталью. Река Мимер имеет пять постоянных притоков с отчетливо выраженными руслами.

Река Эльза. Река Эльза принадлежит к водосборному бассейну залива Биллефьорд и протекает вблизи поселка Пирамида. Река берет свое начало у ледника Бертиль. Площадь водосбора около 10 км².

Питание р. Эльза, как и р. Альдегонда, происходит в основном за счет таяния ледника и атмосферных осадков. Длина реки до ее впадения в р. Мимер составляет 3,3 км (рис. 27).



Рис. 27. Общий вид на реку Эльза

2.2. Гидрологические особенности рек

Гидрологический режим в Арктике может быть разделен на три периода: зимний, период снеготаяния и летний период. Зимний период может продолжаться от восьми до десяти месяцев, при этом основными преобладающими процессами являются снегопады, перераспределение снежного покрова, а также сезонное замерзание многолетнемерзлых пород с перераспределением влаги в толще грунта.

Режим стока воды в реках зависит от реакции ледников на метеорологические условия, существенное влияние оказывает выпадение интенсивных осадков. Сток взвешенных наносов формируется преимущественно за счет эрозионных процессов в гидрографической сети приледниковой зоны и, в меньшей степени, за счет смыва почвогрунтов с поверхности водосборов (склоновая эрозия). Высокое количество взвеси в крупных реках является характерной чертой Шпицбергена, поскольку большая часть территории архипелага, не покрытая ледниками, не имеет растительного и почвенного покрова и горные потоки дренируют суглинистый грунт [90].

Количество взвешенных наносов тесно связано с режимом стока [26]. При одинаковых расходах летом мутность воды возрастает в результате обнажения и оттаивания пород деятельного слоя на склонах и моренных отложениях у ледников. Приледниковая зона служит одним из основных поставщиков взвешенных наносов [22, 87].

Гидрологические наблюдения, проведенные в 1983–1985 гг. [26], позволили охарактеризовать основные черты режима стока рек центральной части о. Западный Шпицберген (табл. 11).

Таблица 11

Основные характеристики измеренного стока рек о. Западный Шпицберген в 1983–1985 гг. [26]

Место измерений	Период измерения	Сток воды		Доля ледникового стока, %	Расход воды, м³/с			Сток в тыс. т за июнь–август	
		объем, млн. м³	слой стока, мм		Дата	Максимальный	Средний за период измерений	Взвешенных наносов	Солевой
Река Миммер, 3,9 км от устья	05.05–27.10.1983	32,0	571	29	04.07.1983	30,6	2,1	19,0	2,2
	21.05–3.09.1984	63,8	575	54	30.07.1984	34,5	7,0	67,6	4,3
	25.06–03.09.1985	45,9	414	54*	23.07.1985	39,5	7,5	–	–
Река Грэн, устье	21.05–26.10.1984	48,9	515	31	24.06.1984	21,2	4,6	53,5	2,9
	01.06–03.09.1985	42,8	451	22	01.07.1985	22,6	5,2	38,7	2,6

Примечание: * – величины, приведенные ко всему периоду стока.

В бассейнах рек максимальные снегозапасы колеблются от 26 до 61 г/см², снегозапасы в бассейне р. Грён в 1984 г. составили 34,5 г/см², в 1985 г. – 60,1 г/см², или соответственно 33 и 57 млн т, а в бассейне р. Мимер – 34 и 35 млн т. Отмечена прямая зависимость максимальных снегозапасов в бассейне рек и осадков холодного периода, измеренных на метеостанциях. Наиболее холодный период в бассейнах рек – с сентября по май, а теплый – с июня по август. Средние объемы осадков в холодный период составляют 491 мм, а теплого – 102 мм.

Таяние снега начинается во второй половине мая. В первые 10–15 дней после перехода средних суточных температур воздуха через 0 °С в сторону положительных значений они, как правило, остаются близкими к нулю, а расходы воды на реках обычно составляют сотни литров в секунду и не превышают 1–2 м³/с.

Период снеготаяния обычно длится с середины мая по середину июня. В это время солнечная радиация близка к своим максимальным значениям. С увеличением снеготаяния в течение нескольких дней речной сток увеличивает объемы.

Начало половодья, вызванное повышением средних суточных температур воздуха до 2–3 °С, отмечается в первой половине июня, а его пик – в конце июня – начале июля. Он связан обычно с ростом температур воздуха до значений, близких к максимальным за весь теплый период. При таком типе половодья снег в период формирования максимальных расходов воды на реках сохраняется на большей части территории бассейнов. После прохождения пика половодья заснеженность территории и расходы воды быстро снижаются. Это особенно характерно для рек внутренних частей острова, где снегозапасы в нижних частях бассейнов незначительны.

При замедленном росте температур воздуха в первой половине периода абляции доля заснеженных поверхностей в течение длительного периода остается значительной, а половодье с несколькими пиками растягивается почти на месяц.

В период наиболее высоких температур при наступлении ясной, солнечной погоды наблюдается максимальный расход воды. Как показал анализ метеоданных, выпадение жидких осадков в этот период сопровождается понижением температур воздуха и не приводит к формированию аномально высоких расходов воды.

Летние паводки, иногда с расходами, превышающими максимальные расходы половодья, формируются во второй половине лета при выпадении интенсивных ливневых осадков в дни с высокой температурой воздуха (рис. 28).

Осенние паводки, вызванные адвекцией теплых воздушных масс и выпадением обложных осадков, наиболее характерны для западной периферии острова.

Период постоянного поверхностного стока на реках продолжается 5–6 месяцев и обычно заканчивается к концу октября. За три летних месяца проходит более 90 % стока, из них 40–60 % – в июле. На водотоках, бассейны которых имеют большую, чем у рек Грён и Мимер, степень оледенения, сток в течение летних месяцев распределяется более равномерно, основные его объемы проходят в период с середины июня до середины августа. Доля ледникового стока

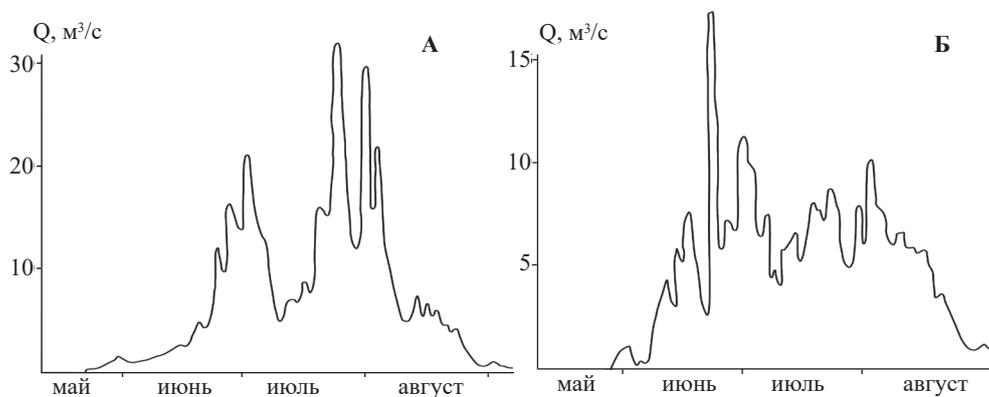


Рис. 28. Внутригодовая изменчивость расходов рек Мимер (А) и Грэн (Б) [25, 27]

в бассейнах с оледенением более 50 % превышает 70 % [25]. Однако и у бассейнов с относительно малым оледенением доля ледникового стока значительно превышает их относительные площади. Модуль стока воды с ледников почти в четыре раза больше, чем с безледных территорий. Во второй половине лета в теплые солнечные дни ледниковый сток составляет 50–70 % суммарного.

В период с ноября до середины мая поверхностного стока в реках практически нет, хотя во время оттепелей вода на поверхности снега в руслах может появляться в любом из этих месяцев. После устойчивого перехода средних суточных температур через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в сторону отрицательных значений начинается промораживание отложений на пойме, а после прекращения поверхностного стока – и в руслах рек. Выдавливание содержащейся в них воды приводит к формированию русловых наледей и наледных бугров.

Промерзание деятельного слоя четвертичных отложений и рост наледей обычно прекращаются к концу декабря. В бассейнах, на территории которых есть ледники, гидролакколиты и источники, имеющие круглогодичный сток, формирование наледей продолжается в течение всего холодного периода.

В летние месяцы на реках отмечается достаточно четкий внутрисуточный ход уровней воды. Он накладывается на колебания уровня с более длительным периодом, связанные с изменением синоптических условий и снижением заснеженности территории. Выпадение жидких осадков может оказать существенное влияние на амплитуды уровней и их распределение в течение суток. Однако в целом внутрисуточный режим стока хорошо прослеживается.

При антициклональном типе погоды внутрисуточный ход уровня в реках в целом соответствует изменению температуры воздуха с учетом среднего времени добегания воды около трех часов. При циклональном типе погоды, не связанном с выпадением значительных осадков, суточная амплитуда температур воздуха, как правило, не превышает $2\text{--}3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако и в этих условиях колебания уровней воды на реке прослеживаются достаточно четко. Наконец, при прохождении фронтов и выпадении значительного количества осадков дождевой сток определяет ход уровней воды, но полностью не затушевывает и их внутрисуточных колебаний.

Нарушения внутрисуточного хода уровня воды в течение лета связаны обычно с длительным выпадением обложных осадков, сопровождавшихся медленным повышением температуры воздуха.

Из-за слабо выраженного русла у р. Грён в районе гидрологического поста средняя амплитуда колебаний уровня воды в течение суток здесь меньше, чем на р. Мимер, хотя в отдельные дни она также достигает 30 см [28]. Внутрисуточные амплитуды колебания расходов воды в устьевых участках обеих рек примерно равны, а общий диапазон колебаний уровней воды в районе гидрологических постов превышает 1 м.

Во время существования поверхностного стока русла рек претерпевают значительные изменения. В период до прохождения пика половодья вода течет вначале по снегу, а затем по слою русловой наледи, полное разрушение которой заканчивается в конце июня. В последующий период значительные деформации русла, как правило, его углубление, наблюдаются при прохождении максимальных паводочных расходов воды. На спаде паводков и в период меженных расходов в прибрежной части русел происходит отложение взвешенных илистых и мелких песчаных наносов. В результате неоднократных деформаций русла в период стока не удается получить единую зависимость расходов от уровней воды.

Гидрологические исследования 1981–1985 гг. [21] показали, что суммарный годовой средний многолетний сток воды с территории Шпицбергена достигает 57 км^3 , ледниковый (с учетом осадков летнего периода) – 35 км^3 , а сток от деградации оледенения – 5 км^3 . На основе этих данных был оценен суммарный годовой сток растворенных солей (ионный сток) на Шпицбергене, принимая за среднюю минерализацию речных вод в области горного оледенения 65 мг/л . В области горно-покровного и покровного оледенения, где ледниковый сток составляет 70–80 % суммарного, она меньше – около 40 мг/л . С учетом соотношения этих областей на архипелаге – примерно 1:3 – для расчета ионного стока за среднее значение минерализации воды было взято 45 мг/л . Тогда суммарный ионный сток на Шпицбергене составляет 2,5–2,7 млн т/год. Это предварительная оценка возможного количества растворенных солей, ежегодно смываемых с территории архипелага в море.

Климатические изменения, отмечаемые в последние десятилетия в Арктике, внесли изменения в характеристики снежного покрова на архипелаге Шпицберген, что в свою очередь повлияло на водный баланс и балансы массы ледниковых покровов. Изменение распределения снежного покрова на архипелаге имеет большое влияние на арктическую флору и фауну, а также на деятельность человека.

В период экспедиционных исследований 2009–2015 гг. были выполнены гидрометеорологические работы на реках острова Западный Шпицберген: Конгресс, Брюде, Альдегонда, Грён, Колес, Грёнфьорд и Эльза (п. Пирамида).

В Баренцбурге в июле, августе и сентябре 2015 г. температура воздуха характеризовалась более высокими по сравнению с нормой температурами. Так, в июле среднемесячная температура воздуха составила $7,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (при норме $6,0 \text{ }^\circ\text{C}$), в августе – $6,7 \text{ }^\circ\text{C}$ (среднемесячная для августа $5,1 \text{ }^\circ\text{C}$), в сентябре – $2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (норма $1,0 \text{ }^\circ\text{C}$). Наиболее высокая температура зарегистрирована в конце июля – начале августа (до $17,9 \text{ }^\circ\text{C}$).

Дождливых дней в июле и первой половине августа было мало. Максимальное суточное количество осадков 23 августа составило 51 мм, что составляет 146 % от месячной нормы (для августа 35 мм). В сентябре, при норме суммы осадков 54 мм, выпало 141 мм.

Для метеоусловий в районе ледника Альдегонда характерны более низкая температура воздуха и значительно меньшее количество жидких осадков. Так, за период с 14 июля по 10 сентября среднесуточная температура воздуха на леднике была на 2,2 °С ниже (4,0 °С и 6,2 °С), осадков в Баренцбурге выпало в три раза больше, чем на леднике Альдегонда (151 и 52,0 мм соответственно).

Сравнительная межгодовая оценка показала заметную изменчивость основных гидрологических характеристик исследуемых речных экосистем (табл. 12, 13).

Площадь поперечного сечения менялась:

– в 2011 г.: от 0,80–1,10 м² (для р. Конгресс) до 5,16–11,8 м² (для р. Бретъёрна) (табл. 12);

– 2015 г.: от 1,70–1,78 м² (для р. Конгресс) до 1,13–12,6 м² для (р. Бретъёрна) (табл. 13).

Расход воды изменялся:

– в 2011 г.: от 0,20–0,54 м³/с (для р. Конгресс) до 5,95–9,41 м³/с (для р. Бретъёрна);

– 2015 г.: от 0,63–1,91 м³/с (для р. Конгресс) до 1,12–13,7 м³/с (для р. Бретъёрна).

Наибольшие значения расходов наблюдались в период максимальных температур.

Существенные изменения ширины реки отмечены для р. Грёнфьорда, которая составляла в 2006 г. 23,9–28,9 м, в 2011 г. – 6,90–14,2 м, в 2015 г. – 15,0–16,3 м.

По данным наблюдений в 2015 г. резко менялся уровень воды: амплитудой 14 см в р. Брюде, 52 см – в р. Бретъёрна.

Наиболее вероятной причиной такой изменчивости мог быть ледниковый паводок, вызванный спуском какого-либо водоема в пределах ледника.

Анализ многолетней информации по пространственно-временной изменчивости мутности исследуемых рек позволил сделать заключение о широком диапазоне колебания ее значений с периодическим определением аномальных величин в реках Эльза (4,95–7,54 кг/м³), Альдегонда (0,417–2,14 кг/м³) и Колес (0,69 кг/м³) (табл. 14).

Наиболее часто встречаемые максимальные значения мутности колебались в пределах 1,82–3,88 кг/м³.

Расход взвешенных наносов за период с 2003 г. по 2016 г. достигал (табл. 15):

– 0,004–14,0 кг/с для р. Грёнфьорд;

– 0–3,10 кг/с для р. Конгресс и 0–15,5 кг/с для р. Эльза;

– 0,003–35,1 кг/с для р. Грэн;

– 0,005–10,2 кг/с для р. Бретъёрна;

– 0,01–10,8 кг/с для р. Альдегонда.

Основные гидрологические характеристики рек Западного Шпицбергена в 2009 г. и 2011 г.

Период, число измерений	Площадь поперечного сечения, м ²	Ширина, м	Глубина, м		Скорость течения, м/с		Расход воды, м ³ /с
			Макс.	Средн.	Макс.	Средн.	
Река Грёнфьорд							
2009 г., июль-август, n*=26	6,42-12,5	23,9-28,8	0,67-0,94	0,26-0,48	1,07-1,77	0,53-1,00	3,99-12,3
2011 г., июль-август, n=6	2,07-4,54	6,90-14,2	0,47-0,63	0,17-0,50	0,68-1,87	0,51-1,28	1,12-5,81
Река Конгресс							
2011 г., август, n=5	0,80-1,10	6,90-8,00	0,20-0,32	0,12-0,14	0,90-1,18	0,21-0,54	0,20-0,54
Река Бретьёрна							
2011 г., август, n=4	5,16-11,8	15,4-32,4	0,40-0,70	0,34-0,40	1,36-1,63	0,78-1,15	5,95-9,41
Река Грэн							
2011 г., июль-август, n=20	4,86-7,58	19,2-36,6	0,37-0,51	0,19-0,27	0,80-1,12	0,64-0,84	3,14-5,81
Река Эльза							
2011 г., июль-август, n=13	0,437-2,62	2,90-15,2	0,24-0,45	0,13-0,27	0,44-2,17	0,24-1,38	0,23-2,90
Река Альдегонда							
2011 г., август, n=18	1,01-2,48	8,19-10,0	0,24-0,48	0,12-0,25	1,07-2,68	0,43-1,21	0,47-2,82

Примечание: *n — число измерений.

Основные гидрологические характеристики рек Западного Шпицбергена в июле–сентябре 2015 г.

Период, число измерений	Расход воды, м ³ /с	Площадь водного сечения, м ²	Скорость течения, м/с		Ширина реки, м	Глубина, м	
			Средн.	Макс.		Средн.	Макс.
Июль–сентябрь, n=5	1,93–9,67	2,87–6,87	0,62–1,27	1,03–1,71	15,0–16,3	0,15–0,41	0,40–0,68
Июль–сентябрь, n=5	0,63–1,91	1,70–1,78	0,46–1,22	0,85–1,76	6,40–7,28	0,16–0,25	0,24–0,36
Июль–сентябрь, n=5	0,44–2,51	0,81–2,75	0,55–0,94	0,72–1,41	7,77–11,1	0,10–0,27	0,16–0,48
Июль–сентябрь, n=14	1,12–13,7	1,13–12,6	0,50–1,58	0,76–2,16	5,63–31,9	0,12–0,47	0,28–0,90
Июль, n=14	10,3	13,1	0,58	1,21	40,6	0,32	0,51
Июль–сентябрь, n=29	0,01–8,06	0,03–10,4	0,05–0,88	0,08–1,39	0,74–25,5	0,05–0,45	0,09–0,71
Июль и сентябрь, n=11	0,01–4,19	0,14–3,25	0,05–1,75	0,05–2,64	1,90–19,7	0,07–0,17	0,12–0,41
Июль–сентябрь, n=27	0,37–4,46	0,77–3,27	0,45–1,27	0,55–2,00	4,90–8,65	0,12–0,42	0,26–0,64

Примечание: *n – число измерений.

Таблица 14

Внутри- и межгодовая изменчивость мутности речных вод Западного Шпицбергена

Месяц	Год	Мутность, кг/м ³										
		Диапазоны колебания в реках										
		Грёнфьорд	Конгресс	Грён	Эльза	Брегьёрна	Колес	Альдгонда				
Июль	2003	-	-	1,63-6,66, n=6	-	-	-	-	-	-	0,05-0,08, n=21	
	2004	0,48-2,50, n=6	0,0006-0,0080, n=4	1,61-2,38, n=3	-	-	0,33-0,69, n=3	-	-	-	0,02-1,32, n=32	
	2005	0,23-2,58, n=8	0,02-0,13, n=4	0,19-2,27, n=19	-	-	-	-	-	-	0,009-0,96, n=62	
	2007	-	-	0,24-1,00, n=20	-	0,11	-	-	-	-	-	
	2012	-	-	-	0,69-1,32, n=7	0,04	-	-	-	-	0,37-0,55, n=2	
	2014	0,12-0,70, n=2	3,80-12,8, n=3	0,11-1,19, n=8	2,39-4,95, n=5	0,004-0,65, n=4	-	-	-	-	0,019-0,417, n=10	
	2015	0,26-0,63, n=3	2,00-3,60, n=3	0,23-1,17, n=5	1,42-2,66, n=9	0,02-0,05, n=5	0,51	-	-	-	0,04-1,46, n=36	
	2016	0,07-1,81, n=6	0,0002-0,60, n=6	0,31-2,29, n=17	0,06-7,54, n=14	0,07-0,56, n=5	-	-	-	-	0,01-1,40, n=19	
	Август	2003	0,09-1,66, n=3	0,001-0,01, n=2	0,37-2,13, n=6	-	-	-	-	-	-	0,002-2,14, n=26
		2004	-	-	0,48-1,36, n=9	-	-	-	-	-	-	-
2005		-	-	0,26-0,51, n=4	-	-	-	-	-	-	0,034-0,57, n=19	
2008		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,019-1,10, n=34	
2010	-	-	0,006-1,82, n=20	-	-	-	-	0,07-0,89, n=20	-	-	0,004-1,72, n=20	
2012	-	0,001-0,002, n=2	-	-	-	-	-	0,03-0,09, n=5	-	-	0,10-0,20, n=5	

Месяц	Год	Мутность, кг/м ³							
		Диапазоны колебания в реках							
		Грёнфьорд	Конгресс	Грён	Эльза	Брецьёрна	Колес	Альдегонда	
Август	2014	–	–	0,43–6,60, n=3	0,016–6,62, n=18	0,006–0,008, n=2	–	0,079–0,858, n=6	
	2015	0,05	1,30	0,29–0,79, n=6	–	0,06–0,34, n=6	–	–	
	2016	0,07–1,81, n=8	0,003	0,01–2,60, n=33	0,004–0,010, n=8	0,11–0,66, n=9	0,035–0,29, n=26	0,07–0,64, n=6	
Сентябрь	2008	–	–	–	–	–	–	0,01–0,63, n=3	
	2014	0,26	0,80–3,30, n=2	0,007–0,04, n=3	–	0,004–0,022, n=4	–	0,001–0,91, n=8	
	2015	3,55	2,00	0,02–0,25, n=3	–	0,04–0,06, n=3	–	–	
	2016	0,01–0,70, n=2	0,004–0,10, n=2	0,005–3,88, n=19	0,0002–0,0050, n=10	0,01–0,70, n=2	–	0,003–0,050	

Примечание: *n – число измерений.

Внутри- и межгодовая изменчивость расходов взвешенных наносов в реках Западного Шпицбергена

Месяц	Год	Расход взвешенных наносов, кг/с									
		Диапазоны колебания в реках									
		Гренфьорд	Конгресс	Грэн	Эльза	Брестьярна	Колес	Альдегонда			
Июль	2003	-	-	3,71-6,70, n=6	-	-	-	0,217	-	-	-
	2004	4,19-14,0, n=6	-	1,83-12,0, n=3	-	-	-	0,040-7,43, n=31	-	-	-
	2005	-	-	0,615-35,1, n=17	-	-	-	0,038-1,11, n=30	-	-	-
	2007	-	-	0,710-7,50, n=20	-	1,43	-	-	-	-	-
	2012	-	-	-	1,14-2,84, n=7	0,202	-	1,22-2,09, n=2	-	-	-
	2014	0,520-4,72, n=2	0,002-0,027, n=3	0,150-11,1, n=8	6,81-12,6, n=5	0,05-0,88, n=3	-	0,038-1,05, n=10	-	-	-
	2015	1,35-5,87, n=3	1,68-3,10, n=3	0,846-9,69, n=5	3,67-9,08, n=9	0,218-0,585, n=5	5,28	0,059-3,55, n=15	-	-	-
	2016	0,38-10,8, n=6	0,0001-0,388, n=6	1,93-22,9, n=17	0,041-15,5, n=14	0,380-4,77, n=5	-	0,050-7,31, n=19	-	-	-
	2003	0,093-5,79, n=3	-	0,074-5,43, n=6	-	-	-	0,008-0,328, n=4	-	-	-
	2004	-	-	0,392-3,20, n=6	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	1,19-6,22, n=3	-	-	-	0,005-0,361, n=6	-	-	-	
2008	-	-	-	-	-	-	0,020-7,80, n=34	-	-	-	
2010	-	-	0,003-8,28, n=19	-	-	-	0,010-10,8, n=20	-	-	-	
2012	-	0,0005-0,0008, n=2	-	-	-	-	0,090-0,561, n=5	-	-	-	
2014	-	-	1,00-1,27, n=2	0,03-14,9, n=18	0,040-0,060, n=2	-	0,078-2,35, n=6	-	-	-	
2015	0,018	0,312	1,284-3,50, n=6	-	0,571-3,28, n=6	-	-	-	-	-	
2016	0,256-2,11, n=8	0-0,001, n=3	0,017-12,9, n=33	0-0,001, n=9	0,256-2,11, n=8	0,073-0,812, n=26	0,203-2,81, n=6	-	-	-	

Месяц	Год	Расход взвешенных наносов, кг/с							
		Диапазоны колебания в реках							
		Грэнфьорд	Конгресс	Грэн	Эльза	Бретъёрна	Колес	Альдегонда	
Сентябрь	2014	0,93	0,0004-0,002, n=2	0,010-0,040, n=3	-	0,010-0,080, n=4	-	0,002-3,04, n=7	
	2015	1,95	0,720	0,021-1,010, n=3	-	0,050-0,599, n=3	-	-	
	2016	0,004-3,42, n=2	0,002-0,219, n=2	0,004-22,9, n=19	0-0 n=10	0,005-3,42, n=2	-	0,001-0,101, n=2	

Примечание: * n – число измерений.

2.3. Общая гидрохимическая характеристика водных экосистем

2.3.1. Ионный состав природных вод

В связи с удаленностью от мощных источников техногенного загрязнения химический состав природных вод на архипелаге Шпицберген формируется под влиянием географического положения, климатических условий и почвенно-геологических факторов [26, 67].

На основе анализа и обобщения результатов исследований, проведенных экспедицией АН СССР в 1980–1987 гг. [14, 34, 35, 42–44, 46], дается общая характеристика фоновое состояния природных вод Шпицбергена.

Снежный покров и деятельный слой ледников. Исследования состава снега, фирна и льда [27] шпицбергенских ледников разных морфологических типов и, в первую очередь, карово-долинного ледника Богер и ледникового плато Амундсена показали согласованное увеличение в годовом слое ледника средних концентраций большинства ионов, что обусловлено не только притоком их из минеральных включений, но и общим обогащением приповерхностных горизонтов аэрозолями в начале и в конце аккумуляции.

Увеличение концентрации ионов магния и кальция в образцах, обогащенных минеральными включениями, прослеживается по всем ледникам (табл. 16). Велика вероятность антропогенного приноса сульфатных ионов.

Таблица 16

Ионный состав снега, фирна и льда [27]

Ледники	Сроки анализа	Виды образцов	Диапазоны колебания концентраций, мг/л					
			Гидрокарбонаты	Хлориды	Натрий	Магний	Кальций	Калий
Альдегонда	май	снег	4,39–10,3	0,06–0,19	1,60–2,40	0,29–0,58	1,99–5,22	0,07–0,26
Вёринг	июнь	фирн	–	0,50	0,30–1,00	0,15–3,90	0,19–17,0	0,14–0,23
Богер	август	лед	4,88	0,10–0,20	0,60–1,40	0,11–2,94	1,78–16,3	0,26–0,34

По вероятности поступления ионов с минеральными частицами предложена следующая последовательность: сульфаты \leq хлориды, натрий $<$ гидрокарбонаты \leq калий $<$ магний, кальций.

Исследования солевого состава снега и льда Фритъоф [34] показали тенденцию небольшого увеличения концентрации ионов в глубинных пробах (табл. 17). Минерализация изменялась в равных диапазонах и не превышала 10,8 мг/л.

По данным исследования [45], проведенном на ледоразделе Грэнфьорд–Фритъоф, минерализация снега и льда, полученного из скважины глубиной 110 м, не превышают 11 мг/л, но максимальные значения отмечены в поверхностных образцах. В ионном составе доминируют гидрокарбонатные ионы по

Ионный состав снега и льда ледника Фритъёф [34]

Показатель	Поверхностные пробы	Глубинные пробы	Показатель	Поверхностные пробы	Глубинные пробы
	Снег	Лед		Снег	Лед
рН	3,85–5,50	5,10–6,05	Магний, мг/л	0,01–0,31	0,01–0,46
Гидрокарбонаты, мг/л	3,66	3,66–4,88	Натрий, мг/л	0,01–0,31	0,01–0,54
Хлориды, мг/л	0,01–1,58	0,01–1,44	Калий, мг/л	0,20–1,52	0,01–1,90
Сульфаты, мг/л	0,19–2,59	0,01–2,88	Сумма ионов	4,04–10,4	4,04–10,8
Кальций, мг/л	0,01–0,40	0,01–0,60			

всей скважине, а затем сульфаты и хлориды. Концентрация катионов изменяется в пределах 0,10–0,80 мг/л. Содержание свинца, кобальта, хрома и стронция – менее 0,01 мг/л. По мере удаления от возможных источников воздействия минерализация уменьшается.

Ионный состав ледниковых вод в холодный и теплый периоды года значительно отличается. При уменьшении поверхностного таяния осенью большее влияние оказывает поступление воды из толщи ледника, его ложа и подстилающих пород. В течение холодного периода доля последних двух составляющих постоянно возрастает. Соответственно увеличивается и минерализация воды, достигая максимума в конце периода с зимним режимом внутрiledникового стока до ее прорыва с поверхности по внутрiledниковой гидросети, когда минерализация в 3–6 раз выше, чем летом.

В течение зимы состав воды меняется с гидрокарбонатно-кальциевого на сульфатно-калиевый, а содержание хлоридов возрастает до 30 мг/л, что в 5–6 раз выше, чем летом (табл. 18).

Осенью в поверхностных водотоках небольшого неоледенелого бассейна на побережье залива Хорнсунн выявлено увеличение содержания хлора в воде – следствие криохимического эффекта. В целом ледниковые воды холодного периода занимают промежуточное положение между пресными поверхностными и солеными подземными. Их минерализация в конце периода с зимним режимом внутрiledникового стока в 3–10 раз выше, чем летом и на 1–2 порядка больше, чем для ледникового льда.

Обобщение имеющейся информации позволяет заключить следующее:

– ионный состав снежного покрова классифицируется как гидрокарбонатно-кальциевый с минимальной концентрацией микроэлементов и диапазоном колебания общей минерализации от 5,0 до 15,0 мг/л;

– в снежном покрове отмечено крайне низкое содержание многих металлов: медь – 0,2–0,3 мкг/л, свинец – 0,3–0,5 мкг/л, кобальт – 0,04–0,06 мкг/л, марганец – 0,3–0,5 мкг/л;

Ионный состав ледниковой воды в холодный период 1980–1984 гг. [24]

Место отбора пробы	Содержание ионов, мг/л							рН
	натрия и калия	магния	кальция	сульфатов	хлоридов	карбонатов и гидрокарбонатов	Сумма ионов	
Ледник Бергиль:								
внутриледниковый ручей	47,5	8,20	20,0	70,1	30,0	104	280	7,60
внутриледниковый ручей	4,14	10,8	18,0	17,3	15,0	73,2	138	5,40
внутриледниковый ручей	37,9	5,84	17,6	50,0	21,9	82,2	216	8,00
Ледник Муни:								
левый внутриледниковый ручей	44,0	7,30	24,8	65,0	35,5	85,3	262	8,00
правый внутриледниковый ручей	95,3	11,7	36,1	48,0	124	146	462	7,45
Ледник Тавле:								
вода из ключа на приледниковой наледи	331	3,60	8,00	48,0	173	122	685	7,20
Ледник Слак:								
вода из ручья на приледниковой наледи	137	4,92	20,0	15,4	55,4	91,5	325	7,60
Ледник Ловен Средний:								
вода из ключа на наледи	114	3,48	29,6	41,3	14,1	91,5	294	7,40

– ледниковые покровы характеризуются малой минерализацией, уменьшающейся с глубиной и низким содержанием тяжелых металлов, кроме поверхностных горизонтов, где отмечено повышенное содержание цинка, свинца, кадмия, меди и сульфатов, что обусловлено в основном континентальными аэрозолями;

– результаты анализов химического состава ряда ледников показывают, что минерализация снега и льда ледников не превышает 11 мг/л, причем она максимальна в поверхностных образцах, а с глубиной уменьшается почти вдвое и классифицируется как гидрокарбонатно-натриево-кальциевая;

– как правило, в верхней части скважины наблюдается относительно повышенное содержание ионов хлора, сульфатов натрия, калия, кальция и магния.

Грунтовые и подземные воды. Воды четвертичных отложений распространены в пределах деятельного слоя мерзлых пород, в подрусловых и подозерных таликах. Для них наиболее характерен гидрокарбонатный магниево-кальциевый состав. Встречаются и другие типы, рассматриваемые как воды смешанного катионного состава, свойственные прибрежным районам выщелачивания гумидных областей. Питание воды получают от таяния ледников, снежников, сезонного снега и жидких атмосферных осадков, а разгружаются они во временные водотоки, ручьи, реки и озёра. Зимой водоносный комплекс четвертичных отложений, как правило, полностью промерзает. Минерализация вод достигает 200–300 мг/л, что, в свою очередь, способствует повышению минерализации поверхностных водотоков во второй половине лета и осенью.

Воды меж- и подмерзлотных водоносных значительно минерализованы (до 10 г/л и более), имеют разный химический состав.

Озера. Общие запасы озерных вод на архипелаге достигают порядка 1 км³, что составляет 1,5–2 % суммарного годового поверхностного стока воды. Озёра в основном ледникового происхождения. Много мелких карстовых и термокарстовых озёр. Они распространены на западной периферии о. Западный Шпицберген и в его северной части. Большинство озёр проточные. Их питание главным образом ледниковое и снеговое, что определяет невысокую минерализацию воды и ее пригодность для питья. Минерализация снижается в весенне-летний период при поступлении талых вод и возрастает осенью и зимой в результате притока грунтовых вод. Химический состав озерных вод зависит от вклада питающих источников. Как правило, летом преобладает кальций, гидрокарбонатные и сульфатные ионы, а зимой повышается содержание натрия, калия и хлоридов (табл. 19).

Таблица 19

Ионный состав озерных вод Шпицбергена [24]

Место отбора пробы	Дата	Содержание ионов, мг/л							pH
		натрия и калия	магния	кальция	сульфатов	хлоридов	карбонатов и гидрокарбонатов	Сумма ионов	
Озеро Голубое	20.08.1983	8,90	5,47	15,0	3,00	3,76	85,4	122	7,65
	15.07.1981	3,22	0,60	7,00	6,43	2,00	21,4	40,6	5,50
	19.05.1984	66,4	3,12	27,2	8,64	8,73	94,0	208	7,00
Озеро Стемме	22.04.1984	40,7	0,12	0,80	10,9	4,80	25,9	83,2	6,80
	11.05.1984	61,3	0,18	0,60	9,41	3,72	21,4	96,5	6,80

Если на берегах или дне озер находятся источники, химический состав воды может сильно изменяться. Так, в оз. Конгресс на западном берегу Грэнфьорда впадают сероводородные источники с дебитом около 30 л/с. В результате, повышается минерализация воды, возрастает ее жесткость и повышается в озере содержание сероводорода в зимний период (табл. 20). Сероводородные источники встречаются и в других местах острова, например в средней части водосбора р. Грэн.

Таблица 20

Ионный состав оз. Конгресс [24]

Дата	Глубина, м	рН	Сероводород, мг/л	Содержание ионов, мг/л								Сумма ионов, мг/л
				кальция	магния	аммония	железа	натрия	гидрокарбонатов	хлоридов	сульфатов	
09.07.1977	0	7,70	1,1	7,62	4,62	0,13	–	–	17,9	18,8	31,3	80,4
	10	8,00	2,2	107	27,7	0,02	–	4,0	89,7	18,8	305	551
	30	8,90	3,8	30,5	4,62	0,06	0,66	–	41,8	11,3	87,2	176
22.04.1984	0	7,20	–	220	43,8	–	–	–	244	638	68,5	1902
12.05.1984	0	7,20	–	168	10,1	–	–	–	153	192	57,9	805

Малые водотоки. Химический состав талых вод на ледниках зависит от минерализации льда и его загрязненности моренным материалом. Минерализация воды в наледниковых потоках в целом соответствует минерализации льда [8, 45]. При этом в крупных ручьях она может в 3–4 раза превышать соле-содержание во льду, а в мелких быть несколько меньше. При контакте текущей воды с мореной на поверхности или у бортов ледников ее минерализация повышается до 50–100 мг/л и более, а химический состав меняется в зависимости от состава моренных отложений и их растворимости. Химический состав воды на маргинальных ручьях зависит от доли ледникового и внеледникового питания. На леднике Бертиль вблизи поселка Пирамида увеличение доли внеледникового питания вниз по течению таких ручьев приводит к обогащению воды сульфатами и ионам магния.

Крупные реки. По своему составу вода рек гидрокарбонатно-кальциевая, мягкая (общая жесткость до 2 мг-экв/л), ее реакция в летние и осенние месяцы щелочная (рН колеблется от 5,80 до 7,85) (табл. 21). В меженный период отмечается повышение содержания ионов хлора, натрия и калия.

Ионный состав речных вод Шпицбергена в 1981–1983 гг. [24]

Место отбора пробы	Дата	Содержание ионов, мг/л							рН
		натрия + калия	магния	кальция	сульфатов	хлоридов	карбонатов и гидрокарбонатов	Сумма ионов	
Река Мимер									
Среднее течение	24.07.1981	0,23	2,52	17,4	7,20	2,50	53,1	82,9	–
Нижнее течение	09.09.1981	3,91	6,00	26,0	28,3	3,00	79,3	147	–
Среднее течение	20.07.1983	4,80	3,10	25,0	9,40	4,00	85,4	132	7,85
Река Мунин									
Устье	09.09.1981	5,75	7,20	24,0	25,9	4,00	85,4	152	–
Устье	20.07.1983	18,7	1,82	18,0	7,20	5,64	91,5	143	7,80
Река Холендар									
Устье	27.08.1981	10,4	6,00	14,0	41,8	8,00	33,6	114	5,80

2.3.2. Минерализация природных вод

Снег и лед. Малое загрязнение атмосферы и удаленность от источников антропогенного загрязнения способствуют образованию маломинерализованных вод. В целом по архипелагу химический состав снега формируется главным образом под влиянием природных источников [24]. Содержание макро- и большинства микрокомпонентов, а также общая минерализация соответствуют фоновым показателям для арктических районов.

В связи с длительным залеганием сезонного снежного покрова вклад эоловой составляющей в истинную минерализацию снега и льда невелик. Он возрастает с увеличением континентальности климата и снижением снежности от периферии к центру главного острова, хотя при сильных ветрах запыленность поверхности снежного покрова может быть значительной и в прибрежных областях. Минерализация снега в конце холодного периода года меняется от 5 до 30 мг/л и чаще не превышает 10–15 мг/л. Лишь вблизи угледобывающих рудников она может возрасти до 50–80 мг/л [8, 21, 23].

Минерализация ледникового льда также мала: она меняется от 4 до 35 мг/л и в целом снижается вниз по ледникам (табл. 22). Снег, фирн и лед имеют преимущественно гидрокарбонатно-кальциевый состав. В некоторых случаях повышается содержание сульфатов. При таянии минерализация снега снижается, причем распреснение наиболее интенсивно в начале периода абляции. Причина накопления ингредиентов в первых порциях талой воды заключается в том, что основная часть растворимых примесей находится в водной пленке на

поверхности кристаллов и в поровом пространстве снежной толщ. На начальном этапе таяния они быстро вымываются сначала из поверхностного слоя, а затем из всей толщи неглубокого снежного покрова. На Шпицбергене минерализация снега в процессе таяния быстро снижается в 3–5 раз по сравнению с первоначальной [24].

Таблица 22

Минерализация льда и ледниковых вод в теплый период года (1981–1985 гг.) [24]

Ледник	Место отбора проб	Минерализация, мг/л
Бертиль	Лед из стенки естественного туннеля	34,3
	Лед из стенки искусственного туннеля	15,5
	Поверхностный ручей в зоне колодцев	25,5
	Центральный ручей на языке	23,9
	Внутриледниковый поток	92,3
	Левый маргинальный ручей	81,2
	Левый маргинальный ручей	43,6
Мунин	Лед из стенки грота	10,6
	Внутриледниковый поток	95,5
Норденшельда	Лед с фронтального обрыва	6,30
	Ручей на языке	5,80
Восточный Грэнфьорд	Лед с языка	14,9
Дауд	Лед с поверхности	20,8
Вёринг	Ледниковая вода	20,2
Альдегонда	Вода с поверхности языка	6,30
	Внутриледниковый поток	43,8
Эсмарка	Вода с середины языка	4,40
	Левый маргинальный ручей	81,2
	Ручей ниже фронта	35,6
Богер	Внутриледниковый поток	77,0

Грунтовые и подземные воды в пределах деятельного слоя и в подрусовых таликах имеют минерализацию до 200–300 мг/л и оказывают существенное влияние на минерализацию водотоков со второй половины лета [24]. Минерализация воды в наледниковых потоках в целом соответствует средней минерализации льда, изменяясь от 5 до 55 мг/л. При контакте текущей воды с мореной на поверхности или у бортов ледников ее минерализация повышается до 50–100 мг/л. В ручьях, дренирующих малые безледные водосборы, минерализация в среднем выше, чем на реках и ледниковых ручьях, и зависит от химического состава снега и растворимости пород в поверхностном слое почвы. Так, в течение августа 1985 г. минерализация воды ручья Улаф, начинающегося в 1 км к востоку от поселка Баренцбург, увеличивалась с 120 до 250 мг/л, в то

время как в устьевой части ледникового ручья Геррит она менялась от 110 до 130 мг/л.

Приледниковые наледи. Многочисленные приледниковые наледи Шпицбергена образуются при выходе ледниковых вод на поверхность в холодный период года. Минерализация воды и наледного льда увеличивается при удалении от источника питания – от ледника к периферии. У ледников Альдегонда и Западный Грэнфьорд минерализация воды на наледях возрастала в 2–5 раз, достигая 10 мг/л в 500 м от выхода из ледников. Минерализация льда на соответствующих участках увеличивалась от 10–30 до 40–60 мг/л. Увеличение минерализации в периферийных частях характерно и для других типов наледей, питающихся от точечных источников. На наледи в средней части долины р. Грэн минерализация увеличивалась в 2–2,5 раза и достигала 2,2 г/л в 250–300 м от истока у основания гидролакколита.

Ручьи. В ручьях, дренирующих малые безледные водосборы, минерализация воды летом в целом выше, чем на ледниковых ручьях, и зависит от химического состава, а также растворимости пород в поверхностном слое грунта. Минерализация воды ручья Улаф, дренирующего безледный водосбор в окрестностях Баренцбурга, изменялась от 120 до 250 мг/л. В то же время в устьевой части ледникового ручья Геррит на восточном побережье Биллефьорда она менялась от 40 до 130 мг/л [24].

Сток воды и растворенных солей в ручьях, дренирующих элементарные ледниковые бассейны, складывается из ледниковой и неледниковой компонент, вклад которых зависит от степени оледенения, высотного положения ледников и времени года. Доля разных источников поступления воды и солей определяет основные фазы гидрохимического режима ледниковых ручьев. Ручей Бертиль (створ находился в 200 м от края ледника) до начала интенсивного таяния (май) имеет преимущественно внутриледниковое питание, и минерализация воды достигает 100–180 мг/л. При усилении таяния и стока минерализация воды постепенно снижается до 35–40 мг/л. Минимальные значения минерализации воды составляют 20–40 мг/л. Повышение минерализации до 45–60 мг/л связано с быстрым уменьшением заснеженности склонов ледниковой долины и выносом солей из оттаявшего деятельного слоя грунта и моренных отложений. Ход минерализации отражает режим стока: при росте расходов в результате таяния ледника она снижается. При понижении температур воздуха минерализация возрастает до 70–80 мг/л во второй половине августа, до 100–150 мг/л – в сентябре. Средняя за теплый период года минерализация воды ручья Бертиль равна 40–45 мг/л.

Реки. Минерализация воды в реках зависит от поступления солей из притоков и, в значительной мере, от снежности территории и доли ледникового стока [40, 46]. В начале периода таяния минерализация воды снижается от 80–90 до 50–60 мг/л, а при промачивании снежной толщи и фильтрации талой воду через верхний слой грунта возрастает до 70–100 мг/л. В это время основная доля растворимых примесей выносятся из снежного покрова и поступает в ручьи, а затем в реки. В дальнейшем ход минерализации воды в целом отражает режим стока, что характерно для рек со значительным ледниковым питанием. На подъеме половодья она снижается до 30–60 мг/л, на спаде возрастает до 60–90 мг/л. Увеличение до 130–150 мг/л отмечено при меженном режиме, и

до 250 мг/л – в конце периода поверхностного стока в реках. После летних паводков минерализация воды снижается до значений, близких к измеренным на пике половодья. Отмечается также увеличение минерализации при одинаковых расходах и ее большие колебания во второй половине лета по сравнению с первой, что происходит из-за снижения доли заснеженной территории, большего контакта стекающей воды с почвой и усиления притока грунтовых вод. Поскольку снегозапасы в бассейне р. Грён больше, чем в бассейне р. Мимер, минерализация в первой половине периода абляции в р. Грён меньше примерно на 20 мг/л.

Таким образом, в течение всего периода стока, т. е. в мае–октябре, вода в реках мало минерализована.

2.3.3. Мутность речных вод

Количество взвешенных наносов в реках тесно связано с режимом стока. В период до начала половодья вода в реках чистая, ее мутность меняется от 0 до 10–15 мг/л. На подъеме половодья мутность воды резко возрастает до 2–3 г/л и более. Вода приобретает светло-коричневый цвет. Спад половодья сопровождается быстрым снижением мутности воды до 0,5 г/л, и в дальнейшем – до 200–400 мг/л. Вода при этом приобретает светло-серый цвет.

При медленном снижении расходов мутность воды в течение длительного времени остается высокой, порядка 1–1,5 г/л. Прохождение летних паводков на реках вызывает резкое, хотя и непродолжительное повышение мутности до значений, иногда превышающих максимальную мутность на пике половодья. В конце лета и осенью вода становится почти прозрачной. Только при продолжительных осенних паводках мутность воды может повышаться, иногда до очень высоких значений. Так, в период паводка на р. Мимер (октябрь 1982 г.) отмечено быстрое увеличение расходов воды (с 0,01 до 0,70 м³/с) и мутности (от 0 до 4 г/л). При дальнейшем росте расходов мутность воды в течение пяти часов постепенно снизилась до 13 мг/л. При одинаковых расходах летом мутность воды на реках возрастает в результате обнажения и оттаивания пород деятельного слоя на склонах и моренных отложений у ледников. Приледниковая зона служит одним из основных поставщиков взвешенных наносов. Их суммарный сток составляет десятки тысяч тонн. С середины июня до середины августа проходит более 90 % твердого стока [26].

Глава 3

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ И МАССИВ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДАННЫХ

Потенциальным источником воздействия на окружающую среду в целом и на водные экосистемы в частности является вся человеческая деятельность. К основным источникам воздействия следует отнести [83]:

- водопотребление для нужд промышленности, сельского хозяйства, энергетики и хозяйственно-питьевые нужды населения;
- водоотведение и сброс коммунально-бытовых, промышленных, коллекторно-дренажных вод с мелиоративных систем;
- различные виды водопользования (рекреация, водный транспорт, лесосплав) и связанные с ними гидротехнические работы по преобразованию русел, поддержания высокого уровня вод и др.;
- зарегулирование и перераспределение стока (для нужд гидроэнергетики, орошения и питьевого водоснабжения) при полном или частичном изменении гидрологических условий;
- атмосферные осадки вместе с содержащимися в них загрязняющими веществами, среди которых наибольшее значение имеют кислотообразующие соединения и радионуклиды;
- поверхностный и подземный сток с урбанизированных и сельскохозяйственных территорий;
- преобразование ландшафтов водосборных бассейнов за счет сведения лесов, распашки земель, орошения, мелиорации, строительства, добычи полезных ископаемых;
- изъятие биологических ресурсов (рыболовство, охота, сбор водорослей и др.).

Последствия антропогенных воздействий на экосистему предопределены ее устойчивостью, которую следует рассматривать, как способность оставаться относительно неизменной или меняться в пределах своего структурно-функционального инварианта, либо возвращаться к нему за период жизненного цикла или цикла внешнего воздействия [13].

Природная устойчивость определяет саму возможность существования экосистемы, ее развитие и благоприятность хозяйственного использования.

Водные экосистемы, функционирующие в условиях длительного продолжающегося или кратковременного резкого антропогенного воздействия, в процессе своей деградации (упрощения) теряют устойчивость к естественным свойствам и флуктуациям. В них активизируются и резче выражены различные абиогенные процессы и лимитирующие факторы развития за счет трансформации компонентного состава водной среды и ухудшения качества вод. Эти свойства определяются геологической историей окружающей природной среды, в которой находится экосистема. При этом под окружающей средой для поверхностных вод следует понимать физико-географические и почвенно-гео-

логические условия формирования и функционирования каждой водной системы [13].

К числу природных факторов формирования экосистемы следует отнести [12]:

- климат, породный состав и ландшафтная структура водосборного бассейна;
- размеры, водность и гидрологический режим;
- компонентный состав водной среды;
- структурно-функциональная организация гидробиоценоза и степень ее сложности.

Перечисленные факторы в основном определяют:

- интенсивность массо- и энергопереноса в системе «водосбор – водный объект»;
- интенсивность и направление внутриэкосистемных физико-химических и продукционно-деструкционных процессов.

В условиях длительного антропогенного воздействия усиливается значимость биотических компонентов за счет усложнения структуры сообществ и вовлечения в круговорот все большего количества вещества и энергии.

Трансформация водной экосистемы при интенсивном внешнем воздействии можно условно разделить на первичную и вторичную [83].

К первичной относятся изменения морфометрических, гидрологических, гидрохимических и гидрофизических параметров, т. е. изменения параметров среды обитания, происходящие непосредственно под влиянием антропогенного воздействия.

Вторичная трансформация сопровождается изменениями:

- содержания кислорода, свободной углекислоты, органического вещества в воде;
- режима накопления осадков, направления и интенсивности обмена веществ между донными отложениями и водой;
- биомассы и численности гидробионтов, сменой доминирующих видов, накоплением органами и тканями различных токсикантов.

При этом следует обратить внимание на то, что абиотические и биотические составляющие экосистемы по механизмам устойчивости также различаются между собой. Устойчивость первых достигается физико-механическими и химическими процессами переноса, разбавления, сорбции, миграции вещества. Устойчивость вторых обусловлена способностью адаптации организмов к воздействию, как в результате внутренней резистентности биохимической организации, так и за счет способности к биохимическому разложению токсичных соединений и изменению удельных скоростей обменных процессов в экосистеме под влиянием воздействия [13].

Поэтому оценка устойчивости к изменению свойств экосистемы получается как результат учета многих свойств, характеризующихся большим набором параметров оценивания, среди которых определяющими являются физико-географические и климатические условия, характер антропогенного воздействия [33, 64, 68].

Устойчивость чаще всего связывают со способностью систем выдерживать изменения, вызванные влиянием извне, и возвращаться в исходное состояние после воздействия на них, сохраняя свою структуру и функциональные особенности.

Под устойчивостью сообщества или экосистемы предлагается понимать отклонение их характеристик от некоего среднего уровня, свойственного конкретной системе как исторически сложившейся при определенных условиях. При этом различают **упругую устойчивость** – меру скорости возврата системы в исходное состояние, и **устойчивость сопротивления** – способность системы избегать изменения.

В конкретных условиях среды со свойственной им сезонной изменчивостью, определяющейся особенностями географического положения, складываются определенные по структуре экосистемы. Средние за год или вегетационный сезон значения структурных и функциональных характеристик этих систем остаются неизменными в течение достаточно продолжительного времени. Это свидетельствует о стабильности экосистемы в конкретных условиях. Именно так следует рассматривать и оценивать стабильность экосистем и входящих в них сообществ организмов. При действии определенных факторов среды конкретная экосистема может оставаться стабильной до тех пор, пока воздействия отдельных факторов находятся в пределах, к которым она исторически адаптирована. При изменении качества внешних факторов или силы их воздействия, превышающей адаптационные возможности организмов, например при поступлении загрязнения или других антропогенных нагрузках, к которым данная система не адаптирована, ее структура и функционирование изменятся и система перейдет в другое состояние с новыми значениями структурных и функциональных характеристик. Она будет оставаться стабильной до тех пор, пока будут действовать данные факторы.

Для сохранения стабильности любой водной экосистемы необходимы результаты гидролого-экологических исследований, направленные [68]:

- на выявление всех неблагоприятных процессов в водной среде и обоснование химических критериев ее качества;
- оценку состояния экосистемы и обоснование наиболее информативных гидрохимических и гидробиологических критериев, объективно отражающих состояние экосистемы и, соответственно, качество водной среды;
- определение критических уровней одно- или мультифакторного загрязнения вод на основе доза-эффектных зависимостей между качеством водной среды (по химическим критериям) и состоянием организмов, популяций и сообществ (по биологическим критериям).

Сложность состава водной среды определяется не только присутствием большого числа химических элементов, но и различным соотношением элементов в разных типах вод, а также разнообразием форм каждого элемента [1].

Компонентный состав водной среды подразделяется:

- на главные ионы (макрокомпоненты) – калий, натрий, магний, кальций, хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты и карбонаты;
- растворенные газы – кислород, азот, сероводород, диоксид углерода;
- биогенные вещества – соединения азота, фосфора, железа и кремния;
- органические соединения, относящиеся к органическим кислотам, сложным эфирам, фенолам, гумусовым веществам, азотсодержащим соединениям (белки, аминокислоты, амины) и др.;
- микроэлементы (микрокомпоненты) – все металлы, кроме главных ионов и радиоактивные элементы;

– загрязняющие вещества – нефтепродукты, фенолы, пестициды, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), детергенты и др.

Приоритетность перечисленных ингредиентов при оценке нарушения стабильности экологического состояния водной экосистемы как следствие изменчивости внешних природных факторов устанавливается на основе анализа первичной режимной информации по пространственно-временной трансформации компонентного состава водной среды и обитающих в ней сообществ водных организмов.

В настоящей работе на примере наиболее значимых пресноводных экосистем (рек и озер) проведен анализ возможной изменчивости природного гидролого-экологического состояния водной системы о. Западный Шпицберген в современных условиях его промышленного освоения.

Объектами гидролого-экологических исследований экспедиций ААНИИ явились в первую очередь поверхностные водные объекты суши водосборного бассейна залива Грэнфьорд, на берегу которого расположен российский поселок Баренцбург. Это реки Грэн, Грэнфьорд, Бретьёрна, Альдегонда, Брюде, Конгресс, а также озёра – Бретьёрна, Конгресс, Стемме.

На рисунках 29–35 представлены районы полевых экспедиционных работ ААНИИ в 2001–2015 гг.

В таблице 23 представлен перечень водных объектов, на которых проводились гидрохимические и гидробиологические наблюдения.

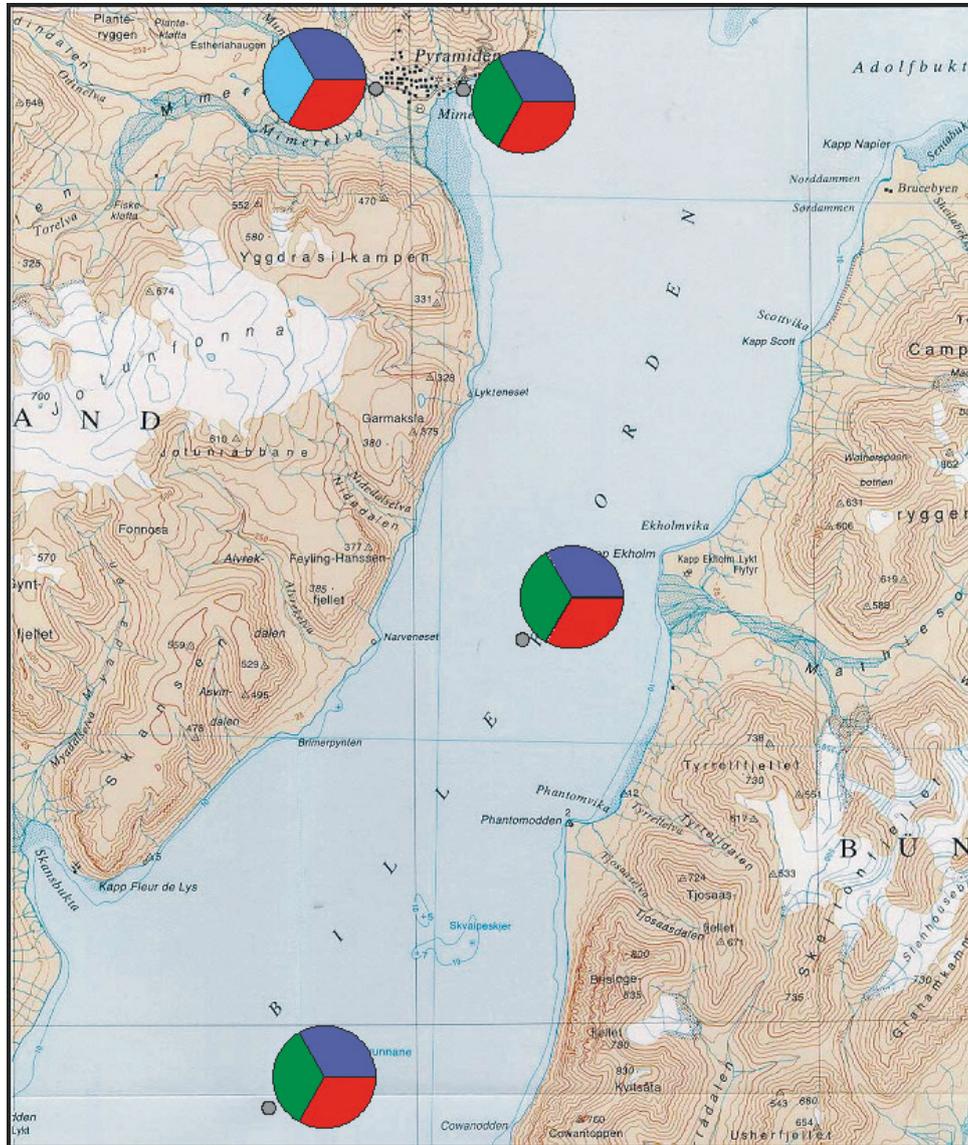
Таблица 23

Обобщенные данные гидрохимических наблюдений на водных объектах Западного Шпицбергена

Объект исследования	Год экспедиции															
	2001	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
р. Грэн	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
р. Альдегонда	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	
р. Грэнфьорд	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	
р. Бретьёрна	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	
оз. Бретьёрна	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	
р. Конгресс	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	
оз. Конгресс	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	
р. Колес	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	
р. Брюде	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	
оз. Стемме	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	
р. Мимер	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	
р. Эльза	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	

Для выполнения определений по компонентному составу водной среды использовались в основном стандартизированные и утвержденные методы анализа исследуемых ингредиентов.

Карта-схема 1

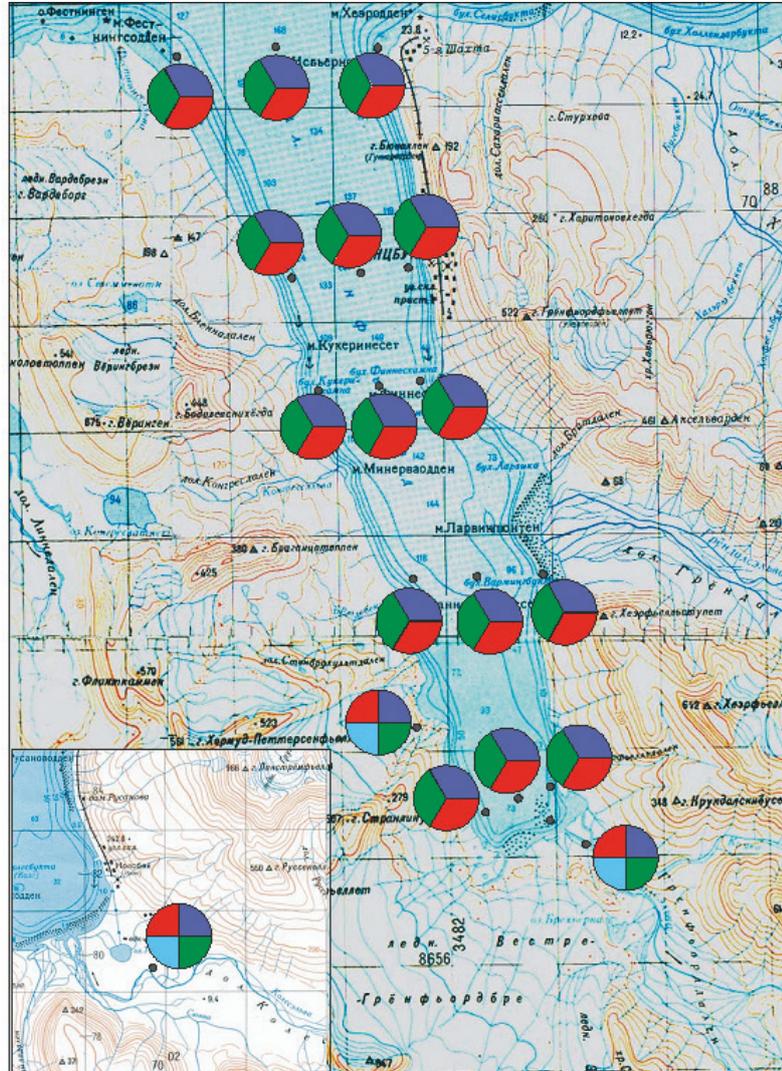


Условные обозначения:

- | | | | |
|---|----------------------------|---|------------------------------|
|  | Измерение температуры воды |  | Гидрометрические работы |
|  | Отбор проб воды |  | Метеорологические наблюдения |

Рис. 29. Основные объекты исследования в 2001 г.: Биллефьорд (карта-схема 1); Грэнфьорд (карта-схема 2); ручей с левой стороны п. Пирамида (карта-схема 1); ручей из ледника Альдегонда; р. Альдегонда в районе створа; р. Колес в районе гидропоста [Приложение, п. 1]

Карта-схема 2



Условные обозначения:



Рис. 29. Основные объекты исследования в 2001 г.: Биллефьорд (карта-схема 1); Грэнфьорд (карта-схема 2); ручей с левой стороны п. Пирамида (карта-схема 1); ручей из ледника Альдегонда; р. Альдегонда в районе створа; р. Колес в районе гидропоста [Приложение, п. 1]

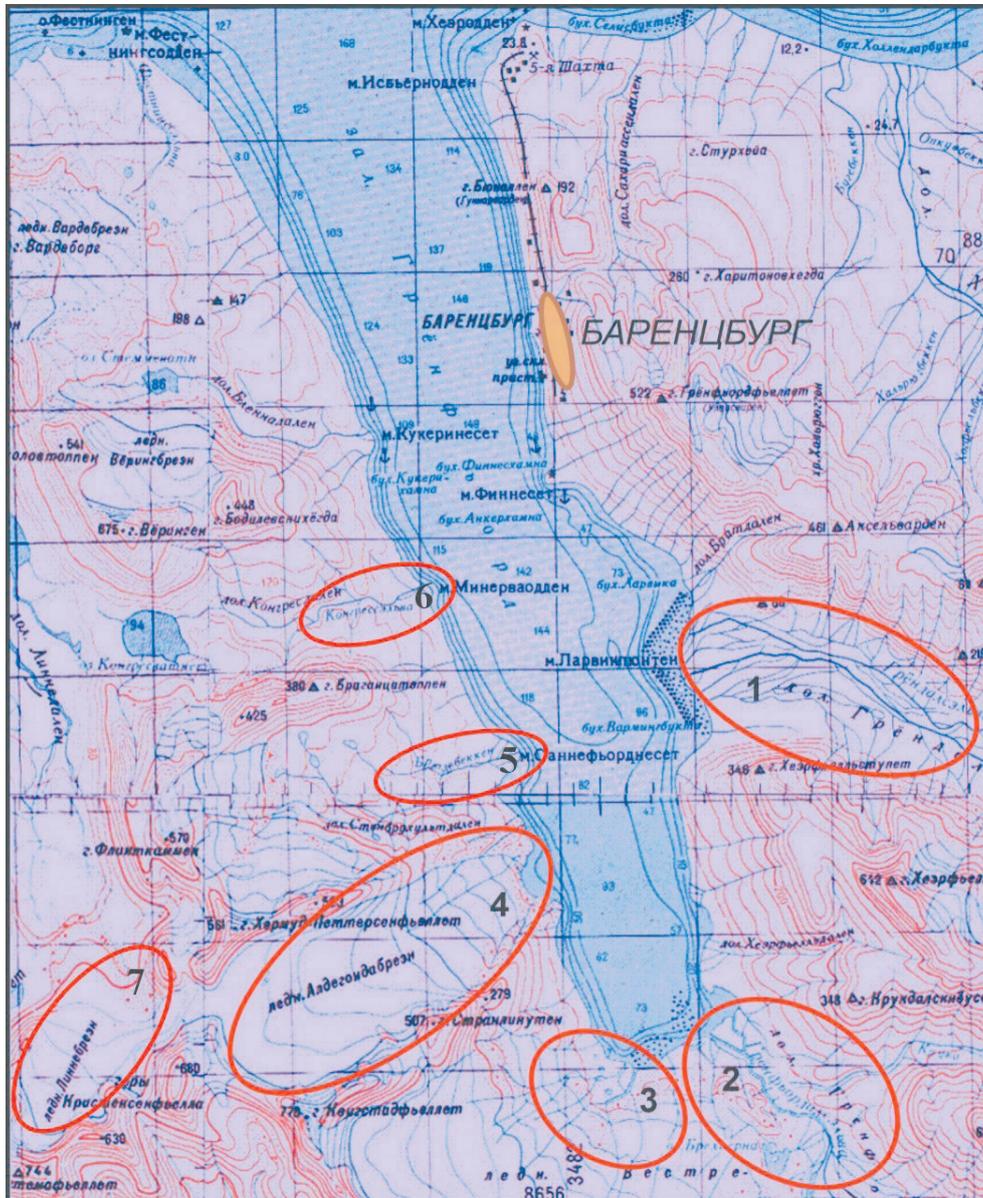


Рис. 30. Основные объекты исследования в 2003 г.: 1 – р. Грэн, 2 – р. Грэнфьорд, 3 – р. Бретъерна, 4 – р. Альдегонда, 5 – р. Брюде, 6 – р. Конгресс, 7 – ледник Линне [Приложение, п.4]

Гидробиологические наблюдения, проведенные в 2001 и 2004 гг. включали в себя определение общей численности и видового разнообразия планктонных (бактерио-, фито-, зоо-) сообществ в пробах, отобранных в Биллефьорде, Грэнфьорде и реках Грэнфьорд, Альдегонда, Колес, ручье Безымянный по методам, включенным в «Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем» [79].

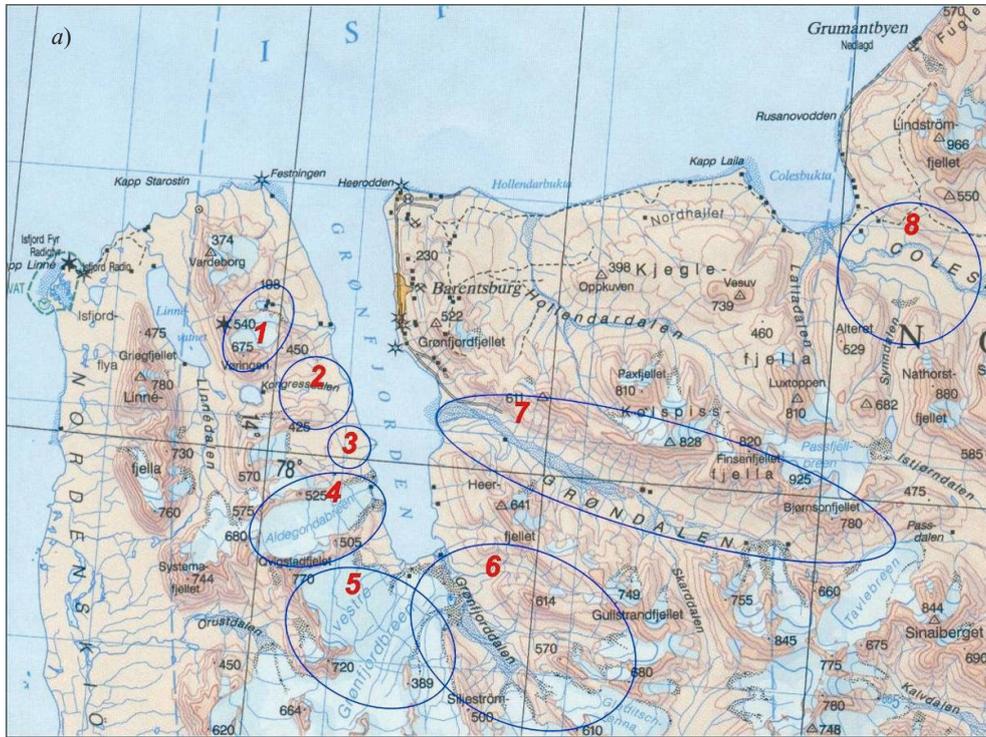


Рис. 31. Районы работ экспедиции 2005 г.

а) 1, 5 – ледники Вёринг и Западный Грөнфьорд; 2, 4, 6, 8 – бассейны рек Альдегонда, Грөн, Грөнфьорд и Колес; б) 1, 2 – озёра Стемме, Конгресс; 3 – приледниковое оз. Бретьёрна [Приложение, п. 6]

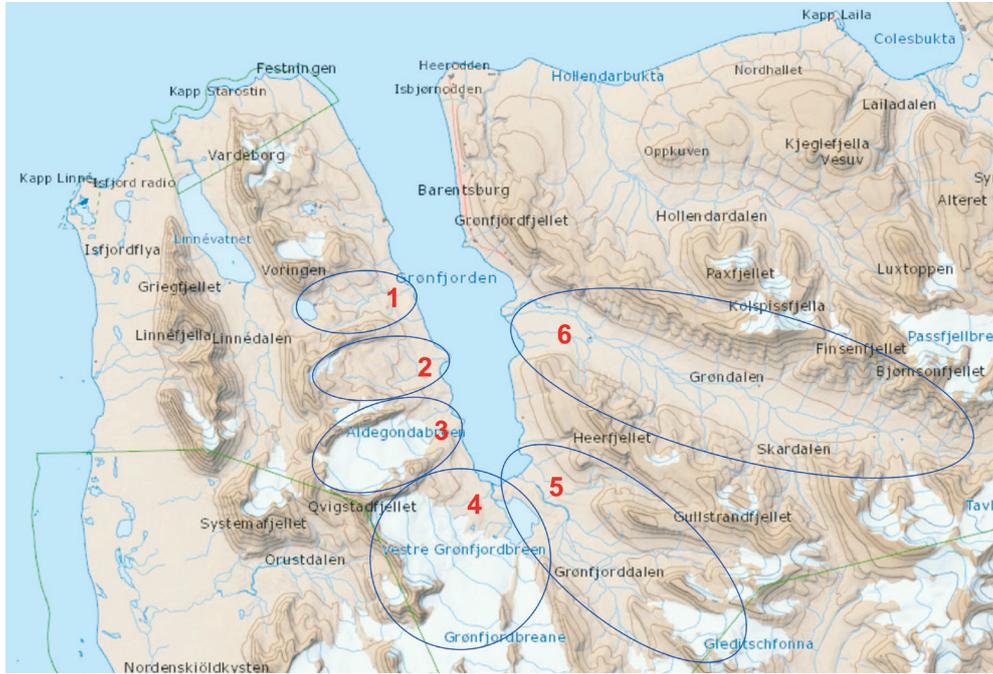


Рис. 32. Районы работ экспедиции 2006 г.: бассейны рек 1 – Конгресс, 2 – Брюде, 3 – Альдегонда, 4 – река из оз. Бретъёрна, 5 – Грёнфьорд, 6 – Грён [Приложение, п. 7]

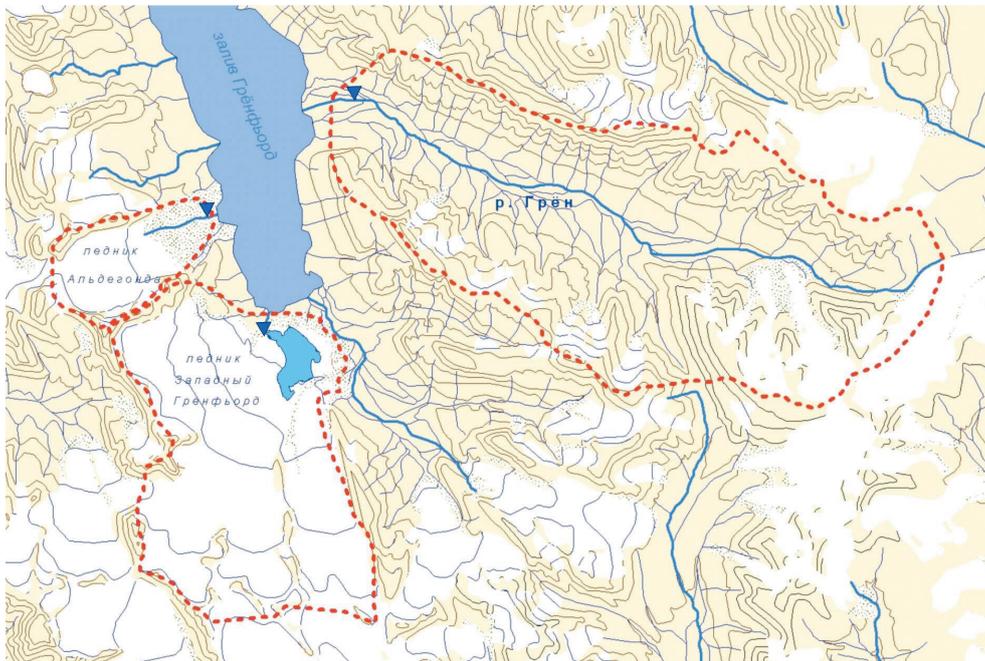


Рис. 33. Районы работ экспедиции 2007 г. на водосборах р. Альдегонда, оз. Бретъёрна, р. Грён [Приложение, п. 8]

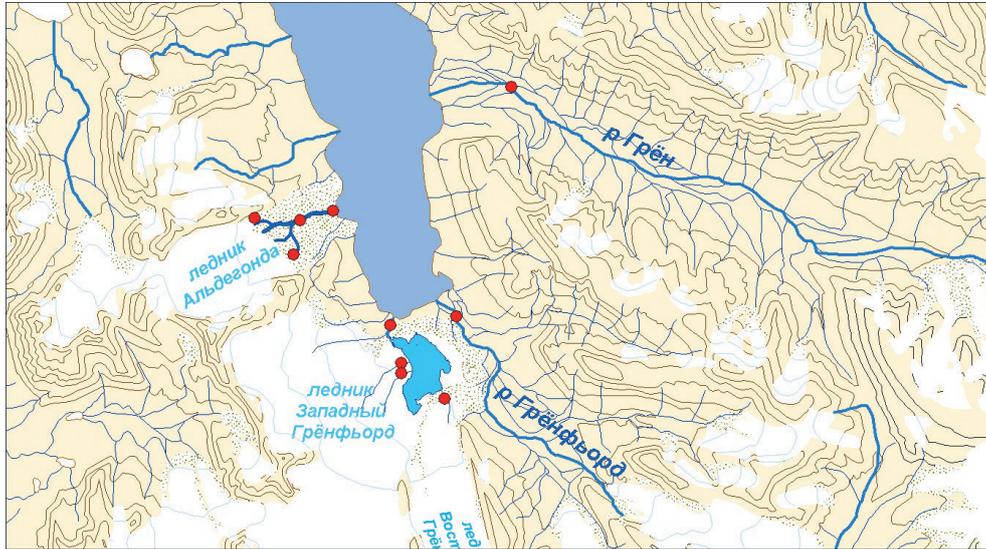


Рис. 34. Районы работ экспедиции 2008 г. на водосборных бассейнах р. Альдегонда, р. Грэн, р. Грэнфьорд и леднике Западный Грэнфьорд [Приложение, п. 9]

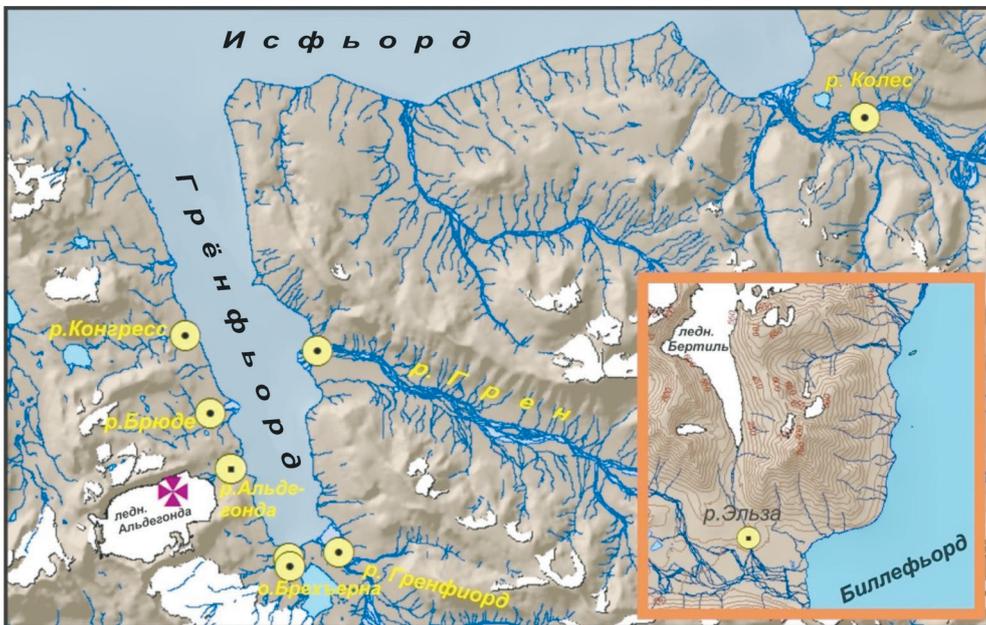


Рис. 35. Районы работ экспедиции 2015 г.: реки Конгресс, Брюде, Альдегонда, Бретъёрна, Грэнфьорд, Грэн, Колес и Эльза [Приложение, п. 19]

Глава 4

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Оценка текущего состояния пресноводных экосистем и возможных его изменений возможна при наличии комплекса таких показателей, как [97]:

- параметры, связанные с физико-географическим и гидрологическим описанием экосистемы как целостного природного или водохозяйственного объекта;

- контролируемые показатели состава и свойств водной среды, дающие формализованную оценку качества воды и ее соответствия действующим нормативам;

- совокупность критериев, оценивающих специфику структурно-функциональной организации сообществ гидробионтов и динамику развития водных биоценозов.

Работы по выявлению вышеперечисленного должны производиться с учетом следующих положений [83]:

- показатели состояния экосистем и их компонентов должны отвечать прежде всего следующим требованиям: информативность, простота измерений, экономичность, оперативность получения информации, возможность контроля;

- определение критериев для оценки состояния производят, исходя из понятия о гомеостазе, устойчивом функционировании экосистемы или ее компонента (в качестве критериев принимают верхние и нижние значения показателей, ограничивающих зону гомеостаза).

Изменения в функционировании пресноводных экосистем отображаются посредством множества наблюдаемых параметров, описывающих как среду обитания (гидрологические и геоморфологические факторы, концентрации химических элементов в различных пунктах, органолептические и санитарные свойства воды), так и биотические элементы (численность и видовой состав водных организмов, наличие структурных и функциональных изменений) [39].

В перечень необходимых определений рекомендуется включить в первую очередь следующие гидрохимические показатели, обычно достаточно чутко реагирующие на фоновое загрязнение [63, 69]:

- бихроматная окисляемость – величина характеризующая содержание в воде органических и минеральных веществ, окисляемых серноокислым раствором бихромата калия и характеризующая общее содержание растворенных органических веществ по химическому потреблению кислорода;

- перманганатная окисляемость – величина характеризующая содержание в воде органических и минеральных веществ, окисляемых марганцовокислым калием в кислой щелочной или нейтральной среде и характеризующая количество растворенных легкоокисляющихся органических веществ;

- биохимическое потребление кислорода (БПК) – величина дающая количественную оценку легкоокисляемых органических веществ по количеству кислорода, потребляемого при биохимическом окислении этих веществ за определенный промежуток времени (обычно за 5 суток) позволяющее оцени-

вать общее содержание органических соединений, поддающихся биохимическому окислению;

- растворенный кислород;
- поверхностно-активные вещества (ПАВ);
- ионы аммония;
- фенолы;
- нефтепродукты;
- общая минерализация (сумма ионов, прокаленный остаток).

Содержание перечисленных выше ингредиентов не остается постоянным. Оно испытывает как внутригодовые, так и многолетние (межгодовые) колебания, обусловленные временной изменчивостью природных процессов. Размах варьирования концентраций, определенных в течение года или даже одного гидрологического сезона, может быть весьма значительным. В связи с этим возникает необходимость статистической оценки фоновых показателей качества воды. Такая оценка выполняется при наличии рядов систематических наблюдений за показателями, определяемыми общими условиями формирования качества воды, присущими рассматриваемому водному объекту.

Однако в зависимости от решаемой конкретной задачи и специфических условий в водном бассейне гидрохимический фон экосистемы может быть представлен различным образом. Целесообразно различать следующие виды фоновых характеристик водного объекта [17, 63]:

- естественный фон, отражающий качество водной среды объекта, гидрохимический режим которого выше рассматриваемого пункта не нарушен деятельностью человека;
- измененный фон, характеризующий измененные внешними факторами условия формирования качества вод в пределах всего или части водного бассейна (мелиорация земель, массовое применение химических удобрений, пестицидов, переброска стока и т. д.) или же отражающий воздействия многочисленных неорганизованных сбросов сточных вод, находящихся выше рассматриваемого створа;
- условный фон, отражающий влияние на гидрохимический режим всех видов антропогенного воздействия, в том числе и организованных сбросов сточных вод, находящихся выше наблюдательного пункта, но не учитываемых специально в рассматриваемой конкретной задаче.

В мониторинге пресноводных экосистем особое место стали занимать методики биоиндикации, которые обладают значительным преимуществом по сравнению с химическими и физическими методиками [9]. Биоиндикаторы вследствие эффекта аккумуляции могут реагировать даже на сравнительно слабые антропогенные нагрузки, суммируют действия всех без исключения важных биологических факторов, а также:

- отражают физические и химические параметры, характеризующие состояние экосистемы;
- фиксируют скорость происходящих в среде изменений;
- вскрывают тенденции развития окружающей среды, указывают пути и места скопления загрязнений.

Методы, основанные на характеристиках сообществ бактерио-, фито- и зоопланктона, быстро реагирующих на кратковременные антропогенные воздействия перестройками структуры, имеют несомненные преимущества для

ранней диагностики влияния загрязнения на экосистему. В диагностике процессов антропогенного эвтрофирования экосистем несомненны преимущества таких показателей, как первичная продукция и концентрация хлорофилла.

Методы, основанные на характеристиках структуры зообентоса, позволяют оценить среднее состояние экосистемы за длительный период времени – за год. В экосистемах с высокой степенью проточности приуроченность донных животных к определенной части акватории позволяет с большей достоверностью оценить состояние отдельных участков.

Принимая во внимание малую изученность гидролого-гидрохимических показателей состояния поверхностных вод, особые климатические условия исследуемой территории, а также тот факт, что о. Западный Шпицберген один из немногих районов мира, где ледники уже в течение долгого периода времени непосредственно вовлечены в хозяйственную деятельность человека, важное значение имеют ресурсы пресных вод, которые используются для водоснабжения и в теплоэнергетике. Вследствие этого в состав наблюдений, проводимых экспедицией ААНИИ начиная с 2001 г. на организованных постах, были включены специализированные наблюдения [84, 87, 88, 89, 92]:

– за гидрологическими показателями, включающими уровень воды, расход воды, скорость течения, ширина и глубина, мутность, расход взвешенных наносов;

– гидрохимическими показателями, включающими в себя физико-химические показатели, главные ионы, биогенные элементы, взвешенные вещества, нефтяные углеводороды, полициклические ароматические углеводороды, хлорорганические соединения и соединения тяжелых металлов.

В настоящее время силами экспедиции ААНИИ ведется комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов, включая проведение наблюдений за элементами водного баланса речных водосборов архипелага Шпицберген, а также проведение стандартных и специализированных наблюдений за физическими и гидрохимическими показателями выбранных пресноводных экосистем (рис. 36):

– рек Конгресс, Бретъёрна, Брюде, Колес, Эльза, Грэн, Альдегонда, Грэнфьорд, Мимер;

– озер Бретъёрна, Конгресс, Стемме, Голубое.

Длительность наблюдений:

на реках:

– Грэн – 2004 (июль–август), 2006 (июнь–сентябрь), 2008 (август–сентябрь), 2009–2016 (июль–сентябрь), 2017 (май–октябрь);

– Альдегонда – 2001 (сентябрь), 2005 (июнь–август), 2008–2016 (июль–сентябрь), 2017 (май–октябрь);

– Грэнфьорд – 2004–2005 (июль–август), 2008–2011 (июль–сентябрь), 2015–2016 (июль–сентябрь), 2017 (май–октябрь);

– Бретъёрна – 2004–2005 (июнь–август), 2010–2012 (июль–август), 2014–2016 (июнь–сентябрь), 2017 (май–октябрь);

– Конгресс – 2004–2005 (июнь–август), 2010–2012 (июль–август), 2014–2016 (июль–сентябрь), 2017 (май–октябрь);

– Колес – 2001 (сентябрь), 2015 (июль–сентябрь), 2017 (май–октябрь);

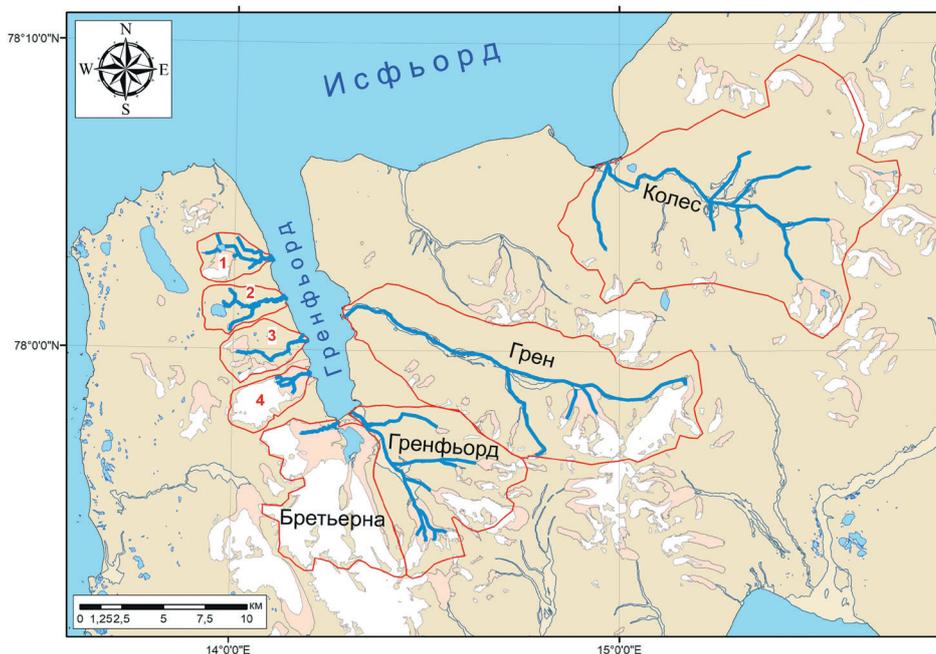


Рис. 36. Бассейны исследуемых рек и озер залива Грөнфьорд: 1 – оз. Стемме и р.Васстак, 2 – оз. и р. Конгресс, 3 – р. Брюде, 4 – р. Альдегонда

- Брюде – 2004–2005 (июнь–август), 2010–2012 (июль–август), 2014–2016 (июнь–сентябрь), 2017 (май–октябрь);
- Мимер – 2016 (июль–сентябрь), 2017 (май–октябрь);

озёрах:

- Бретьёрна – 2011–2012 (июль–август), 2014 (июнь–сентябрь), 2016 (апрель–май), 2017 (апрель);
- Конгресс – 2015–2017 (апрель–май);
- Стемме – 2014 (июль–сентябрь), 2017 (апрель);
- Голубое – 2016 (июль–сентябрь).

4.1. Современный гидрологический режим

Определение составляющих водного баланса речных бассейнов, значительную часть которых могут занимать ледники, наблюдение за тенденциями их изменений требует детальных измерений, которые являются крайне трудоемкими, особенно в условиях Шпицбергена. Известно, что первые наблюдения и расчеты, касающиеся баланса массы ледников архипелага, выполнены за рубежом и относятся к 1934 г., а их продолжение последовало в 1958 г.

Отечественные наблюдения аналогичного характера были начаты экспедицией Института географии АН СССР в 1965–1967 гг. и продолжались по 1982 г. Основное внимание было уделено режиму ледников, включая зимний, летний и годовой балансы их массы. Выполненный при этом значительный объем сне-

гомерных съемок позволил проследить динамику снегозапасов на ледниках Вёринг, Бертиль, Богер, Брёггер, Дауд и в долинах Линнейдален, Грёндален, Адвентдален, Мимердален, Сассендален, Агаддален в сравнении с величиной снегозапасов на метеостанциях Баренцбург, Лонгйир, Нью-Олесунна. Установлена связь суммарной абляции на ледниках Вёринг, Богер, Бертиль, Брёггер Восточный со средней летней (июнь–август) температурой воздуха на действующих метеостанциях арх. Шпицберген.

Отечественные наблюдения за элементами гидрологического режима, позволяющими определить составляющие водного баланса, были начаты в 1976 г. Шпицбергеной гляциологической экспедицией Института географии АН СССР. В 1983 г. впервые для Шпицбергена проведено изучение режима р. Мимер в течение всего периода существования поверхностного стока, оценены водные ресурсы ее бассейна. В 1984 и 1985 гг. гидрологические наблюдения были продолжены и охватывали р. Грэн и р. Мимер вблизи их устьев. При этом проводились также снегомерные съемки. На основе этих наблюдений были рассчитаны основные характеристики стока воды указанных рек, выявлена достаточно тесная связь максимального снегонакопления в долине р. Грэн с суммой осадков холодного периода на метеостанции Баренцбург. Результаты гидрологических наблюдений позволили охарактеризовать основные черты режима стока и уровней рек Грэн и Мимер во взаимосвязи с метеорологическими параметрами и синоптическими ситуациями. На основе результатов снегомерных съемок на территории речных бассейнов, данных наблюдений метеостанции Баренцбурга и Пирамиды, а также величины баланса ледников Вёринг и Бертиль рассчитаны величины элементов водного баланса рек Мимер и Грэн за 1984–1985 гг. При этом испарение на средней высоте бассейнов рассчитывалось по графикам П. С. Кузина. Результаты проэкстраполированы на весь остров Западный Шпицберген, в результате чего оценен суммарный сток с его поверхности.

Начало современного этапа отечественных исследований гидрологического режима водотоков о. Западный Шпицберген относится к 2001 г., когда экспедиция ААНИИ приступила к изучению климатических изменений природной среды в районе архипелага [89].

Если первые экспедиционные работы ААНИИ были направлены на рекогносцировочное обследование водных объектов и ледников, то к настоящему времени выполнен значительный объем гидрометрических работ (промеры русла, измерение скоростей течения и расходов воды, мутности потока, расходов взвешенных наносов, крупности донных отложений) на реках и ручьях о. Западный Шпицберген [84, 87, 88, 92].

В таблице 24 приведены данные о составе гидрологических измерений за период с 2001 по 2016 гг.

По результатам проведенных в 2003–2016 гг. наблюдений составлена база данных гидрологических характеристик элементов водного режима на исследуемых объектах, которая кроме измеренных характеристик содержит рассчитанные ряды, такие как ежедневные расхода воды и наносов, весенние снегозапасы на водосборах и некоторые другие (табл. 25).

Обобщение данных гидрологических наблюдений на водных объектах Западного Шпицбергена

Объект исследования	Год гидрологических наблюдений					
	Снегомерная съёмка	Расход воды	Уровень воды	Взвешенные наносы	Батиметрия	
Река Грэн и ее долина	2002–2005, 2007–2017	2002–2017	2004–2017	2003–2005, 2007, 2009– 2010, 2012, 2014–2017	–	
Река Альдегонда и ледник Альдегонда	2002–2012, 2014–2017	2001–2017	2002–2017	2002–2010, 2012, 2014–2017	–	
Река Грэнфьорд	–	2001, 2003–2005, 2008–2009, 2011, 2014–2017	2003–2004, 2008, 2009, 2015–2017	2003–2005, 2009, 2014–2017	–	
Река Бреттьёрна	–	2003–2012, 2014–2017	2006, 2008–2012, 2014, 2016–2017	2003–2005, 2007, 2009– 2010, 2012, 2014–2017	–	
Озеро Бреттьёрна	–	–	2007–2009, 2015–2017	–	2006	
Река Конгресс + ее долина	2015–2017	2003–2005, 2011–2012, 2014–2017	2015–2017	2003–2005, 2012, 2014–2017	–	
Озеро Конгресс	–	–	2006	–	2006	
Река Колес	2005	2001, 2004, 2005, 2015–2017	2004, 2016–2017	2004, 2015–2017	–	
Река Бруде	2016–2017	2003–2005, 2011, 2014–2017	2016–2017	2003–2005, 2011, 2014–2017	–	
Ледник Западный Грэнфьорд	2005–2007, 2009– 2012, 2014–2017	–	–	–	–	
Ледник Восточный Грэнфьорд	2016–2017	–	–	–	–	
Ледник Вёринг	2005, 2007–2009	–	–	–	–	
Озеро Линне и ледник Линне	2003	–	–	–	–	
Ледник Бертиль	2015	–	–	–	–	
Озеро Стемме	–	–	2016–2017	–	2006	
Река Эльза	–	2011–2014, 2016–2017	2011–2014	2001, 2011–2017	–	

Основные гидрологические показатели рек Западного Шпицбергена

Год (месяц)	Расход воды, м ³ /с	Площадь водного сечения, м ²	Скорость течения, м/с		Ширина реки, м	Глубина, м		Мутность, г/м ³	Расход взвеш. наносов, г/с
			средн.	макс.		средн.	макс.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Река Альдегонда									
2003 (август)	0,67–3,16	1,11–3,16	0,57–1,23	–	6,36–10,6	0,18–0,32	–	2,10–2136	8,0–217
2004 (июль)	2,23–5,59	1,91–3,76	0,91–1,49	1,21–2,27	5,55–10,9	0,26–0,35	0,38–0,57	16,1–1317	40,7–7432
2005 (июль–август)	0,13–3,31	–	–	–	–	–	–	9,0–959	4,8–1038
2007 (июль)	0,50–3,53	2,43	1,45	1,93	8,20	0,296	0,40	–	–
2008 (август–сентябрь)	0,32–2,35	0,80–2,16	0,39–1,14	0,55–1,65	5,85–7,60	0,15–0,44	0,14–0,41	11,0–5272	10,0–7800
2009 (июль–август)	1,00–4,69	1,57–3,58	0,63–1,42	0,99–2,11	7,42–10,7	0,21–0,35	0,29–0,50	–	30,0–2200
2010 (август)	0,31–7,14	0,73–3,74	0,42–1,91	0,59–2,62	5,52–10,5	0,12–0,36	0,19–0,57	3,8–1716	10–10760
2011 (август)	0,47–2,82	1,01–2,48	0,43–1,21	1,07–2,68	4,0–10,0	0,12–0,59	0,24–0,53	–	–
2012 (июль–август)	0,77–3,77	1,02–2,85	0,75–1,32	1,41–2,12	7,9–10,8	0,13–0,27	0,25–0,45	98,0–554	990–2089
2013 (август–сентябрь)	0,48–3,36	1,07–2,71	0,43–1,24	0,64–1,77	5,8–7,95	0,18–0,34	0,36–0,62	–	–
2014 (июль–сентябрь)	0,26–3,84	0,52–3,17	0,45–1,21	0,61–1,73	3,70–8,2	0,14–0,39	0,23–0,59	4,0–4500	1,0–3039
2015 (июль)	0,40–4,46	0,77–2,89	0,45–1,44	0,55–2,00	4,90–8,65	0,12–0,42	0,26–0,64	83,6–698	58,9–3550
2016 (июль–сентябрь)	0,35–5,68	0,71–4,19	0,47–1,63	0,81–2,57	3,70–8,45	0,12–0,60	0,25–0,83	3,0–1842	1,0–7310
2017 (июль–октябрь)	0,31–4,85	0,48–3,78	0,34–1,60	0,41–2,67	2,50–12,0	0,10–0,44	0,19–0,80	0,5–1186	30–4000
Река Бретгёрна									
2007 (июль)	13,2	10,3	1,28	1,99	24,1	0,43	0,71	108	1434
2008 (август–сентябрь)	0,99–7,16	2,69–12,6	0,37–1,13	0,55–1,52	9,90–28,3	0,27–0,52	0,43–1,01	–	–
2009 (июль–август)	3,99–12,3	6,42–12,5	0,53–1,00	1,07–1,77	23,9–29,0	0,26–0,48	0,67–0,94	–	–
2010 (август)	2,45–14,0	3,04–13,0	0,52–1,54	0,85–1,92	12,7–31,4	0,24–0,54	0,38–0,99	70,2–887	170–10200

Год (месяц)	Расход воды, м ³ /с	Площадь водного сечения, м ²	Скорость течения, м/с		Ширина реки, м	Глубина, м		Мутность, Г/м ³	Расход взвеш. наносов, Г/с
			средн.	макс.		средн.	макс.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Река Бретьёрна									
2011 (август)	5,95–9,41	5,16–11,9	0,78–1,15	1,36–1,63	15,3–32,3	0,34–0,40	0,40–0,70	–	–
2012 (июль–август)	3,25–14,5	4,10–10,5	0,79–1,59	1,29–2,30	18,5–24,0	0,22–0,44	0,37–0,75	26,7–92,8	202–963
2014 (июль–сентябрь)	0,79–10,5	2,59–10,6	0,30–1,00	0,46–1,47	7,76–27,5	0,21–0,56	0,37–0,94	3,60–645	10,0–3880
2015 (июль–сентябрь)	1,12–12,5	1,13–12,6	0,50–1,58	0,76–2,16	6,26–32,0	0,14–0,47	0,28–0,90	20,3–339	49,7–3285
2016 (июль–сентябрь)	1,30–13,2	1,95–11,5	0,79–1,44	1,05–1,72	8,00–15,5	0,13–0,64	0,26–0,85	10,0–660	5,0–3420
2017 (июнь–октябрь)	0,66–12,3	2,13–10,7	0,35–1,21	0,48–1,57	10,5–25,0	0,17–0,51	0,33–0,94	0–330,6	0–3130
Река Колес									
2004 (июль)	5,80–9,81	7,27–9,88	0,798–0,993	1,08–1,28	25,0–27,6	0,29–0,36	0,45–0,53	327–692	–
2015 (июль)	10,4	13,1	0,51	1,21	40,7	0,31	0,80	509	5280
2016 (август)	1,93–2,83	4,28–4,97	0,53–0,60	0,56–0,72	18	0,23–0,26	0,35–0,37	35,1–286	73,0–811
2017 (июнь–октябрь)	1,95–17,6	5,59–25,6	0,43–1,03	0,56–1,31	15,6–59,5	0,33–0,47	0,70–0,88	166–1216	320–21400
Река Эльза									
2011 (июль–август)	0,60–2,90	0,44–2,61	0,24–1,38	0,44–2,17	2,9–15,1	0,13–0,27	0,24–0,45	–	–
2012 (июль)	1,48–2,16	1,20–1,63	1,11–1,43	1,56–1,77	5,75–6,00	0,21–0,27	0,30–0,42	686–1317	1135–2846
2013 (август)	1,31–2,22	1,16–1,65	1,10–1,49	1,49–2,18	5,00–6,00	0,20–0,30	0,30–0,50	–	–
2014 (июль–август)	0,22–2,85	0,45–2,78	0,49–1,52	0,70–2,23	3,85–13,3	0,12–0,31	0,22–0,55	15,8–6618	30,0–14890
2015 (июль)	0,01–4,19	0,14–3,25	0,05–1,24	0,05–2,64	1,25–19,7	0,07–0,17	0,12–0,41	632–2655	3827–9084
2016 (июль–сентябрь)	0,01–2,30	0,06–1,83	0,08–1,44	0,08–2,23	1,00–10,7	0,01–0,19	0,05–0,58	0,24–7535	1,0–15523
2017 (июнь–октябрь)	0,05–2,68	0,23–1,85	0,28–1,67	0,28–2,25	2,7–9,45	0,06–0,27	0,13–0,47	0–6875	0–16030

	Река Грэн										Река Конгресс									
2003 (июль-август)	0,20-5,94	1,18-6,22	0,17-0,95	-	6,36-16,5	0,16-0,38	-	373-6664	73,6-16659											
2004 (июль-август)	0,37-5,04	1,14-8,84	0,32-0,74	0,42-1,16	7,92-18,0	0,11-0,38	0,20-0,63	483-2380	392-3673											
2005 (июнь-август)	0,03-19,5	0,14-13,1	0,28-1,04	0,49-1,29	10,6-53,4	0,04-0,36	0,07-1,01	186-2742	893-90814											
2006 (август-сентябрь)	0,04-4,24	0,30-12,8	0,06-0,94	0,12-1,12	3,75-20,2	0,03-0,39	0,10-0,70	-	-											
2007 (июль)	3,28-9,30	5,29-9,93	0,61-1,14	0,89-1,44	14,5-34,9	0,17-0,50	0,35-0,74	178-1092	710-7500											
2008 (август-сентябрь)	0,73-4,51	3,38-6,05	0,20-0,75	0,30-1,00	13,6-15,4	0,28-0,39	0,51-0,77	483-2381	393-11999											
2009 (июль-август)	1,39-12,4	2,84-14,7	0,47-0,94	0,64-1,31	11,7-45,9	0,09-0,41	0,35-1,06	187-2742	615-90815											
2010 (август)	0,54-4,54	3,02-7,82	0,16-0,70	0,35-1,21	14,4-44,6	0,13-0,26	0,40-0,66	5,80-1954	3,0-8284											
2011 (июль-август)	3,14-5,81	4,86-7,58	0,64-0,84	0,80-1,12	19,2-36,7	0,19-0,27	0,37-0,51	-	-											
2012 (июль-август)	0,84-13,8	2,05-9,56	0,34-1,44	0,81-1,50	15,3-16,4	0,13-0,59	0,40-0,84	-	-											
2013 (август-сентябрь)	1,73-5,52	3,07-6,85	0,56-0,81	0,76-1,01	16,5-26,4	0,19-0,27	0,33-0,51	-	-											
2014 (июль-сентябрь)	0,93-9,27	3,14-13,1	0,27-0,98	0,40-1,18	14,0-41,9	0,22-0,38	0,35-1,01	14,1-6591	10,0-25190											
2015 (июль-сентябрь)	1,24-9,44	0,03-10,37	0,099-0,877	0,08-1,39	1,30-25,5	0,05-0,45	0,09-0,71	15,0-1166	21,1-9701											
2016 (июль-сентябрь)	0,09-11,7	0,02-16,5	0,13-0,76	0,17-1,10	2,57-78,0	0,01-0,37	0,02-0,44	5,8-3878	4,28-22900											
2017 (июль-октябрь)	0,92-14,0	1,75-18,1	0,30-0,86	0,53-1,62	15,9-63,8	0,09-0,38	0,30-0,80	19,1-6862	20-90310											
2003 (август)	0,69-0,74	1,07-1,11	0,65-0,67	-	5,0-5,17	0,21-0,22	-	1,3-13,5	-											
2004 (июль)	-	-	-	-	-	-	-	0,60-8,3	-											
2005 (июль-июль)	0,17-3,94	-	-	-	-	-	-	19,2-246	-											
2011 (август)	0,20-0,54	0,80-1,10	0,21-0,54	0,90-1,18	6,90-8,00	0,12-0,14	0,20-0,32	-	-											
2012 (август)	0,34-0,41	0,67-0,70	0,50-0,59	0,72-0,89	4,00	0,17-0,18	0,20-0,24	1,52-20,0	0,52-0,82											
2014 (июль, сентябрь)	0,50-2,08	0,94-1,88	0,51-1,11	0,69-1,31	4,82-6,76	0,18-0,28	0,24-0,40	0,80-12,8	0,40-26,6											
2015 (июль-сентябрь)	0,63-1,91	1,07-1,78	0,46-1,22	0,85-1,76	6,40-7,28	0,16-0,25	0,24-0,36	3,6-10,0	312-2270											
2016 (июль, сентябрь)	0,48-2,21	0,86-2,02	0,51-1,02	0,61-1,65	6,05-8,35	0,11-0,21	0,18-0,39	0,20-600	0,14-388											
2017 (июль, октябрь)	0,10-3,02	0,37-2,45	0,33-1,25	0,36-1,58	4,15-9,00	0,08-0,31	0,16-0,60	0-402	0-1216											

Год (месяц)	Расход воды, м ³ /с		Площадь водного сечения, м ²	Скорость течения, м/с		Ширина реки, м	Глубина, м		Мутность, г/м ³	Расход взвеш. наносов, г/с
	2	3		4	5		6	7		
1										
Река Грёнфьорд										
2003 (август)	1,06–3,49		0,43–0,69	13,8–15,9	0,18–0,36			87,4–1659	92,8–5790	
2004 (июль)	4,54–8,92	6,75–8,83	0,67–1,02	0,93–1,51	0,30–0,38	21,4–24,1	0,64–0,74	4,86–2449	4190–14000	
2005 (июнь–август)	–	–	–	–	–	–	–	229–2581	–	
2008 (август–сентябрь)	0,36–4,21	1,21–3,86	0,30–1,09	0,59–1,56	0,21–0,30	5,3–12,8	0,32–0,68	–	–	
2009 (июль–август)	1,43–12,5	3,52–13,5	0,41–1,03	0,85–1,70	0,10–0,37	17,0–38,5	0,27–1,97	–	20,0–22300	
2011 (август)	1,12–5,81	2,07–4,54	0,51–1,28	0,68–1,87	0,17–0,50	6,90–14,2	0,47–0,63	–	–	
2014 (июль, сентябрь)	2,61–6,79	3,74–6,81	0,70–1,00	0,99–1,31	0,20–0,36	18,7–19,0	0,46–0,57	198–696	520–4720	
2015 (июль–сентябрь)	1,93–9,67	2,87–6,87	0,62–1,27	1,03–1,71	0,15–0,41	15,0–16,3	0,40–0,68	45,3–3546	18,1–5870	
2016 (июль–сентябрь)	0,22–8,59	0,70–8,16	0,36–0,98	0,39–1,79	0,08–0,30	5,3–27,2	0,16–0,65	10,0–1810	4,5–10800	
2017 (июнь–октябрь)	0,32–10,2	2,04–11,0	0,17–1,15	0,35–1,51	0,15–0,44	8,9–46,8	0,33–0,90	0,8–1836	0–18700	
Река Брøде										
2003 (август)	0,51–1,45	1,04–1,83	0,50–0,79	5,8–8,6	0,18–0,21			23,4	–	
2004 (июль)	1,31–1,83	1,89–2,32	0,69–0,94	0,98–1,38	0,20–0,24	8,0–11,0	0,32–0,39	4,3–20,6	–	
2005 (июль)	0,92–2,74	–	–	–	–	–	–	6,6–152	–	
2014 (июль, сентябрь)	0,61–2,88	1,20–3,33	0,48–0,86	0,53–1,32	0,12–0,24	10,3–14,1	0,20–0,37	1,40–13,0	2,00–5,00	
2015 (июль–сентябрь)	0,44–2,51	0,81–2,75	0,55–0,94	0,72–1,41	0,10–0,27	7,77–11,1	0,16–0,48	1,22–13,4	0,20–11,0	
2016 (июль–сентябрь)	0,12–2,07	0,61–2,73	0,22–0,71	0,30–1,23	0,10–0,26	5,2–8,0	0,28–0,64	0,60–742	0–707	
2017 (июнь–октябрь)	0,10–2,38	0,48–2,07	0,24–1,96	0,27–2,16	0,08–0,43	3,7–8,3	0,16–0,71	0–80,7	0–130	

К сожалению, вследствие различных причин, наблюдения за стоком исследуемых рек разрознены, относятся к различным фазам гидрологического цикла, различным синоптическим ситуациям и не охватывают весь период существования стока главным образом за счет отсутствия наблюдений в весенний и осенний переходные периоды.

В годовом гидрологическом цикле рек Западного Шпицбергена можно выделить три характерных периода: зимний – период накопления снега; весенний – когда происходит таяние снега; летне-осенний – когда питание рек осуществляется за счет талых вод ледников и выпадения жидких осадков.

В зимний период, продолжающийся с октября по май, постоянный речной сток на Шпицбергене отсутствует. Зимний сток с политермальных ледников, обусловленный в основном водоотдачей из подледникового талика, накапливается в виде приледниковых наледей, иногда весьма существенных.

Таяние снега на водосборах рек начинается во второй половине мая, а начало половодья, вызванное повышением средних суточных температур воздуха, отмечается в первой половине июня. В период половодья снег сохраняется на большей части водосбора, и при замедленном росте температур воздуха в первой половине лета снежный покров стаивает дольше, а половодье с несколькими пиками может растягиваться до месяца.

Все исследуемые водосборы имеют тот или иной процент оледенения. На водосборах с большой степенью оледенения в теплый период режим стока воды в целом зависит от реакции ледников на метеорологические условия. Таяние ледника, вызванное воздействием на него атмосферных факторов, является важнейшим компонентом приходной части водного баланса. Летние паводки, иногда с расходами, превышающими максимальные расходы половодья, формируются во второй половине лета при выпадении интенсивных ливневых осадков в дни с высокой температурой воздуха.

Период постоянного поверхностного стока на реках продолжается 5–6 месяцев и обычно заканчивается к концу сентября–октября. За три летних месяца проходит более 90 % стока, в том числе 40–60 % – в июле. Сток с водосборов с большой степенью оледенения в течение теплого периода года распределяется более равномерно. Основные его объемы проходят в период с середины июня до середины августа. Поскольку сток с элементарного ледникового бассейна формируется преимущественно на ледниковых поверхностях, режим стока определяется главным образом водным режимом ледника. Режим стока арктических ледниковых рек, как правило, характеризуется заметным поступлением воды, почти исключительно талой, в теплую часть года (июнь–август) и полным прекращением стока в холодный период (сентябрь–май). Режим стока взвешенных наносов характеризуется большим поступлением в реку продуктов смыва в период весеннего половодья. При этом в начале половодья поступает со склонов более мелкий распыленный материал, образовавшийся за время зимнего периода. При прохождении пика паводка наносы частично переотлагаются, а также пополняются за счет руслового и склонового размыва.

Реки Шпицбергена характеризуются большой мутностью, что затрудняет хозяйственное использование их водных ресурсов. Процесс формирования и переноса речных наносов на Шпицбергене происходит в условиях низких температур и влияния ледниковой эрозии. Наличие многолетнемерзлых пород провоцирует насыщение водой активного поверхностного слоя во время таяния снега и выпадения дождей. Количество взвешенных наносов в реках тесно связано с режимом стока. В период до начала половодья вода в реках обычно чистая, ее мутность меняется от 0 до 10–15 мг/л. На подъеме половодья мутность воды резко возрастает до 3 г/л и более. Спад половодья сопровождается снижением мутности воды. Мутность воды повышается в результате обнажения и оттаивания пород деятельного слоя склонов и моренных отложений у ледников.

Альдегонда – река горного типа, характеризуется быстрым течением и порожистым руслом. Ширина реки меняется в пределах 2,50–12,0 м, глубина – от 0,10 до 0,60 м, а площадь водного сечения – от 0,48 до 4,19 м². Средняя скорость течения колеблется в пределах 0,34–1,91 м/с, а максимальная – в пределах 1,65–2,68 м/с.

По соотношению источников питания реки многолетние данные позволяют заключить, что в приходной части водного баланса на долю снегового питания приходится в среднем 26 %, дождевая составляющая незначительна – около 10 %. Основная составляющая приходной части формируется за счет таяния ледника – 64 %.

Расчет снеготаяния и водоотдачи из снега на водосборе р. Альдегонда на основе данных снегомерных съемок и стандартных метеорологических наблюдений на метеостанции п. Баренцбург показал, что процесс таяния начинается в конце апреля – начале мая, задолго до начала водоотдачи из него. Водоотдача из снега начинается дружно для всего водосбора, несмотря на то что водосбор расположен в различных высотных зонах. Максимальное снеготаяние происходит в конце мая – начале июня, а к первой декаде июля снег успевает стаять со всей территории водосборного бассейна, не создавая условий для положительного баланса массы ледника, что подтверждается гляциологическими наблюдениями на леднике Альдегонда, который в последние десятилетия активно деградирует.

Дальнейшее формирование стока р. Альдегонда происходит за счет таяния ледника и выпадения жидких атмосферных осадков. Режим стока воды полностью зависит от реакции ледника на метеорологические условия, при этом формируются летние и осенние паводки с расходами, превышающими расходы половодья. Осенью при снижении до нуля солнечной радиации основными факторами формирования стока являются турбулентные потоки тепла.

За исследуемый период расходы воды менялись от 0,32–2,35 м³/с (в августе–сентябре 2008 г.) до 2,23–5,59 м³/с (в июле 2004 г.) (табл. 25).

Оценки основных характеристик стока р. Альдегонда, полученные по результатам наблюдений, показали, что наиболее водным месяцем является июль. За этот месяц проходит 29 % стока. Среднегодовой гидрограф стока р. Альдегонда показан на рисунке 37.

Многолетние изменения стока р. Альдегонда показывают, что за период с 2005 по 2016 г. наблюдается увеличение стока в среднем на 800 тыс. м³ в год (рис. 38).

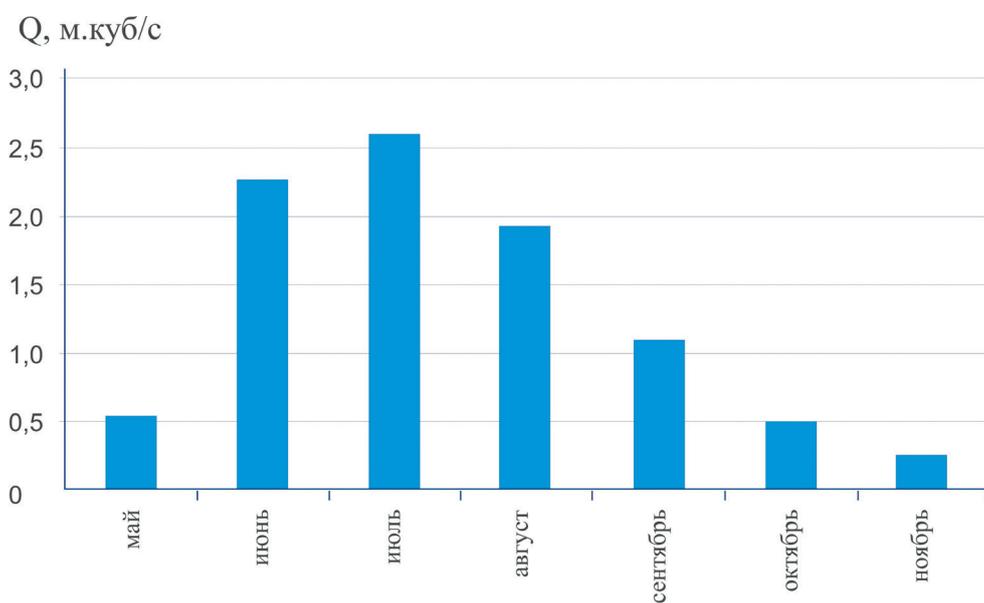


Рис. 37. Среднегодовое изменение стока р. Альдегонда

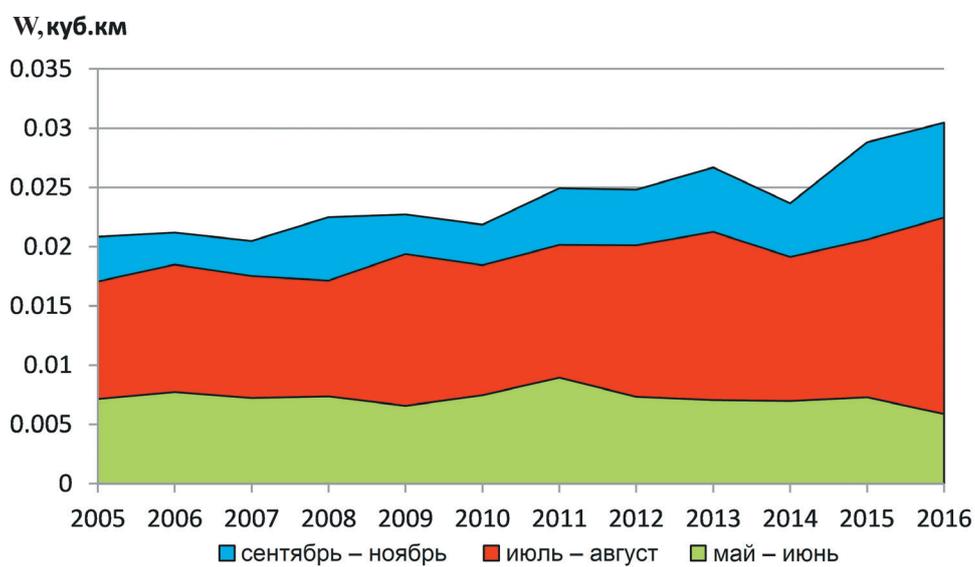


Рис. 38. Межгодовая изменчивость стока р. Альдегонда

Это происходит за счет увеличения стока в летние и осенние месяцы, когда питание реки происходит преимущественно за счет таяния ледника. Таким образом, сток с водосбора р. Альдегонда отчетливо реагирует на климатические изменения, происходящие в последнее десятилетие в районе архипелага Шпицберген, главным фактором которых является турбулентный поток тепла из атмосферы, увеличение которого ведет к усиленному таянию ледника.

Распределение стока наносов как внутри суток, так и в течение всего теплого периода года в основном определяется характером распределения стока воды. Мутность воды в р. Альдегонда в течение года существенно меняется, что связано с различной интенсивностью таяния ледника, неравномерным характером выпадения атмосферных осадков, различным состоянием почвенного и растительного покрова, влияющим на развитие эрозионных процессов на водосборе. В формировании мутности воды в р. Альдегонда преобладает склоновая эрозия.

За исследуемый период мутность воды повышалась от 98,0–554 г/м³ (2012 г.) до 11,0–5272 г/м³ (2008 г.) (табл. 25).

Сочетание осадков, сопровождающихся высокими положительными температурами, способствующими оттаиванию грунта, и большими расходами воды в реке приводит к экстремальным повышению мутности воды (1842–5272 г/м³) и повышению расхода наносов (до 10760 г/с). Это связано как со смывом почвогрунтов с поверхности водосбора, так и с увеличением размеров водотока и вовлечением в поток оттаявших грунтов. Такие экстремальные ситуации могут наблюдаться в течение всего теплого периода непосредственно перед началом холодного периода.

Река Грён протекает по плоской широкой долине, разветвляется на отдельные рукава и в период половодья несет большое количество наносов.

Для долины р. Грён характерно относительно неравномерное распределение снежного покрова по ее площади. На этом водосборе средняя высота снежного покрова значительно меньше, чем на водосборе р. Альдегонда, и составляет в среднем за период наблюдений 60 см. Высота снежного покрова, как правило, имеет двумодальное распределение, что говорит о различных условиях формирования снежного покрова на различных частях водосбора. Наибольшая средняя по водосбору высота снега – 92 см – наблюдалась в 2011 г., наименьшая – 21 см – в 2012 г.

Плотность снега на всем водосборе р. Грён за период наблюдений с 2002 по 2017 г. меняется от 0,26 до 0,43 г/см³. Обычно наиболее плотный снег располагается в нижней части водосбора. Наибольшую среднюю плотность снежный покров на водосборе имел в 2015 г. – 0,43 г/см³, наименьшую – 0,26 г/см³ – в 2016 г. Среднее многолетнее значение плотности для водосбора р. Грён составляет 0,35 г/см³ (рис. 39).

Как правило, к моменту максимального снегонакопления на почве водосбора наблюдается ледяная корка местами весьма значительной толщины – до 400 мм. Это обуславливает значительную пространственную неоднородность распределения запасов воды в снежно-ледяном покрове на этом водосборе. Межгодовая изменчивость запасов воды в снеге достаточно большая (от 131 до 396 мм). В среднем за многолетний период водозапас водосбора к моменту максимального снегонакопления составляет 253 мм.

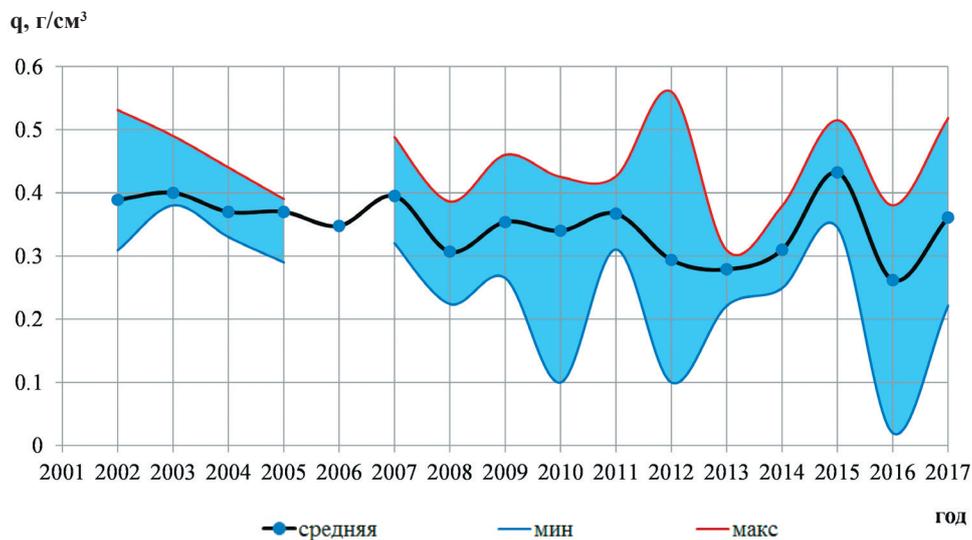


Рис. 39. Межгодовая изменчивость плотности снега на водосборе р. Грэн в период максимального снегонакопления

Исходя из данных о максимальных снеготзапасах к моменту таяния и нормах осадков для станции Баренцбург доля снегового питания в приходной составляющей водного баланса водосбора оценивается в среднем 34 %, дождевая составляющая стока – около 22 %. Существенное питание река получает за счет таяния ледников – 44 %. При этом не учитывается приток подземных вод. Оценки основных метеорологических характеристик р. Грэн, полученные по результатам наблюдений за период 2003–2017 гг., приведены в таблице 25.

За исследуемый период ширина реки менялась от 6,36–16,5 м в 2003 г. до 2,57–78,0 м в 2016 г., глубина достигала своих максимальных значений – 1,01–1,06 м – в 2005-м, 2009-м и 2014-м.

Площадь поперечного сечения по своим максимальным значениям менялась от 6,05 м² в 2008 г. до 18,1 м² в 2017 г. Размах колебаний уровня воды достигает 12 см в 2011 г. с общей тенденцией межгодовой и внутримесячной изменчивостью (рис. 40).

Для р. Грэн характерна высокая межгодовая изменчивость расходов воды, достигавшая своих минимальных значений в 2006 г. (0,04–4,24 м³/с), а максимальных – в 2005 г. (0,03–19,5 м³/с) при максимальной скорости течения 0,49–1,29 м/с.

При медленном снижении расходов мутность воды в течение длительного времени остается высокой. При одинаковых расходах летом мутность воды возрастает в результате обнажения и оттаивания пород деятельного слоя на склонах и моренных отложениях у ледников. За период с 2003 по 2016 г. по данным экспедиционных наблюдений мутность менялась от 0,18–1,10 кг/м³ (2007 г.) до 0,37–6,86 кг/м³ (2003 г.) (табл. 25).

Прохождение паводков на реке вызывает повышение мутности до очень высоких значений, иногда превышающих максимальную мутность на пике половодья.

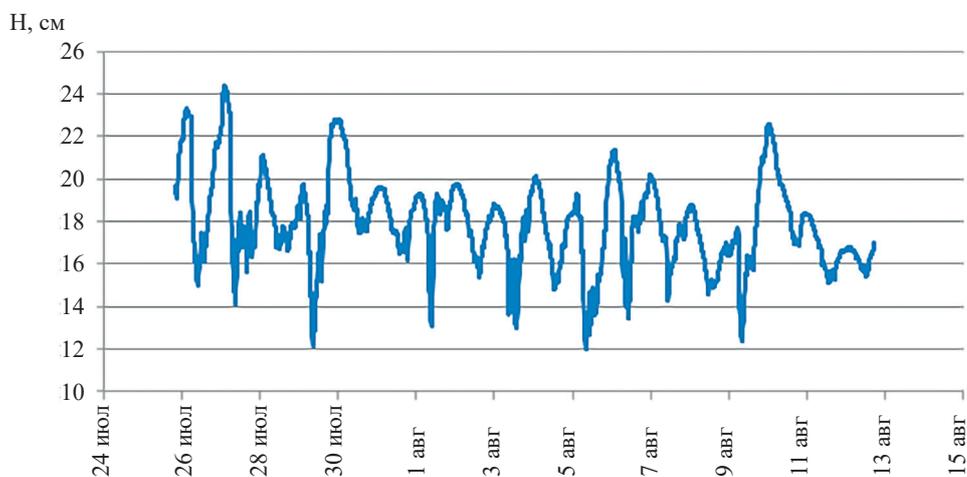


Рис. 40. Суточный ход уровня р. Грэн в 2011 г. [Приложение, п. 12]

Приледниковая зона служит одним из основных поставщиков взвешенных наносов, максимальные значения которых за исследуемый период достигали 90,8 кг/см в 2005 и 2009 г. Приведенные исследования показывают, что наибольшую мутность воды р. Грэн имеют в июне, за этот месяц выносятся более 15 % взвешенных наносов. Всего, по неполным данным, рекой Грэн за год выносятся более 90 тыс. т взвешенных наносов. Необходимо дальнейшее изучение стока воды и наносов этой реки в течение всего гидрологического цикла.

Река Бретьерна вытекает из одноименного приледникового озера. Ширина реки за исследуемый период менялась от 8,0–15,5 м (2016 г.) до 15,4–32,4 м (2011 г.), а максимальная глубина не превышала 1,0 м. Площадь водного сечения менялась в пределах 1,13–13,0 м² при максимальной скорости течения 1,29–2,30 м/с. Расход воды менялся от 0,99–7,16 м³/с в 2008 г. до 2,45–14,0 м³/с в августе 2010 г. Вода в реке мутная, показатель в отдельные периоды достигал 0,89 кг/м³ (табл. 25).

За период июль–сентябрь река выносит от 5,0 до 10200 г/с взвешенного вещества. Сток реки регулируется озером Бретьерна.

Река Грэнфьорд на расстоянии выше 1 км от залива Грэнфьорд меняет свою ширину от 5,3–12,8 м в 2008 г. до 8,9–46,8 м в 2017 г. при максимальной глубине 0,65–1,97 м и площади водного сечения 0,70–13,5 м² (табл. 25). Скорость течения за исследуемый период менялась по своим максимальным значениям в пределах 0,35–1,87 м/с (2009 г.). Мутность воды колебалась от 198–696 г/с³ в 2014 г. до 0,23–2,58 кг/м³ в 2005 г., достигая своих максимальных значений во время прохождения дождевых паводков.

В период летней межени р. Грэнфьорд выносит от 0,004 до 14,0 кг взвешенных наносов в секунду.

Река Конгресс шириной 4,00–9,00 м, максимальной глубиной 0,16–0,60 м и площадью водного сечения 0,37–2,45 м², несмотря на отсутствие ледников на водосборе, подвержена по водности суточным, месячным и годовым колебаниям. Максимальный диапазон колебания расходов воды составлял 0,170–

3,94 м³/с в 2005 г., а минимальный – 0,20–0,54 м³/с в 2011 г. Изменчивость скорости течения довольно значительна и в среднем составляет 0,21–1,25 м/с.

Эта река также отличается низкими значениями мутности воды (0,20–13,5 г/м³). Максимальная измеренная мутность – 0,60 кг/м³ (2016 г.). Расход наносов в р. Конгресс очень небольшой (0,14–22,70 г/с).

Эпизодические наблюдения на реках **Колес**, **Эльза**, **Брюде** начаты экспедицией ААНИИ в 2003 г. и относятся к периоду летней межени (табл. 25).

За исследуемый период параметры этих рек менялись:

– по ширине: от 15,6 до 59,5 м для р. Колес; от 5,00–6,00 до 1,25–19,7 м для р. Эльза и от 5,2–8,0 м до 10,3–14,1 м для р. Брюде;

– максимальной глубине: 0,35–0,37 м до 0,70–0,88 м для р. Колес; от 0,12–0,41 м до 0,05–0,58 м для р. Эльза и от 0,32–0,39 м до 0,16–0,71 м для р. Брюде;

– площади водного сечения: от 4,28–4,97 м² до 13,1 м² для р. Колес; от 0,06–1,83 м² до 0,14–3,25 м² для р. Эльза и от 0,48–2,07 м² до 1,20–3,33 м² для р. Брюде;

– максимальной скорости течения от 0,56–0,72 м/с до 0,56–1,31 м/с для р. Колес; от 1,56–1,77 м/с до 0,05–2,64 м/с для р. Эльза и от 0,30–2,16 м/с до 0,72–1,41 м/с для р. Брюде.

Расходы воды в р. Колес в 2017 г. составили 1,95–17,6 м³/с, тогда как в р. Эльза они колебались за исследуемый период в пределах 0,01–4,19 м³/с. Максимально зарегистрированный расход воды составил 4,19 м³/с в 2015 г. в р. Эльза. Расход воды в р. Брюде изменялся в диапазоне 0,10–2,88 м³/с.

Мутность в р. Колес невысокая (35,1–1216 г/м³), тогда как в р. Эльза ее максимальные значения достигали в 2014 г. и 2016 г. 6,62–7,54 кг/м³. Столь же высок в р. Эльза расход взвешенных наносов, где максимальные его значения достигали 14,9–15,5 кг/с в 2014 г. и 2016 г. (табл. 25).

Необходимо отметить, что вследствие некоторых обстоятельств, в том числе достаточно редких наблюдений и короткого их периода, не получилось охватить наблюдениями все фазы водного режима и, соответственно, полной амплитуды колебаний наблюдаемых величин.

В результате этих и некоторых других причин не удалось получить надежных кривых зависимостей как расходов воды от уровней, так и расходов взвешенных наносов от расходов воды, что, в свою очередь, позволило получить лишь приближенные количественные оценки наблюдаемых характеристик, но дающие представление об их изменениях в течение периода произведенных наблюдений.

4.2. Многолетняя изменчивость компонентного состава водной среды

Компонентный состав природных вод представляет собой сложный комплекс растворенных газов, различных минеральных солей и органических соединений.

Сложность состава природных вод определяется не только присутствием большого числа химических элементов, но и различным соотношением элементов в разных типах вод, а также разнообразием форм каждого элемента (простые и сложные ионы, комплексные соединения минеральных и органических веществ) [19, 52, 69].

Компонентный состав природных вод условно делится [4]:

- на главные ионы (макрокомпоненты) – ионы калия, натрия, магния, кальция, хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты и карбонаты;
- растворенные газы – кислород, азот, сероводород, диоксид углерода и др.;
- биогенные вещества – соединения азота, фосфора, железа и кремния;
- органические вещества, относящиеся к органическим кислотам, сложным эфирам, фенолам, гумусовым веществам, азотсодержащим соединениям и др.;
- микроэлементы (микрокомпоненты) – все металлы, кроме главных ионов, а также другие компоненты, содержащиеся в воде в небольших количествах;
- загрязняющие вещества, включающие в себя нефтепродукты, фенолы, пестициды, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), детергенты и др.

Перечисленные выше параметры используются для классификации вод:

- по минерализации и преобладанию тех или иных ионов;
- оценке обеспеченности водной экосистемы питательными веществами, необходимыми для развития гидробиоценоза;
- степени загрязненности водной среды и ее соответствии требованиям конкретных водопотребителей и водопользователей.

В гидрохимии широко распространено понятие «минерализация воды», под которой понимают общее содержание всех найденных при анализе минеральных веществ. По значениям минерализации воды происходит деление на группы [1]:

- с очень малой минерализацией (до 100 мг/л);
- малой минерализацией (до 200 мг/л);
- средней минерализацией (200–500 мг/л);
- повышенной минерализацией (500–1000 мг/л);
- высокой минерализацией (более 1000 мг/л).

Концентрация ионов водорода является важнейшей характеристикой природных вод, так как ионы водорода играют исключительную роль в гидрохимических процессах.

Из-за малого содержания в водной среде концентрацию ионов водорода принято выражать в виде логарифма, взятого с обратным знаком ($pH = \lg[H^+]$).

Природные воды в зависимости от pH принято делить на семь групп:

- 1) сильнокислые воды ($pH < 3,0$);
- 2) кислые воды ($pH 3,0-5,0$);
- 3) слабокислые воды ($pH 5,0-6,5$);
- 4) нейтральные воды ($pH 6,5-7,5$);
- 5) слабощелочные воды ($pH 7,5-8,5$);
- 6) щелочные воды ($pH 8,5-9,5$);
- 7) сильнощелочные воды ($pH > 9,5$).

До недавнего времени при оценке возможных путей формирования состава водных экосистем и их загрязнения основная трудность на фоне крайне скудной информации о физико-географических, геологических, метеорологических особенностях о. Западный Шпицберген заключалась в отсутствии

информации о компонентном составе водной среды пресноводных экосистем архипелага.

Поэтому важной составляющей гидролого-гидрохимических работ экспедиции ААНИИ на водных объектах бассейна залива Грэнфьорд, является ведение наблюдений за химическим составом поверхностных вод, колебаниями и тенденциями его изменчивости. В период действия экспедиции отбирались пробы воды на проведение анализов для определения содержания и изменения в течение полевых сезонов общего углерода, неорганического углерода, общего азота, органического углерода, катионов и кремния общего. Велись наблюдения за изменением величин рН, удельной электропроводности воды и растворенного кислорода.

Вследствие различных причин, в числе которых можно назвать отсутствие в ГМО Баренцбург достаточной для проведения полноценных гидрохимических работ приборной базы, сложности по транспортировке в Санкт-Петербург отобранных проб воды и удаленности самого архипелага, полноценные наблюдения за химическим стоком воды стали возможны лишь после начала функционирования РНЦШ и с организацией в его инфраструктуре химико-аналитической лаборатории, т. е. начиная с 2014 г. С этого момента наблюдения за содержанием химических элементов в пресной воде и его изменениях приобрели системный характер, как по количеству определяемых показателей, так и по частоте производимого пробоотбора.

Отбор проб воды и транспортировка в химико-аналитическую лабораторию РНЦШ проводилось согласно ГОСТ 17.1.5.05-85 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков» и ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб».

Определение мутности воды выполнялось согласно РД 52.08.104-2002 «Мутность воды. Методика выполнения измерений», дополнительно мутность воды определялась с помощью портативного микропроцессорного турбидиметра Hanna HI 98703 в единицах STU.

Определение водородного показателя рН и удельной электропроводности проводилось с помощью рН-метра Mettler Toledo S220-Kit, кондуктометра Mettler Toledo S230-Kit и портативного кондуктометра WTW Cond 3110 SETI согласно РД 52.24.495-2005 «Водородный показатель и удельная электрическая проводимость вод. Методика выполнения измерений электротермическим методом».

Определение общей щелочности и концентрации гидрокарбонатов выполнялось на автоматическом титраторе Mettler Toledo Titration Excellent T70 согласно ГОСТ Р 52963-2008 «Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов».

Определение содержания кремния выполнялось фотометрическим методом на спектрофотометре Shimadzu UV-1800 по методике ПНД Ф 14.1:2.215-06 «Методика выполнения измерений массовой концентрации кремнекислоты в пересчете на кремний в пробах природных и сточных вод фотометрическим методом».

Измерение катионов (Ca , Mg , K , NH_4) и анионов (F , Cl , NO_2 , Br , NO_3 , PO_4 , SO_4) выполнялось на ионном хроматографе Shimadzu согласно методике М-02-

1805-09 «Методика выполнения измерений массовой концентрации нитрит, нитрат, хлорид, фторид, бромид, сульфат, фосфат ионов в пробах природной, питьевой и сточной воды методом ионной хроматографии».

Определение концентраций общего и неорганического углерода, а также общего азота выполнялось с помощью анализатора углерода и общего азота Shimadzu TOC, согласно методике М-02-2405-13 «Методика измерений массовой концентрации общего углерода, общего неорганического углерода, общего органического углерода, нелетучего (не удаляемого продувкой) органического углерода и общего азота в питьевых, природных (в том числе подземных), сточных и технологических водах с помощью анализатора TOC (Shimadzu)».

Анализируя результаты проведенных экспедиционных наблюдений по перечисленным выше показателям компонентного состава водной среды исследуемых пресноводных экосистем, представляется возможность впервые оценить вероятные пути формирования их гидрохимического режима и современного состояния.

4.2.1. Речные экосистемы

Речные экосистемы, пожалуй, самые сложные из всех поверхностных водных объектов суши. Они характеризуются наибольшим количеством факторов и процессов, которые формируют химико-биологическое состояние и экологическое благополучие этих природных объектов [70, 71].

Говоря о многочисленных факторах и процессах, формирующих химический состав вод и режим речных экосистем, напомним главные особенности и специфику этих процессов:

- вода в реке находится в непрерывном движении, поэтому в каждый момент времени ее химический состав отражает не только результат контакта с породами и минералами в том месте, где отбирается проба, но и является результатом взаимодействия с таковыми выше по течению реки;
- химический состав речных вод не является постоянным ни в пространстве, ни во времени;
- испарение способно лишь незначительно изменять состав речных вод;
- климатические факторы являются одними из ключевых в формировании зональности речных вод, гидрохимического режима и интенсивности химико-биологических процессов;
- активное взаимодействие речных вод с атмосферой, наряду с турбулентностью, определяет режим растворенных газов в водном потоке;
- влияние водосборной площади на всем протяжении реки в части формирования химического состава вод невозможно переоценить.

Поэтому речные воды отличаются малой минерализацией, быстрой сменой компонентного состава под воздействием гидрометеорологических условий и присутствием в водной среде газов атмосферного происхождения.

От количества выпадающих атмосферных осадков, интенсивности таяния снега и скорости течения зависит характер питания реки, что и определяет специфику компонентного состава речных вод [69].

Перечисленные выше особенности гидрохимического режима речных вод характеризуют условия его трансформации непосредственно в русле. Однако фактически формирование компонентного состава водной среды рек зависит не только от процессов, протекающих в самой реке, но в значительной мере

и от процессов, протекающих на водосборной площади (поступление поверхностных, грунтовых, дождевых и сточных вод).

При этом главной особенностью речных вод является исключительно высокая (после атмосферной влаги) активность водообмена [52].

Река Альдегонда. Водосборный бассейн р. Альдегонда расположен на западном побережье залива Грэнфьорд. Общая площадь водосбора – 9,4 км². Значительную часть речного бассейна занимает ледник Альдегонда, при этом степень оледенения бассейна составляет 70,2 %. По мере отступления края ледника длина р. Альдегонда с каждым годом увеличивается и по данным 2008 г. составляет 2,1 км. Река протекает по моренному комплексу, в нее впадает несколько притоков, вытекающих из озер, расположенных на морене ледника Альдегонда. Мощность моренных отложений не превышает десяти метров, ниже залегают коренные породы. Несмотря на достаточно большой уклон – 0,04 ‰ русла, река в среднем и нижнем течении имеет стабильное русло. Дно гравийно-галечное.

Анализируя приведенные в таблице 26 результаты межгодовой изменчивости физико-химических показателей компонентного состава водной среды, можно отметить, что воды р. Альдегонда имеют слабощелочную реакцию среды. Но в 2005 г. были зафиксированы крайние значения рН 6,80–9,55.

Таблица 26

Межгодовая изменчивость физико-химических показателей в водной среде р. Альдегонда

Показатель	Диапазон значений по годам					
	2001	2004	2005	2008	2009	2010
рН	7,07	7,37	6,80–9,55	7,32–8,34	7,49–7,76	7,87–8,18
Eh _{mv}	240	–	–	–	–	–
УЭП, μS/см	–	–	–	–	–	–
Кислород	мг/л	9,10	–	4,17–9,40	–	–
	%	–	–	43,5–76,2	–	–

Показатель	Диапазон значений по годам					
	2011	2012	2014	2015	2016	2017
рН	7,40–8,07	7,64–7,98	7,62–8,72	7,16–8,43	–	–
Eh _{mv}	–	–	–	–	–	–
УЭП, μS/см	65,8–89,4	74,0–282	83,9–494	78,1–177	78,0–429	197–342
Кислород	мг/л	–	–	–	–	–
	%	–	–	–	–	–

В зависимости от времени наблюдений речная вода слабо и средне минерализована. Значения электропроводности изменяются в пределах от 65,8–89,4 μS/см (2011 г.) до 83,9–494 μS/см (2014 г.). Высокие значения электропроводности отмечены в периоды низкого стока воды.

Общая щелочность воды – показатель количественной оценки свойств водной среды реагировать с ионами водорода.

В р. Альдегонда значения общей щелочности в период наблюдений изменялись в пределах от 0,050 до 1,08 мМоль/л (табл. 27), а общая минерализация – в пределах 33–126 мг/л.

Таблица 27

Межгодовая изменчивость концентрации главных ионов и общей щелочности в водной среде р. Альдегонда

Ингредиент	Диапазон концентрации по годам, мг/л					
	2001	2004	2014	2015	2016	2017
Кальций Ca^{2+}	–	14,7	21,3–46,0	11,9–68,2	13,3–64,4	12,3–92,0
Магний Mg^{2+}	–	5,10	2,74–9,62	1,39–13,5	1,23–12,8	1,48–17,4
Натрий Na^+	0,23	1,30	–	–	0,64–6,28	н.о.*–7,60
Калий K^+	–	–	0,32–1,00	0,50–1,58	0,10–2,40	0,21–2,95
Гидрокарбонаты HCO_3^-	–	48,2	–	30,6–108	31,9–73,9	35,2–52,3
Сульфаты SO_4^{2-}	–	15,1	24,7–106	3,74–149	5,35–149	6,76–123
Хлориды Cl^-	0,89	1,10	1,14–4,14	1,77–5,45	0,84–4,41	0,81–13,9
Общая щелочность, мМоль/л	–	–	–	0,59–1,08	0,05–0,90	–

Примечание: *н.о. – ниже предела обнаружения.

Кислород при отсутствии на реках ледяного покрова обычно повышается до 10–12 мг/л за счет фотосинтетической деятельности водных растений. В зимний период под ледяным покровом усиливается роль грунтового питания подземными водами, которые бедны кислородом.

В период экспедиционных исследований, захватывающий июнь–сентябрь, содержание кислорода в водной среде р. Альдегонда менялось от 4,17 мг/л до 9,40 мг/л (43–76 % насыщения).

Речные воды с малой и средней минерализацией являются гидрокарбонатными кальциевыми или, реже, гидрокарбонатными магниевыми-кальциевыми со следующим порядковым расположением главных ионов [69]:

- $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$;
- $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$.

Приведенные в таблице 27 результаты обобщения экспедиционных наблюдений по межгодовой изменчивости в водной среде р. Альдегонда главных ионов позволяют сделать следующее порядковое расположение для:

- анионов:
- SO_4^{2-} (3,74–149 мг/л);
- HCO_3^- (30,6–108 мг/л);
- Cl^- (0,81–13,9 мг/л);

– катионов:

Ca^{2+} (11,9–92,0 мг/л);

Mg^{2+} (1,23–17,4 мг/л);

Na^+ (0,23–7,60 мг/л);

K^+ (0,10–2,95 мг/л).

В исследуемые периоды воды р. Альдегонда относятся к сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевым.

Такую ранжировку главных ионов следует, вероятно, объяснить тем, что основное питание водотока осуществляется за счет таяния снега (или льда), в воде которого отмечено содержание сульфатов, что объясняется рядом причин, из которых можно выделить следующие две:

– вода дренирует осадочными породами, содержащими соответствующие ионы;

– снег, питающий водоток, покрывает территорию, подверженную, хотя и в небольшой степени, антропогенному влиянию.

Проведенный в 2015 г. корреляционный анализ зависимости концентрации химических веществ от величины расхода воды показал, что практически по всем главным ионам прослеживается четко обратная зависимость между расходом и концентрацией, т. е. чем интенсивнее сток, тем меньше содержание того или иного элемента в воде (коэффициент корреляции более $-0,5$). Лучше всего коррелируют содержания сульфатов, калия и магния (рис. 41).

К числу биогенных компонентов, присутствующих в речных водах, относятся соединения азота и фосфора. Из соединений азота для рек наиболее характерны нитраты, поскольку воды рек хорошо аэрированы, а нитритный ион и аммоний в этих условиях неустойчивы. Концентрация нитратов обычно колеблется в пределах 0,10–0,50 мг/л.

Высокие концентрации обычно обусловлены загрязнением. Концентрация аммонийных и нитритных ионов обычно составляет сотые, реже – десятые доли миллиграмма на литр.

Концентрация фосфатных ионов обычно не превышает 0,10–0,50 мг/л и часто составляет лишь сотые и тысячные доли миллиграмма на литр. Более высокие концентрации обусловлены их поступлением с удобрениями, а минимальные – с вегетационным периодом.

Приведенные в таблице 28 обобщенные результаты позволяют заключить, что р. Альдегонда характеризуется малым содержанием биогенных веществ. Так, концентрации общего азота, нитритов, фосфатов, аммония часто находятся за пределами чувствительности метода измерений – менее 0,20 мг/л, менее 0,05 мг/л, менее 0,05 мг/л, менее 0,25 мг/л соответственно.

За исследуемый период диапазон колебания концентрации биогенных веществ составил:

– по азоту аммонийному – н.о.–0,28 мг/л;

– азоту нитритному – н.о.–0,22 мг/л;

– азоту нитратному – 0,08–1,18 мг/л;

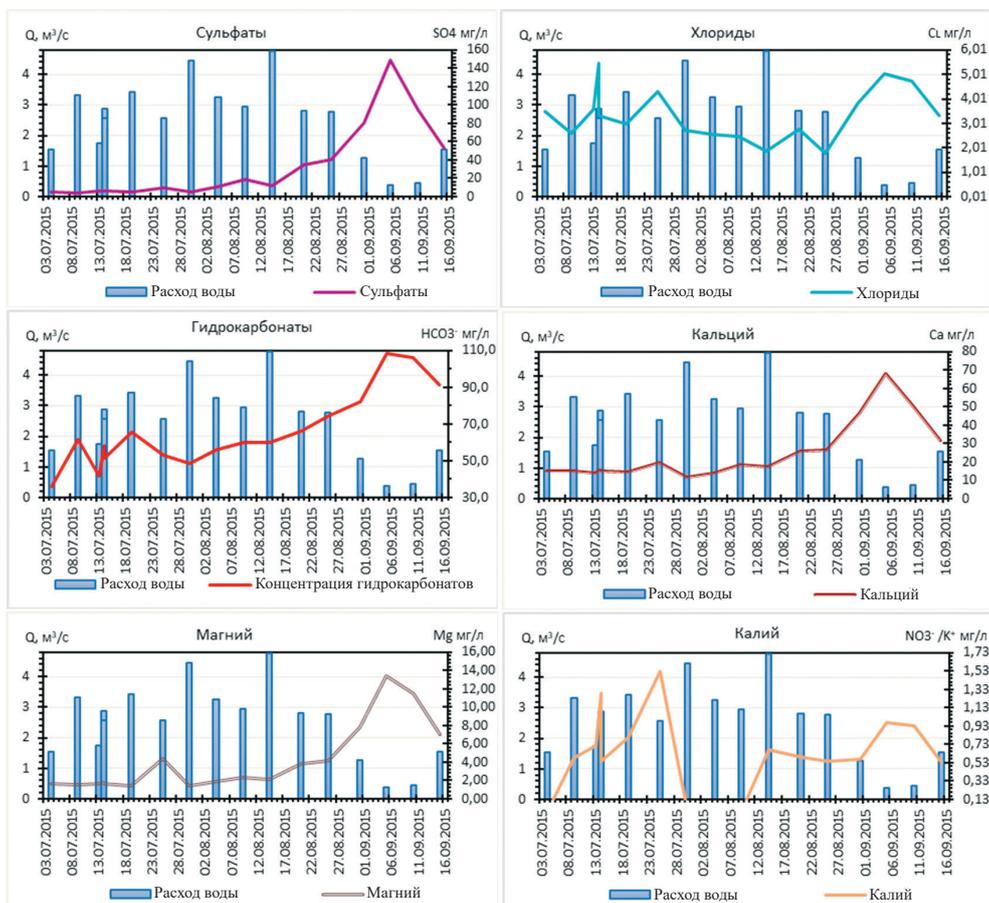


Рис. 41. Зависимость концентрации главных ионов от расходов воды в р. Альдегонда в июле–сентябре 2015 г.

- азоту общему – $< 0,05$ – $0,510$ мг/л;
- фосфатам – н.о.– $0,10$, общему фосфору – н.о.– $0,054$ мг/л.

Максимальная концентрация кремния достигала $1,24$ – $2,50$ мг/л. Содержание нитратов и кремния сильно зависит от расходов воды.

Содержание микрокомпонентов, которые представлены типичными анионами – фториды (F^-) и бромиды (Br^-), очень невелико. Концентрация бромидов варьировала в пределах н.о.– $0,10$ мг/л, реже – н.о.– $0,76$ мг/л, а фторидов – $0,010$ – $0,073$ мг/л, реже – до $0,230$ мг/л (табл. 29).

За исследуемый период содержание общего углерода изменилось от $7,61$ – $10,8$ мг/л до $11,1$ – $20,6$ мг/л. Большую его часть составляет неорганический углерод (от $6,68$ – $10,0$ мг/л до $9,77$ – $18,9$ мг/л), что свидетельствует о крайне низком содержании органических веществ в водотоке. Содержание углерода четко коррелируется со стоком реки.

Таблица 28

**Межгодовая изменчивость концентрации биогенных веществ
в водной среде р. Альдегонда**

Ингредиент	Диапазон концентрации по годам, мг/л						
	2001	2004	2014	2015	2016	2017	
Азот	аммонийный	н.о.	0,013–0,060	н.о.	< 0,25	< 0,25	н.о.–0,28
	нитритный	н.о.	≤ 0,002	< 0,05	< 0,05	< 0,05	н.о.–0,22
	нитратный	0,12	≤ 0,005	0,22–0,60	0,08–0,63	0,08–0,53	< 0,08–1,18
	общий	0,80	0,055–0,170	< 0,20	< 0,20	0,066–0,179	0,030–0,510
Фосфор	фосфатный	н.о.	–	н.о.	< 0,05	< 0,10	< 0,10
	общий	н.о.	0,010–0,054	–	–	–	–
Кремний		2,50	0,210	–	0,330–1,24	0,290–1,58	0,168–1,41

Проводимый в периоды экспедиционных исследований анализ ледниковой воды, показал, что с ледника Альдегонда течет слабоминерализованная, нейтральная по рН вода, которая в процессе своего пути вымывает из подстилающей породы различные химические вещества, внося тем самым, помимо других факторов, значительный вклад в гидрохимический режим водотока, так как ледник является основным источником питания р. Альдегонда.

Таблица 29

**Межгодовая изменчивость содержания углерода, бромидов и фторидов
в водной среде р. Альдегонда**

Ингредиент	Диапазон концентрации по годам, мг/л				
	2014	2015	2016	2017	
Углерод	общий	11,1–20,6	8,08–17,5	6,72–14,3	7,61–10,8
	неорганический	9,77–18,9	7,45–16,6	6,06–14,0	6,68–10,0
	органический	1,35–2,08	0,36–1,37	0,43–3,28	0,16–1,93
Фториды		0,019–0,035	0,010–0,032	0,020–0,073	н.о.–0,230
Бромиды		< 0,08	< 0,08	0,05–0,10	н.о.–0,76

Река Грён. Река Грён довольно протяженный водоток. Длина достигает порядка 22 км до места впадения в залив Грёнфьорд. Площадь водосборного бассейна 98 км². Река Грён берет начало с ледника Тавле. Оледенение занимает 13 % площади водосбора реки. В верховье река течет в узком каньоне. В месте впадения первого большого притока долина расширяется и переходит в классическую троговую.

На гидрохимический режим ее вод оказывает влияние большое количество разных факторов, в том числе множество впадающих с гор водотоков. Высота склонов достигает 925 м.

Анализируя приведенные в таблице 30 результаты межгодовой изменчивости физико-химических показателей компонентного состава водной среды, можно отметить, что воды р. Грён имеют слабощелочную реакцию среды. Диапазон колебания значения рН составлял 6,74–8,09.

Таблица 30

Межгодовая изменчивость физико-химических показателей в водной среде р. Грён

Показатель		Диапазон значений по годам				
		2005	2008	2009	2010	2011
рН		6,93–7,89	7,18–7,60	7,54–7,86	7,73–8,09	7,28–7,63
УЭП, $\mu\text{S}/\text{см}$		100–103	–	–	233–546	209–320
Кислород	мг/л	7,24	–	–	–	10,1–12,2
	%	62,4	–	–	–	94,5–102

Показатель		Диапазон значений по годам				
		2012	2014	2015	2016	2017
рН		7,48–7,93	7,14–7,93	7,08–7,83	6,74–7,74	–
УЭП, $\mu\text{S}/\text{см}$		225–598	176–945	187–889	231–1139	521–669
Кислород	мг/л	–	–	–	–	–
	%	–	–	–	–	–

Крайне редко фиксируемые низкие значения рН (4,79 в нефilterованной пробе) свидетельствует, либо о значительном вкладе в формирование состава шахтных вод, характеризующихся низкой величиной рН, либо о фильтрации через гипсовые залежи.

Минерализация изменяется в широких пределах в зависимости от времени наблюдений. Значения УЭП на протяжении сезонов 2010–2016 гг. изменялись от 176 $\mu\text{S}/\text{см}$ до 1139 $\mu\text{S}/\text{см}$. Определенная в 2011 г. и 2012 г. общая минерализация колебалась от 56,0–142 мг/л до 101–267 мг/л.

Насыщение водной среды кислородом довольно высокое (62,4–102 %).

Обобщение экспедиционных наблюдений по межгодовой изменчивости в водной среде р. Грён главных ионов (табл. 31) позволяет сделать следующее порядковое расположение для:

– анионов:

SO_4^{2-} (34,0–480 мг/л);

HCO_3^- (14,9–80,3 мг/л);

Cl^- (1,67–46,2 мг/л);

– катионов:

Ca^{2+} (7,00–140 мг/л);

Mg^{2+} (2,80–86,7 мг/л);

Na^+ (5,30–53,5 мг/л);

K^+ (0,93–4,15 мг/л).

Таблица 31

**Межгодовая изменчивость концентрации главных ионов
и общей щелочности в водной среде р. Грён**

Ингредиент	Диапазон концентрации по годам, мг/л				
	2004	2014	2015	2016	2017
Кальций Ca^{2+}	11,1	59,7–140	7,00–83,6	18,8–89,3	17,7–104
Магний Mg^{2+}	6,40	34,6–41,0	2,80–48,1	11,9–64,8	11,9–86,7
Натрий Na^+	5,30	–	–	10,1–53,5	5,33–41,1
Калий K^+	–	2,11–2,15	1,13–2,62	0,93–2,73	1,29–4,15
Гидрокарбонаты HCO_3^-	< 2,0	–	14,9–80,3	21,1–68,0	19,0–50,3
Сульфаты SO_4^{2-}	36,1	344–355	34,0–362	71,0–468	97,2–480
Хлориды Cl^-	2,30	7,66–39,2	3,34–45,8	1,67–46,2	2,92–30,8
Общая щелочность, мМоль/л	–	–	0,244–1,32	0,050– 0,794	–

По классификации О. А. Алёкина воды р. Грён можно отнести к классу сульфатных вод, группы кальция второго типа.

Приведенные в таблице 32 результаты межгодовой изменчивости азот-, фосфор- и кремнийсодержащих соединений позволяет обратить внимание на низкое содержание в водной среде рек азота аммонийного и нитритного и фосфатных ионов на фоне периодического накопления нитратных (до 2,43–4,03 мг/л) и фосфатных (до 1,19–2,75 мг/л) ионов.

Таблица 32

Межгодовая изменчивость концентрации биогенных веществ в водной среде р. Грён

Ингредиент		Диапазон концентрации по годам, мг/л			
		2004	2011	2012	2014
Азот	аммонийный	0,028–0,072	–	–	н.о.
	нитритный	0,003	н.о.	н.о.–0,01	< 0,05
	нитратный	н.о.	н.о.	1,10–1,78	1,18–1,79
	общий	–	–	–	–
Фосфор	фосфатный	–	н.о.–0,05	1,19–2,75	н.о.
	общий	0,211–0,371	–	–	0,281–0,442
Кремний		0,680	0,890–1,93	2,20	–

Ингредиент		Диапазон концентрации по годам, мг/л		
		2015	2016	2017
Азот	аммонийный	–	< 0,25	н.о.–0,29
	нитритный	–	< 0,05	н.о.–0,05
	нитратный	0,17–2,73	0,07–4,03	0,62–2,43
	общий	0,230–0,650	0,107–0,904	0,050–0,230
Фосфор	фосфатный	–	< 0,10	< 0,10
	общий	–	–	–
Кремний		0,880–2,08	0,790–2,87	0,266–2,13

Диапазон колебания концентрации кремния довольно широкий, с максимальными значениями до 2,08–2,87 мг/л.

Повышение концентрации вышеперечисленных показателей наблюдается, в первую очередь, при уменьшении расходов воды в осенний период (рис. 42).

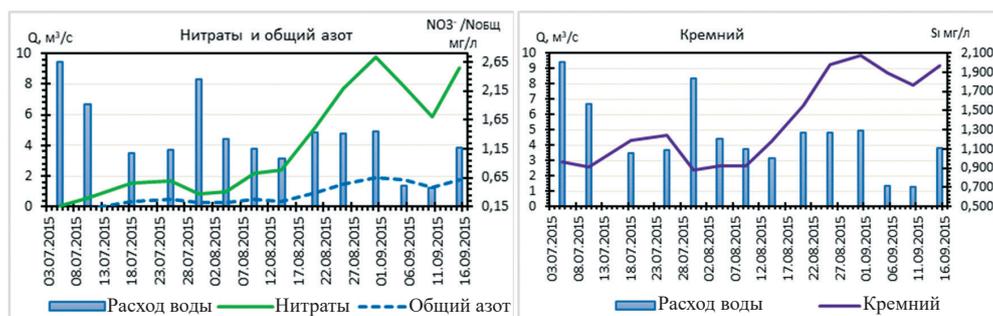


Рис. 42. Временная изменчивость концентрации биогенных веществ в воде р. Грэн в 2015 г.

В исследуемые периоды 2014–2017 гг. содержание общего углерода в реке менялось в пределах 3,55–13,6 мг/л (табл. 33). Большую его часть составляет неорганический углерод (3,61–12,9 мг/л), что указывает на малое содержание в водной среде реки углеродосодержащих органических соединений.

Содержание микрокомпонентов, которые представлены фторидами и бромидами, довольно изменчиво. Если в 2015 и 2016 гг. концентрация бромидов была ниже предела обнаружения, то в 2017 г. она повысилась до 0,59–1,20 мг/л (табл. 33).

Таблица 33

Межгодовая изменчивость содержания углеродосодержащих соединений, фторидов и бромидов в водной среде р. Грэн

Ингредиент		Диапазон концентрации по годам, мг/л				
		2004	2014	2015	2016	2017
Углерод	общий	–	12,6	3,55–13,2	4,72–13,6	4,42–9,82
	неорганический	–	10,3–11,1	4,88–12,1	4,00–12,9	3,61–9,71
	органический	–	1,50–1,58	0,70–1,15	0,53–2,95	0,21–1,59
Фториды		0,150–0,186	–	0,050–0,100	0,094–0,210	0,140–0,580
Бромиды		0,19–0,114	–	< 0,08	< 0,05 < 0,08	0,590–1,20

Максимальная концентрация фторидов изменялась от 0,100 до 0,580 мг/л.

Временная изменчивость концентрации этих соединений отчетливо показывает определяющую роль в ее изменчивости динамики расходов воды (рис. 43).

Река Бретьёрна. Экспедиционные наблюдения, проведенные в протоке из озера в 2003–2017 гг., позволяют дать общую гидрохимическую характеристику р. Бретьёрна по особенностям компонентного состава ее водной среды.

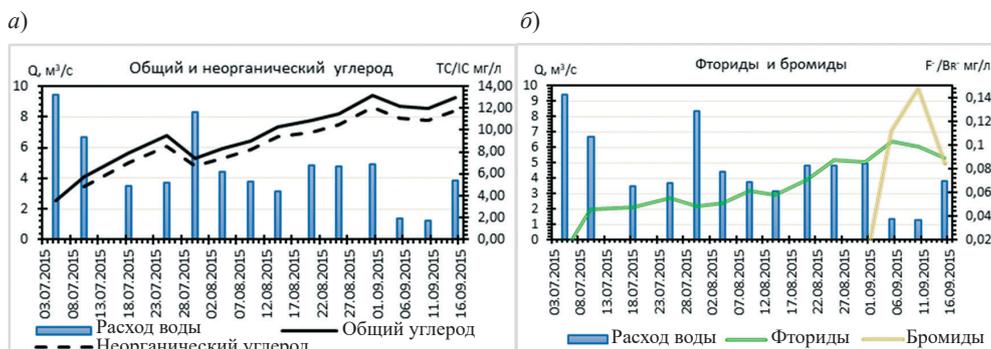


Рис. 43. Изменчивость расходов воды, углеродосодержащих соединений (а) и фторидов и бромидов (б) в р. Грэн в 2015 г.

Результаты, приведенные в таблице 34, показывают, что реакция среды преимущественно слабощелочная при диапазоне колебания рН в пределах 7,36–7,83 ед. рН в 2008 г. и 6,60–8,42 ед. рН в 2016 г. Река мало минерализована. Удельная электропроводность менялась от 96–126 $\mu\text{S}/\text{cm}$ в 2011 г. до 121–351 $\mu\text{S}/\text{cm}$ в 2014 г.

Таблица 34

Межгодовая изменчивость физико-химических показателей в водной среде р. Бретьяна

Показатель	Диапазон значений по годам							
	2008	2009	2010	2011	2012	2014	2015	2016
рН	7,36–7,83	–	7,91–8,08	7,69–8,01	7,47–8,08	7,99–8,44	6,96–8,27	6,60–8,42
УЭП, $\mu\text{S}/\text{cm}$	–	–	–	96–126	136–184	121–351	154–199	91,4–155

Определяемая в 2010–2012 гг. общая минерализация увеличивалась от 43,0–56,0 мг/л (2011 г.) до 77,1–122 мг/л (2010 г.).

Приведенные в таблице 35 результаты наблюдений за межгодовой изменчивостью в водной среде реки главных ионов позволяют сделать следующее порядковое расположение для:

– анионов:

HCO_3^- (33,2–64,4 мг/л);

SO_4^{2-} (8,81–47,1 мг/л);

Cl^- (1,30–7,02 мг/л);

– катионов:

Ca^{2+} (11,7–36,1 мг/л);

Na^+ (1,40–24,2 мг/л);

**Межгодовая изменчивость концентрации
главных ионов и общей щелочности в водной среде р. Бретьёрна**

Ингредиент	Диапазон концентрации по годам, мг/л			
	2014	2015	2016	2017
Кальций Ca^{2+}	26,7–36,1	17,2–27,2	11,7–23,1	15,5–27,2
Магний Mg^{2+}	4,58	3,84–5,90	1,53–7,08	6,49–19,8
Натрий Na^+	–	–	1,40–4,01	3,17–24,2
Калий K^+	0,634	0,50–1,81	0,30–2,47	0,53–3,48
Гидрокарбонаты HCO_3^-	–	52,0–64,4	33,2–48,8	–
Сульфаты SO_4^{2-}	42,0	23,0–40,6	8,81–44,7	47,1
Хлориды Cl^-	2,05–2,20	1,30–7,02	1,30–6,13	–
Общая щелочность, мМоль/л	–	0,90–1,01	0,05–0,29	–

Mg^{2+} (1,53–19,8 мг/л);

K^+ (0,30–3,48 мг/л).

По классификации О. А. Алёкина воды реки относятся к классу гидрокарбонатных, группы кальция второго типа.

Общая щелочность в 2015–2016 гг. составила 0,05–1,01 мМоль/л.

Концентрация главных ионов плохо коррелируется с расходами воды.

Немногочисленные экспедиционные наблюдения за изменчивостью компонентного состава биогенных веществ в водной среде реки довольно отчетливо указывают на явное преимущество в их составе нитратных ионов и кремнесодержащих соединений (табл. 36). Максимальная концентрация нитратных ионов достигала 1,13 мг/л в 2017 г., а кремния – 2,20 мг/л в 2012 г.

Содержание аммонийных, нитритных и фосфатных ионов было в основном ниже определяемого минимума.

Содержание биогенных элементов плохо коррелируется с расходами воды в реке.

**Межгодовая изменчивость концентрации
биогенных веществ в водной среде р. Бретьёрна**

Ингредиент		Диапазон концентрации по годам, мг/л				
		2012	2014	2015	2016	2017
Азот	аммонийный	–	–	< 0,25	< 0,25	< 0,25
	нитритный	–	–	< 0,05	< 0,05	н.о. < 0,05
	нитратный	–	0,442	0,163–0,265	0,080–0,357	< 0,08–1,13
	общий	–	< 0,20	< 0,20	0,061–0,377	0,05–0,130
Фосфор	фосфатный	0,16–1,20	–	< 0,05	< 0,10	< 0,10
	общий	–	–	–	–	–
Кремний		0,70–2,20	–	0,220–0,470	0,390–0,660	0,210–0,871

В период с 2014 г. по 2017 г. содержание общего углерода в воде р. Бретъёрна изменялась в пределах 6,58–13,0 мг/л с доминированием в его составе углерода неорганического, максимальные концентрации которого достигали 9,28–12,5 мг/л (табл. 37). Концентрация органического углерода колебалась в исследуемый период в пределах 0,040–2,78 мг/л.

Таблица 37

Межгодовая изменчивость содержания углеродсодержащих соединений, фторидов и бромидов в водной среде р. Бретъёрна

Ингредиент		Диапазон концентрации по годам, мг/л			
		2014	2015	2016	2017
Углерод	общий	13,0	8,71–12,1	6,58–9,41	8,37–11,4
	неорганический	12,5	8,04–11,1	6,31–9,28	8,29–9,68
	органический	0,480	0,430–1,32	0,335–2,01	0,040–2,78
Фториды		0,040	0,012–0,038	0,021–0,094	0,030–0,220
Бромиды		< 0,08	< 0,08	< 0,05	< 0,08–1,03

Среди определяемых микрокомпонентов концентрация бромидов была в основном ниже определяемого уровня, а фторидов – колебалась в пределах 0,012–0,220 мг/л.

Река Конгресс. Река Конгресс, вытекающая из одноименного озера, питающаяся в основном подземными и частично разбавленными талыми водами имеет слабощелочную, близкую к нейтральной реакцию среды. За исследуемый период значения рН изменялись в 2004–2005 гг. в пределах 6,80–8,43, в 2011–2016 гг. – в пределах 7,53–8,12 (табл. 38).

Таблица 38

Межгодовая изменчивость физико-химических показателей в водной среде р. Конгресс

Показатель	Диапазон значений по годам						
	2004	2005	2011	2012	2014	2015	2016
рН	6,95	6,80–8,43	7,86–7,96	8,00–8,12	7,53–7,99	7,71–7,94	7,60–7,94
УЭП, $\mu\text{S}/\text{cm}$	–	21,8–1300	104–106	107–881	237–1035	506–1033	542–1194

Река является наиболее минерализованной из всех водотоков бассейна залива Грэнфьорд. Величина электропроводности на протяжении периода измерений варьировала в пределах 21,8–1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ в 2005 г., и в пределах 104–1194 $\mu\text{S}/\text{cm}$ в 2011–2016 гг., а общей минерализации в 2012 г. – от 52 мг/л до 394 мг/л.

Обобщение информации о межгодовой изменчивости в водной среде р. Конгресс главных ионов (табл. 39) позволяет сделать следующее порядковое расположение для:

– анионов:

SO_4^{2-} (76,0–566 мг/л);

HCO_3^- (40,8–105 мг/л);

Cl^- (1,97–28,4 мг/л);

Таблица 39

**Межгодовая изменчивость концентрации главных ионов и общей щелочности
в водной среде р. Конгресс**

Ингредиент	Диапазон концентрации по годам, мг/л				
	2004	2014	2015	2016	2017
Кальций Ca^{2+}	68,8	171–348	90,8–159	81,8–201	62,2–237
Магний Mg^{2+}	14,2	30,1	16,3–29,5	7,11–36,5	12,3–40,2
Натрий Na^+	2,90	–	–	3,46–20,5	2,66–9,64
Калий K^+	–	0,69	0,50–0,95	0,31–1,18	0,22–4,71
Гидрокарбонаты HCO_3^-	40,8	–	64,4–105	55,7–86,4	–
Сульфаты SO_4^{2-}	189	472	199–350	212–566	76,0–491
Хлориды Cl^-	2,80	3,12–5,10	2,25–4,67	3,49–28,4	1,97–11,5
Общая щелочность, ммоль/л	–	–	1,11–1,72	< 0,05–328	–

– катионов:

Ca^{2+} (62,2–348 мг/л);

Mg^{2+} (7,11–40,2 мг/л);

Na^+ (2,66–20,5 мг/л);

K^+ (0,22–4,71 мг/л).

По классификации О. А. Алёкина воды р. Конгресс относятся к типу сульфатных, группы кальция второго типа.

Приведенные в таблице 40 обобщенные данные о межгодовой изменчивости компонентного состава биогенных веществ довольно отчетливо показывают доминирование в их составе нитратных ионов (0,08–4,50 мг/л) и кремнесодержащих соединений (0,269–2,49 мг/л).

Таблица 40

**Межгодовая изменчивость концентрации биогенных веществ
в водной среде р. Конгресс**

Ингредиент		Диапазон концентрации по годам, мг/л					
		2004	2012	2014	2015	2016	2017
Азот	аммонийный	0,021–0,057	–	н.о.	< 0,25	< 0,25	< 0,25–0,78
	нитритный	н.о.	н.о.	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05–0,29
	нитратный	н.о.	2,40–4,50	0,450	< 0,080–0,651	0,099–0,516	< 0,08–1,48
	общий	0,058–0,129	–	–	< 0,20	0,090–0,183	0,020–0,140
Фосфор	фосфатный	–	0,13–2,75	н.о.	< 0,05	< 0,10	< 0,10
	общий	0,010–0,029	–	–	–	–	–
Кремний		0,830	2,20	–	1,16–1,72	1,13–2,49	0,269–1,84

Содержание аммонийных, нитритных и фосфатных ионов чаще было ниже определяемого минимума.

Концентрация общего азота изменялась за исследуемый период в пределах 0,020–0,183 мг/л.

В период с 2014 г. по 2017 г. содержание общего углерода в водной среде р. Конгресс менялось в пределах 9,55–17,6 мг/л с преобладанием неорганического углерода до 10,0–16,6 мг/л. Содержание органического углерода не превышало за исследуемый период 1,94 мг/л (табл. 41).

Таблица 41

Межгодовая изменчивость содержания углеродсодержащих соединений, фторидов и бромидов в водной среде р. Конгресс

Ингредиент		Диапазон концентрации по годам, мг/л			
		2015	2016	2017	
Углерод	общий	17,6	11,5–17,6	11,5–16,4	9,55–16,6
	неорганический	16,6	11,3–16,4	10,6–16,4	10,0–16,0
	органический	0,990	0,750–1,70	0,547–1,94	0,010–0,94
Фториды		0,300	0,060–0,160	0,220–0,356	0,130–0,550
Бромиды		< 0,08	< 0,08	–	0,08–1,46

Среди определяемых микрокомпонентов бромиды чаще были ниже определяемого минимума, а концентрация фторидов варьировала в пределах 0,060–0,550 мг/л.

По результатам проведенных наблюдений можно заключить, что по прозрачности, минерализации и составу ионов основной воды р. Конгресс являются подземные воды (возможно слегка разбавленные тальми водами).

Река Колес. Приведенная в таблице 42 весьма ограниченная информация по изменчивости физико-химических показателей компонентного состава водной среды позволяет отнести воды р. Колес к слабощелочным (рН 6,77–7,60) и среднеминерализованным.

Удельная электропроводность менялась в пределах 145–675 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Таблица 42

Межгодовая изменчивость физико-химических показателей в водной среде р. Колес

Показатель	Диапазон значений по годам			
	2001	2004	2015	2016
рН	7,02	6,77	7,52	7,48–7,60
Eh_{mv}	184	–	–	–
УЭП, $\mu\text{S}/\text{cm}$	–	–	145	640–675
Кислород, мг/л	8,9	–	–	–

Информация об изменчивости в водной среде р. Колес концентрации главных ионов (табл. 43) позволяет сделать следующее порядковое расположение для:

– анионов:

SO_4^{2-} (21,5–327 мг/л);

HCO_3^- (32,7–53,9 мг/л);

Cl^- (3,99–17,0 мг/л);

– катионов:

Ca^{2+} (8,60–102 мг/л);

Mg^{2+} (4,75–73,6 мг/л);

Na^+ (11,8–61,0 мг/л);

K^+ (1,21–2,31 мг/л).

Таблица 43

Межгодовая изменчивость концентрации главных ионов и общей щелочности в водной среде р. Колес

Ингредиент	Диапазон концентрации по годам, мг/л				
	2004	2014	2015	2016	2017
Кальций Ca^{2+}	8,60	–	9,73	40,3–46,3	13,3–102
Магний Mg^{2+}	5,60	–	4,75	31,0–37,4	10,3–73,6
Натрий Na^+	11,8	–	–	38,0–48,7	11,8–61,0
Калий K^+	–	–	1,21	1,30–2,25	1,75–2,31
Гидрокарбонаты HCO_3^-	34,7	–	32,7	51,2–53,9	–
Сульфаты SO_4^{2-}	33,3	–	21,5	237–279	103–327
Хлориды Cl^-	8,60	–	3,99	7,08–17,0	2,67–8,64
Общая щелочность, мМоль/л	–	0,610	0,610	–	–

В исследуемые периоды водную среду р. Колес следует классифицировать как сульфатно-гидрокарбонатная кальциево-магниевно-натриевая вода, поскольку эти ионы находятся в примерно эквивалентных количествах. Состав воды довольно странный. Вероятно, р. Колес имеет несколько источников формирования. Например, талые воды могут просачиваться через осадочные породы типа доломита, мирабилита. Вероятным является также присутствие в снеге значительного количества морских (океанских) солей, выносимых с поверхности океана.

Общая щелочность довольно низкая – 0,610 мМоль/л.

Анализ изменчивости концентрации азот- и фосфорсодержащих соединений позволяет заключить, что в их составе преобладают нитратные ионы, максимальные концентрации которых в 2016 г. и 2017 г. достигали 2,22 и 1,37 мг/л соответственно (табл. 44).

Содержание аммонийных, нитритных и фосфатных ионов чаще ниже определения минимума. Концентрация кремния периодически достигала 2,06–3,80 мг/л.

Таблица 44

**Межгодовая изменчивость концентрации биогенных веществ
в водной среде р. Колес**

Ингредиент		Диапазон концентрации по годам, мг/л				
		2001	2004	2015	2016	2017
Азот	аммонийный	н.о.	0,092	< 0,25	–	н.о.–0,25
	нитритный	н.о.	–	< 0,05	< 0,05	н.о.–0,19
	нитратный	0,170	–	0,442	2,05–2,22	0,95–1,37
	общий	0,80	0,42	< 0,20	0,526–0,577	0,11–0,32
Фосфор	фосфатный	н.о.	–	–	< 0,10	< 0,10
	общий	н.о.	0,030	–	–	–
Кремний		3,80	–	0,854	1,83–2,06	0,734–2,14

В период с 2015 г. по 2017 г. содержание общего углерода в воде р. Колес изменялось в пределах 5,21–11,2 мг/л с явным доминированием углерода неорганического до 4,15–10,2 мг/л (табл. 45).

Таблица 45

**Межгодовая изменчивость содержания углеродсодержащих соединений, фторидов
и бромидов в водной среде р. Колес**

Ингредиент		Диапазон концентрации по годам, мг/л		
		2015	2016	2017
Углерод	общий	6,64	11,1–11,2	5,21–7,37
	неорганический	5,81	9,73–10,2	4,15–6,72
	органический	–	0,921–1,35	0,66–1,06
Фториды		0,035	0,11–0,124	0,140–0,260
Бромиды		–	–	0,080–0,600

Обращает на себя внимание явное повышенное содержание микрокомпонентов, представленных фторидами и бромидами. Если в 2015 г. концентрация фторидов составляла 0,035 мг/л, то в 2017 г. она колебалась в пределах: 0,140–0,260 мг/л – по фторидам, и 0,080–0,600 мг/л – по бромидам.

Река Эльза. Основным источником питания р. Эльза является ледник Бертель, с которого она и берет свое начало. Наибольшее влияние на гидрохимию оказывают подстилающие породы. Для данного водотока также характерны изменения концентрации химических веществ в зависимости от времени наблюдений и величины стока.

В период с 2011 по 2016 гг. вода реки определялась как слабощелочная. Значения рН чаще 8,18–8,68 ед. рН (табл. 46).

Река мало минерализована. Удельная электропроводность изменялась от 4,70–7,07 $\mu\text{S}/\text{см}$ в 2011 г. до 117–397 $\mu\text{S}/\text{см}$ в 2016 г. Насыщение кислородом довольно высокое (95 %). Удельная электропроводимость воды в реке опре-

деляется количеством слабоминерализованных талых вод, поступающих с поверхности ледника Бертиль, и имеет максимум в ночные часы, когда сток слабоминерализованных талых вод с поверхности ледника минимален. Минимальные значения удельной электропроводимости наблюдаются днем.

Определенная в 2012 г. общая минерализация составляла 48,0–64,0 мг/л.

Таблица 46

**Межгодовая изменчивость физико-химических показателей
в водной среде р. Эльза**

Показатель		Диапазон значений по годам					
		2011	2012	2013	2014	2015	2016
рН		7,96–8,56	8,18–8,68	–	8,27–8,68	8,18–8,28	6,64–8,56
УЭП, $\mu\text{S}/\text{cm}$		4,70–7,07	105–118	117–197	112–174	110–133	117–397
Кислород	мг/л	13,0–13,3	–	–	–	–	–
	%	95,0–95,4	–	–	–	–	–

Приведенные в таблице 47 данные о межгодовой изменчивости в водной среде реки Эльза главных ионов позволяет сделать следующее порядковое расположение для:

– анионов:

HCO_3^- (52,7–97,2 мг/л);

SO_4^{2-} (6,30–69,0 мг/л);

Cl^- (0,87–10,7 мг/л);

– катионов:

Ca^{2+} (15,3–47,6 мг/л);

Na^+ (1,55–45,1 мг/л);

Mg^{2+} (2,60–13,8 мг/л);

K^+ (0,52–2,85 мг/л).

В исследуемый период водную среду р. Эльза можно классифицировать как карбонатно-кальциевую. Общая щелочность в 2015 г. составляла 1,11–1,13 мМоль/л.

Характер межгодовой изменчивости компонентного состава биогенных веществ отчетливо указывает на преобладание в их составе нитратных ионов и кремнесодержащих соединений (табл. 48).

За исследуемый период максимальная концентрация нитратных ионов достигала 0,870–3,80 мг/л, а кремния 0,740–2,20 мг/л.

Обращает на себя внимание периодическое повышение в водной среде реки Эльза фосфатных ионов до 0,330 мг/л, нитритных ионов – до 0,400 мг/л, общего азота – до 0,200 мг/л.

Таблица 47

**Межгодовая изменчивость концентрации главных ионов и общей щелочности
в водной среде р. Эльза**

Ингредиент	Диапазон концентрации по годам, мг/л			
	2014	2015	2016	2017
Кальций Ca^{2+}	30,9–39,2	18,8–31,7	16,9–47,6	15,3–28,6
Магний Mg^{2+}	–	2,89–8,92	2,99–13,8	2,60–3,34
Натрий Na^+	–	–	2,30–45,1	1,55–12,4
Калий K^+	–	1,04–1,62	0,52–1,57	0,57–2,85
Гидрокарбонаты HCO_3^-	–	67,4–97,2	52,7–86,6	–
Сульфаты SO_4^{2-}	–	9,91–69,0	–	6,30–14,3
Хлориды Cl^-	1,00–2,53	2,18–3,66	1,21–7,31	0,87–10,7
Общая щелочность, ммоль/л	–	1,11–1,13	–	–

В период с 2015 г. по 2017 г. содержание общего углерода в воде р. Эльза варьировало в пределах 10,4–26,5 мг/л с явным преобладанием в его составе неорганических углеродосодержащих соединений, концентрация которых достигала 10,0–16,5 мг/л (табл. 49). Максимальные значения концентрации органического углерода достигала 1,51–1,87 мг/л.

Таблица 48

**Межгодовая изменчивость концентрации биогенных веществ
в водной среде р. Эльза**

Ингредиент		Диапазон концентрации по годам, мг/л				
		2011	2012	2015	2016	2017
Азот	аммонийный	–	–	< 0,25	н.о.–0,280	н.о.–0,280
	нитритный	н.о.	н.о.–0,400	–	н.о.–0,200	н.о.–0,200
	нитратный	н.о.–0,400	н.о.–3,80	0,182–0,231	0,130–0,870	0,130–0,870
	общий	–	–	< 0,20	0,05–0,20	0,05–0,20
Фосфор	фосфатный	н.о.–0,150	н.о.–0,330	< 0,05	< 0,10	< 0,10
	общий	н.о.–0,200	–	–	–	–
Кремний		0,470–0,740	0,550–2,20	0,440–0,550	0,470–0,970	0,150–0,970

Среди определяемых микрокомпонентов концентрация бромидов была ниже определяемого минимума, а фторидов колебалась в пределах 0,084–0,290 мг/л.

Река Брюде. Анализируя приведенную в таблице 50 немногочисленную информацию по изменчивости физико-химических показателей компонентного состава водной среды, можно отметить, что воды р. Брюде в целом характеризуются слабощелочной реакцией среды. Значения водородного показателя изменялись от 6,35 ед. рН до 8,24 ед. рН.

Таблица 49

Межгодовая изменчивость содержания углеродсодержащих соединений, фторидов и бромидов в водной среде р. Эльза

Ингредиент		Диапазон концентрации по годам, мг/л		
		2015	2016	2017
Углерод	общий	12,1–17,4	10,4–16,8	11,9–26,5
	неорганический	10,9–11,7	10,0–16,5	10,4–12,8
	органический	–	0,45–1,87	0,65–1,51
Фториды		0,084–0,150	0,153–0,275	0,120–0,290
Бромиды		< 0,08	< 0,08	< 0,08

Таблица 50

Межгодовая изменчивость физико-химических показателей в водной среде р. Брюде

Показатель	Диапазон значений по годам						
	2004	2005	2011	2012	2014	2015	2016
рН	6,35	6,51–8,02	8,24	7,56–7,73	7,82–8,16	6,60–7,93	7,20–8,13
УЭП, $\mu\text{S}/\text{cm}$	–	47,3–105	440	102–111	87,7–321	14,8–201	71,9–300
Кислород	мг/л	–	6,78–9,70	–	–	–	–
	%	–	58,4–74,6	–	–	–	–

В зависимости от времени определения вода реки в начале сезона мало минерализована, к концу сезона и уменьшению стока минерализация возрастает. Удельная электропроводность менялась в пределах 47,3–105 $\mu\text{S}/\text{cm}$ в 2005 г. и 14,8–440 $\mu\text{S}/\text{cm}$ в 2011–2016 гг. Низкая минерализация воды дает основание предполагать, что основой водотока являются талые снеговые (или ледниковые) воды, не испытывающие серьезной антропогенной нагрузки, а русло потока выложено преимущественно малорастворимыми породами (например, базальтом, гранитом и т. п.), которые не оказывают заметного влияния на минерализацию воды, либо поток проходит по леднику. В 2012 г. минерализация была 43–50 мг/л.

В период экспедиционного обследования р. Брюде в 2015 г. содержание кислорода в водной среде менялось от 6,78 до 9,70 мг/л (58–75 % насыщения).

Обобщение экспедиционных наблюдений по межгодовой изменчивости концентрации главных ионов в водной среде р. Брюде (табл. 51) позволяет сделать следующее порядковое расположение для:

– анионов:

HCO_3^- (24,8–88,0 мг/л);

SO_4^{2-} (2,10–76,8 мг/л);

Cl^- (1,58–16,1 мг/л);

– катионов:

Ca^{2+} (7,20–53,7 мг/л);

Na^+ (1,96–13,1 мг/л);

Mg^{2+} (1,70–9,53 мг/л);

K^+ (0,24–2,73 мг/л).

В исследуемые периоды водную среду р. Брюде следует классифицировать как гидрокарбонатно-кальциевая с довольно низкой щелочностью (0,05–1,27 мМоль/л).

Таблица 51

Межгодовая изменчивость концентрации главных ионов и общей щелочности в водной среде р. Брюде

Ингредиент	Диапазон концентрации по годам, мг/л					
	2004	2012	2014	2015	2016	2017
Кальций Ca^{2+}	7,20	–	37,1–53,7	9,46–24,4	9,56–37,7	7,71–42,3
Магний Mg^{2+}	1,70	–	8,85	1,84–5,75	1,82–9,53	1,98–9,46
Натрий Na^+	2,80	–	–	–	1,96–8,56	2,01–13,1
Калий K^+	–	–	0,85	0,50–0,64	0,24–0,77	0,28–2,73
Гидрокарбонаты HCO_3^-	24,8	–	–	42,5–77,5	30,6–88,0	–
Сульфаты SO_4^{2-}	3,20	2,10–2,75	76,8	6,45–30,1	6,60–65,9	8,48–55,6
Хлориды Cl^-	2,50	–	3,18–3,90	3,53–4,77	1,75–4,45	1,58–16,1
Общая щелочность, мМоль/л	–	–	–	0,70–1,27	< 0,05–0,09	–

Приведенные в таблице 52 обобщенные результаты изменчивости компонентного состава биогенных веществ позволяет заключить, что в их составе доминируют фосфатные и нитратные ионы.

За исследуемый период диапазон колебания концентрации азот- и фосфор-содержащих соединений составил по:

- азоту аммонийному – н.о.–0,30 мг/л;
- азоту нитритному – н.о.–0,21 мг/л;
- азоту нитратному – 0,020–1,84 мг/л;
- азоту общему – 0,020–0,269 мг/л;
- фосфору фосфатному – 0,100–2,75 мг/л.

Максимальная концентрация кремния достигала 2,09 мг/л в 2012 г. и 2017 г.

В период с 2014 г. по 2017 г. содержание общего углерода в р. Брюде изменялось в пределах 6,26–19,3 мг/л (табл. 53). Большую его часть составляет неорганический углерод (5,81–17,2 мг/л), что свидетельствует о крайне низком содержании углеродсодержащих органических веществ (0,17–1,92 мг/л).

Содержание микрокомпонентов, которые представлены фторидами и бромидами, чаще было ниже предела обнаружения. Максимальные концентрации обычно не превышали 0,067–0,080 мг/л.

Таблица 52

**Межгодовая изменчивость концентрации биогенных веществ
в водной среде р. Брюде**

Ингредиент		Диапазон концентрации по годам, мг/л		
		2004	2012	2014
Азот	аммонийный	0,009–0,024	–	н.о.
	нитритный	0,003	н.о.	н.о.
	нитратный	< 0,005	0,020–0,070	0,780
	общий	0,073–0,146	–	< 0,20
Фосфор	фосфатный	–	2,10–2,75	н.о.
	общий	0,013–0,024	–	–
Кремний		0,260	1,08–2,09	–

Ингредиент		Диапазон концентрации по годам, мг/л		
		2015	2016	2017
Азот	аммонийный	н.о.	< 0,25	н.о.–0,30
	нитритный	н.о.	< 0,05	< 0,05–0,21
	нитратный	0,103–0,798	0,080–0,784	0,190–1,84
	общий	0,240–0,269	0,060–0,249	0,020–0,260
Фосфор	фосфатный	н.о.	0,100–0,827	< 0,10
	общий	–	–	–
Кремний		0,640–0,800	0,430–1,40	0,272–2,09

Таблица 53

**Межгодовая изменчивость содержания углеродсодержащих соединений, фторидов
и бромидов в водной среде р. Брюде**

Ингредиент		Диапазон концентрации по годам, мг/л			
		2014	2015	2016	2017
Углерод	общий	19,3	6,26–13,9	6,94–16,9	7,22–12,8
	неорганический	17,2	5,81–12,9	5,81–16,7	6,45–12,5
	органический	1,92	0,45–1,35	0,48–1,86	0,17–1,40
Фториды		0,027	0,010–0,020	0,030–0,082	< 0,01–0,070
Бромиды		< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080–0,067

Река Грэнфьорд. Анализируя приведенный в таблице 54 небольшой ряд наблюдений за изменчивостью физико-химических показателей компонентного состава водной среды реки можно отметить, что воды р. Грэнфьорд имеют слабощелочную, близкую к нейтральной реакцию среды. Значения pH колебались в пределе (5,86–8,80).

Таблица 54

**Межгодовая изменчивость физико-химических показателей
в водной среде р. Грэнфьорд**

Показатель	Диапазон значений по годам						
	2005	2008	2009	2011	2014	2015	2016
рН	5,86–8,80	6,81–7,32	7,54–7,86	7,36–7,57	7,30–7,82	7,03–7,73	6,74–7,57
УЭП, $\mu\text{S}/\text{cm}$	53,8–175	–	–	146–184	131–628	112–662	153–871
Кислород	мг/л	6,74–11,0	–	–	–	–	–
	%	58,3–83,8	–	–	–	–	–

Минерализация колеблется в довольно широких пределах с общей тенденцией увеличения в 2014–2016 гг. За исследуемые периоды значения удельной электропроводности повысились от 53,8–175 $\mu\text{S}/\text{cm}$ в 2005 г. до 153–871 $\mu\text{S}/\text{cm}$ в 2016 г. Определенная в 2011 г. общая минерализация колебалась в пределах 65,0–82,0 мг/л.

Насыщение водной среды кислородом было в 2005 г. незначительное (58–84 %).

Обобщение полученной в 2014–2017 гг. информации о межгодовой изменчивости концентрации главных ионов в водной среде р. Грэнфьорд (табл. 55) позволяет сделать следующее порядковое расположение для:

– анионов:

SO_4^{2-} (26,7–429 мг/л);

HCO_3^- (16,6–49,8 мг/л);

Cl^- (1,54–20,9 мг/л);

– катионов:

Ca^{2+} (11,0–96,7 мг/л);

Mg^{2+} (2,86–57,0 мг/л);

Na^+ (1,37–36,4 мг/л);

K^+ (0,78–4,40 мг/л).

Таблица 55

**Межгодовая изменчивость концентрации главных ионов и общей щелочности
в водной среде р. Грэнфьорд**

Ингредиент	Диапазон концентрации по годам, мг/л			
	2014	2015	2016	2017
Кальций Ca^{2+}	65,3–69,3	11,0–57,0	13,8–68,0	14,1–96,7
Магний Mg^{2+}	21,7	4,11–25,3	6,14–34,9	2,86–57,0
Натрий Na^+	–	–	2,94–30,0	1,37–36,4
Калий K^+	1,89	0,86–3,86	0,78–4,40	1,28–4,05

Ингредиент	Диапазон концентрации по годам, мг/л			
	2014	2015	2016	2017
Гидрокарбонаты HCO_3^-	–	17,1–49,8	16,6–45,8	–
Сульфаты SO_4^{2-}	249	33,0–254	26,7–194	35,6–429
Хлориды Cl^-	3,70–7,29	2,21–6,30	2,05–5,16	1,54–20,9
Общая щелочность, мМоль/л	–	0,281–0,820	< 0,05–2,69	–

По классификации воды р. Грэнфьорд следует отнести к классу сульфатно-кальциевых.

Проведенные в 2014–2017 гг. наблюдения за изменчивостью содержания азот- и фосфорсодержащих соединений показали крайне низкие концентрации фосфатных, аммонийных и нитритных ионов (табл. 56).

Таблица 56

**Межгодовая изменчивость концентрации биогенных веществ
в водной среде р. Грэнфьорд**

Ингредиент		Диапазон концентрации по годам, мг/л				
		2004	2014	2015	2016	2017
Азот	аммонийный	0,142	н.о.	< 0,25	< 0,25	н.о.–0,59
	нитритный	–	н.о.	< 0,05	< 0,05	н.о.–< 0,05
	нитратный	0,276	0,331–1,38	0,200–0,620	0,113–0,503	0,070–0,890
	общий	–	–	0,24–1,99	0,08–1,93	0,49–2,41
Фосфор	фосфатный	–	н.о.	< 0,05	< 0,10	< 0,10
	общий	0,043	–	–	–	–
Кремний		–	–	0,880–2,23	0,780–2,54	0,261–2,54

Общий азот, концентрация которого менялась в пределах 0,08–2,41 мг/л, представлен в основном нитратными ионами (0,070–1,38 мг/л).

Преобладание нитратных ионов наиболее характерно для речных экосистем, поскольку воды рек хорошо аэрированы, а нитритные и аммонийные ионы в таких условиях неустойчивы.

Диапазон колебания концентрации кремния довольно широкий (0,261–2,34 мг/л), его содержание находится в прямой зависимости от расходов воды.

В исследуемые периоды 2014–2017 гг. содержание общего углерода в реке менялось в пределах 3,07–10,1 мг/л (табл. 57).

Большую его часть составляет неорганический углерод (1,88–8,78 мг/л), что подтверждается относительно низким диапазоном колебания концентрации в водной среде органического углерода (0,25–2,46 мг/л).

Среди микрокомпонентов преобладали фториды с общей межгодовой тенденцией увеличения диапазона колебания их концентрации до 0,050–0,390 мг/л.

Содержание бромидов было ниже определяемого минимума.

Таблица 57

Межгодовая изменчивость содержания углеродсодержащих соединений, фторидов и бромидов в водной среде р. Грэнфьорд

Ингредиент		Диапазон концентрации по годам, мг/л			
		2014	2015	2016	2017
Углерод	общий	10,1	3,38–8,10	3,92–9,65	3,07–7,78
	неорганический	8,78	2,37–7,84	3,15–8,70	1,88–7,24
	органический	1,28	0,49–2,46	0,49–2,46	0,25–1,18
Фториды		0,069	0,030–0,100	0,076–0,175	0,050–0,390
Бромиды		< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08–1,32

Река Мимер. Проведенные в 2017 г. экспедиционные обследования показали, что в компонентном составе главных ионов доминировали сульфаты (20,1–21,1 мг/л) и кальций (20,5–23,7 мг/л). Максимальная концентрация магния не превышала 3,86 мг/л, натрия и хлоридов – 2,35 мг/л, а калия – 1,38 мг/л (табл. 58).

Углеродсодержащие соединения представлены в основном неорганическими соединениями. Максимальная концентрация органического углерода составляла всего 1,09 мг/л.

Фосфорсодержащие соединения практически отсутствовали в наблюдательный период, а в составе азотсодержащих соединений доминировал азот нитратный (0,78–0,80 мг/л).

Содержание кремния достигало 0,314–0,346 мг/л.

Среди микроэлементов определены только фториды, концентрация которых составляла 0,150–0,160 мг/л.

Небольшой период наблюдений не позволяет дать общую характеристику изменчивости компонентного состава водной среды р. Мимер.

Можно только отметить, что по классификатору воды р. Мимер относится к классу сульфатно-кальциевых.

Таблица 58

Компонентный состав водной среды р. Мимер в 2017 г.

Химический состав	Ингредиент	Диапазон колебания концентрации, мг/л
Главные ионы	Кальций Ca^{2+}	20,5–23,7
	Магний Mg^{2+}	3,60–3,86
	Натрий Na^+	2,16–2,32
	Калий K^+	1,04–1,38
	Сульфаты SO_4^{2-}	20,1–21,1
	Хлориды Cl^-	2,17–2,35

Химический состав	Ингредиент	Диапазон колебания концентрации, мг/л
Углеродсодержащие соединения	Углерод общий	14,0–14,7
	Углерод неорганический	13,0–13,6
	Углерод органический	0,90–1,09
Фосфорсодержащие соединения	Фосфор общий	н.о.
	Фосфаты	< 0,10
Азотсодержащие соединения	Азот аммонийный	н.о.–0,27
	Азот нитратный	0,78–0,80
	Азот нитритный	н.о.
Кремнесодержащие соединения	Кремний	0,314–0,346
Микроэлементы	Фториды	0,150–0,160
	Бромиды	н.о.

Перед обобщением изложенных результатов целесообразно обратить внимание на то, что гидрохимический режим любой реки определяется совокупностью физико-географических факторов, главными из которых являются состав пород и гидрологические условия в бассейне реки.

Характерное для исследуемых нами рек на Западном Шпицбергене преобладающее горно-снеговое и ледниковое питание определяет малую минерализацию воды с преобладанием в ее составе HCO_3^- и Ca^{2+} , что в значительной мере определяется составом атмосферных осадков. Особенно отчетливо это проявляется во время наибольшего таяния снегов на верхних ярусах гор и ледников. Преобладание снегового питания вызывает резкое понижение минерализации воды весной и в первую половину года. При этом понижение может быть весьма различным. Кроме того, залегающие под снежным покровом промерзшие почвы являются своеобразным водоупором, и такие воды способны растворять только соли, которые заключены в самом верхнем слое почвы.

Обобщение результатов экспедиционных наблюдений за изменчивостью компонентного состава водной среды исследуемых рек позволяет сделать вывод о том, что на фоне перечисленных выше общих факторов его формирования каждая река обладает своей гидрохимической индивидуальностью.

Сравнительная оценка изменчивости в 2014–2017 гг. преобладающих ингредиентов в водной среде, включенных в программу наблюдений рек, показала довольно заметные межсистемные различия в диапазонах колебания их концентрации (табл. 59).

По характеру изменчивости значений удельной электропроводности исследуемые реки можно оценить как:

- маломинерализованные (реки Брюде, Эльза, Бретьёрна);
- мало- и среднеминерализованные (реки Альдегонда, Грэнфьорд, Колес);

Преобладающие ингредиенты в водной среде рек Западного Шпицбергена в 2014–2017 гг.

Река	УЭП, $\mu\text{S}/\text{cm}$	Показатель компонентного состава водной среды, мг/л							Кремний
		Гидрокарбонаты (HCO_3^-)	Сульфаты (SO_4^{2-})	Кальций (Ca^{2+})	Магний (Mg^{2+})	Азот общий	Углерод общий		
Альдегонда	78,0–494	30,6–73,9	3,74–149	11,9–92,0	1,23–17,4	0,030–0,510	6,72– 20,6	0,168–1,58	
Грэн	176– 1139	14,9–80,3	34,0– 480	7,00– 140	2,80– 86,7	0,050– 0,904	3,55–13,6	0,266–2,87	
Грэнфьорд	112– 871	16,6–49,8	26,7– 429	11,0–96,7	2,86– 57,0	0,080– 2,41	3,07–10,1	0,261–2,54	
Брюле	14,8–321	30,6–88,0	6,45–76,8	7,71–53,7	1,82–9,53	0,020–0,269	6,26–16,9	0,272–2,09	
Колес	145–675	32,7–53,9	21,5– 327	9,73–102	4,75– 73,6	0,110–0,577	5,21–11,2	0,734–2,14	
Конгресс	237– 1194	55,7– 105	76,0– 566	62,2– 348	7,11–40,2	0,020–0,183	9,55–17,6	0,269–2,49	
Бретьерна	91,4–199	33,2–64,4	8,81–47,1	11,7–36,1	1,53–19,8	0,050–0,377	6,58–13,0	0,210–0,871	
Эльза	110–397	52,7– 97,2	6,30–69,0	15,3–47,6	2,60–13,8	0,050–0,454	10,4– 26,5	0,150–0,970	

– наиболее минерализованные (реки Грэн, Конгресс).

По соотношению в водной среде гидрокарбонатных, сульфатных анионов и ионов кальция и магния реки можно классифицировать как:

- сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевые (р. Альдегонда);
- гидрокарбонатно-кальциевые (реки Брюде, Эльза, Бретьёрна);
- сульфатно-кальциевые (реки Конгресс, Грэнфорд);
- сульфатно-кальциево-магниевые (реки Колес, Грэн).

За исследуемый период по аномально высоким для региона значениям концентраций периодически выделялись (табл. 59):

- реки Грэнфорд (2,41 мг/л), Грэн (0,904 мг/л) – по азоту общему;
- реки Эльза (26,5 мг/л), Альдегонда (20,6 мг/л) – по углероду общему.

Снижение диапазона колебания концентрации кремния отмечено в водной среде рек Эльза, Бретьёрна.

4.2.2. Озерные экосистемы

К числу основных факторов, определяющих минерализацию и компонентный состав воды озера, относится степень его проточности. По этому признаку озёра делятся на три типа [69]:

- проточные, где существует приток и отток воды поверхностным и подземным путем;
- бессточные, где имеет место в основном только приток;
- временно сточные, где отток происходит лишь в отдельные сезоны года.

Проточные озёра являются пресными, временно сточные – солоноватыми, бессточные – соляными.

Воды озёр по минерализации, в отличие от речных вод, меняются в широких пределах и делятся на пресные, солоноватые, соляные [1].

Пресным озерам, на фоне их индивидуальных свойств, присущи общие особенности химического состава, к которым следует отнести:

– последовательность в распределении главных ионов ($HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$;
 $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$);

– в озерной воде при минерализации 500–1000 мг/л преобладают гидрокарбонатные ионы, свыше 1‰ – сульфатные, а при 3–5‰ – сульфатные и хлоридные;

– при минерализации до 1–2‰ преобладает среди катионов кальций, при выше 2‰ увеличивается роль натрия;

– при любой минерализации ионы магния занимают промежуточное положение;

– ионный состав воды озера генетически связан с питающими его реками;

– гидрохимический режим озера определяется рядом факторов, главными из которых являются размер озера, его площадь, глубина и конфигурация;

– биогенные и органические вещества создаются как в самом озере в процессе фотосинтеза (автохтонные), так и привносятся в него притоками (аллохтонные);

– в озерах северных районов развитие планктона подавлено высоким содержанием гумуса и низкими значениями рН, фотосинтез выражен слабо, а продуктивность органического вещества в самом озере невелика;

– несмотря на наличие в озере автохтонной продукции органического вещества, его приток в озеро значительно превышает вынос и удерживается в нем в результате процессов седиментации;

– особое значение в газовом режиме озера имеет кислород, который поступает в воду не только из атмосферы, но и образуется в самом озере в результате процессов фотосинтеза.

В результате анализа результатов проведенных экспедиционных наблюдений за изменчивостью компонентного состава водной среды озер с учетом перечисленных выше особенностей его формирования представляется возможность оценить вероятные пути формирования современного состояния некоторых из них.

В водах озер были определены следующие химические показатели: водородный показатель pH, содержание общего углерода, содержание неорганического углерода, содержание органического углерода, содержание общего азота, определено содержание катионов (*Ca, Mg, K, NH₄*) и анионов (*SO₄, NO₃, NO₂, PO₄, Br, F*). Определение гидрохимических показателей было выполнено согласно стандартизированным методикам измерений. При проведении химико-аналитических работ были задействованы следующие средства измерений: pH-метр Mettler Toledo Seven Compact S220, анализатор углерода и азота Shimadzu TOC-L, жидкостный ионный хроматограф Shimadzu.

Озеро Конгресс. Это единственный из рассматриваемых водосборный бассейн, не имеющий прямого ледникового питания.

Ледовые явления начинают появляться на озере в конце сентября при понижении температуры воздуха ниже 0 °С. Средняя толщина льда в мае 2004 г. достигала 1,3 м. Таяние льда начинается в начале июня и заканчивается к середине июля.

Анализируя результаты экспедиционных обследований, приведенные в таблице 60, можно заключить, что воды оз. Конгресс имеют реакцию среды близкую к нейтральной. Значения pH изменяются в диапазоне 6,99–7,98. Отмечается незначительное уменьшение значений водородного показателя с глубиной, от 7,31 ед. pH на поверхности до 6,99 ед. pH на горизонте 30 метров и 7,10 ед. pH на придонном горизонте.

По содержанию в водах оз. Конгресс основных анионов и катионов можно отметить, что содержание бромидов и калия низкое и находится за пределами чувствительности методов измерений. В то же время воды озера сильно обогащены сульфатами (130–381 мг/л), а также ионами кальция (порядка 49,9–168 мг/л). Довольно значительно также содержание магния (до 21,9–25,9 мг/л). Концентрация хлоридов изменяется в пределах 1,16–12,9 мг/л. Концентрация натрия изменялась в пределах 1,13–8,61 мг/л.

Воды оз. Конгресс, согласно классификации О. А. Алёкина, можно отнести к классу сульфатных, группы кальция, второго типа.

Концентрация общего углерода довольно высока и изменяется в диапазоне 13,6–16,7 мг/л.

Преобладающую часть общего углерода, как видно из результатов, составляет неорганический углерод, значения концентрации которого изменяются в пределах 13,0–14,8 мг/л.

**Межгодовая изменчивость компонентного состава водной среды оз. Конгресс
в весенне-летний период**

Ингредиент	Диапазон колебания концентраций, мг/л		
	2015	2016	2017
Физико-химические показатели			
рН	6,99–7,31	–	7,49–7,98
УЭП, $\mu\text{S}/\text{cm}$	–	–	509–740
Главные ионы			
Кальций Ca^{2+}	119–142	112–168	49,9–126
Магний Mg^{2+}	18,9–25,9	17,8–25,8	1,69–21,9
Натрий Na^+	–	2,90–3,00	1,13–8,61
Калий K^+	< 0,10	–	< 0,10–0,59
Сульфаты SO_4^{2-}	316–381	240–367	130–322
Хлориды Cl^-	3,00–4,90	4,70–4,90	1,16–12,9
Гидрокарбонаты HCO_3^-	–	72,9–75,7	71,5–75,2
Биогенные соединения			
Азот аммонийный	< 0,25	–	< 0,25
Нитриты	< 0,05	–	< 0,05
Нитраты	< 0,08	< 0,08	< 0,08
Азот общий	–	–	0,18–0,20
Фосфаты	< 0,10	–	< 0,10
Кремний	–	1,00	3,95–5,49
Углерод и микроэлементы			
Углерод общий	14,5–16,7	–	13,6–14,3
Углерод неорганический	13,0–14,8	–	12,9–13,3
Углерод органический	0,25–1,80	0,31–0,51	0,99–1,01
Фториды	–	–	0,084–0,221
Бромиды	< 0,08	–	< 0,08

Концентрация органического углерода низкая и колеблется в пределах 0,25–1,80 мг/л.

Концентрации общего азота настолько малы, что находятся чаще за пределами чувствительности метода измерений.

Озеро Конгресс характеризуется малым содержанием биогенных элементов. Так концентрация общего азота не превышала 0,20 мг/л, а концентрации нитритов, нитратов, фосфатов и аммония находятся за пределами обнаружения метода измерений.

Значения концентрации общего кремния варьируют в пределах от 1,00 до 5,49 мг/л.

Из микроэлементов присутствуют фториды, содержание которых мало и составляет 0,084–0,221 мг/л, концентрации бромидов находятся за пределами нижней границы определения метода.

На основе полученных результатов съемок 2017 г., произведенных на оз. Конгресс в весенний и летний периоды, можно выделить следующие характерные особенности распределения химических элементов по глубине и акватории озера. Значения водородного показателя близки к значениям у одноименной реки, но если весной значения данного параметра варьировались от 6,60 до 7,70, то летом его величина была близка к 8,00, и это значение сохранялось как по глубине, так и по ширине озера. Наблюдалось лишь небольшое уменьшение (до 7,40) у самого дна озера, в точке с наибольшей глубиной. Диапазон изменений величины удельной электропроводности в весенний период составлял от 500 до 740 $\mu\text{S}/\text{см}$, а к августу уменьшился и уже колебался в интервале от 545 до 628 $\mu\text{S}/\text{см}$. Минерализация увеличивалась от поверхности ко дну. Однако если в весенний период у дна наблюдается скачок в значениях электропроводности, то в летний период такое увеличение не было отмечено. Подобные же тенденции прослеживаются и в вариациях других химических элементов (рис. 44, 45).

По результатам произведенных определений можно отметить, что в изменчивости всех химических элементов в весенний период наблюдается резкое увеличение их значений на глубине 10 м, с дальнейшим увеличением глубины величины концентраций постепенно уменьшаются и на глубине 20 метров достигают своих минимальных значений. В точке с наибольшей глубиной на глубине 55 метров (в придонном слое) наблюдается второй скачок в значениях концентраций, который, вероятно, объясняется тем, что наиболее минерализованная вода опускается на дно и скапливается около дна, в придонной воронке. Такое распределение содержания химических элементов по глубине подтверждается и сходным ходом изменений значений УЭП воды в данной точке. Здесь также наблюдается резкое увеличение значений у дна, а постепенное нарастание величин УЭП происходит от поверхности до дна и имеет три выраженных скачка: на глубине 10, 30 и 55 метров (рис. 44).

Озеро Стемме. Особое внимание к озеру Стемме обуславливает тот факт, что оно является действующим источником водоснабжения питьевой водой п. Баренцбург. Озеро Стемме шириной 377 м расположено в межгорной котловине на удалении 2,7 км от побережья залива Грэнфьорд. Средняя глубина озера – 4,2 м. Максимальная глубина – 12,8 м.

Абсолютная отметка уровня над уровнем моря составляет 85,3 м. Максимальная глубина – 10,4 м (в период наполнения). Сезонные колебания уровня – около 1 м.

Озеро имеет ледниковое происхождение, что подчеркивается его местоположением в перигляциальной зоне ледника Вёринг. Чаша озера ограничена с северо-запада полого-выпуклыми склонами отрогов водоразделов Фребольдрюген, с юга – мореной ледника Вёринг, с востока – ригелем существовавшего ранее ледникового массива прилегающего водораздела Фребольдрюген.

Питание озера в естественных условиях происходит за счет воды, стекающей с двух ледников, расположенных в северо-восточной и юго-восточной части водосбора озера.

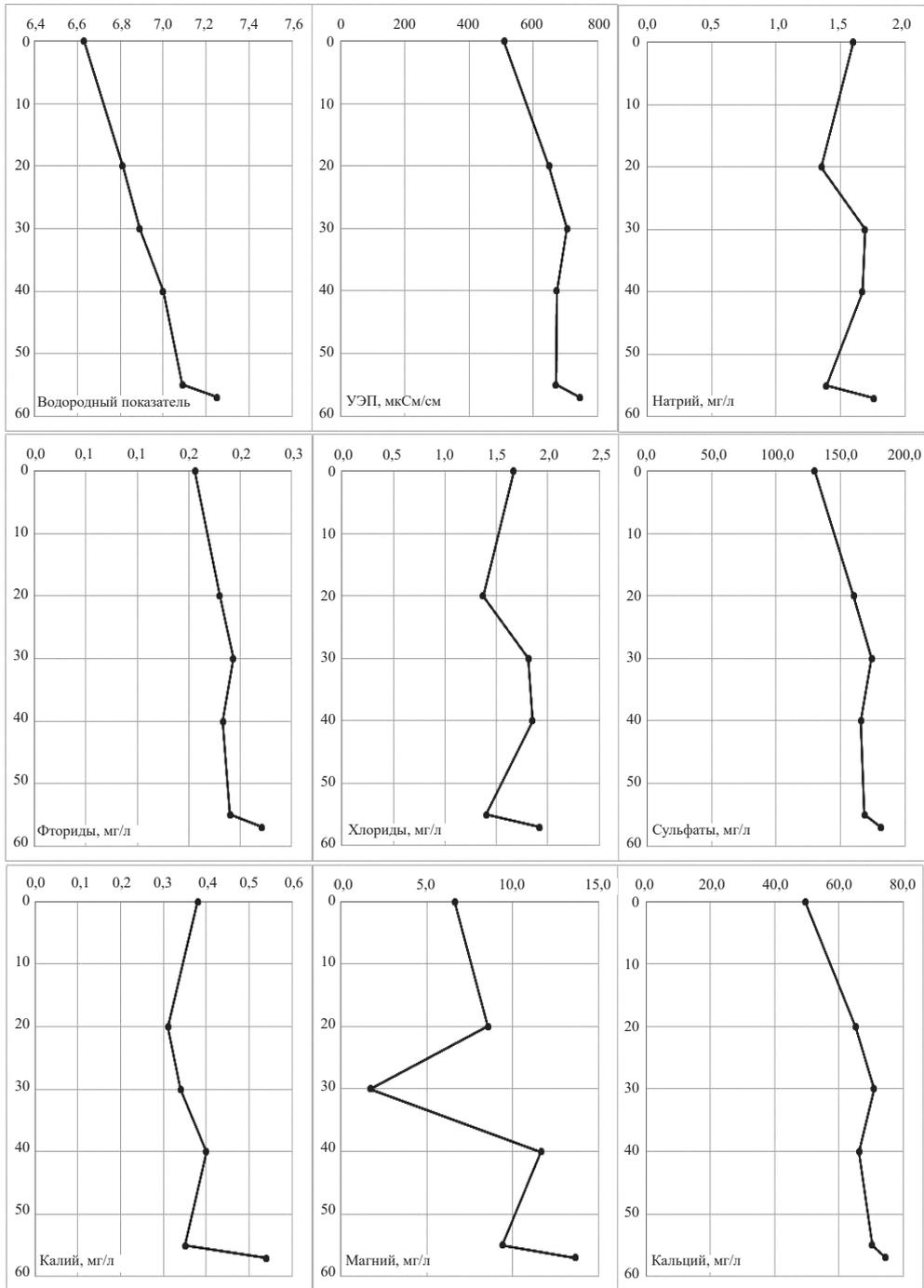


Рис. 44. Распределение концентраций основных химических элементов по глубине оз. Конгресс, апрель 2017 г.

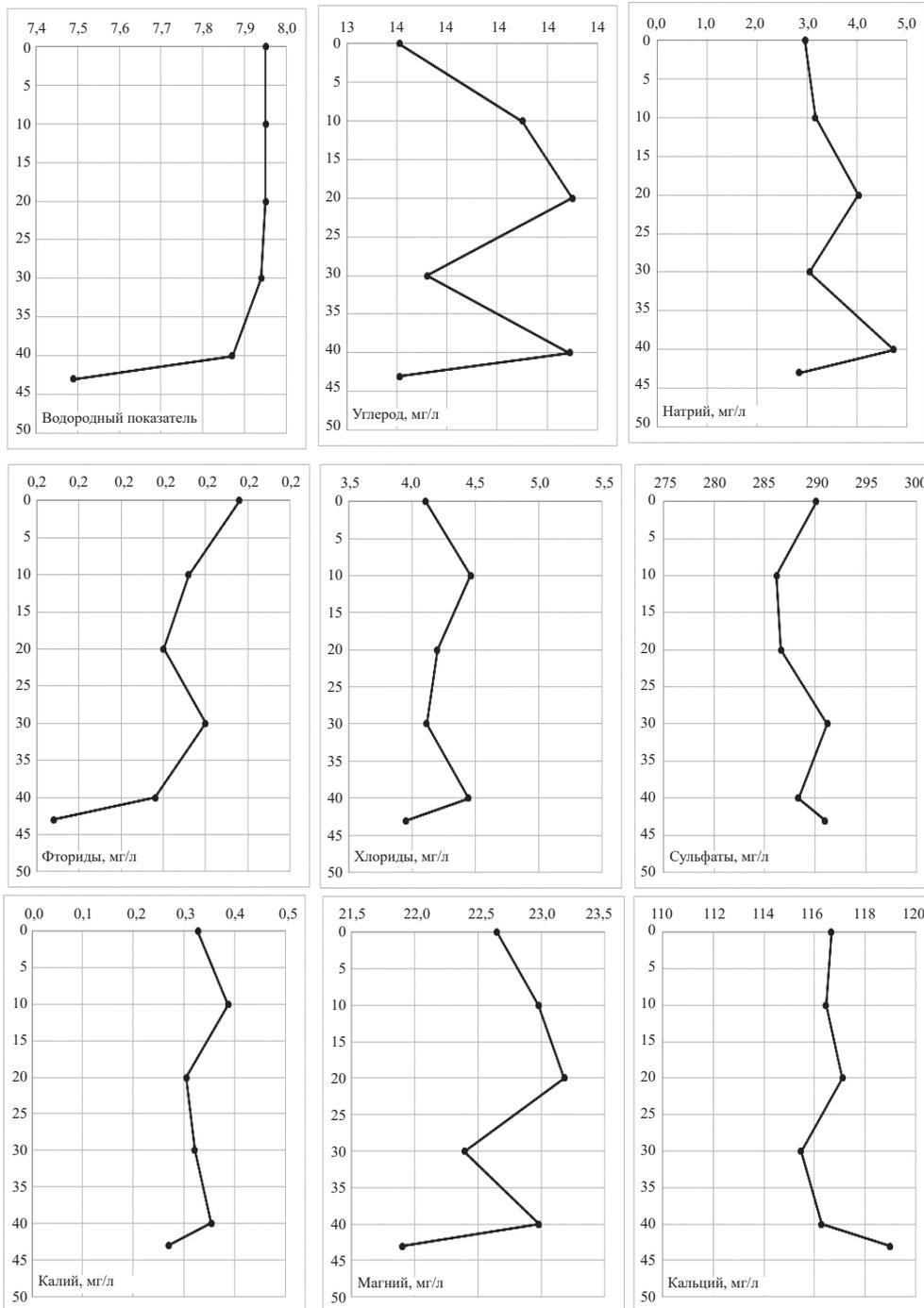


Рис. 45. Распределение концентраций основных химических элементов по глубине оз. Конгресс, август 2017 г.

В западную часть озера осуществляется основной поверхностный приток озера посредством двух ручьев, берущих свое начало на леднике Варде: ручья Безназвания-1 (длина около 1,78 км, расход 1,88 л/сек 09.09.2002) и левого притока ручья Безназвания-2 (длина около 2,05 км, расход в тех же пределах). Данные ручьи горного типа, характер течения быстрый (0,5–2 м/с), с частыми порогами и небольшими плесовыми участками длиной до 6 м [82].

Питание оз. Стемме в основном осуществляется за счет таяния ледника и характеризуется ростом поступления взвешенного вещества в летний период при таянии снежного покрова. При этом происходит дополнительное поступление взвешенных веществ, накопленных в снеге за зимний период. В зимний период сток с ледников практически отсутствует, и озеро не имеет естественных источников питания.

Анализируя обобщенные результаты экспедиционных обследований оз. Стемме, проведенных в 2002–2010 гг., можно заключить, что вода озера имеет реакцию среды близкую к нейтральной в весенний и летне-осенний периоды (табл. 61).

Значения pH изменялись в пределах 6,70–7,85 (весной) и 5,79–8,02 (в летне-осенний период).

Растворенный кислород изменялся от 6,16–12,2 мг/л до 10,5–13,2 мг/л с общей тенденцией увеличения в летне-осенний период.

Таблица 61

Компонентный состав водной среды оз. Стемме в 2002–2010 гг.

Гидрохимические показатели	Весенний период		Летне-осенний период	
	Интервал	Сред.	Интервал	Сред.
Водородный показатель, ед. pH	6,70–7,85	7,11	5,79–8,02	7,18
Щелочность, мг-экв./л	0,36–0,64	0,50	0,14–0,60	0,37
Растворенный кислород, мг/л	6,16–12,2	9,91	10,5–13,2	12,2
Биохимич. потребление кислорода (5), мг/л	< 1,00–1,46	0,59	< 1,00–1,46	0,27
Химич. потребление кислорода, мг/л	3,20–13,0	8,71	2,00–9,90	3,56
Азот нитритный, мг/л	н.о.–0,030	0,003	н.о.–0,023	0,005
Азот нитратный, мг/л	0,18–1,83	0,474	0,005–0,131	0,032
Азот аммонийный, мг/л	0,010–0,790	0,110	0,007–0,300	0,099
Общий азот	0,35–3,25	0,81	0,13–0,99	0,52
Общий фосфор	0,008–0,019	0,012	0,005–0,710	0,026
Взвешенные вещества, мг/л	3,44–10,7	6,70	7,30–37,3	16,6

В то же время общая щелочность воды и химическое потребление кислорода в летне-осенний период заметно снижаются до средних значений 0,37 мг-экв/л и 3,56 мг/л, соответственно.

Характеристики изменчивости концентрации азот- и фосфорсодержащих соединений в воде оз. Стемме отражают сезонный ход и являются достаточно типичными для пресноводных арктических водоемов. Так, концентрация аммонийного азота, обусловленная минерализацией органических веществ в условиях затухания процессов фотосинтетической утилизации биогенов, достигает максимальных значений в зимний и предвесенний периоды и снижается в период интенсивной фотосинтетической деятельности фитопланктона осенью в среднем до 0,099 мг/л.

Концентрация других соединений азота (нитриты, нитраты, общий азот) в воде озера подвержена выраженным сезонным колебаниям.

Минимальное содержание нитратов (0,005–0,131 мг/л) и общего азота (0,13–0,99 мг/л) отмечается в вегетационный период (лето–осень), когда активно происходят процессы потребления нитратов фитопланктоном и денитрифицирующими бактериями, а максимальные содержание – зимой, когда при минимальном потреблении азота происходит разложение органических веществ и переход азота из органических форм в минеральные. Содержание нитритов в воде озера характеризуется незначительными концентрациями, характерными для незагрязненных водных объектов (тысячные доли миллиграмма в 1 л).

Некоторое повышение концентрации нитритов в водах озера летом обусловлено активностью фитопланктона и связано со способностью водорослей (диатомовых и зеленых) восстанавливать нитраты до нитритов.

Динамика содержания фосфора в поверхностных водах определяется, главным образом, соотношением интенсивности продукционных и деструкционных процессов и характеризуется сезонным ходом, для которого типичным является снижение концентрации до минимальных значений (0,008–0,019 мг/л) весной и повышение (0,005–0,710 мг/л) осенью.

Проведенные в 2017 г. более детальные наблюдения за изменчивостью компонентного состава водной среды оз. Стемме позволили выделить следующие характерные особенности (табл. 62).

Водородный показатель (рН) в озерных водах в весенний период работ находился в пределах 7,73–7,75 ед. рН, в летне-осенний – от 7,65 до 7,69 ед. рН, а растворенный кислород достигал весной от 10,0 до 10,2 мг/л (насыщение кислородом составляло 95–96 %), а в летне-осенний период – 10,2–10,6 мг/л. В сравнении с 2002–2010 гг. (табл. 61) заметных изменений по этим показателям не отмечено.

Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) в водах оз. Стемме в весенний период изменялся от 347 до 350 мВ, в летне-осенний период – от 282 до 303 мВ. Удельная электропроводность варьировала в узких пределах (103–136 μ S/cm).

Компонентный состав водной среды оз. Стемме в 2017 г.

Показатель	Ингредиент	Диапазон колебания концентраций, мг/л
Физико-химические показатели	pH, ед. pH	7,65–7,75
	УЭП, $\mu\text{S}/\text{cm}$	103–136
	Eh mV	282–350
	Кислород	10,0–10,6
Главные ионы	Кальций Ca^{2+}	14,1–19,3
	Магний Mg^{2+}	1,93–2,88
	Натрий Na^+	3,23–4,18
	Калий K^+	0,32–5,12
	Сульфаты SO_4^{2-}	11,1–22,6
	Хлориды Cl^-	7,13–15,0
Биогенные элементы	Азот аммонийный	0,331–0,355
	Нитриты	0,005–0,006
	Нитраты	0,037–0,049
	Фосфаты	< 0,001
	Кремний	0,452–1,130
Микроэлементы	Фториды	н.о.
	Бромиды	< 0,08–0,08

В составе главных ионов доминировали среди анионов сульфаты (11,1–22,6 мг/л), а среди катионов – кальций (14,1–19,3 мг/л). Довольно значительно содержание хлоридов (7,13–15,0 мг/л). Максимальные концентрации калия, натрия и магния варьировали в пределах 2,88–5,12 мг/л.

Воды озера можно отнести к классу сульфатных, группы кальция.

В компонентном составе биогенных элементов доминировали соединения кремния и азот аммонийный (табл. 62).

Содержание кремния силикатного в водах озера весной находилось в интервале от 452 до 481 мкг/л, в период осенней съемки – от 477 до 1130 мкг/л.

Содержание аммонийного азота в водах оз. Стемме в весенний период находилось в интервале от 331 до 341 мкг/л при среднем значении 336 мкг/л, осенью – от 332 до 355 мкг/л (среднее – 344 мкг/л).

Концентрация нитритных, нитратных и фосфатных ионов была крайне низкая и изменялась:

– по нитритному азоту весной – от 5,10 до 5,20 мкг/л, в осенний период – от 5,90 до 6,20 мкг/л;

– нитратному азоту – весной от 37,0 до 39,0 мкг/л, в осенний период – от 44,0 до 49,0 мкг/л;

– фосфатному фосфору – все периоды наблюдений не превышали пределов обнаружения (< 1,0 мкг/л).

Содержание фторидов и бромидов было ниже пределов обнаружения (< 0,08 мг/л).

Озеро Бретьёрна. Водосбор оз. Бретьёрна расположен в нижнем течении р. Грёнфьорд с востока и отделен от реки обширным моренным комплексом, образованным таянием ледника Западный Грёнфьорд. Озеро образовано за счет отступления ледников Восточный Грёнфьорд и Западный Грёнфьорд и питается за счет постоянного поступления воды с этих ледников.

Площадь водного зеркала озера на 2005 г. составляет 1,64 км². Озеро Бретьёрна сточное, основной сток в летне-осенний период происходит по руслу реки, расположенной в северной части озера и впадающей в Грёнфьорд. Вода в озере насыщена наносами, смываемыми с моренного комплекса, в теле которого и расположена чаша озера. В весенний период во время активного таяния снеготазов, накопленных в зимнее время из оз. Бретьёрна, имеется сток в р. Грёнфьорд, о чем свидетельствуют многочисленные размывы в моренном комплексе, ограничивающем водосбор с востока. Метки высоких вод озера обнаруживаются на высоте 1–1,5 м от межени положения уровня озера. В летне-осенний период, когда отметка уровня озера падает из-за истощения запасов воды, поверхностный сток в р. Грёнфьорд прекращается, однако подземная часть стока представляется весьма существенной долей питания реки в период летне-осенней межени. Морена, ограничивающая озеро с востока и отделяющая его от водосбора р. Грёнфьорд, сильно обводнена, и в нижнем течении реки имеется большое количество выходов моренных вод в виде небольших ручейков [Приложение, п. 7, п. 9].

Оценка водного баланса показывает, что основное количество воды поступает в озеро с поверхностным стоком. Почти половина годового поступления воды в озеро происходит в период весеннего половодья. Приходная часть водного баланса превышает ее расходную часть только в период половодья, и в это время происходит накопление воды в озере. В остальные сезоны года наблюдается обратная картина.

Соотношение притока и стока не является постоянной величиной. Это соотношение изменяется от 13 % в середине августа, и до 39 % – в середине сентября, в период дождевых паводков. Наибольший вклад в формирование запаса озерных вод имеет приток R4, который характеризует поверхностный сток ледника Восточный Грёнфьорд (рис. 46).

Гидроствор R1 расположен в 500 м от залива Грёнфьорд, левый приток R1. Измеренные значения расхода воды в реке изменялись от 2,40 до 0,40 м³/с. При этом максимальное значение скорости воды в реке составляло 1,44 м/с, максимальная ширина реки равнялась 7,68 м.

Гидроствор R2 расположен в 2,2 км от залива Грёнфьорд. Приток берет начало на леднике Западный Грёнфьорд и впадает в оз. Бретьёрна. Водоток характеризует как поверхностный, так и внутриледниковый ледниковый сток. Измеренные значения расхода воды в реке изменялись от 1,91 до 1,03 м³/с. При этом максимальное значение скорости воды в реке составляло 1,51 м/с, максимальная ширина реки равнялась 5,76 м.

Гидроствор R3 расположен в 2,4 км от залива Грёнфьорд. Приток берет начало на леднике Западный Грёнфьорд и впадает в оз. Бретьёрна. Водоток характеризует поверхностный ледниковый сток. Измеренные значения расхода воды в реке менялись от 1,13 до 0,51 м³/с. При этом максимальное значение скорости воды в реке составляло 1,29 м/с, максимальная ширина реки равнялась 6,60 м.

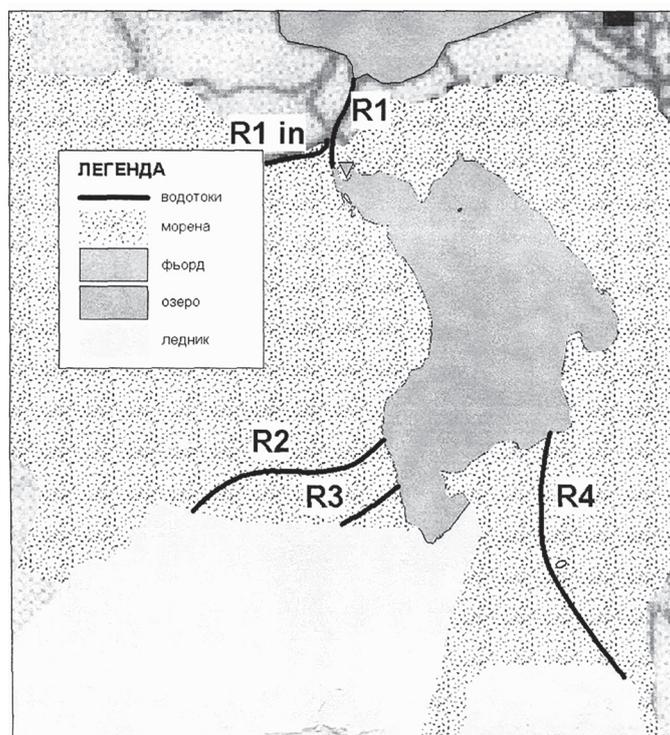


Рис. 46. План основных притоков приледникового оз. Бретьёрна [Приложение, п. 9]

Гидроствор R4 расположен в 3,4 км от залива Грэнфьорд. Приток берет начало на леднике Восточный Грэнфьорд и впадает с юга в оз. Бретьёрна. Водоток характеризует поверхностный ледниковый сток. Измеренные значения расхода воды в реке изменялись от 3,96 до 1,34 м³/с. При этом максимальное значение скорости воды в реке составляло 1,68 м/с, максимальная ширина реки равнялась 13,0 м.

Анализируя обобщенные результаты экспедиционного обследования оз. Бретьёрна в 2015 и 2017 гг., можно заключить, что вода озера имеет реакцию близкую к нейтральной с переходом в слабощелочную (табл. 63).

Значения pH варьировались в пределах 6,10–8,31 ед. pH.

В зависимости от времени наблюдения вода озера слабо- и среднеминерализованная.

Значения электропроводности изменялись в диапазоне 350–492 μS/см.

Обобщение экспедиционных наблюдений в водной среде озера главных ионов позволяет сделать следующее порядковое расположение для:

– анионов:

SO_4^{2-} (10,9–231 мг/л);

HCO_3^- (52,0–64,4 мг/л);

Cl^- (1,30–11,8 мг/л);

**Межгодовая изменчивость компонентного состава
водной среды оз. Бретьёрна**

Ингредиент	Диапазон колебания концентраций, мг/л	
	2015	2017
Физико-химические показатели		
рН, ед. рН	6,96–8,31	6,10–7,36
УЭП, $\mu\text{S}/\text{cm}$	–	350–492
Главные ионы		
Кальций Ca^{2+}	9,01–27,2	32,4–41,7
Магний Mg^{2+}	2,10–6,22	21,1–33,7
Натрий Na^+	–	7,90–10,8
Калий K^+	0,54–1,81	1,03–3,69
Гидрокарбонаты HCO_3^-	52,0–64,4	–
Сульфаты SO_4^{2-}	10,9–40,6	120–231
Хлориды Cl^-	1,30–7,02	1,30–11,8
Биогенные элементы		
Азот аммонийный	–	< 0,25
Нитриты	–	< 0,05
Нитраты	0,128–0,451	< 0,08–0,520
Фосфаты	–	< 0,10
Кремний	0,217–0,473	–
Углерод общий	8,77–10,9	–
Углерод неорганический	8,04–9,49	–
Фториды	0,012–0,038	0,015–0,179
Бромиды	–	< 0,08

– катионов:

Ca^{2+} (9,01–41,7 мг/л);

Mg^{2+} (2,10–33,7 мг/л);

Na^+ (7,90–10,8 мг/л);

K^+ (0,54–3,69 мг/л).

В исследуемые периоды воды озера относятся к сульфатно-кальций-магниевым.

Биогенные соединения в водной среде оз. Бретьёрна в основном представлены нитратами, максимальная концентрация которых периодически достигала 0,451–0,520 мг/л, и соединениями кремния, варьирующих в пределах 0,217–0,473 мг/л.

Аммонийные, нитритные и фосфатные ионы содержатся в концентрациях ниже предела обнаружения.

Основную долю углеродсодержащих соединений (8,77–10,9 мг/л) составляют неорганические вещества (8,04–9,49 мг/л). Максимальная концентрация фторидов периодически достигает 0,179 мг/л (табл. 63).

Для оценки изменчивости компонентного состава водной среды по глубине на озере Бретьёрна пробы воды были отобраны в трех точках: у поверхности, на глубине 10 м и в придонном слое, на глубине от 17 до 20 м. Анализ распределения гидрохимических параметров по глубине и между точками отбора показывает, что структура воды в озере неоднородна за счет малой глубины и, вероятно, интенсивных перемешивающих процессов (рис. 47).

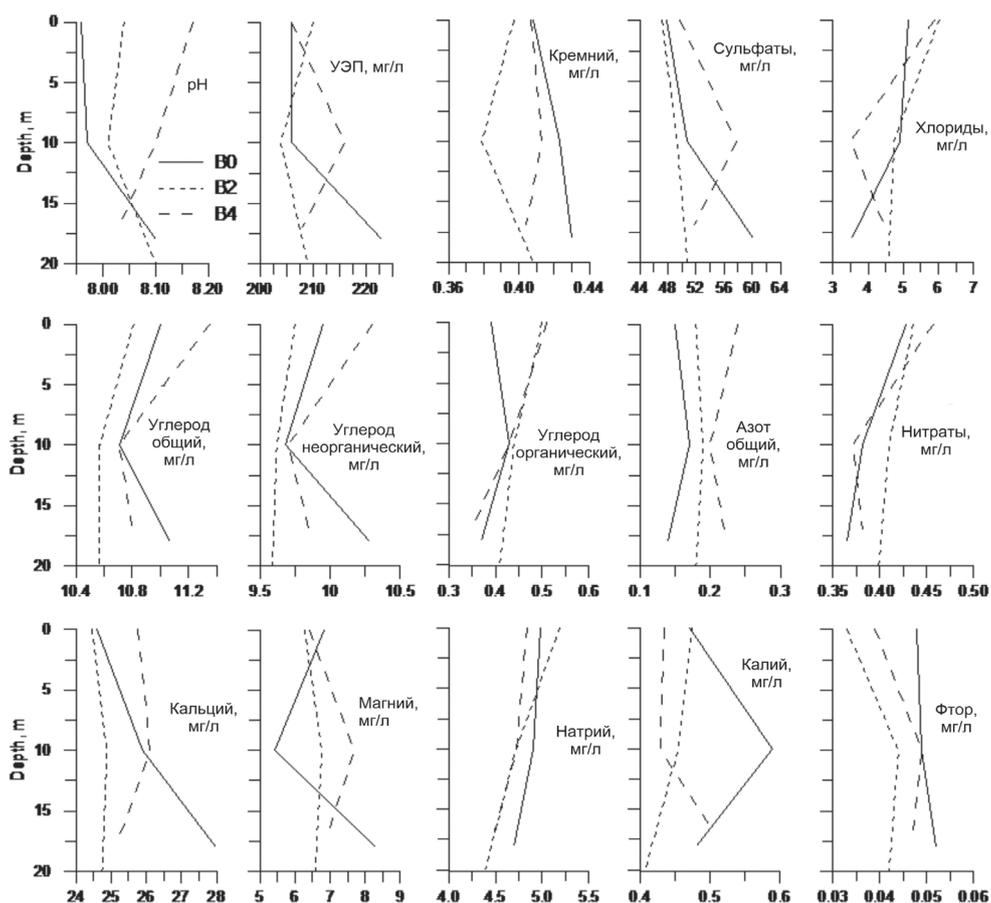


Рис. 47. Распределение гидрохимических параметров с глубиной в озере Бретьёрна: BO, B2, B4 – точки отбора проб воды, равномерно распределенные по длине озера.

Отчетливый тренд проявляется в распределении нитрат-иона, его количество уменьшается с глубиной на всех точках. Концентрация нитрат-иона в оз. Бретьёрна в пять раз выше, чем в оз. Конгресс, где нитрат-ион детектировался только в поверхностном слое. По-видимому, это обусловлено большей трофностью водоема и меньшей минерализацией, обеспечивающей менее агрессивные условия обитания для организмов, продукты жизнедеятельности которых впоследствии переходят в неорганические формы азота.

Исходя из содержания общего азота и нитрат-иона, можно заключить, что наибольшее количество органического азота присутствует в пробах из придонного слоя. Содержание органического углерода также сравнительно хорошо повторяет распределение органического азота и уменьшается с глубиной на всех точках пробоотбора. Распределение кремния, доступного для развития планктонных организмов, не подчиняется какой-либо общей закономерности.

По-видимому, содержание ионов хлора и натрия так же, как и на оз. Конгресс, регулируется поступлением с воздушным переносом с фьорда и имеет поверхностный максимум и относительно постоянное содержание по глубине. Концентрации фторида и калия малы и не имеют четкой структуры распределения.

Озеро Голубое. Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) в водах оз. Голубое изменялся от 294 до 296 мВ.

Водородный показатель (рН) в озерных водах находился в пределах 8,25–8,28 ед. рН.

Содержание растворенного кислорода в водах оз. Голубое находилось в пределах от 11,2 до 12,6 мг/л (насыщение кислородом составляло от 97,6 % до 98,5 %) [31].

Щелочность озерных вод изменялась в пределах от 1,46 до 1,52 мг-экв/л.

Биохимическое потребление кислорода (БПК) в водах оз. Голубое составляло от 0,59 до 0,64 мг/л O₂.

Химическое потребление кислорода (ХПК) в озерных водах изменялось от 7,04 до 7,11 мг/л.

В водах оз. Голубое концентрации нитритного, нитратного и аммонийного азота, а также фосфатного и общего фосфора находились ниже пределов обнаружения (< 10,0 и < 1,0 мкг/л соответственно). Концентрации общего азота составляли от 100 до 210 мкг/л.

Содержание кремния силикатного в водах озера находилось в интервале от 39 до 82 мкг/л.

Из основных компонентов минерального состава в озерных водах также были определены содержания хлорид-ионов, сульфат-ионов, ионов натрия, калия, кальция и магния. Концентрации отдельных показателей составляли: для хлорид-ионов – от 3,65 до 3,67 мг/л, для сульфат-ионов – от 15,5 до 15,6 мг/л, для натрия – от 9,60 до 9,70 мг/л, для калия – от 0,58 до 0,64 мг/л, для кальция – от 22,9 до 23,0 мг/л, для магния – от 5,92 до 5,97 мг/л.

4.2.3. Приоритетные загрязняющие вещества в пресноводных экосистемах

Удаленность Западного Шпицбергена от промышленного влияния мегаполисов создает достаточно благоприятные условия для функционирования

пресноводных экосистем на фоновом уровне. Однако в последние десятилетия намечилось усиление техногенного воздействия на окружающую природную среду за счет следующих возможных источников загрязнения:

- добыча угля в поселках Свеагруве и Баренцбург;
- деятельность мощных ТЭЦ и котельных;
- отвалы сопутствующей породы;
- отвалы золы и сжигание мусора.

Поэтому в поверхностных водах суши в районе расположения п. Баренцбург (оз. Стемме и р. Грён) проводились наблюдения за возможностью и характером загрязненности озера, используемого для питьевого и хозяйственного водоснабжения поселка (начиная с 2002 г.) и р. Грён (начиная с 2003 г.).

Из числа широко распространенных загрязняющих веществ были выявлены нефтяные углеводороды (НУ), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), пестициды группы ГХЦГ, ДДТ, хлорбензолы (ХБ), полихлорбензолы (ПХБ) и соединения тяжелых металлов.

Учитывая тот факт, что на компонентный состав водной среды большое влияние оказывает тип питания экосистемы, априори можно предположить, что в воде р. Грён, в питании которой значительную долю составляет поверхностный сток, будут более высокие уровни содержания отдельных загрязняющих веществ в сравнении с оз. Стемме, где преобладающим типом питания является ледниковый сток.

Результаты проведенных в 2002–2010 гг. наблюдений за изменчивостью гидролого-гидрохимического состояния пресноводных экосистем показали, что компонентный состав идентифицированных приоритетных загрязняющих соединений включал (табл. 64):

- в водной среде оз. Стемме: нефтяные углеводороды, полициклические ароматические углеводороды, пестициды (ГХЦГ, ДДТ, ХБ, ПХБ, полихлорциклодиены, соединения тяжелых металлов (железа, марганца, цинка, меди, никеля, кобальта, свинца, кадмия, хрома);
- р. Грён: все перечисленные соединения, кроме полихлорциклодиенов.

Приведенные в таблице 64 диапазоны колебания концентрации загрязняющих соединений показывают, что наиболее значимыми по содержанию в водной среде:

- озера Стемме являются полициклические ароматические углеводороды (до 290–713 нг/л), нефтяные углеводороды (до 30,0–120 мкг/л), соединения железа (до 32,5–72,0 мкг/л) и соединения группы ГХЦГ (до 5,10–23,1 нг/л);
- реки Грён – полициклические ароматические углеводороды (до 152 нг/л), соединения марганца (до 590 мкг/л), нефтяные углеводороды (до 43,0 мкг/л).

Из 16 приоритетных соединений группы полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в водах оз. Стемме в весенний и летне-осенний периоды содержание аценафтена, бенз(а)антрацена, хризена, бенз(а)пирена, дибенз(аh)антрацена, индено(123cd)пирена, бенз(ghi)перилена находилось ниже предела обнаружения используемого метода анализа. Частота обнаруже-

Интервалы и средние уровни содержания приоритетных загрязняющих соединений в водной среде оз. Стемме и р. Грён в 2002–2010 гг. [31]

Ингредиент	Весенний период		Летне-осенний период			
	оз. Стемме		оз. Стемме		р. Грён	
	Интервал	Средний уровень	Интервал	Средний уровень	Интервал	Средний уровень
Суммарные нефтяные углеводороды, мкг/л	< 2–120	13,6	< 2–30,0	3,34	< 2–43,0	7,88
Сумма ПАУ, нг/л	2,40–290	50,5	0,00–713	26,1	0,00–152	15,7
Сумма ХБ, нг/л	0,00–0,51	0,08	0,00–2,57	0,12	0,00–1,50	0,06
Сумма ГХЦГ, нг/л	0,00–5,10	0,80	0,00–23,1	0,96	0,00–0,85	0,19
Сумма ДДТ, нг/л	0,06–0,81	0,22	0,00–3,06	0,32	0,00–0,92	0,22
Сумма полихлорциклодиенов, нг/л	0,00–0,14	0,01	0,00–0,32	0,01	0,00	0,00
Сумма ПХБ, нг/л	0,14–5,23	1,43	0,00–3,26	0,62	0,00–2,68	0,79
Соединения, мкг/л						
Железа	3,17–32,5	10,6	< 2,5–72,0	10,2	< 2,5–35,6	8,61
Марганца	0,60–5,31	1,58	0,09–6,80	1,47	0,12–590	125
Цинка	2,06–3,91	2,95	< 0,5–9,9	1,45	< 0,5–13,2	3,78
Меди	< 0,5–1,24	0,62	< 0,5–3,0	0,43	< 0,5–1,10	0,45
Никеля	< 3–5,31	2,35	< 3–12,0	1,76	< 3–23,0	5,51
Кобальта	< 0,1–2,40	0,14	< 0,1–2,36	0,19	0,32–2,52	1,17
Свинца	< 1–1,70	0,80	< 1–1,71	0,52	< 1–6,0	0,48
Кадмия	< 0,07–0,16	0,07	< 0,07–0,50	0,08	< 0,07–5,0	0,24
Хрома	< 0,30–0,90	0,43	< 0,30–2,61	0,42	< 0,30–0,97	0,33

ния значимого количества других соединений этой группы составляла: нафталина – 78–100%, флуорена – 4–38%, флуорантена – 4–18,8%, фенантрена – 26–69%, флуорена – 4–38%, пирена – 9%, бенз(б)флуорантена+перилена – 22–75%, бенз(к)флуорантена – 4%. Суммарное содержание соединений группы ПАУ в озере в зимне-весенний период изменялось от 2,40 до 290 нг/л, в летне-осенний период – от 0 до 713 нг/л. Содержание наиболее токсичного соединения из группы ПАУ, бенз(а)пирена, в водах озера было ниже предела обнаружения (< 0,5 нг/л).

Изменчивость средних уровней содержания суммы ПАУ и приоритетных соединений в водах озера за весь период наблюдений характеризуется относительно повышенными концентрациями в воде озера в зимне-весенний период по сравнению с зафиксированными уровнями содержания ПАУ в озере и реке

в летне-осенний период. В зимний период загрязнение воды озера соединениями ПАУ идентично загрязнению снежного покрова, расположенного на озере, в котором большую часть общей суммы ПАУ составили относительно легкие соединения с более высокой растворимостью в воде. На поступление, объем и компонентный состав ПАУ в значительной степени влияет работа насосной станции, расположенной на озере. При этом из-за незначительного водообмена в озере зимой происходит накопление этих углеводородов.

Частота обнаружения значимого количества ХОС составляла для хлорбензолов 11–44 % весной и 14–17 % осенью, а соединений группы ГХЦГ в оба сезона – от 20 до 94 %, и ДДТ в оба сезона – от 11 до 83 %.

Уровни содержания октахлорстирола и практически всех пестицидов полихлорциклодиенового ряда – альдрина, гептахлора, гептахлорэпоксида, транс-хлордана, цис-хлордана, цис-нонахлора, транс-нонахлора, фотомирекса, мирекса – были ниже пределов обнаружения применяемого метода анализа.

Максимальное значение суммарного содержания конгенов ПХБ было обнаружено весной 2003 г. и достигало 5,23 нг/л.

Сезонная изменчивость содержания хлорбензолов, пестицидов групп ГХЦГ и ДДТ в водах озера характеризуется ростом уровней в летне-осенний период по сравнению с зимне-весенним. В то же время общее содержание полихлорированных бифенилов в воде озера имеет максимум в зимний период и более чем в два раза превышает летние уровни. Повышенные уровни ПХБ в зимний период, видимо, связаны с происходящими в водной среде и ледяном покрове процессами физико-химического и микробиологического дехлорирования и разложения ПХБ и аккумулярованием этих соединений в условиях замедленных процессов водообмена в озере в этот период.

Относительно более высокие уровни содержания хлорбензолов, пестицидов групп ГХЦГ и ДДТ в водах озера в летне-осенний период, видимо, связаны с их поступлением на водосбор озера за счет атмосферного переноса.

Максимальные концентрации железа, свинца и кадмия в воде озера наблюдались осенью в 2003 г., а цинка, меди, никеля и хрома отмечались в 2002 г.

Следует обратить внимание на относительно более высокие концентрации в водах озера в зимне-весенний период цинка, меди, никеля и свинца, превышающие в 1,4–2 раза соответствующие летне-осенние значения. Концентрации остальных металлов в водах озера не имеют выраженных сезонных различий.

В водах р. Грён в группе ПАУ ниже предела обнаружения находилось содержание аценафтилена, аценафтена, антрацена, бенз(а)антрацена, хризена, бенз(а)пирена, дибенз(аh)антрацена, индено(123cd)пирена, бенз(ghi)перилена. Частота обнаружения значимого содержания других приоритетных соединений составляла: нафталина – 50 %, флуорантена – 23 %, фенантрена – 31 %, флуорена – 3,8 %, пирена – 1,1 %, бенз(б)флуорантена+перилена – 11,5 %, бенз(к)флуорантена – 7,7 %.

Суммарное содержание соединений группы ПАУ изменялось от 0 до 152 нг/л. Содержание наиболее токсичного соединения из группы ПАУ, бенз(а)пирена, в водах реки Грён было ниже предела обнаружения (< 0,5 нг/л).

В воде реки концентрация марганца резко возросла в 2010 г., и в 50 % проб превышала средние значения (125 мкг/л).

Концентрация хрома достигала наибольшей величины (0,97 мкг/л) в 2004 г., концентрация цинка (13,2 мкг/л) – в 2003 г., концентрации никеля (23,0 мкг/л) – в 2010 г. Кобальт в наибольшей концентрации был зафиксирован в 2008 г. (2,52 мкг/л).

В летне-осенний период наблюдений регулярно фиксировались хлорбензолы, пестициды групп ГХЦГ и ДДТ, а также полихлорированные бифенилы (ПХБ) в водной среде реки Грён.

Частота обнаружения значимого количества ХОС составляла для соединений группы ГХЦГ 25–50 %, для соединений группы – ДДТ 4–71 %, для хлорбензолов – 4 %.

Максимальные концентрации пентахлорбензола и гексахлорбензола зафиксированы в 2010 г. Максимальные концентрации пестицидов группы ГХЦГ (0,85 нг/л) были обнаружены в 2003 г., группы ДДТ (0,92 нг/л) – в 2010 г.

Частота обнаружения значимых концентраций ПХБ составляла 19–58 %.

Рассматривая особенности содержания хлорорганических соединений в водах реки и озера, следует обратить внимание на его более низкий уровень в водах реки по сравнению с водами озера. Учитывая, что источниками поступления ХОС в воды озера и реки являются в основном процессы, связанные с дальним и ближним атмосферным переносом, в озере, где процессы водообмена замедлены, существует значительно больший по сравнению с речным потоком временной интервал для накопления ХОС.

Уровни содержания ряда тяжелых металлов в р. Грён (железо, медь, свинец, хром) сопоставимы с уровнями в озере, что указывает на одинаковые условия поступления этих соединений в воды рассматриваемых объектов. В то же время содержание марганца в речной воде (125 мкг/л) превышает на два порядка концентрацию марганца в озерной воде (1,58 мкг/л). Такое большое различие в содержании марганца отмечается начиная с 2007 г. и, по-видимому, обусловлено изменением гидрогеологических условий и особенностей разгрузки подземных вод ручьями в районе долины и русла р. Грён, произошедших в последние годы.

Одновременно следует отметить значительное загрязнение вод реки цинком, никелем и кадмием (в 1,3–3 раза выше, чем в озерных водах). Это, по-видимому, связано с геохимическими особенностями пород и грунтов водосбора реки, а также наличием в пределах водосбора действующей шахты, горных выработок и отвалов пород, обеспечивающих дополнительное поступление этих соединений со склоновым и грунтовым стоком в русло реки и со значительным различием в размерах водосборных площадей этих объектов и гидрогеологических особенностей водосборов.

Кроме того, значительное число мелких ручьев по обоим склонам долины р. Грён, питающих реку в теплый период года в дополнение к ледниковому питанию, геохимические особенности дренируемых пород и наличие значительных летне-осенних дождевых паводков, по объемам нередко превосходящих весеннее половодье, обуславливают значительный приток растворенных металлов, формирующих в значительной степени химический состав р. Грён в ее нижнем течении.

В целом концентрации всех контролируемых соединений тяжелых металлов в воде оз. Стемме и р. Грён за обследованный период не превышают значений, характерных для регионального фона озер и рек о. Западный

Шпицберген. Пределы изменения концентраций большинства металлов не превышают ПДК, установленных для пресных вод. Превышения наблюдались в озерных водах только для меди и никеля, а в речных водах – для марганца, цинка, меди и никеля.

Обобщение результатов экспедиционных наблюдений, проведенных в 2017 г., позволяет заключить, что компонентный состав в идентифицированных приоритетных загрязняющих соединений включал в водной среде (табл. 65):

– озера Стемме нефтяные углеводороды (НУ), полициклические ароматические углеводороды (пара- и метаксиллолы), пестициды (ПХБ) и соединения тяжелых металлов (марганца, цинка, меди, никеля, кобальта);

– озеро Голубое – полициклические ароматические углеводороды, синтетические поверхностно-активные вещества, пара- и метаксиллолы, полихлор-бифенилы и соединения цинка, никеля и кобальта;

– реки Грён – нефтяные углеводороды, полициклические ароматические углеводороды, пестициды (ДДТ и ПХБ) и соединения тяжелых металлов (марганца, цинка, никеля, кобальта).

Таблица 65

**Приоритетные загрязняющие соединения
в водной среде озер Стемме, Голубое и р. Грён в 2017 г. [Приложение, п. 26]**

Ингредиент	Озеро Стемме				Озеро Голубое		Река Грён	
	Весенний период		Летне-осенний период		Летний период		Летне-осенний период	
	Макс.	Сред.	Макс.	Сред.	Диапазон	Макс.	Макс.	Сред.
Суммарные нефтяные углеводороды, мкг/л	–	28,5	< 2,0–2,70	–	–	3,40	7,30–7,50	7,40
Сумма ПАУ, нг/л	–	–	–	26,3	14,0–82,0	–	–	13,5
СПАВ, нг/л	< 0,10	–	–	–	9,50–10,3	–	< 0,10	–
Пара- и метаксиллолы, мкг/л	–	–	–	4,05	3,77–3,85	–	–	–
Сумма НАУ, нг/л	< 0,10	–	–	–	–	–	< 0,50	–
Сумма ДДТ, нг/л	–	–	–	–	–	–	0,12	–
Сумма ПХБ, нг/л	–	–	0,16	–	–	0,12	0,13	–
Соединения, мкг/л								
Марганца	3,10	–	1,30	–	–	–	1130	1045
Цинка	11,0	–	–	–	2,40–2,45	–	2,40	2,35
Меди	2,50	–	–	–	–	–	–	–
Никеля	1,10	–	1,50	–	2,15–2,20	–	31,0	20,5
Кобальта	–	–	1,10	–	1,10–1,15	–	7,90	6,90

Приведенные в таблице 65 уровни содержания идентифицированных загрязняющих веществ показывают, что наиболее значимыми являются в водной среде:

– озера Стемме: в весенний период – нефтяные углеводороды (28,5 мкг/л средняя), соединения цинка (11,0 мкг/л максимальная);

– озера Голубое: в летний период – полициклические ароматические углеводороды (до 82,0 нг/л) и синтетические поверхностно-активные вещества (до 10,3 нг/л);

– реки Грён: полициклические ароматические углеводороды (в среднем до 13,5 нг/л), нефтяные углеводороды (до 7,50 мкг/л), соединения марганца (до 1130 мкг/л) и соединения никеля (до 31,0 мкг/л).

Из 16 контролируемых полициклических ароматических углеводородов в озерных и речных водах в период наблюдений 2017 г. не удалось идентифицировать концентрации аценафтилена, флуорантена, пирена, бенз(а)антрацена, хризена, бенз(б)флуорантена+перилена, бенз(к)флуорантена, бенз(а)пирена, дибенз(аh)антрацена, индено(123cd)пирена и бенз(ghi)перилена. Максимальные концентрации отдельных соединений из группы ПАУ составили в водной среде:

– озера Стемме: для нафталина – 5,00 нг/л, флуорена – 16,0 нг/л, аценафтена – 8,00 нг/л, фенантрена – 35,0 нг/л, антрацена – 2,00 нг/л;

– озера Голубое: для нафталина – 8,0 нг/л, флуорена – 20,0 нг/л, аценафтена – 11,0 нг/л, фенантрена – 40,0 нг/л, антрацена – 3,0 нг/л;

– реки Грён: для нафталина – 8,00 нг/л, флуорена – 4,00 нг/л, аценафтена – 1,00 нг/л, фенантрена – 2,00 нг/л, флуорантена – 3,00 нг/л.

Из контролируемых хлорорганических соединений (ХОС) в водной среде:

– озера Стемме: в весенний период наблюдений не удалось обнаружить ни одно соединение ХОС, а в летне-осенний период было однократно зафиксировано содержание соединения группы ПХБ составившее 0,16 нг/л;

– озера Голубое: однократно зафиксированы соединения группы ПХБ в количестве 0,12 нг/л;

– реки Грён: были однократно обнаружены пестициды групп ДДТ и ПХБ; их концентрации составляли: для суммы ДДТ – 0,12 нг/л, суммы ПХБ – 0,13 нг/л.

Среди идентифицированных соединений тяжелых металлов наиболее значимыми в водной среде:

– озера Стемме были соединения цинка, достигая максимальных значений до 11,0 мкг/л;

– реки Грён – соединения марганца, даже средние значения концентрации которых достигали 1045 мкг/л, и соединения никеля с максимальной концентрацией 31,0 мкг/л.

Сравнительная оценка компонентного состава идентифицированных загрязняющих веществ в озере и реке позволяет подтвердить тот факт, что большое влияние на химический состав поверхностных вод оказывает тип питания водотоков и водоемов. Самым высоким общим содержанием растворенных загрязняющих веществ характеризуются воды р. Грён, в питании которой значительную долю составляет поверхностный сток (в отличие от оз. Стемме, где преобладающим типом питания является ледниковый сток).

Полученные в ходе исследований уровни содержания тяжелых металлов в озере Стемме хорошо согласуются с материалами регулярных наблюдений, выполненных Мурманским УГМС на озере за аналогичные периоды [5]. Фоновый уровень содержания тяжелых металлов в водоемах острова

Западный Шпицберген значительно превосходит фоновые уровни содержания металлов, характерные для водоемов, расположенных на севере Европы, что связано с геологическими особенностями, характерными для острова Западный Шпицберген, где в ходе проводимых в предыдущие годы геолого-разведочных работ были обнаружены проявления железа, цинка, свинца, меди и других металлов [82].

Выполненные расчеты индекса УКИЗВ (согласно РД 52.24.643–2002 «Методические указания: Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям») показали:

– с 2002 г. по 2013 г. воды оз. Стемме оценивались как условно чистые, а р. Грён – как очень загрязненные;

– с 2014 г. по 2015 г. воды оз. Стемме классифицируются как грязные, а р. Грён – как экстремально грязные;

– в 2016 г. вода оз. Стемме классифицировалась как условно чистая, а р. Грён – как слабо загрязненная;

– в 2017 г. вода оз. Стемме классифицировалась как условно чистая, а р. Грён – как загрязненная.

Столь заметная изменчивость степени загрязненности обусловлена в первую очередь использованием принятой системы ПДК.

Как известно, в настоящее время единственным нормативно-правовым критерием оценки качества воды являются предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ, которые используются в Государственной системе мониторинга (ГСН) Росгидромета и других систем контроля и которые были широко использованы в оценке уровня загрязненности водных экосистем.

Однако в последние годы с ростом знаний об особенностях функционирования экосистем и усилением антропогенного воздействия на водоемы и водотоки система ПДК стала часто не удовлетворять при решении многих практических вопросов.

Неудовлетворенность от использования системы ПДК вызвана в первую очередь тем, что [70]:

– она не позволяет оценить, в какой мере кратность превышения ПДК и длительность воздействия высоких концентраций загрязняющих веществ влияет на экологическое состояние экосистемы;

– такие важные для оценки качества поверхностных вод параметры, как, например, показатель токсичности, зависят от той конкретной гидрохимической и гидрологической ситуации, на фоне которой они проявляются;

– одни те же значения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ используются для водных объектов различных физико-географических зон, что не может быть признано корректным в связи с резким различием их природных условий.

Поэтому для таких уникальных географических объектов, как архипелаг Шпицберген, в первую очередь должна быть разработана региональная методика оценки состояния водных экосистем и их степени и характера загрязненности.

Обобщая проведенный анализ компонентного состава приоритетных загрязняющих веществ и степени загрязненности поверхностных вод суши в районе Баренцбурга, можно отметить следующее:

– содержание основных групп загрязняющих веществ в районе п. Баренцбург является характерным для районов развития угледобывающей промышленности в Арктике;

– воды озера Стемме за весь период наблюдений характеризуются незначительной загрязненностью, соответствуют санитарно-гигиеническим нормам, предъявляемым к водоемам питьевого и хозяйственно-бытового водопользования, относятся ко II классу качества («чистые») и выраженного тренда к ухудшению качества воды не имеют;

– качество воды р. Грён характеризуется наличием ярко выраженного тренда ухудшения состояния водного объекта, отмечаемого с 2007 г. по настоящее время;

– наибольший вклад в общую оценку степени загрязненности воды реки вносят тяжелые металлы, в особенности марганец, для которого отмечается характерное загрязнение очень высокого уровня, а также цинк, медь и никель;

– качество поверхностных вод оз. Стемме полностью соответствовало установленным российским гигиеническим нормативам ПДК, и могут использоваться для целей питьевого и хозяйственно-бытового водопользования без дополнительной водоподготовки.

4.2.4. Современные фоновые характеристики компонентного состава водной среды рек

При выработке научно-методических основ экологического нормирования возникает необходимость решения следующих общих вопросов:

– определение понятия «норма», или «эталон», для исследуемого природного объекта;

– стандартизация исходных параметров изменчивости состояния исследуемых экосистем с учетом природных и территориальных особенностей;

– определение нормы состояния и нормы колебания стандартизированных параметров состояния экосистемы с выделением пороговых и критических их значений;

– определение экологических нормативов допустимой антропогенной нагрузки с учетом индивидуальной специфики исследуемой экосистемы.

Решение перечисленных вопросов позволяет создать систему параметров текущего состояния экосистемы и систему оценки ее устойчивости по приоритетным индивидуальным компонентам изменчивости состояния.

Помимо выбора параметров состояния следует также подойти к проблеме определения интервалов их значений в норме, а также некоторых экологических регламентов: пороговой величины параметра состояния экосистемы – конкретного значения, при котором начинаются существенные обратимые изменения экосистемы; критической величины параметра состояния экосистемы – его конкретного значения, при котором возможны необратимые изменения экосистемы.

Для реализации вышеизложенного необходимо провести исследования в следующей последовательности:

– обоснование выбора параметра или комплекса таковых;

– выбор методов определения необходимых параметров;

– оценка реакции параметра на возможные антропогенные воздействия;

– определение пределов природных фоновых колебаний величины каждого из выбранных параметров;

– выбор подходов к установлению пороговых и критических значений приоритетных параметров.

Для последующей разработки критериев изменчивости приоритетных параметров необходимо получить объективную характеристику изменчивости фоновое состояние водных экосистем, являющегося результатом всех происходящих в водных объектах процессов – как внутриводоемных, определяемых особенностями экосистем, так и последствий внешнего антропогенного воздействия.

Для оценки последнего целесообразно использовать модальный интервал многолетних вариационных рядов изменчивости количественных величин выбранных параметров для водных экосистем, находящихся в принципиально разном экологическом состоянии, для которых в современных условиях сформировался новый, антропогенно измененный, природный фон по приоритетным гидрохимическим показателям состояния абиотической компоненты.

Для реализации поставленных задач наиболее перспективным, с точки зрения объективности полученных результатов, является подход, изложенный в Р 52.24.661–2004 «Оценка риска антропогенного воздействия приоритетных загрязняющих веществ на поверхностные воды суши» и основанный на:

– ретроспективном анализе многолетней режимной информации о пространственно-временной изменчивости компонентного состава водной среды исследуемой экосистемы;

– выявление и количественная оценка диапазонов колебания значений, включенных в программу наблюдений показателей, и выбор приоритетных параметров отклика экосистемы на внешнее воздействие;

– расчет модального интервала многолетних вариационных рядов изменчивости значений величин выбранных параметров по методике подробно изложенной в Р 52.24.819-2014 «Оценка антропогенной нагрузки на речные экосистемы с учетом их региональных особенностей»;

– сравнительная оценка экологически допустимых уровней изменчивости компонентного состава водной среды.

Представленная в разделе 4.2.1 информация о межсистемной и временной изменчивости компонентного состава водной среды восьми наиболее значимых рек Западного Шпицбергена позволила, в первую очередь, включить в состав приоритетных параметров изменчивости их состояния общую минерализацию, хлориды, сульфаты, ионы калия, магния, кальция, общий углерод, общий азот, гидрокарбонаты и аммонийные иона.

Собранные вариационные ряды концентраций перечисленных параметров за 2005–2017 гг. позволили рассчитать их модальные интервалы.

Проведенный расчет модальных интервалов по комплексу гидрохимических показателей состояния водной среды рек позволил провести оценку их межсистемной изменчивости на фоновом уровне.

Анализ полученных результатов позволяет в первую очередь говорить о заметной изменчивости экологически допустимых фоновых концентраций в водной среде исследуемых рек выбранных доминирующих компонентов (табл. 66, 67).

**Экологически допустимые уровни изменчивости содержания
главных ионов в водной среде рек Западного Шпицбергена**

Река	Модальный интервал значений					
	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Гидро- карбо- наты, мг/л	Ионы		
				калия, мг/л	магния, мг/л	кальция, мг/л
Альдегонда	1,29–5,95 n=71 77 %	5,19–40,7 n=65 80 %	30,6–59,9 n=79 82 %	0,55–1,87 n=88 74 %	1,23–3,83 n=90 72 %	11,9–39,6 n=92 83 %
Грён	<u>3,34–13,4</u> n=60 75 %	<u>101–298</u> n=53 64 %	30,0–68,4 n=70 74 %	1,10–2,73 n=76 89 %	<u>10,8–39,2</u> n=84 63 %	20,0–59,7 n=81 65 %
Грёнфьорд	2,05–4,92 n=34 76 %	72,0–267 n=34 70 %	18,0–49,8 n=17 88 %	0,80–2,99 n=36 78 %	<u>8,22–34,9</u> n=36 64 %	11,0–40,6 n=37 67 %
Брюде	2,08–3,98 n=42 69 %	6,45–18,4 n=43 63 %	30,6–54,3 n=16 63 %	0,24–1,76 n=43 88 %	1,82–3,93 n=41 68 %	10,8–30,2 n=43 72 %
Колес	2,67–8,74 n=7 86 %	<u>103–280</u> n=7 71 %	32,7–53,9 n=4 100 %	1,21–2,25 n=4 100 %	<u>31,0–37,4</u> n=4 75 %	40,3–46,3 n=4 75 %
Конгресс	1,97–5,60 n=32 84 %	<u>141–494</u> n=32 87 %	55,7–86,4 n=14 86 %	0,51–2,83 n=39 79 %	<u>20,4–41,2</u> n=41 78 %	<u>101–208</u> n=42 78 %
Эльза	2,15–5,98 n=53 70 %	6,30–16,2 n=57 53 %	52,7–75,9 n=39 77 %	1,02–2,85 n=50 92 %	2,43–3,79 n=50 60 %	13,1–28,7 n=52 73 %
Бретъёрна	1,96–4,81 n=28 71 %	15,2–82,8 n=39 70 %	33,2–57,5 n=17 88 %	0,53–3,64 n=40 83 %	9,56–19,8 n=41 73 %	19,7–27,2 n=34 73 %

Примечание: *n – общее число определений; ** – частота встречаемости значений модального интервала.

Таблица 67

Экологически допустимые уровни изменчивости растворенного кислорода, удельной электропроводимости и углерод- и азотсодержащих соединений в водной среде рек Западного Шпицбергена

Река	Модальный интервал значений				
	Растворенный кислород, мг/л	УЭП, $\mu\text{S}/\text{cm}$	Азот аммонийный, мг/л	Общий, мг/л	
				Углерод	Азот
Альдегонда	6,04–9,40 n*=57 74 %**	65,8–296 n=203 77 %	н.о.–0,28 n=50 100 %	7,61–11,9 n=61 80 %	0,03–0,18 n=44 95 %
Грён	10,1–12,2 n=5 100 %	176–453 n=106 73 %	н.о.–0,25 n=19 100 %	5,01–12,9 n=72 83 %	0,05–0,29 n=75 68 %
Грёнфьорд	6,74–9,00 n=7 71 %	112–378 n=22 74 %	< 0,25 n=33 85 %	3,07–7,88 n=30 86 %	0,07–0,21 n=32 72 %
Брюде	8,66–9,70 n=6 83 %	71,9–238 n=20 85 %	н.о.–0,30 n=35 100 %	6,26–12,8 n=30 87 %	0,02–0,27 n=31 100 %
Колес	–	617–675 n=4 75 %	< 0,25 n=3 –	5,21–11,2 n=6 100 %	0,11–0,58 n=6 83 %
Конгресс	–	506–1190 n=22 80 %	< 0,25 n=36 86 %	11,0–16,6 n=20 85 %	0,02–0,18 n=30 100 %
Эльза	13,0–13,3 n=7 100 %	104–197 n=60 82 %	н.о.–0,27 n=44 100 %	10,4–18,9 n=42 93 %	0,05–0,19 n=49 68 %
Бретъёрна	–	90–169 n=47 94 %	< 0,25 n=31 100 %	8,06–11,4 n=34 90 %	0,06–0,17 n=34 82 %

Примечание: *n – общее число определений; ** – частота встречаемости значений модального интервала.

В водной среде исследуемых восьми рек Западного Шпицбергена модальный интервал значений доминирующих компонентов меняется:

– по растворенному кислороду: от 6,04–9,40 мг/л в реках Альдегонда и Грёнфьорд до 13,0–13,3 мг/л в р. Эльза;

– по электропроводности: от 90–169 $\mu\text{S}/\text{см}$ в р. Бретьёрна до 506–1190 $\mu\text{S}/\text{см}$ в р. Конгресс;

– хлоридам: от 2,08–3,98 мг/л в р. Брюде до 3,34–13,4 мг/л в р. Грён;

– сульфатам: от 6,30–16,2 мг/л в р. Эльза до 141–494 мг/л в р. Конгресс;

– общему углероду: от 3,07–7,88 мг/л в р. Грёнфьорд до 10,4–18,9 мг/л в р. Эльза;

– общему азоту: от 0,06–0,17 мг/л в р. Бретьёрна до 0,11–0,58 мг/л в р. Колес;

– ионам магния: от 1,23–3,93 мг/л в реках Альдегонда, Брюде и Эльза до 10,8–41,2 мг/л в реках Грён, Грёнфьорд, Колес и Конгресс;

– ионам кальция: от 10,8–39,6 мг/л в реках Альдегонда, Брюде, Эльза и Бретьёрна до 101–208 мг/л в р. Конгресс.

Модальный интервал концентрации гидрокарбонатов и азота аммонийного практически однородный для всех исследуемых рек.

Особое внимание следует обратить на компонентный состав водной среды р. Конгресс, где отмечены anomalно высокие модальные интервалы значений общей минерализации (506–1190 мг/л), сульфатов (141–494 мг/л), ионов кальция (101–208 мг/л). Повышенное содержание перечисленных ингредиентов, по-видимому, связано с тем, что это единственный на Западной Шпицбергене водоток, не имеющий прямого ледникового питания, который вытекает из-под земной поверхности, насыщая главными ионами водную среду.

Опираясь на представленные выше руководящие документы, принятые в последние годы методические подходы к оценке последствий антропогенной нагрузки на пресноводные экосистемы, представляется возможность провести ориентировочную оценку состояния исследуемых речных экосистем по рекомендуемому в руководствах классификатору (табл. 68).

Таблица 68

Классификатор состояния речных экосистем (Р 52.24.819-2014)

Состояние экосистемы	Диапазон модальных интервалов значений массовых концентраций, мг/дм ³		
	Минимальных значений растворенного кислорода	Легкоокисляемые органические вещества (БПК ₅)	Азота аммонийного
Естественное	свыше 6,0	от 0,5 до 1,0 включ.	менее 0,10
Равновесное	от 4,0 до 6,0 включ.	от 1,0 до 2,0 включ.	от 1,0 до 0,5 включ.
Кризисное	от 2,0 до 4,0 включ.	от 2,0 до 4,0 включ.	от 0,5 до 1,0 включ.
Критическое	от 1,0 до 2,0 включ.	от 4,0 до 7,0 включ.	от 1,0 до 3,0 включ.
Катастрофическое	менее 1,0	свыше 7,0	свыше 3,0

По весьма небольшому ряду наблюдений за кислородным режимом состояния исследуемых рек можно оценить как естественное при минимальных значениях растворенного кислорода 6,74–7,02 мг/л в реках Альдегонда и Грёнфьорд, и 8,66 мг/л – в р. Брюде (табл. 69).

По характеру изменчивости модального интервала концентраций азота аммонийного состояние экосистем можно оценить как:

- естественное для рек Грёнфьорд, Колес, Конгресс, Бретьёрна;
- переходное из естественного к равновесному для рек Альдегонда, Грён, Брюде, Эльза.

Таблица 69

Состояние речных экосистем Западного Шпицбергена по азоту аммонийному и растворенному кислороду

Река	Азот аммонийный		Растворенный кислород	
	Модальный интервал концентрации, мг/л	Состояние экосистемы	Модальный интервал концентрации, мг/л	Состояние экосистемы
Альдегонда	н.о.–0,28	Переходное из естественного в равновесное	7,02–9,40	Естественное
Грён	н.о.–0,25	Переходное из естественного в равновесное	10,1–12,2	Естественное
Грёнфьорд	< 0,25	Естественное	6,74–9,00	Естественное
Брюде	н.о.–0,30	Переходное из естественного в равновесное	8,66–9,70	Естественное
Колес	< 0,25	Естественное	–	–
Конгресс	< 0,25	Естественное	–	–
Эльза	н.о.–0,27	Переходное из естественного в равновесное	13,0–13,3	Естественное
Бретьёрна	< 0,25	Естественное	–	–

Учитывая результаты проведенного анализа накопленной информации, проводимых экспедиционных обследований пресноводных экосистем, целесообразно провести работу по организации региональной подсистемы режимных наблюдений в первую очередь по выделенным приоритетным гидрохимическим параметрам с целью оценки последствий действующей на архипелаге антропогенной нагрузки на гидролого-экологическое состояние пресноводных экосистем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Архипелаг Шпицберген в силу своего уникального географического положения, особенностей формирования водных ресурсов и своеобразия их биотической компоненты представляет собой прекрасный полигон с точки зрения изучения на фоновом уровне всего спектра ответных реакций разнообразных типов водных экосистем на внешнее воздействие естественного и антропогенного происхождения.

В настоящее время единственным источником водоснабжения Баренцбурга служит приледниковое оз. Стемме, пополняемое талым стоком ледника Вёринг. Опыт эксплуатации в настоящее время зимнего водозабора уникален и заслуживает тщательного анализа.

Следует учитывать, что ледниковые источники зимнего водоснабжения не вполне надежны. Продолжающаяся и, вероятно, усиливающаяся деградация оледенения Шпицбергена безусловно затруднит эксплуатацию ресурсов воды ледника Вёринг, и может привести к ликвидации зимнего стока. Термокарстовые явления в конечной морене, подпруживающей оз. Стемме, могут повлечь за собой частичный и даже полный спуск воды.

В районе п. Пирамида для зимнего водоснабжения использовались небольшие близлежащие озёра, частично обвалованные для увеличения объема. Для гарантированного удовлетворения потребностей этих объемов было крайне недостаточно. Решение этого вопроса требовало создания искусственных водоемов и широкого применения ледниковой воды.

Такое вторжение в природную водную систему Шпицбергена на фоне природных катаклизмов и антропогенного воздействия неизбежно ведет к заметным качественным и количественным изменениям поверхностных и подземных вод.

Экологически важным и своевременным является оценка взаимосвязи техногенное воздействие – атмосферные осадки – снежный покров – почвенно-растительные покровы – ледники – ручьи – реки – озёра, которая требует проведения наблюдений с целью накопления банка данных для разработки рекомендаций по рациональному природопользованию, оценки последствий техногенного воздействия на окружающую среду Шпицбергена и для своевременного прогноза и предупреждения нежелательных последствий.

Составной частью для реализации такой задачи является информация о внутри- и межсистемной изменчивости состояния абиотической и биотической компонент водных экосистем, пространственно-временная изменчивость которых зависит от целого комплекса природных и антропогенных факторов. Для оценки современного гидрохимического режима водной среды и специфики формирования гидробиоценоза в условиях Шпицбергена, а также для уточнения возможной трансформации водных ресурсов необходимы гидрохимические и гидробиологические исследования на ручьях, реках и озерах с учетом их гидрологического режима и климатических условий.

Началом комплексных исследований и накопления данных режимных наблюдений можно считать экспедицию на Шпицберген в сентябре 2001 г., когда программа гидрологических обследований была дополнена работами по отбору и анализу проб воды по гидрохимическим и гидробиологическим показателям.

В период с 2001 г. по 2017 г. экспедиционные гидролого-экологические обследования выполнялись на реках различных типов, которые включают горные и долинные реки, реки с большой степенью оледенения водосбора и реки без ледникового питания, реки с регулированием стока озерами и без такого регулирования. По данным этих исследований была впервые получена информация по основным гидролого-гидрохимическим характеристикам рек Грэн, Грэнфьорд, Бретъёрна, Альдегонда, Брюде, Конгресс, Колес, Эльза, Мимер и озер Бретъёрна, Конгресс, Стемме, расположенных на их водосборах.

Особое внимание уделялось изучению:

- распределения максимальных снегозапасов на речных и озерных водосборах и их межгодовой изменчивости;
- основных характеристик речного стока;
- основных характеристик стока взвешенных наносов;
- изменчивости гидрологического режима пресноводных экосистем;
- пространственно-временной изменчивости компонентного состава водной среды, включая и приоритетные загрязняющие вещества.

Специализированные наблюдения за гидрохимическими показателями начались с функционированием современной химико-аналитической лаборатории в составе РНЦШ, позволяющей увеличить количество обрабатываемых проб и спектр определяемых элементов.

В целом анализ материалов гидролого-гидрохимических исследований рек и озер архипелага Шпицберген за 2001–2017 гг. показал, что данные наблюдений в значительной степени разрознены, имеют различный период наблюдений, относятся к разным фазам гидрологического цикла, имеют пропуски, либо вовсе являются разовыми (эпизодическими).

Тем не менее, впервые выполненные исследования позволили получить объективную оценку особенностей гидролого-гидрохимического режима исследуемых экосистем и возможный характер степени их загрязненности.

Впервые за годы исследований были проведены регулярные наблюдения за гидрохимическим режимом водотоков по следующим показателям: водородный показатель pH, удельная электропроводность, содержание общего и неорганического углерода, общая щелочность и концентрация гидрокарбонатов (HCO_3), содержание катионов (Ca ; Mg ; K ; NH_4) и анионов (SO_4 ; NO_3 ; NO_2 ; PO_4 ; Br ; F).

Сбор и анализ накопленной информации позволил сделать нижеследующие обобщающие выводы.

Реакция водной среды всех исследуемых экосистем изменяется от нейтральной до слабощелочной.

Минерализация в целом изменяется от слабой до средней, наиболее минерализованы реки Конгресс, Грэн и Грэнфьорд.

Преобладающими ионами являются гидрокарбонаты, сульфаты, магний, кальций.

Реки бассейна залива Грёнфьорд делятся на два класса вод: гидрокарбонатных и сульфатных. К классу сульфатных относятся реки Грён, Грёнфьорд и Конгресс.

Воды исследуемых объектов характеризуются крайне малым содержанием биогенных элементов и органического вещества. Концентрации нитритов, фосфатов и аммония находятся за пределами обнаружения метода измерений: менее 0,05 мг/л; менее 0,1 мг/л и менее 0,25 мг/л соответственно. Концентрация нитратов до 1,5 мг/л (наибольшее содержание в р. Грён), а общего азота – до 0,5 мг/л. Значения кремния изменяются в пределах от минимальных 0,02 мг/л в р. Бретьёрна в 2015 г. до 2,44 мг/л в р. Конгресс. Наибольшую часть содержания общего углерода составляют гидрокарбонаты. Обнаружены следовые содержания общего азота.

На реках с ледниковым питанием отмечается хорошая связь между стоком реки и доминирующими ионами. С уменьшением водности рек возрастает концентрация химических веществ, что связано с ледниковым питанием водотоков. На реках Бретьёрна и Конгресс, вытекающих из одноименных озер, подобная связь практически отсутствует.

Корреляционный анализ выявил, что концентрации многих химических показателей в некоторых водотоках зависимы от величины стока и, как правило, обратно пропорционально.

Минерализация воды в реках зависит от поступления солей из притоков и в значительной мере от снежности территории и доли ледникового стока. В начале периода таяния минерализация воды снижается от 80–90 до 50–60 мг/л, а при промачивании снежной толщи и фильтрации талой воды через верхний слой грунта она возрастает до 70–100 мг/л. В это время основная доля растворимых примесей выносится из снежного покрова и поступает в ручьи, а затем в реки. В дальнейшем ход минерализации воды в целом отражает режим стока. На подъеме половодья она снижается до 30–60 мг/л, на спаде возрастает до 60–90 мг/л.

Из микрокомпонентов определялись представители типичных анионов – фториды и бромиды. Их концентрации очень невелики: содержание бромида находится за пределами нижней границы определения метода, содержание фторидов изменяется в диапазоне от 0,02 до 0,50 мг/л и зачастую находится ниже границы обнаружения.

Исследование поверхностных вод и атмосферных осадков показало, что по сравнению со снежным покровом как уровень общей минерализации, так и содержание отдельных компонентов в них выше. Следует отметить низкий уровень концентраций микроэлементов в речных и озерных водах, что объясняется питанием их слабоминерализованными снежными и ледниковыми водами. Особенно это характерно для озерных и болотных вод.

Реализация рабочей программы по фоновому экологическому мониторингу в части мониторинга загрязнения в районе расположения п. Баренцбург на архипелаге Шпицберген позволила получить объективную оценку возможной загрязненности пресноводных экосистем такими приоритетными загрязняю-

щими веществами, как соединения тяжелых металлов и мышьяка, ПАУ, НУ, НАУ, ЛАУ, индивидуальные фенолы (алкилфенолы, хлорфенолы и нитрофенолы), синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), ХОС, включая ПХБ).

Оценка уровней загрязнения природных сред на обследованной территории позволила сделать нижеследующие заключения.

Воды озера Стемме за весь период наблюдений характеризуются незначительной загрязненностью, соответствуют санитарно-гигиеническим нормам, предъявляемым к водоемам питьевого и хозяйственно-бытового водопользования, относятся к 1-му классу качества (условно чистые) и выраженного тренда к ухудшению качества не имеют.

Качество воды р. Грён с 2007 г. по настоящее время характеризуется наличием выраженной тенденцией к ухудшению состояния водного объекта. Если в 2007 г. качество воды в реке соответствовало 2-му классу – слабо загрязненная, то к 2013 г. состояние реки ухудшилось до 3-го класса – очень загрязненная. Наибольшую долю в общую оценку степени загрязненности воды р. Грён вносят тяжелые металлы, в особенности марганец, цинк, медь и никель.

В целом полученные по результатам исследования данные и выполненные обобщения показали, что содержания основных групп загрязняющих веществ в компонентах природной среды в районе расположения рудника Баренцбург являются характерными для районов развития угледобывающей промышленности и не является критическими.

Качество поверхностных вод суши соответствует действующим российским гигиеническим нормативам, а также нормативам качества, установленным в странах Европейского союза.

Вода оз. Стемме может быть использована для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения без предварительной водоподготовки, а качество воды р. Грён также отвечает требованиям санитарно-гигиенических стандартов. С точки зрения рыбохозяйственных нормативов воды оз. Стемме и р. Грён классифицируются как чистые.

Анализ межгодовых тенденций показал, что в течение периода исследований существенных изменений содержания основных групп загрязняющих веществ в природных водах в районе расположения п. Баренцбург не наблюдалось.

Для получения более полной и достоверной информации об экологической ситуации в районе расположения п. Баренцбург необходимо продолжение работ по фоновому и локальному экологическому мониторингу в части мониторинга загрязнения окружающей природной среды в районе расположения п. Баренцбург с целью разработки региональной системы оценки качества пресноводных экосистем Шпицбергена.

Для дальнейшего получения репрезентативной информации необходимо проведение специальных методических работ по развитию системы гидролого-гидрохимических наблюдений в переходные периоды весны и осени, а также развитие специализированных (в данных условиях) измерений, методов обработки полученных данных и методов расчета стока.

Гидролого-гидрохимические исследования поверхностных водных объектов на архипелаге, несомненно, должны быть продолжены. Эти наблюдения необходимы не только для изучения собственно их режима, но и для изучения климатической системы атмосфера–криосфера–гидросфера–биосфера в целом, а также получения информации об особенностях режима и основных гидролого-гидрохимических характеристиках поверхностных водных объектов на таких труднодоступных широтах с еще очень скупо освещенными данными наблюдений.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Абиотическая компонента – абиотическая среда, представляющая совокупность неорганических условий (факторов) обитания организмов.

Антропогенная нагрузка – степень антропогенно-техногенного воздействия на отдельные компоненты природной среды или в целом на ландшафт.

Вариационный ряд – совокупность значений варьирующего признака и соответствующих им численностей единиц совокупности.

Величина интервала (интервальная разность) – разность между верхними и нижними границами интервала.

Водный объект – сосредоточение природных вод на поверхности суши либо в горных породах, имеющее характерные формы распространения и черты режима (по ГОСТ 19179).

Водный режим – изменение во времени уровней, расходов и объемов воды в водных объектах и почвогрунтах.

Водосбор – часть земной поверхности и толща почв и горных пород, откуда вода поступает к водному объекту.

Водоток – водный объект, характеризующийся движением воды в направлении уклона в углублении земной поверхности.

Воздействие антропогенное – влияние человека и его деятельности на окружающую природную среду.

Гидрографическая сеть – совокупность водотоков и водоемов в пределах какой-либо территории.

Гидрологическая сеть – совокупность гидрологических постов, размещенных на какой-либо территории.

Гидрологический режим – совокупность закономерно повторяющихся изменений состояния водного объекта, присущих ему и отличающих его от других водных объектов.

Гидрохимический режим – закономерные изменения химического состава воды водного объекта или отдельных его компонентов во времени, обусловленные физико-географическими условиями и антропогенным воздействием.

Загрязненность вод – содержание загрязняющих воду веществ, микроорганизмов и тепла, вызывающее нарушение требований к качеству воды (ГОСТ 27065-86, ст. 15).

Инертность – способность экосистемы сохранять при внешнем воздействии исходное состояние в течение некоторого времени.

Интервал – границы значений варьирующего признака.

Качество поверхностных вод – установление в той или иной форме, через ту или иную систему показателей соответствия качества поверхностных вод требованиям водопользования (РД 52.24.643-2002).

Классификация степени загрязненности воды водных объектов – условное разделение всего диапазона состава и свойств воды водных объектов в условиях антропогенного воздействия с постепенным переходом от «условно чистой» до «экстремально грязной» по значениям комбинаторного индекса загрязненности воды с учетом ряда дополнительных факторов (РД 52.24.643).

Критерий – признак, на основании которого проводится оценка состояния природного объекта или его свойств (например, качества вод, трофности, благополучия, функционирования водной экосистемы).

Мода М – наиболее часто встречающийся вариант в данном вариационном ряду.

Модальный интервал – интервал, включающий наиболее часто встречающиеся величины в данном вариационном ряду.

Наблюдательная сеть – система стационарных и подвижных пунктов наблюдений, в том числе постов, станций, лабораторий, центров, бюро, обсерваторий, предназначенных для наблюдений за процессами, происходящими в окружающей природной среде, определения ее гидрометеорологических характеристик.

ОДК – ориентировочно допустимое количество загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, водах, почвах.

ОДУ – ориентировочно допустимые уровни содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, водах, почвах.

Оценка риска – научный анализ возникновения риска (возможности опасной ситуации) с целью выявления опасности, определения степени опасности в конкретных условиях. Характеризует вероятность наступления негативного события (аварии, выброса, эпидемии и т. п.).

Период релаксации – время, необходимое для приведения экосистемы в равновесное состояние из неравновесного после действия внутреннего или внешнего возмущающего фактора.

Пластичность – способность экосистемы накапливать результаты внешних воздействий, не изменяя при этом до определенного предела кардинально своих свойств и режима.

Плотность вариационного ряда или плотность распределения – отношение частоты к величине интервала.

Поверхностные воды – воды, находящиеся на поверхности суши в виде различных водных объектов.

Пределы устойчивости (верхний и нижний) – количество возмущающего фактора в единицах его измерения, которое приводит экосистему к необратимым изменениям.

Примечание. К количественным и качественным показателям относятся: расход воды, скорость течения, глубина водного объекта, температура воды, рН, БПК₅ и другие гидрохимические и гидробиологические показатели (по ГОСТ 17.1.1.01).

Река – водоток значительных размеров, питающийся атмосферными осадками со своего водосбора и имеющий четко выраженное русло.

Реперный (вековой, опорный) пункт наблюдений – стационарный пункт с непрерывным и неограниченно длительным во времени рядом наблюдений, обеспечивающий получение репрезентативных данных из районов большой протяженности.

Риск экологический – вероятность неблагоприятных для экологических ресурсов последствий любых (преднамеренных или случайных, постепенных или катастрофических) антропогенных изменений существующих природных объектов и факторов.

Состояние водного объекта – характеристика водного объекта по совокупности его количественных и качественных показателей применительно к видам водопользования.

Токсичность воды – свойство воды вызывать развитие патологического процесса или гибель тест-объекта.

Трофность водоема – количество биомассы и продукции автотрофных организмов водоема; наличие биогенных веществ и других экологических параметров, необходимых автотрофным растениям для существования.

Упругость – свойство экосистемы полностью возвращаться в исходное состояние после прекращения внешнего воздействия.

Устойчивость экосистемы – ее способность сохранять свои свойства и параметры режимов в условиях действующих внутренних и внешних возмущений.

Устьевой участок реки – часть устьевой области, включающий придельтовый участок и дельту (если она имеется), где преобладает речной гидрологический режим, но активно влияет море.

Чувствительность – свойство экосистемы менять характеристики своего функционирования вследствие изменений собственных параметров или при внешних возмущениях. Чувствительность тесно связана с устойчивостью экосистемы: чем меньше чувствительность водной экосистемы, тем больше ее устойчивость. Наряду с термином «чувствительность» употребляется термин «изменчивость» (чем больше устойчивость, тем меньше изменчивость).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алекин О. А.* Основы гидрохимии: учебное пособие. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
2. *Александрова В. Д.* Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики. Л.: Наука, 1977. 188 с.
3. *Алексеев В. В., Шарин В. В., Сичинска Б.* Экогеохимические аспекты природной обстановки на архипелаге Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена: Выпуск 7. Сборник материалов Седьмой международной конференции. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2007. С. 43–50.
4. *Алимов А. Ф.* Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000. 147 с.
5. *Анциферова А. Р., Короткова Т. Д., Семенов А. В., Сиеккинен Е. Д.* Результаты комплексных гидрометеорологических наблюдений и мониторинга загрязнения окружающей среды на архипелаге Шпицберген // Природа шельфа и архипелагов Европейской Арктики. Комплексные исследования природы Шпицбергена: Материалы международной научной конференции (Мурманск, 27–30 октября 2010 г.). Выпуск 10. М.: ГЕОС, 2010. С. 338–345.
6. *Анциферова А. Р., Мокротоварова О. И., Сиеккинен Е. Д.* Изменение климата на архипелаге Шпицберген. Климатические особенности зимы 2013–2014 гг. // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Материалы международной научной конференции (Мурманск, 6–8 ноября 2014 г.). Выпуск 12. М.: ГЕОС, 2014. С. 16–21.
7. *Анциферова А. Р., Сиеккинен Е. Д., Чаус О. М.* Климатические особенности распределения осадков на архипелаге Шпицберген по данным ГМО «Баренцбург» // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Мурманск, 2–4 ноября 2016 г.) Вып. 13. / Под общ. ред. Г. Г. Матишова и Г. А. Тарасова. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. С. 26–28.
8. *Архипов С. М., Востокова Т. А., Евсеев А. В.* Роль минеральных частиц в формировании химического состава деятельного слоя ледников Шпицбергена // Материалы гляциологических исследований. 1988. Вып. 64. С. 62–71.
9. *Баканов А. И.* Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов (обзор) // Биология внутренних вод. 2000. № 1. С. 68–82.
10. *Балушкина Е. В.* Значение структурных и функциональных характеристик биотической компоненты в оценке состояния экосистем (на примере водоемов и водотоков Северо-Запада России) // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. Сборник материалов международной конференции. СПб.: ЛЕМА, 2007. С. 262–267.
11. *Берлянд М. Е.* Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 448 с.
12. *Бобылев С. Н., Зубаревич Н. В., Соловьева С. В., Власов Ю. С.* Индикаторы устойчивого развития: экономика, общество, природа. М.: МАКС Пресс, 2008. 232 с.
13. *Бородавченко И. И., Зарубаев Н. В., Васильев Ю. С., Вельнер Х. А., Яковлев С. В.* Охрана водных ресурсов. М.: Колос, 1979. 247 с.
14. *Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман Ш. Д.* Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 181 с.
15. *Василенко Е. В., Глазовский А. Ф., Лаврентьев И. И., Мачерет Ю. Я.* Изменение гидротермической структуры ледников Восточный Грэнфьорд и Фритьоф на Шпицбергене // Лед и снег. 2014. Т. 54. № 1 (125). С. 5–19.

16. Василенко Е. В., Глазовский А. Ф., Мачерет Ю. Я., Наварро Ф. Х., Токарев М. Ю., Калашиников А. Ю., Мирошниченко Д. Е., Резников Д. С. Радиофизические исследования ледника Альдегонда на Шпицбергене в 1999 г. // Материалы гляциологических исследований. 2001. Вып. 90. С. 86–99.
17. Вендров С. Л. Проблемы преобразования речных систем СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 207 с.
18. Винокуров И. Ю. Перспективы нефтегазоносности центральной части архипелага Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Сборник материалов Третьей международной конференции. Выпуск 3. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. С. 67–69.
19. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. проф. И. А. Шикломанова. СПб.: Государственный гидрологический институт, 2008. 600 с.
20. Гловацки П., Василенко Е. В., Глазовский А. Ф., Мачерет Ю. Я., Мур Д., Наварро Ф. Х., Хаген Й. У. Подледниковые озера на Шпицбергене // Природа шельфа и архипелагов Европейской Арктики. Комплексные исследования природы Шпицбергена: Материалы международной научной конференции (Мурманск, 27–30 октября 2010 г.). Выпуск 10. М.: ГЕОС, 2010. С. 368–374.
21. Гляциология Шпицбергена / Под ред. В. М. Котлякова. М.: Наука, 1985. 200 с.
22. Горюнова Н. В. Эоловые потоки вещества на Шпицбергене в районе рудника Баренцбург в 2008 году // Геология морей и океанов: Материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС, 2009. С. 14–17.
23. Гохман В. В. Водно-ледовый баланс Шпицбергена: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1990. 20 с.
24. Гохман В. В. Минерализация природных вод на Шпицбергене // Материалы гляциологических исследований. 1991. Вып. 72. С. 147–155.
25. Гохман В. В. Распространение и условия формирования ледниковых наледей Шпицбергена // Материалы гляциологических исследований. 1987. Вып. 60. С. 68–76.
26. Гохман В. В. Режим стока рек на о. Западный Шпицберген // Материалы гляциологических исследований. 1988. Вып. 62. С. 96–103.
27. Гохман В. В., Ходаков В. Г. Вопросы анализа, прогноза и преобразования зимнего стока воды из ледника Бертиль на Шпицбергене // Материалы гляциологических исследований. 1982. Вып. 46. С. 185–192.
28. Гохман В. В., Ходаков В. Г. Гидрологические исследования в бассейне реки Мимер на Шпицбергене в 1983 г. // Материалы гляциологических исследований. 1986. Вып. 55. С. 161–166.
29. Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С. Экологический вызов и устойчивое развитие. Учебное пособие. М.: Прогресс-Традиция, 2000. 416 с.
30. Демешкин А. С. Геоэкологическая оценка состояния природной среды в районе расположения российского угледобывающего рудника Баренцбург на архипелаге Шпицберген: дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2015. 181 с.
31. Демин Б. Н., Граевский А. П., Демешкин А. С., Власов С. В., Крылов С. С., Лалетин Н. А. Состояние и тенденции изменения загрязнения окружающей среды в местах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген (поселок Баренцбург и сопредельные территории) за период 2002–2010 гг. СПб., 2011. 316 с.
32. Дмитриев В. В., Третьяков В. Ю., Кулеш В. П., Огурцов А. Н., Васильев В. Ю., Бойцов А. В. Оценка устойчивости природных экосистем к антропогенному воздействию // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 1995. Вып. 2 (№ 14). С. 49–57.

33. *Дмитриев В. В., Фрумин Г. Т.* Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. СПб., 2004. 294 с.
34. *Евсеев А. В., Архипов С. М., Гордиенко Ф. Г.* Геохимические особенности ледника Фритьоф на о. Западный Шпицберген // *Материалы гляциологических исследований*. 1982. Вып. 46. С. 140–143.
35. *Евсеев А. В., Красовская Т. М.* Эколого-географические особенности природной среды районов Крайнего Севера России. Смоленск, 1996. 232 с.
36. *Елагина Н., Кутузов С., Лаврентьев И., Васильева Т., Мавлюдов Б., Кудиков А.* Измерение баланса массы ледника Восточный Грэнфьорд, Шпицберген // *Современные подходы к изучению экологических проблем в физической и социально-экономической географии. Сборник X Международной молодежной школы-конференция «Меридиан»*. М.: Институт географии РАН, 2017. С. 84–85.
37. *Журавлев А. Б.* О зависимости между площадью и объемом ледников // *Материалы гляциологических исследований*. 1980. Вып. 40. С. 262–265.
38. *Зингер Е. М.* Между полюсом и Европой. М.: Мысль, 1981. 206 с.
39. *Зинченко Т. Д., Выхристюк Л. А., Шитиков В. К.* Методологический подход к оценке экологического состояния речных систем по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2000. Т. 2. № 2. С. 233–243.
40. *Иванов А. В.* Проблемы исследований физико-химических процессов наледообразования // *Наледа Сибири и Дальнего Востока*. Новосибирск: Наука, 1981. С. 176–185.
41. *Иванов Б. В., Священников П. Н.* Альbedo снежно-ледниковой поверхности архипелага Шпицберген // *Исследование Земли из космоса*. 2015. № 4. С. 88–93.
42. *Ильина Е. А.* Техногенное загрязнение снежного покрова на Шпицбергене // *Материалы гляциологических исследований*. 1988. Вып. 64. С. 113–116.
43. *Ильина Е. А., Ходаков В. Г.* Природные и техногенные снежно-ледовые явления на Шпицбергене // *Материалы гляциологических исследований*. 1987. Вып. 61. С. 157–161.
44. *Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2013 / Под ред. Коршенко А. Н.* М.: Наука, 2014. 200 с.
45. *Корзун А. В., Евсеев А. В.* Геохимические особенности ледниковых покровов арктических островов // *Материалы гляциологических исследований*. 1984. Вып. 51. С. 206–211.
46. *Корзун А. В., Соломатин В. И.* Геохимия льда и оценка техногенного загрязнения // *Исследование устойчивости геосистем Севера / Под ред. В. И. Соломатина*. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. С. 153–165.
47. *Корякин В. С.* Ледники Арктики. М.: Наука, 1988. 160 с.
48. *Кочемасова Е. Ю., Седова Н. Б.* Причинно-следственный анализ экологических проблем на архипелаге Шпицберген // *Современный ученый*. 2017. № 5. С. 12–15.
49. *Кряучюнас В. В., Игловский С. А., Шахова Е. В., Малков А. В.* Тяжелые металлы в арктических почвах западного побережья архипелага Шпицберген // *Экология человека*. 2014. № 9. С. 8–13.
50. *Лаврушин Ю. А., Тарасов Г. А.* Шпицберген как естественная модель (заповедник) современных и четвертичных природных событий Западной Арктики // *Комплексные исследования природы Шпицбергена. Сборник материалов международной конференции*. Апатиты, 2002. С. 11–15.
51. *Литвинова Т. И., Переверзев В. Н.* Почвы долины реки Грэндалсэлта (остров Западный Шпицберген) // *Комплексные исследования природы Шпицбергена: Материалы международной научной конференции (Мурманск, 1–3 ноября 2012 г.)*. Выпуск 11. М.: ГЕОС, 2012. С. 149–153.

52. *Львович М. И.* Вода и жизнь. (Водные ресурсы, их преобразование и охрана). М.: Мысль, 1986. 254 с.
53. *Мавлюдов Б. Р.* Влияние изменения климата на ледники Земли Норденшельда, Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена: Материалы международной научной конференции (Мурманск, 1–3 ноября 2012 г.). Выпуск 11. М.: ГЕОС, 2012. С. 160–164.
54. *Мавлюдов Б. Р.* Дренажные системы холодных ледников // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 6. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. С. 247–261.
55. *Мавлюдов Б. Р.* Некоторые сведения о гидрологии ледника Альдегонда (Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Сборник материалов международной конференции. Апатиты, 2002. С. 120–125.
56. *Мавлюдов Б. Р.* О внутреннем дренаже политермальных ледников, Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 5. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. С. 314–331.
57. *Мавлюдов Б. Р.* О деградации горно-долинных ледников Шпицбергена // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Сборник материалов Четвертой международной конференции. Выпуск 4. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. С. 207–216.
58. *Мавлюдов Б. Р.* Состояние оледенения Шпицбергена в конце XX века // Материалы гляциологических исследований. 2006. Вып. 101. С. 146–152.
59. *Мавлюдов Б. Р., Саватюгин Л. М., Соловьянова И. Ю.* Реакция ледников Земли Норденшельда (арх. Шпицберген) на изменение климата // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 1 (91). С. 67–77.
60. *Матишов Г. Г.* Общие причины кризисных явлений в экосистемах Северной Европы // Экологическая ситуация и охрана флоры и фауны Баренцева моря. Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1991. С. 8–33.
61. *Матишов Г. Г.* Стратегия изучения Шпицбергена и прибрежного шельфа // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Сборник материалов международной конференции. Апатиты, 2002. С. 5–10.
62. *Матишов Г. Г.* Экологическая ситуация и проблемы охраны биоресурсов в морях Северной Европы (на примере Баренцева моря). Препринт. Апатиты, 1989. 53 с.
63. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / Под ред. проф. А. В. Караушева, изд-е 2-е перераб. и доп. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 288 с.
64. Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. М.: Госкомгидромет, 1988. 7 с.
65. Методические указания. МУ 2.1.7.730–99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. М., 1999. 20 с.
66. *Мецерьков Н. И.* Накопление и перераспределение осадочного материала в устьевой зоне реки Грендален (Западный Шпицберген) // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2013. Т. 16. № 3. С. 501–505.
67. *Михайлов И. А.* Архипелаг Шпицберген – перекресток событий и судеб. М.: Научный мир, 2004. 222 с.
68. *Моисеенко Т. И.* Экотоксикологический подход к нормированию антропогенных нагрузок на водоемы Севера // Экология. 1998. № 6. С. 452–461.
69. *Никаноров А. М.* Гидрохимия: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. СПб: Гидрометеиздат. 2001. 444 с.
70. *Никаноров А. М.* Научные основы мониторинга качества вод. СПб: Гидрометеиздат, 2005. 576 с.
71. *Никаноров А. М.* О некоторых фундаментальных понятиях теоретической гидрохимии // Доклады Академии наук. 2009. Т. 429. № 5. С. 679–682.

72. Оледенение Шпицбергена (Свальбарда). М., Наука, 1975. 276 с.
73. *Осокин Н. И., Сосновский А. В., Накалов П. Р., Чернов Р. А., Лаврентьев И. И.* Климатические изменения и динамика многолетнемерзлых грунтов на архипелаге Шпицберген // Лед и снег. 2012. Т. 52. № 2. С. 115–120.
74. *Переверзев В. Н., Литвинова Т. И.* Почвы речных, морских и коренных террас побережий фьордов острова Западный Шпицберген // Природа шельфа и архипелагов Европейской Арктики. Комплексные исследования природы Шпицбергена: Материалы международной научной конференции (Мурманск, 27–30 октября 2010 г.). Выпуск 10. М.: ГЕОС, 2010. С. 449–455.
75. *Петрига А. А., Горюнова Н. В.* Состав снега в импактных районах Арктики на примере поселков залива Ис-фьорд архипелага Шпицберген // Вестник науки и образования. 2016. № 2 (14). С. 106–110.
76. *Постнов И. С.* Минеральные воды Шпицбергена // Гидрогеология, инженерная геология, геоморфология архипелага Шпицберген. Сборник научных трудов. Л., 1983. С. 5–15.
77. *Пуннинг Я.-М. К.* Вариации некоторых микропримесей в атмосферных осадках на ледниках Шпицбергена // Материалы гляциологических исследований. 1980. Вып. 40. С. 176–181.
78. Российские геологические исследования на Шпицбергене 1962–1996 гг. СПб., 1998. 228 с.
79. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В. А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
80. *Савельев И. В.* Международное сотрудничество на архипелаге Шпицберген // Российская Арктика: проблемы и перспективы развития: сборник материалов / Под ред. И. В. Прокофьева, Д. Н. Лыжина, А. А. Тодорова. М.: РИСИ, 2017. С. 46–54.
81. *Савинов В. М., Дале С., Олссон К.* Полициклические ароматические углеводороды в донных отложениях прибрежных районов Шпицбергена: уровни, композиционный состав, источники загрязнения // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Сборник материалов Третьей международной конференции. Выпуск 3. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. С. 178–192.
82. *Семенов А. В., Давыдов А. А., Ипатов А. Н.* Гидрологическое обследование озера Биенда-Стемме (архипелаг Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Сборник материалов Третьей международной конференции. Выпуск 3. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. С. 127–136.
83. *Снаскин В. В., Мельченко В. Е., Бутовский Р. О.* и др. Оценка состояния и устойчивости экосистем. М.: ВНИИприрода, 1992. 127 с.
84. *Соловьянова И. Ю.* Особенности формирования ледникового стока арх. Шпицберген // Доклады VI Всероссийского гидрологического съезда. 28 сентября – 1 октября 2004 г. Санкт-Петербург. Секция № 5. Гидрофизические явления и процессы. Формирование и изменчивость речного стока, гидрологические и водохозяйственные расчеты. Часть I. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. С. 272–276.
85. *Соловьянова И. Ю., Мавлюдов Б. Р.* Некоторые особенности распространения поверхностных водотоков на ледниках о. Западный Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Сборник материалов Четвертой международной конференции. Выпуск 4. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. С. 216–229.
86. *Соловьянова И. Ю., Мавлюдов Б. Р.* Речной сток на о. Шпицберген зимой // Метеорология и гидрология. 2006. № 4. С. 100–108.
87. *Соловьянова И. Ю., Третьяков М. В.* Наблюдения за стоком взвешенных наносов рек бассейна залива Грен-фьорд // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Сборник материалов Четвертой международной конференции. Выпуск 4. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. С. 230–236.

88. Соловьянова И. Ю., Третьяков М. В., Прямиков С. М. Особенности формирования стока реки Альдегонда (Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 5. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. С. 348–355.
89. Соловьянова И. Ю., Третьяков М. В., Священников П. Н., Андреев О. М., Иванов Б. В., Прямиков С. М. Комплексные гидрометеорологические исследования некоторых ледниковых бассейнов Шпицбергена // Арктика и Антарктика. 2004. Вып. 3 (37). С. 40–49.
90. Таргульян В. О., Куликов А. В. Основные черты географии почв острова Западный Шпицберген // Биологические проблемы Севера. Тезисы X Всесоюзного симпозиума. Часть I. Охрана природы, биогеография, почвенно-растительные ресурсы (секции I, IX, II–VI). Магадан, 1983. С. 272–273.
91. Тисленко Д. И., Иванов Б. В. Долгопериодная изменчивость температуры атлантических вод в фьордах острова Западный Шпицберген в период первого (1920–1940 гг.) и современного потепления в Арктике // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 2 (104). С. 93–100.
92. Третьяков М. В. Особенности речного стока архипелага Шпицберген // Географические и экологические аспекты гидрологии. Труды научной сессии, посвященной 90-летию кафедры гидрологии суши СПбГУ. Санкт-Петербург, 26–27 марта 2008 г. / Под науч. ред. В. С. Вуглинского. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2010. С.217–221.
93. Третьяков М. В., Соловьянова И. Ю. О распределении максимальных снегозапасов на Шпицбергене // Тезисы докладов XIII Гляциологического симпозиума «Сокращение гляциосферы: факты и анализ». Санкт-Петербург, 24–28 мая 2004. СПб., 2004. С. 128.
94. Третьяков М. В., Соловьянова И. Ю. Распределение максимальных снегозапасов на водосборных бассейнах рек залива Грэнфьорд (о. Западный Шпицберген) // Материалы гляциологических исследований. 2007. Вып. 102. С.138–140.
95. Хисдаль В. Архипелаг Шпицберген (Свальбард): природа и история. М.: Научный мир, 2005. 132 с.
96. Чернов Р. А., Васильева Т. В., Кудиков А. В. Температурный режим поверхностного слоя ледника Восточный Грэнфьорд (Западный Шпицберген) // Лед и снег. 2015. Т. 55. № 3. С. 38–46.
97. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭ ВБ РАН, 2003. 463 с.
98. Hisdal V. Svalbard. Nature and history. Oslo, 1998. 123 p.
99. Listø1 O. Glaciers of Europe – Glaciers of Svalbard, Norway. Satellite image atlas of glaciers of the world // United State Geological Survey Professional Paper. 1993. V. 1386–E. P. 127–151.

ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ГОСУДАРСТВЕННОГО ФОНДА ААНИИ, ИСПОЛЬЗОВАННЫХ В РАБОТЕ

1. Отчет о научно-исследовательской работе «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген» (договор № 1/23-01 от 26.05 2001г.) раздел «Результаты экспедиционного обследования поверхностных вод о. Западный Шпицберген по гидрохимическим и гидробиологическим показателям» (сентябрь 2001г.). – СПб., 2001. – 34 с.
2. Отчет о работе гидрологического отряда экспедиции «Шпицберген 2002» (июль–сентябрь 2002 г.) «Исследование речного стока в районе водосбора Гренфиорда» в рамках проекта: «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген». – СПб., 2002. – 72 с.
3. Отчёт об экспедиции «Шпицберген 2002» (апрель-май 2002 г.) «Исследование свойств снежного покрова в районе о. Западный Шпицберген» в рамках проекта: «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген». Науч. рук. проекта С.М. Прямиков, нач. эксп. Е.В. Шевнина. – СПб., 2002. – 121 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № О-3472)
4. Научно-технический отчёт выполненных работ по разделу III, пункт III.1.1 в рамках темы «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген». Рук. темы С.М. Прямиков. – СПб., 2003. – 214 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-5513)
5. Информационный отчет ГУ «ААНИИ» о Четвертом этапе (01.10.04 – 31.12.04) выполнения работ по разделу III.1.1 «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген» Рук. темы С.М. Прямиков. – СПб., 2004. – 157 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-5514)
6. Годовой отчет о выполненных работах по разделу III, пункт III.1.1 в рамках темы «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген». Рук. проекта С.М. Прямиков. – СПб., 2005. – 157 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-5547)
7. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген» (итоговый отчет за 2006 г.) Научный руков. темы С.М. Прямиков. – СПб., 2006. – 210 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-5607)
8. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген» (итоговый отчет за 2007 г.) Научный руков. темы С.М. Прямиков. – СПб., 2007. – 164 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-5637)
9. Отчет о научно-исследовательской работе в рамках договора № 79-НИР-08/08 от 14.04.2008 между ГУ «ААНИИ» и ФГУП «ГТ Арктикуголь» по теме: «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген» (итоговый отчет за 2008 г.) Научный руков. темы С.М. Прямиков. – СПб., 2008. – 191 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-5731)

10. Отчет о научно-исследовательской работе в рамках договора № 68/02-08/09 от 29.04.2009 между ГУ «ААНИИ» и ФГУП «ГТ Арктикуголь» по теме: «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген» (итоговый отчет за 2009 г.) Науч. руков. темы, канд. физ.-мат. наук С.М. Прямыков. – СПб., 2009. – 237 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-5833)
11. Отчет о научно-исследовательской работе в рамках договора № 1304-160-08/10 от 13.04.2010 между ГУ «ААНИИ» и ФГУП «ГТ Арктикуголь» по теме: «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген» (итоговый отчет за 2010 г.) Науч. руков. темы, канд. физ.-мат. наук С.М. Прямыков. – СПб., 2010. – 157 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-6004)
12. Отчет о научно-исследовательской работе в рамках Договора № 3005-288-08/11 от 30 мая 2011 г. между ФГБУ «ААНИИ» и ФГУП «ГТ Арктикуголь» по теме: «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген» (итоговый отчет за 2011 г.). Научный руков. темы д-р геогр. наук Л.М. Саватюгин. – СПб., 2011. – 202 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-6005)
13. Отчёт о научно-исследовательской работе в рамках Договора № 2701-11-08/12 от 27.01.2012 между ФГБУ «ААНИИ» и ФГУП «ГТ Арктикуголь» по теме: «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген» (итоговый отчёт за 2012 г.). Научный руков. темы д-р геогр. наук Л.М. Саватюгин. – СПб., 2012. – 235 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-6059)
14. Отчёт о научно-исследовательской работе в рамках Договора № 1302-63-07/13 от 13.02.2013 между ФГБУ «ААНИИ» и ФГУП «ГТ Арктикуголь» по теме: «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген» (итоговый отчёт за 2013 г.). Научный руков. темы д-р геогр. наук Л.М. Саватюгин. – СПб., 2013. – 146 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-6137)
15. Отчёт о научно-исследовательской работе «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген» (итоговый отчёт за 2014 г.) в рамках договора № 0602-42-08/14 от 06.02.2014 между ФГБУ «ААНИИ» и ФГУП «ГТ Арктикуголь». Отв. исп. д-р геогр. наук Л.М. Саватюгин. – СПб., 2014. – 155 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-6290)
16. Отчёт о научно-исследовательской работе по теме 1.5.3.3. Исследование многолетних изменений гидрометеорологического режима и состояния природной среды архипелага Шпицберген. (промежуточный). Науч. рук. д-р геогр. наук Л.М. Саватюгин. – СПб., 2015. – 138 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-6314)
17. Научно-технический отчёт об экспедиции ААНИИ «Шпицберген – 2015 – весна» (22.03 – 03.04.2015, 27.04 – 21.05.2015). Начальник экспедиции Ю.В. Угрюмов, начальник ВАЭ В.Т. Соколов. – СПб., 2015. – 50 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № О-3900)
18. Научно-технический отчет об экспедиции ААНИИ «Шпицберген – 2015 – лето» (01.07 – 03.10.2015). Начальник экспедиции Ю.В. Угрюмов. – СПб., 2015. – 104 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № О-3908)
19. Отчёт о научно-исследовательской работе в рамках договора № 1604-205-08/15 от 16.04.2015 г. между ФГБУ «ААНИИ» и ФГУП «ГТ «Арктикуголь» по теме: «Изучение метеорологического режима и климатических изменений в районе архипелага Шпицберген» (итоговый отчёт за 2015 г.). Отв. испол. д-р геогр. наук Л.М. Саватюгин. – СПб., 2015. – 187 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-6289)
20. Отчёт о научно-исследовательской работе. Исследование многолетних изменений гидрометеорологического режима и состояния природной среды архипелага

Шпицберген. По теме 1.5.3.3 Плана НИОКР Росгидромета на 2014 – 2016 гг. (промежуточный). Отв. испол. д-р геогр. наук Л.М. Саватюгин. – СПб., 2015. – 182 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-6315)

21. Научно-технический отчёт об экспедиции ААНИИ «Шпицберген-2016, первый этап» (24.02 – 15.03.2016). Начальник экспедиции Ю.В. Угрюмов, начальник ВАЭ В.Т. Соколов. – СПб., 2016. – 27 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № О-3924)

22. Научно-технический отчёт об экспедиции ААНИИ «Шпицберген-2016, второй этап» (11.04 – 07.05.2016). Начальник экспедиции Ю.В. Угрюмов, начальник ВАЭ В.Т. Соколов. – СПб., 2016. – 64 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № О-3949)

23. Научно-технический отчёт об экспедиции ФГБУ «ААНИИ» «Шпицберген-2016, третий этап» (27.06 – 30.09.2016). Начальник экспедиции Ю.В. Угрюмов, начальник РАЭ-Ш А.С. Макаров. – СПб., 2016. – 53 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № О-4006)

24. Отчёт о научно-исследовательской работе. Исследование многолетних изменений гидрометеорологического режима и состояния природной среды архипелага Шпицберген. По теме 1.5.3.3 Плана НИОКР Росгидромета на 2014 – 2016 гг. (заключительный). Рук. темы д-р геогр. наук Л.М. Саватюгин. – СПб., 2017. – 204 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-6394)

25. Научно-технический отчёт о сезонной экспедиции ФГБУ «ААНИИ» «Шпицберген – 2017» (15.03 – 30.11.2017). Начальник экспедиции Ю.В. Угрюмов. – СПб., 2017. – 192 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № О-4040)

26. Отчёт о научно-исследовательской работе. Исследования современного состояния и анализ предшествующих изменений характеристик природной среды архипелага Шпицберген. По теме 1.5.3.7 Плана НИОКР Росгидромета на 2017–2019 гг. (промежуточный). Рук. темы д-р геогр. наук Л.М. Саватюгин. – СПб., 2017. – 237 с. (Госфонд ААНИИ, Инд. № Р-6458)

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	7
Глава 1. ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН	11
1.1. Общая физико-географическая характеристика архипелага Шпицберген ...	11
1.2. Природные факторы трансформации природной среды	18
1.3. Антропогенные факторы загрязнения природной среды	23
1.3.1. Загрязнение атмосферного воздуха	25
1.3.2. Загрязнение снежного покрова	29
1.3.3. Загрязнение ледников	35
1.3.4. Загрязнение почв	38
1.3.5. Загрязнение озер и рек	44
Глава 2. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ СУШИ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА	47
2.1. Общая характеристика водных ресурсов	48
2.1.1. Снежный покров	48
2.1.2. Ледники	52
2.1.3. Грунтовые и подземные воды	64
2.1.4. Озера	66
2.1.5. Речная сеть	70
2.2. Гидрологические особенности рек	78
2.3. Общая гидрохимическая характеристика водных экосистем	90
2.3.1. Ионный состав природных вод	90
2.3.2. Минерализация природных вод	95
2.3.3. Мутность речных вод	98
Глава 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ И МАССИВ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДАННЫХ	99
Глава 4. ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ	109
4.1. Современный гидрологический режим	112
4.2. Многолетняя изменчивость компонентного состава водной среды	125
4.2.1. Речные экосистемы	128
4.2.2. Озерные экосистемы	154

4.2.3. Приоритетные загрязняющие вещества в пресноводных экосистемах	167
4.2.4. Современные фоновые характеристики компонентного состава водной среды рек	175
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	181
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	186
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	189
<i>Приложение.</i> Перечень материалов из Государственного фонда ААНИИ, использованных в работе	195

МОНОГРАФИЯ

М. В. Третьяков, В. А. Брызгало,
Е. В. Румянцева, К. В. Ромашова

**ПРЕСНОВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ
(многолетние исследования ААНИИ)**

Корректор *И. Ю. Карпова*
Верстка *С. В. Шахман*

Подписано в печать 12.04.2021 г. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ. л. 12,5. Тираж 300 экз. Заказ № 51.

Ротапринт ААНИИ. 199397. Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 38. aariprint@aari.ru