

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина»
Институт естественных наук

На правах рукописи

ТИКУШЕВА Людмила Николаевна

**ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОДОРΟΣЛЕВЫХ СООБЩЕСТВ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО
ГАЗОПРОВОДА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ И БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКАЯ ТУНДРА)**

1.5.15. Экология (биологические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
кандидат биологических наук, доцент
Патова Елена Николаевна

Сыктывкар 2022

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДОРΟΣЛЕЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ВОДОЁМОВ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ И ПОЛЯРНОГО УРАЛА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)	9
1.1. Исследования разнообразия водорослей Большеземельской тундры и Полярного Урала..	9
1.2. Изменение химических показателей водных объектов Большеземельской тундры в условиях антропогенного загрязнения	15
1.3. Реакция альгоценозов на изменение условий среды	18
ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	28
2.1. Природно-климатические условия Большеземельской тундры и Полярного Урала	28
2.2. Характеристика водных объектов Большеземельской тундры и Полярного Урала.....	34
ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	41
3.1. Материалы исследования	41
3.2. Методы сбора и обработки материала	42
ГЛАВА 4. ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ КАРА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА	51
4.1. Общая характеристика обследованных водных объектов Большеземельской тундры и Полярного Урала	51
4.2. Анализ гидрохимических показателей обследованных водных объектов Большеземельской тундры и Полярного Урала	56
4.3. Оценка потенциального воздействия строительства линейных промышленных объектов на водные экосистемы.....	68
ГЛАВА 5. СТРУКТУРА ВОДОРΟΣЛЕВЫХ СООБЩЕСТВ И ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАННЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ АЛЬГОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ	78
5.1. Таксономический, географический и экологический анализ водорослевых сообществ ...	78
5.2. Показатели биологического разнообразия сообществ водорослей	94
5.3. Изменения таксономической структуры альгоценозов в условиях строительства и эксплуатации объектов газопровода	95
5.4. Оценка экологического состояния водоемов с использованием индикаторных групп водорослей	105
5.5. Адаптационные механизмы альгоценозов в зоне влияния магистрального газопровода, прогноз их изменений и подходы к организации экологического мониторинга	121
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	134
ВЫВОДЫ	136

Список сокращений и условных обозначений	138
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	141
Список иллюстративного материала.....	163
Приложение 1. Карты-схемы местоположения района исследований	166
Приложение 2. Описание обследованных водных объектов в местах отбора проб воды, донных отложений и альгологического материала	169
Приложение 3. Список проб альгологического материала.....	176
Приложение 4. Данные количественного химического анализа для проб природной поверхностной воды и донных отложений, результаты статистической обработки	179
Приложение 5. Систематический список видов водорослей, обнаруженных в обследованных водных объектах бассейна реки Кара (за исключением диатомовых)	185
Приложение 6. Иллюстративные материалы	200
Приложение 7. Результаты статистического анализа связи гидрохимических показателей и таксономического разнообразия водорослей	211

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Экосистемы Крайнего Севера стали зоной не только традиционного природопользования, но и техногенного освоения недр. Происходит нарастание антропогенного пресса на биоту, трансформация и уничтожение уникальных природных объектов. Актуальность комплексного исследования водных экосистем Полярного Урала и прилегающей территории Большеземельской тундры обусловлена нарушениями природных ландшафтов в результате строительства и эксплуатации магистрального газопровода «Ямал-Центр» на его участке «Бованенково-Ухта», и транспортных путей по его обслуживанию, пересекающих все основные водотоки и водосборы на данной территории. В результате происходит загрязнение окружающей среды техногенными выбросами. Планомерного изучения изменений, происходящих в природных комплексах под влиянием этих объектов, не проводится в связи с удаленностью и труднодоступностью региона. Остается мало исследованной значительная часть фоновых территорий. Имеются работы по географии и гидрологии водных объектов Полярного Урала (Голдина, 1972; Кеммерих, 1961; Миронова, Покровская, 1964; Хохлова, 2002); биоразнообразию водных и наземных экосистем Полярного Урала и Большеземельской тундры (Альгофлора..., 1994; Особенности структуры..., 1994; Природная среда тундры..., 2005; Богданов и др., 2004; Биоразнообразие..., 2007). С применением методов математического моделирования выполнена прогнозная оценка воздействия эмиссий данного трубопровода на окружающую среду (Башкин и др., 2002, 2006; Казак, 2002; Самсонов, 2006). Получены первые сведения о влиянии объектов газопровода на водные и наземные экосистемы Полярного Урала по результатам полевых исследований (Патова и др., 2014а, 2014б).

Альгологические исследования в районе Большеземельской тундры и Полярного Урала в большей степени носят флористический характер, водорослевые сообщества остаются недостаточно полно изученными. Новые направления хозяйственного освоения Крайнего Севера обуславливают необходимость экологической оценки водных объектов и прогноза их изменения в условиях антропогенного воздействия.

Трансформация структуры водорослевых сообществ является диагностическим признаком состояния водоёмов. Исследования изменений альгоценозов и условий водной среды в результате воздействия объектов магистрального газопровода на территории Большеземельской тундры и Полярного Урала ранее не проводились. Бассейн р. Кара является мало исследованным, большинство водных объектов сохраняют статус ненарушенных или слабо трансформированных. Поэтому кроме научной ценности

сведений о биологическом и экологическом разнообразии водорослей региона исследований, полученные результаты могут быть использованы для оценки воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду на данной территории и для организации экологического мониторинга в будущем.

Цель и задачи работы. Цель исследования – выявить основные направления трансформации водорослевых сообществ в горных и тундровых водных объектах в зоне комплексного загрязнения при строительстве и эксплуатации магистрального газопровода.

Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

1) изучить природные особенности исследованных водных объектов Большеземельской тундры и Полярного Урала, на основе анализа химического состава поверхностных природных вод, донных отложений определить факторы среды, влияющие на трансформацию водорослевых сообществ;

2) выявить видовой состав водорослей рек и озер бассейна реки Кара, провести таксономический, эколого-географический анализ альгоценозов, а также выделить доминирующие комплексы для исследованных водных объектов;

3) оценить изменения структуры водорослевых сообществ в условиях воздействия строительства и эксплуатации линейных сооружений, связанных с транспортировкой газа, их адаптивные реакции к совокупному действию факторов среды, выявить индикаторные таксоны и экологические группы водорослей на данный вид воздействия;

4) выполнить оценку экологического состояния водных объектов в условиях строительства и эксплуатации магистрального газопровода с использованием комплексного подхода на основе гидрохимических и альгологических данных.

Научная новизна и теоретическая значимость. Впервые для водных объектов бассейна р. Кара проведено комплексное изучение таксономической, эколого-географической структуры и закономерностей развития сообществ водорослей. Определены химические показатели водной среды и донных отложений, основные загрязнители вод, рассчитаны коэффициенты донной аккумуляции тяжелых металлов в тундровых водоёмах Полярного Урала и Большеземельской тундры. Установлены направления изменения альгоценозов в условиях воздействия строительства и эксплуатации объектов магистрального газопровода. Обобщены сведения о диагностических признаках альгоценозов фоновых и загрязнённых водных объектов региона исследований. Впервые получены сведения о водорослях-индикаторах качества среды для мало изученных и труднодоступных водных объектов Большеземельской тундры и Полярного Урала, как не нарушенных, так и испытывающих антропогенное воздействие. Составлен аннотированный список видов водорослей для мало изученного района Большеземельской тундры и Полярного Урала, насчитывающий 206 видов с внутривидовыми

таксонами из 7 отделов, содержащий информацию об их эколого-географических характеристиках и встречаемости в каждом из исследованных водных объектов. Результаты работы вносят вклад в развитие представлений об особенностях структуры альгоценозов Большеземельской тундры и Полярного Урала, изменениях видового состава водорослей в условиях антропогенного воздействия объектов магистрального газопровода, пополняют знания о разнообразии и экологии водорослей водных объектов Субарктики.

Практическая значимость. Полученные данные пригодны для составления сводок о региональной флоре. Таксономические списки водорослей исследованных регионов и сведения по экологии и распространению видов могут быть использованы при подготовке российских и международных диагностических ключей и определителей. На основе полученных данных об изменении видового состава водорослей, химических показателей воды и донных отложений разработана программа экологического мониторинга состояния водных объектов в зоне влияния магистрального газопровода с использованием альгоиндикации и данных химического анализа, в которой сформулированы диагностические признаки разных уровней загрязнения и предложены наблюдаемые показатели. По материалам исследования подготовлены рекомендации для создания новой особо охраняемой природной территории Республики Коми в бассейне реки Силова-Яха. Материалы диссертации также были использованы при разработке курсов лекций и практических работ по экологическому мониторингу и оценке воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду на кафедре экологии ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина».

Соответствие паспорту научной специальности. Научные положения диссертации соответствуют шифру специальности 1.5.15. Экология (антропогенное воздействие на сообщества и экосистемы; разработка критериев оценки состояния среды, биоиндикация).

Положения, выносимые на защиту:

1. Водные объекты в зоне влияния магистрального газопровода сохраняют свои природные особенности (гидро-карбонатно-кальциевый тип вод с низкой минерализацией), при этом проявляется техногенное загрязнение вод и донных отложений нефтепродуктами, ртутью, тяжелыми металлами.

2. Основу альгофлоры (без учета диатомовых) водных объектов исследованного района составляют представители отделов Cyanoprokaryota, Streptophyta, Chlorophyta. В водорослевых сообществах по числу видов преобладают представители родов *Cosmarium*, *Scenedesmus*, *Staurastrum*, *Closterium*. Различия в структуре сообществ в большей степени обусловлены принадлежностью к одному бассейну, чем наличием загрязнений.

3. В условиях влияния аэротехногенного загрязнения и поступления сточных вод от объектов магистрального газопровода происходит повышение трофического статуса рек и озёр,

что проявляется в изменении видового состава, таксономической и экологической структуры альгоценозов и комплекса доминирующих видов.

4. Водорослевые сообщества низкоминерализованных тундровых водных объектов реагируют увеличением видового разнообразия при начальном и среднем уровне загрязнения в зоне влияния газопровода. Снижение числа видов проявляется в сильнозагрязненных водных объектах – непроточных озерах в непосредственной близости от объектов газопровода.

Апробация результатов. Автор принимал личное участие в постановке **цели и задач работы**, в комплексных экспедиционных исследованиях, отборе альгологических образцов, проб природной поверхностной воды и донных отложений для химического анализа, идентификация водорослей различных таксономических групп (все отделы, за исключением диатомовых водорослей, определение которых в рамках комплексных исследований выполнено сотрудником ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН – А.С. Стениной), осуществлении статистической обработки материала, а также обсуждении и теоретическом осмыслении полученных результатов. Доля личного участия автора в сборе материала, написании и подготовке публикаций составляет 60–95%.

Основные результаты работы были доложены и представлены на международных, российских и региональных научно-практических конференциях: Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии» (Сыктывкар, 2013-2014), Всероссийской конференции «Молодёжь и наука Севера» (Сыктывкар, 2013); Всероссийской научной конференции «Биоразнообразие экосистем крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана» (Сыктывкар, 2013), на круглом столе «Экологические проблемы Российского Севера в контексте промышленного развития региона», посвященном десятилетию кафедры экологии Сыктывкарского государственного университета (Сыктывкар, 2013), Межрегиональной научно-практической конференции «Роль университетов в реализации арктической стратегии России: экологические, технологические, социокультурные аспекты» (Ухта, 10-12 октября 2013 г.), Международной научной конференции «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге» (Борок, 2014), Всероссийской научной конференции «Освоение Севера и проблемы природовосстановления» (Сыктывкар, 2014), Всероссийской научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы развития сети ООПТ Европейского Севера и Урала» (к 20-летию образования объекта Всемирного Наследия ЮНЕСКО «Девственные леса Коми», 85-летию организации Печоро-Илычского заповедника, Сыктывкар, 2015), на Международном симпозиуме «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты» (Новосибирск, 2015), Межрегиональной научно-практической конференции «Вклад академической науки в развитие производительных сил Европейского Севера России» (посвящена 95-летию со времени образования Республики Коми) (Сыктывкар

18-19 мая 2016 г.), II Международной научной школе-конференции «Цианопрокариоты/цианобактерии: систематика, экология, распространение» (Сыктывкар, 16-21 сентября 2019 г.). Работа выполнена в рамках плановых госбюджетных тем Института биологии Коми НЦ УрО РАН, проектов УрО РАН Фундаментальные исследования «Арктика» № 12-4-7-004-АРКТИКА и «Комплексная оценка водных экосистем Европейской Арктики, трансформированных в результате добычи и транспортировки углеводородов, разработка критериев их охраны для обеспечения воспроизводства биоресурсов» № 15-15-4-36, при поддержке гранта Русского географического общества «Организация комплексной экспедиции на Полярный Урал для выделения в российской Арктике территорий высокой природоохранной ценности», грантов РФФИ № 15-04-06346, №18-04-00643, № 18-04-00171.

Публикации: по теме диссертации опубликовано 19 работ, из них 4 – в периодических изданиях, входящих в список ВАК, отдельные разделы трех коллективных монографий (по одной главе в каждой, в соавторстве).

Структура и объём работы. Решение поставленных задач определило структуру диссертационной работы, состоящую из введения, 5 глав, заключения, выводов, 7 приложений. Диссертация изложена на 212 страницах, в том числе 140 страниц основного текста. Работа иллюстрирована 12 таблицами и 31 рисунком. Список использованной литературы включает 292 источника, в том числе 83 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность и признательность за неоценимую помощь в определении видов и всестороннюю поддержку научному руководителю к.б.н. Е.Н. Патовой; большое уважение и слова благодарности соавторам публикаций, коллективу кафедры экологии Института естественных наук ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина», лаборатории геоботаники и сравнительной флористики Института биологии Коми НЦ УрО РАН за помощь в выполнении работы. Автор признателен за внимание к работе и ценные замечания сотрудникам Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. Отдельная благодарность за консультации при математической обработке данных д.б.н. В.Н. Якимову, к.б.н. А.Б. Новаковскому и М.Д. Сивкову. Очень благодарна моей семье за понимание и поддержку при написании работы. Работу посвящаю моей сестре, математику М.Н. Юркиной, ушедшей из жизни от COVID-19.

ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДОРΟΣЛЕЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ВОДОЁМОВ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ И ПОЛЯРНОГО УРАЛА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1. Исследования разнообразия водорослей Большеземельской тундры и Полярного Урала

Альгологические исследования на Европейском Северо-востоке в разные периоды были тесно сопряжены с историей флористического, геоботанического и гидробиологического изучения Европейского Северо-востока. И до 60-х годов 20-го столетия в основе исследования водорослей этой обширной территории лежали фрагментарные сборы участников различных экспедиций. Исследования носили исключительно флористический характер. В ряде работ обобщающего характера (Гецен, 1973, 1983, 1985; Флора и фауна..., 1978; Гецен и др., 2002, 2005; Альгофлора..., 1994) содержатся сведения об истории изучения водорослей на данной территории.

Первые сведения о водорослях в водоемах региона появились в начале 20 века для арктических островов (Флеров, 1925, Ширшов, 1935, по: Гецен и др., 2005). Начиная с 1930-х годов, особая роль в познании альгофлоры Европейского Севера, в том числе Большеземельской тундры и Полярного Урала, принадлежала Н.Н. Воронихину (1930, 1931, 1932, по: Гецен и др., 2005). Именно по сборам водорослей тех лет из водоемов Большеземельской тундры им дана первая общегеографическая оценка альгофлоры Двинско-Печорского района (в пределах принятого в те годы геоботанического районирования Севера). В 1950-х годах эти сведения вошли в справочную сводку (Флора водорослей..., 1951, 1954, цит. по: Гецен и др., 2005), а спустя четверть века – в первую для Европейского Северо-востока обобщающую работу «Флора и фауна водоемов Европейского Севера» (1978).

В начале 1960-х гг. Полярно-Уральская ледниковая экспедиция под руководством Л.С. Троцкого и гидролога О.А. Кеммериха начала изучение самых северных горных озер Урала (Кеммерих, 1961, 1966). Лимнологическая характеристика некоторых озер Полярного Урала дана сотрудниками Института географии РАН Н.Я. Мироновой и Т.Н. Покровской (1964). Ими также исследован фитопланктон оз. Б. Хадата и других озер восточного склона Полярного Урала, относящихся к бассейну р. Обь, который был представлен сравнительно небольшим числом видов (7-25), относящихся к трем-четырем систематическим группам. Наибольшее значение в фитопланктоне имели синезеленые водоросли: в начале лета преобладала *Gloeocapsa minor* (Kutzing) Hollerbach, в конце лета – несколько видов, относящихся к родам *Gloeocapsa*, *Anabaena*, *Snowella*, заметную, но

намного меньшую роль в фитопланктоне играли жгутиковые, из которых чаще встречался *Dinobryon cylindricum*¹, и совсем незначительную роль – диатомовые и зеленые водоросли.

Начиная с 1960-х годов, в тундровой зоне Печорского бассейна появились первые научные стационары, которые способствовали углублению альгофлористических и зарождению продукционных исследований, которые проводились как раздел различных плановых тем, обеспечивающих социальные заказы времени. Так формирование альгологического направления в исследовании Большеземельской тундры началось под влиянием взглядов О.С. Зверевой (1955; Зверева и др., 1964; Гидробиологическое изучение..., 1966), сформированных в 1960-х гг. при изучении водоемов Печорского бассейна для оценки возможности их рыбохозяйственного использования (Гецен и др., 2005). С этого времени исследования территориально все больше сосредотачиваются в этом районе. В условиях лесотундрового стационара «Сивая Маска» геоботаники Ботанического института АН СССР провели альгологические сборы, впоследствии обработанные Э.Г. Куком (1970). С этого периода на Европейском Северо-востоке водоросли становятся важным объектом изучения в различных комплексных программах.

До настоящего времени большой интерес представляют результаты исследования Харбейских озер (Гецен, 1970, 1973; Продуктивность озер..., 1976; Стенина, Гецен, 1975), выполненные в 1968-1972 годах в плане международной биологической программы, которые содержат сведения о флористическом составе водорослей, а также данные количественного учета фитопланктона. По результатам этих исследований также составлен список видов диатомовых водорослей, включающий 236 видов и внутривидовых таксонов (Стенина, Гецен, 1975). Общее количество видов и внутривидовых таксонов озер восточной части Большеземельской тундры составило 399 видов и внутривидовых таксонов: Cyanophyta – 54 (13,5 %), Chrysophyta – 27 (6,8 %), Bacillariophyta – 236 (59,2 %), Xanthophyta – 4 (1,0 %), Pyrrophyta – 6 (1,5 %), Euglenozoa – 3 (0,7 %), Chlorophyta – 69 (17,3 %) (Гецен, 1970, 1973; Стенина, Гецен, 1975; Продуктивность озёр..., 1976). Основу систематического разнообразия составили диатомовые, зеленые и синезеленые водоросли (90 % состава). Свыше 60 % от общего числа видов формировали факультативно- и случайно-планктонные водоросли. Также приведены сведения по численности и биомассе водорослей, описаны сезонные явления в планктоне. Кроме того, в рамках комплексных исследований Института озероведения РАН (Продуктивность озер..., 1976) В.А. Елизарова с соавторами исследовали содержание пигментов фитопланктона в водах Харбейских озер,

¹ Авторские знаки видов водорослей и внутривидовых таксонов, также обнаруженных нами, приведены в Приложении 5.

И.Л. Пырина с соавторами – первичную продукцию фитопланктона, М.Б. Вайнштейн – фотосинтез фитопланктона.

По результатам обследования трех крупных озерно-речных систем (Вашуткинская, Харбейская, Падимейская) в восточной части Большеземельской тундры М.В. Гецен (1973) представлен список водорослей с их описаниями – 60 таксонов, обнаруженных в тундровых водоемах, сведения о которых были опубликованы впервые. Альгофлора Печорского бассейна охарактеризована как олигогалообная, что согласуется с распространением в районе слабо минерализованных вод. В составе планктонных и бентосных водорослевых ассоциаций отмечено преобладание индифферентных и галофильных (23 % флоры) видов. Биологическое лето (с конца июля) отличалось развитием анабенов с доминированием их в суммарной биомассе. Как особенность бентических ассоциаций отмечено массовое развитие рода *Nostoc* (Флора и фауна..., 1978). Разнообразие десмидиевых связано с их индикаторным значением: отмечена «десмидиевость» обследованных водоёмов как показатель низкоминерализованных и слабощелочных вод, а также признак заболоченности территории. Основу альгофлоры составили широко распространенные и космополитные виды (70 % таксонов).

По данным монографии «Флора и фауна водоемов Европейского Севера (на примере озер Большеземельской тундры)» (1978), в которой М.В. Гецен (А.С. Стениной – для диатомовых) обобщены результаты многолетних исследований Коми филиала АН СССР: наибольшее разнообразие по видовому составу отмечено для зеленых, синезеленых и золотистых водорослей. Как таксономическая особенность синезеленых отмечено преобладание представителей порядка *Nostocales* с большим разнообразием видов рода *Anabaena*. Для фитопланктона арктических водоемов отмечено малое флористическое сходство (на более 11 %, чаще – 3-7 %), что объясняется разнообразием редко встречающихся, случайных для планктона видов, вместе с этим замечено сходство состава доминирующих истинно планктонных форм, а также доминантных видов в близких местообитаниях арктических водоемов. Как адаптация к колебаниям температуры воды отмечена приуроченность доминирующего в озерах комплекса планктонных видов к глубоководной пелагической зоне. Господство в планктоне анабенов объяснено их способностью фиксировать атмосферный азот в условиях характерного для данного района дефицита азотсодержащих соединений.

Сведения по эвгленовым водорослям представлены в работе Т.А. Сафоновой (1982), в том числе список видов, включающий 123 вида. Отмечено, что эвгленовые в Большеземельской тундре образуют до 5 % альгофлоры, на Полярном Урале – около 10 %. Золотистые водоросли Большеземельской тундры (25 видов) описаны И.М. Балоновым

(1982). По данным (Альгофлора..., 1994), всего в водоёмах Большеземельской тундры выявлено 1048 видов (1460 с разновидностями и формами, представлен систематический список водорослей), которые относятся к 10 отделам: Cyanophyta – 156, Euglenozoa – 42, Dinophyta+Cryptophyta – 9, Bacillariophyta – 766, Xanthophyta – 14, Rhodophyta – 3, Chlorophyta – 398, Charophyta – 3. Основу списка на 90 % составляют диатомовые, зелёные и синезеленые водоросли, что характерно для водоемов Крайнего Севера. Более половины списка – 52,5 % – диатомовые. Вклад синезеленых составил около 11 %.

Диатомовые водоросли Большеземельской тундры и Полярного Урала, лидирующие в северной альгофлоре, детально исследованы А.С. Стениной, результаты ее работ представлены в монографиях и многочисленных публикациях, имеющих в том числе справочный характер. Большое внимание уделено таксономическому и экологическому анализу флоры, индикации состояния водной среды посредством диатомовых водорослей (Стенина, Гецен, 1975; Флора и фауна..., 1978; Стенина, Коюшева, 1982; Стенина, 1985, 1990, 1993, 1996, 2009, 2010; Лосева и др., 2004; Гецен и др., 2005).

Отдельное внимание в изучении альгоценозов уделено синезеленым, одной из ведущих групп во флоре водорослей Большеземельской тундры (Гецен, Грунина, 1982; Грунина и др., 1982; Гецен, 1985; Патова, Гецен, 1991; Патова и др., 2000; Патова, 2007, 2014). Анализ приспособительных реакций водорослей в высоких широтах показал, что их распределение определяют, в первую очередь, температура и необходимые элементы питания, поэтому одной из отличительных зональных особенностей систематической структуры альгофлоры тундры является относительно высокий процент синезеленых водорослей. Среди них в условиях дефицита азота в экосистемах ведущее место в видовом составе принадлежит видам, способным к азотфиксации (в водоёмах – 44, в почвах – 45 %) (Гецен, 1985; Гецен и др., 2002).

Наибольший интерес с точки зрения экологии водорослей представляет монография М.В. Гецен (1985), в которой дано подробное описание водорослевых группировок с применением биотопического подхода, рассмотрены экологические факторы, оказывающие воздействие на развитие водорослей, их приспособительные реакции на условия среды. Для диатомовых следует отметить обобщающую работу А.С. Стениной (2009).

Аналогичные результаты получены для экосистем Полярного Урала. Заболоченные водосборы, холодные воды с низкой минерализацией, бедный ионный состав, невысокое содержание биогенных элементов и органических веществ приводят к развитию в водоёмах, наряду с диатомовыми водорослями, приспособленными к таким условиям, видов – обитателей северных широт из десмидиевых, зеленых и синезеленых водорослей (Биоразнообразие..., 2007; Биологическое разнообразие..., 2010). В целом, альгофлора

Полярного Урала исследована в меньшей степени, чем Большеземельской тундры. Особенности диатомовой флоры ледниковых озер Полярного Урала изучены В.Н. Стениным (1972), бассейна реки Кара – А.С. Стениной (1993). Последняя работа являлась единственной для бассейна данной реки до проведения наших исследований. Также известны материалы по обследованию фитопланктона озер Кривое и Круглое Приполярного Урала В.Н. Никулиной (1975). Следует отметить изучение водорослей северного и восточного макросклонов Полярного Урала в бассейнах рек Кара, Щучья М.И. Ярушиной (Богданов и др., 2004), которой представлены сведения о таксономическом разнообразии альгофлоры Полярного Урала, насчитывающей 414 видов (560 с внутривидовыми таксонами), относящихся к 9 отделам, 14 классам, 25 порядкам, 133 родам. Установлено, что наибольшим видовым богатством во всех типах водоемов отличаются диатомовые водоросли (53,1 %), второе место занимают зеленые водоросли (24,9 %), на третьем – синезеленые, золотистые – на четвертом, эвгленовые – на пятом. Ведущими родами по числу видов являются *Navicula*, *Cymbella*, *Pinnularia*, *Eunotia*, *Achnanthes*, *Nitzschia*, *Scenedesmus*, *Oscillatoria*, *Fragilaria*, *Gomphonema*, составляющие 40,6 % всей флоры. Также отмечены доминирующие виды в обследованных водных объектах.

Водоросли предгорных и горных районов Полярного Урала исследованы Е.Н. Патовой, И.В. Деминой (2006, 2008). В обобщающей монографии «Биоразнообразие экосистем Полярного Урала» (2007) А.С. Стениной (диатомовые водоросли), Л.Н. Волошко (золотистые водоросли), Е.Н. Патовой и И.В. Деминой (другие отделы) представлены сведения о таксономическом разнообразии водорослей, об индикаторных группах альгоценозов, анализ таксономической структуры водорослевых сообществ. Отмечено высокое их биологическое разнообразие, которое в общей сложности по всем имеющимся данным составляет 1050 видов с разновидностями, при этом видовой состав и таксономическая структура исследованных отделов водорослей типичны для альгофлор высокоширотных и горных районов, не испытывающих антропогенного воздействия. Полученные показатели можно рассматривать как фоновые. В сборнике (Биологическое разнообразие..., 2010), содержащем описание экосистем комплексного заказника «Хребтовый», расположенном на хребте Енганэпэ в горных тундрах Полярного Урала, Е.Н. Патовой, И.В. Деминой, Р. Бришкайте дана характеристика водорослей озер и водотоков данного района. Представлен список выявленных таксонов, включающий 335 видов (с внутривидовыми таксонами) водорослей, относящихся к 98 родам, 52 семействам. Отмечены наиболее представленные в альгоценозах семейства, а также виды с высокими показателями встречаемости.

М.В. Гецен, А.С. Стениной, Е.Н. Патовой, внесшими огромный вклад в изучение водорослей Крайнего Севера, обобщены результаты многолетних исследований водных объектов Большеземельской тундры (Гецен, 1985; Флора и фауна..., 1978; Гецен и др., 2002, 2005; Альгофлора..., 1994). Выявлены зональные особенности таксономического состава водорослевых группировок, рассмотрены экологический и географический аспекты альгоценозов. Представлены сведения о распределении водорослей по биотопам, об их адаптивных реакциях в экстремальных условиях среды, в том числе под воздействием загрязнения Воркутинского промышленного комплекса. Указанные работы обобщающего характера послужили базисом для комплексных экологических исследований Большеземельской тундры и Полярного Урала (Альгофлора..., 1994; Структурно-функциональная организация..., 1994; Особенности структуры..., 1994; Природная среда тундры..., 2005; Биоразнообразие..., 2007) и являются фундаментальными в рассматриваемой сфере.

Исследование водных объектов центральной части Большеземельской тундры также осуществлялось с 1986 по 1989 гг. сотрудниками Института озераведения АН СССР (Особенности структуры..., 1994), в 2003-2003 гг. – сотрудниками ИППЭС КНЦ РАН по международному проекту «Устойчивое развитие Печорского района в изменяющихся условиях природы и общества» (Даувальтер, Хлопцева, 2008).

Загрязнение водной среды в районах Крайнего Севера в результате его промышленного освоения, антропогенные изменения биогеоценозов и связанное с ними исследование индикационных возможностей альгоценозов, их адаптивных механизмов и процессов самовосстановления водных объектов с конца 20 века и до настоящего времени являются актуальными (Гецен, 1985; Стенина, 1990; Гецен и др., 1992; Особенности структуры..., 1994; Альгофлора..., 1994; Природная среда тундры..., 2005). Вопросы оценки состояния водных объектов Крайнего Севера и их изменений в результате антропогенного воздействия изложены в разделе 1.2 данной работы.

В настоящем обзоре представлены сведения по водорослям водных местообитаний, при этом отдельным направлением в исследовании тундровых биогеоценозов являются работы по изучению почвенных водорослей Э.А. Штина (1965; 1982), Л.Н. Новичковой-Ивановой и Н.В. Сдобниковой (1982), М.В. Гецен (1985), Е.Н. Патовой (1994, 2004; Patova, 2005) и другими авторами (Гецен, Костяев, 1982; Перминова и др., 1982; Зимонина, 2002; Патова, Новаковская, 2014).

Несмотря на большое количество работ, в том числе фундаментального характера, альгофлора Большеземельской тундры и Полярного Урала остается недостаточно хорошо изученной, поскольку чаще всего по объективным причинам исследованию видового

состава подвергаются водные объекты в течение непродолжительного периода времени. Проведение всесезонных сборов на данной территории является весьма затруднительным. Как правило, отбор проб проводится в полевой сезон летом, в рамках комплексных экологических экспедиций, поэтому некоторая часть видового спектра остается за рамками исследования. Новые направления хозяйственного освоения районов Крайнего Севера обуславливают необходимость оценки состояния водных объектов и прогноза их изменения в условиях антропогенного воздействия, поскольку модификация структуры водорослевых ассоциаций является диагностическим признаком трансформации водных экосистем.

1.2. Изменение химических показателей водных объектов Большеземельской тундры в условиях антропогенного загрязнения

В условиях интенсивного промышленного освоения Арктики стали актуальными проблемы охраны окружающей среды, оценки состояния водных объектов, трансформации и механизмов самовосстановления биогеоценозов (Состояние природной среды..., 1994; Стенина, Хохлова, 1998; Analysis..., 2003; Pienitz et al., 2004). В Большеземельской тундре наиболее хорошо изучено антропогенное воздействие на малые водоемы Воркутинского промышленного комплекса – важнейший элемент тундровых ландшафтов (Гецен и др., 1992; Альгофлора..., 1994). Они наиболее четко отражают происходящие в них изменения и составляют в районе исследования около 90 % озер, являются своеобразными накопителями продуктов человеческой деятельности. Для Большеземельской тундры предложено разделение водоемов по степени антропогенного воздействия и характеру загрязнения (Гецен и др., 1992; Структурно-функциональная организация..., 1994; Альгофлора..., 1994). К чистым водоемам отнесены озера, расположенные на востоке данного района, за пределами Воркутинского промышленного района (обследованные в 1960-1970 гг. озера Харбейской системы и бассейнов рек Коротаиха, Кара). Данные водные объекты отражают свойственные для Большеземельской тундры особенности химического состава поверхностных вод (высокая прозрачность – 2,2-4,7°; цветность – 2-14°, в малых озерах – до 25-84°; небольшая минерализация – 10-68 мг/дм³; преимущественно сульфатно-натриевый и сульфатно-кальциевый состав воды; рН – 6,0-7,6 (отмечено увеличение этого показателя в озерах с богатой растительностью при повышенных температурах воды); достаточное насыщение воды кислородом – 70-150 % и постоянное присутствие диоксида углерода; невысокое содержание органических веществ: величина перманганатной окисляемости (ПО) – 4-7, в воде с заболоченным водосбором –

12-20 мг/дм³; содержание фосфора до 0,04 мг/дм³, азота в аммонийной форме – до 0,19 мг/дм³). К условно чистым водоемам отнесены водные объекты, находящиеся в зоне рекреации населенных пунктов, которые не подвергаются непосредственному воздействию стоков загрязняющих веществ, не испытывают влияние пылевого загрязнения промышленных предприятий. По химическому составу воды характеризуются как типично тундровые. Для них характерны минерализация – 62-85 мг/дм³, состав ионов преимущественно гидрокарбонатно-кальциевый. ПО – 3-7 мг/дм³, цветность 2-15°, малое содержание аммонийного азота – 0,1-1,05 мг/дм³ и фосфатов – 0,01-0,07 мг/дм³, реакция среды в большинстве случаев слабокислая или близкая к нейтральной, насыщение воды кислородом – 82-99 %. Кроме того, представлены основные показатели для водоемов, загрязненных стоками сельскохозяйственного производства, продуктами производства и отходами промышленных предприятий, со смешанным загрязнением (Структурно-функциональная организация..., 1994).

Для оценки состояния водных объектов в 1990-х гг., проведенной с целью комплексного обследования восточноевропейских тундр в преддверии промышленного освоения района, определялись содержание в воде тяжелых металлов, нефтепродуктов, фенолов и синтетических поверхностно-активных веществ. Для Большеземельской тундры результаты анализа выявили наличие свинца и кадмия во всех пробах, но концентрации их были настолько незначительны, что они не оказывали существенного влияния на качество воды. А вот содержание меди и цинка большей частью превышало предельно допустимые нормы, вызывая серьезную тревогу. Концентрации меди (0,001-0,022 мг/дм³) в 2-22 раза, а цинка (0,01-1,03 мг/дм³) в 2-103 раза превышали ПДК рыбохозяйственных водоемов (далее – ПДК_{рыбохоз}) (Об утверждении нормативов..., 2010). Наибольшее содержание меди и цинка зафиксировано в озерах. Установлено, что содержание тяжелых металлов возрастает в водоёмах и водотоках, непосредственно взаимодействующих с приливной водой. Повышение содержания нефтепродуктов (в 5-10 раз) зафиксировано во всех пробах воды. В качестве основной причины поступления нефтепродуктов в реки указана также приливная вода. Отмечена возможность локальных антропогенных воздействий из-за близости озер к буровым (Альгофлора..., 1994). Полученные значения можно использовать как фоновые. Согласно наблюдениям В.А. Даувальтера с соавторами (2015), фоновые концентрации тяжелых металлов в донных отложениях водоемов по результатам исследований в различные годы подобны, отмечаются расхождения не более 10 %, могут быть объяснены вариабельностью состава фоновых слоев донных отложений.

В качестве признаков антропогенного воздействия на воды р. Печора отмечены наблюдаемый в период ледостава дефицит кислорода (до 13 %), повышение концентрации

аммонийного азота до пределов, недопустимых для рыбохозяйственных водоемов, и рост содержания органического вещества. В районе локального антропогенного воздействия (близость к аэропорту и буровой нефтяного месторождения) также наблюдалось повышенное содержание нефтепродуктов (Хохлова, 1996). В ореольных водах в районах нефтедобычи выявлялось антропогенное подщелачивание вод, повышение содержания азота, железа, меди, рост минерализации (Тентюков, 2010). В водоемах северной подзоны Большеземельской тундры отмечено превышение ПДК_{рыбохоз} для цинка (в 2-7 раз), при показателях для других микроэлементов, находящихся в основном в допустимых пределах. Превышение ПДК_{рыбохоз} по фенолам в одном из обследованных озер, не испытывающем заметного антропогенного воздействия объяснено разложением древесных растительных остатков. В районах нефтегазоразведочного бурения отмечены подщелачивание среды, повышение минерализации воды, загрязняющие вещества: нефтепродукты – 0,005-0,54 и фенолы – 0,0-4,0 мг/дм³ (Структурно-функциональная организация..., 1994).

По состоянию на начало 1990-х гг. (Альгофлора..., 1994; Особенности структуры..., 1994) основные факторы антропогенного воздействия на территории Большеземельской тундры были связаны с разведкой и добычей нефти и угля. Разработка углеводородов на шельфе Мирового океана в число острых экологических проблем выдвинула нефтяное загрязнение океана и экосистем вдоль морских побережий нефтепродуктами и тяжелыми металлами. Для равнинных тундр стало распространенным загрязнение нефтепродуктами и буровыми растворами. Известно токсическое воздействие нефти на все уровни организации биоты водных и наземных экосистем Арктики. Из других видов загрязнений водных объектов Большеземельской тундры отмечены: сельскохозяйственное, шахтными стоками (щелочные воды) на территории и близ угледобывающих шахт, загрязнение водоемов в селитебных и рекреационных зонах (район г. Воркута), от ТЭЦ, от цемзавода, озера со смешанным типом загрязнений. В монографии (Природная среда тундры..., 2005) представлены данные по результатам многолетних наблюдений трансформации тундровых экосистем в условиях открытой разработки угля.

В работе Н.Г. Обермана, И.Г. Шеслер и А.И. Рубцова (2004) представлен анализ антропогенных изменений поверхностных вод и гидрогеологических условий, а также данные по экогеохимии ландшафтно-техногенных комплексов и объектов в условиях различных видов загрязнений на территории Республики Коми и восточной части Ненецкого Автономного округа (угледобывающих, нефте- и газодобывающих производств, сельскохозяйственных, селитебных комплексов).

Имеются результаты для других районов нефте-газодобычи: строительство трубопровода большой протяженности приводит к значительному нарушению экосистемы

региона, происходит загрязнение водотоков и водоёмов специфическими реагентами, не свойственными природным экосистемам, за счет сброса сточных вод и локального загрязнения ландшафтов, происходит накопление поллютантов, в том числе при непосредственном влиянии водорослей, в основном перифитона (Vilchek, 2002; Meylan et al., 2004; Кичигин, Поляков, 2005; Broderick, Durning, 2006; Lévesque, Dubé, 2007; Wei et al., 2010; Yu et al., 2010; Warner et al., 2013; Xiao et al., 2014; Киселева, Братошеская, 2017).

1.3. Реакция альгоценозов на изменение условий среды

Видовой состав водорослей является отражением гидрологических и физико-гидрохимических условий исследованных водоемов (таблица 1.2.1). Известно, что на начальных этапах загрязнения при обогащении воды биогенами видовое богатство возрастает за счет широковалентных видов (Лаугасте, Порк, 1980; Гецен, 1985; Трифонова, 1990; Баринова и др., 2006), а при увеличении антропогенной нагрузки – снижается. Небольшие добавки биогенных веществ вызывают усложнение структуры за счет внедрения новых или усиленного размножения ранее единичных в фитоценозе видов (Лаугасте, Порк, 1980). Для Большеземельской тундры в особенно «тяжелых» случаях загрязнения водоёмов (стоками шахт и животноводческих ферм) отмечено уменьшение средней видовой насыщенности семейств и родов – в сравнении с условно чистыми водными объектами утрата видового разнообразия в сильно загрязнённых водоёмах составляет 72-89 % (Структурно-функциональная организация..., 1994). Как индикатор антропогенного эвтрофирования принимается изменение структуры биоценозов (Россолимо, 1975; Структурно-функциональная организация..., 1994; Баринова и др., 2006). Для диатомовых комплексов установлены существенные изменения их состава и структуры в условиях загрязнения (Стенина, 1990, 1996; Гецен и др., 1992). В импактных озерах тундры в районах разведки и добычи нефти и угля по сравнению с фоновыми меняется видовой состав и доминирующие комплексы диатомовых водорослей. Иным становится соотношение индикаторных экологических групп. Показательные для чистых условий группы диатомей по мере загрязнения сменяются видами-индикаторами повышенного содержания легко-окисляемых органических веществ в воде. В техногенных экотопах резко увеличивается роль видов-алкалифилов и солелюбивых диатомей (Solak, Ács, 2011). Трансформация химического состава вод также приводит к выпадению из сообществ северных видов, их замещают бореальные виды и виды-космополиты, отмечена тривиализация структуры сообществ при антропогенном прессе не только по видовому составу, но и по группе ведущих видов, формирующих основу фитоценоза (Гецен и др.,

2002), что соответствует общим для различных географических зон тенденциям антропогенной трансформации биоты, заключающимся в структурных перестройках, упрощении сообществ, бореализации и космополитизации флоры и фауны (Структурно-функциональная организация..., 1994).

Для других групп водорослей в качестве признаков антропогенного воздействия также отмечено изменение доминирующего комплекса водорослей, названы виды, характерные для тех или иных водоемов (Гецен и др., 1992; Структурно-функциональная организация..., 1994; таблицы 1.2.1, 5.3.1). Известно, что с усилением минерализации сокращается число видов в семействах и родах. Для низкоминерализованных поверхностных вод Большеземельской тундры это соотношение составляет 1:2,6:12,1, при этом самые высокие флористические пропорции в северных флорах имеют диатомовые и зеленые водоросли в водоемах (Гецен, 1985).

Для водных объектов Большеземельской тундры, испытывающих антропогенное воздействие, установлено (Гецен, 1985), что кроме диатомовых, высокоиндикаторны на наличие загрязнений десмидиевые и хлорококковые (некоторые виды родов *Cosmarium*, *Scenedesmus*, *Euastrum*, *Dictyosphaerium*, *Tetraëdron*, *Ankistrodesmus*, *Monoraphidium*). Среди синезеленых водорослей наибольшую экологическую лабильность проявляют представители порядков Chlorococcales и Oscillatoriales. В изменённых и созданных человеком условиях ведущее значение в водоёмах получают также нитчатые зеленые и желтозеленые водоросли родов *Vaucheria*, *Spirogyra*, *Ulothrix*, *Cladophora* и *Tribonema*. Кроме того, к антропогенным условиям данного района приурочены известные космополитные виды рода *Euglena* (таблица 1.2.1).

Интересные результаты были получены специалистами Института озераведения АН СССР в 1986-1989 гг. (Особенности структуры..., 1994) при изучении продукционных характеристик перифитона на стёклах обрастания в Большеземельской тундре. Данный метод позволил выявить структурные и функциональные изменения в сообществе перифитона в зависимости от степени загрязнения, что выразилось в смене доминирующих комплексов обрастания и увеличении продукционных показателей на импактной станции. В местах, где загрязнение озера было наибольшим, на мёртвых субстратах образовались большие слизистые гроздья. Микроскопический анализ этих образований показал, что они состоят из водорослей, характерных для этого озера. Видимо, такие слизистые гроздья – способ выживания водорослей при сильных загрязнениях. Нефтяные загрязнения стимулировали развитие водорослей перифитона, их дальнейшее поступление в прогнозе приводит к повышению уровня продуктивности этого сообщества и более значительным структурным изменениям. Для фитопланктона установлено, что загрязнение озер ведёт к

обеднению видового состава, происходит смена доминирующих видов. Роль золотистых водорослей и диатомовых снижается, а доминантами становятся синезеленые и хлорококковые водоросли. По мере эвтрофирования снижается роль в планктоне холодноводных перидиней и возрастает роль криптонад и эвгленовых водорослей. Увеличивается роль мелкой фракции. Результатом эвтрофирования является резкое преобладание продукционных процессов над деструкцией и, следовательно, быстрое накопление органического вещества. Особенно уязвимы мелководные озера.

Используемые для биологических оценок различные характеристики фитопланктона как начального звена продуцирования водных экосистем (величина первичной продукции, общее разнообразие видов, индекс трофности и другие), по наблюдениям М.В. Гецен (1985), не обнаруживают единообразия на Крайнем Севере. Наряду с биотическими индексами в качестве дополнительного подхода применяются функциональные показатели экологической целостности ценоза (Kelly, Whitton, 1998; Li et al., 2010).

Показатели степени трофии водоема, определяемые по состоянию фитопланктона, имеют широкий диапазон колебаний как в пределах одного географического района, так и в водоёмах, расположенных на одной широте. В зависимости от всевозможных комбинаций оптимальных физико-химических факторов и микроклиматических условий в высоких широтах по составу альгоценозов выявлены различные типологически обособленные группы континентальных водоёмов, в том числе с эвтрофными условиями продуцирования (Покровская, 1975, Ермолаев, 1981, цит. по: Гецен, 1985). В первую очередь, с биолимнологическим типом водоёма, а не с его широтным положением связывается и уровень колебаний биомассы фитопланктона (Михеева, 1975, там же). Соответственно, отсутствуют универсальные методы оценки состояния водных экосистем Большеземельской тундры и Полярного Урала и диагностические признаки альгоценозов. Так, по данным Е.Н. Патовой (Структурно-функциональная организация..., 1994; Патова, 2007, 2014) отличительной чертой планктона арктических озёр, в том числе не подверженных загрязнению, является «цветение» воды синезелеными водорослями, вызванное чаще всего массовым развитием азотфиксирующих видов рода *Anabaena*. При этом массовое развитие по биомассе азотфиксаторов в малых озёрах окрестностей Воркуты также свидетельствует о наличии сельскохозяйственного или смешанного загрязнения (таблица 1.2.1).

К настоящему времени накоплен большой объем сведений, в основном фактографических, о состоянии водных объектов Большеземельской тундры и Полярного Урала, о составе и структуре их водорослевых сообществ в фоновых и антропогенно трансформированных условиях. Вместе с этим, требуется выработка подходов к оценке

изменений водных экосистем в условиях новых видов антропогенного воздействия. Ранее установленные показатели могут быть использованы в настоящей работе при определении степени трансформации сообществ водорослей и гидрохимических условий горных и тундровых пресноводных экосистем в условиях воздействия строительства магистрального газопровода. Нами обобщены и дополнены имеющиеся данные о водорослях, которые пригодны для биоиндикации на территории исследуемых районов (таблица 5.3.1), а также диагностические признаки чистых водных объектов и подверженных разным видам загрязнения (таблица 1.2.1). Сведения о состоянии альгоценозов и об изменении гидрохимических показателей водоёмов Большеземельской тундры и Полярного Урала в условиях воздействия на них магистральных газопроводов и связанных с ними объектов инфраструктуры единичны, опубликованы по результатам настоящего исследования (Патова и др., 2014а, 2014б, 2016; Тикушева и др., 2015). Исследования антропогенной трансформации водных объектов Полярного Урала до настоящего отсутствовали. Кроме того, в целом экотоксикологические исследования в России в большей степени выполнены на организменном уровне, отражают экспериментальное изучение воздействия токсических веществ на водные организмы (Моисеенко, 2009), что также подчеркивает значение данной работы, выполненной на основе экосистемного подхода для мало изученного района.

Таблица 1.2.1

**Диагностические признаки альгоценозов чистых водных объектов Большеземельской тундры
и в условиях разных видов загрязнений**

Условия водной среды	Характеристика альгоценоза и условий среды	Источник данных
Текучие чистые воды	Типичные для реофильных вод ценозы: массовое развитие хэтофоровых, багрянки лиманей, диатомей, азотфиксирующих ностоков (много «ностоковых» камней).	Структурно-функциональная организация..., 1994
Условно чистые озера	Экологически лабильные многовидовые роды в условно чистых водоемах южных тундр представлены <i>Closterium</i> , <i>Cosmarium</i> , <i>Cosmoastrum</i> , <i>Euastrum</i> , <i>Staurastrum</i> ² . Из отдела зеленых в комплекс водорослей, которые развиваются и в чистых, и в загрязненных водоемах Воркутинской тундры, из десмидиевых представлены широко распространенные виды из вышеперечисленных многовидовых родов <i>Closterium</i> , <i>Cosmarium</i> , <i>Euastrum</i> , <i>Staurastrum</i> . Экологически специализированные маловидовые роды десмидиевых в сильно загрязненных водах практически выпадают.	Альгофлора..., 1994
	К концу вегетационного периода дно устлано слизистой массой разлагающихся азотфиксаторов.	Гецен и др., 1992
Планктон незагрязненных арктических озёр	Отличительная черта – «цветение» воды синезелеными водорослями в олиготрофных и мезотрофных озерах Большеземельской тундры за счет азотфиксирующих видов рода <i>Anabaena</i> . Доминирование комплекса бореальных видов анабен – результат их приспособления к комплексу зональных физико-химических особенностей состава поверхностных вод тундры.	Структурно-функциональная организация..., 1994
Загрязнённые водоёмы	Типичными являются затянута тиной нитчаток поверхность воды, среди зарастаний зигнемы – мелкие виды диатомей (предположительно, <i>Nitzschia</i>), чаще указывающие на β-мезосапробные условия и экологически пластичные виды десмидиевых (β-мезосапроб <i>Cosmarium formosulum</i>). Под влиянием различных загрязнений меняется химический состав вод и доминирующий комплекс десмидиевых водорослей. Его состав определяют широко распространенные виды многовидовых родов, а экологически специализированные маловидовые рода в сильно загрязненных водах практически отсутствуют.	Структурно-функциональная организация..., 1994
Влияние различных загрязнений на водоёмы	Под влиянием различных загрязнений меняется химический состав вод и доминирующий комплекс десмидиевых водорослей. Его состав определяют широко распространенные виды многовидовых родов, а экологически специализированные маловидовые рода в сильно загрязненных водах практически отсутствуют.	Структурно-функциональная организация..., 1994
	В водоемах со смешанным загрязнением хлорококковые превалируют по числу таксонов над десмидиевыми и имеют в своем составе обилие измельченных форм.	Альгофлора..., 1994
	Происходит смена процветающих в реофильных условиях ксеноолигосапробов среди диатомей в следующей последовательности родов: <i>Ceratoneis</i> – <i>Meridion</i> – <i>Synedra</i> – <i>Achnanthes</i> – <i>Navicula</i> – <i>Cymbella</i> – <i>Gonphonema</i> – <i>Diatoma</i> – <i>Surirella</i> – <i>Nitzschia</i> . Среди реофилов лишь единичные виды	Стенина, 1985; Гецен, 1985.

² Примечание: названия видов и родов в таблице указаны в соответствии с использованным литературным источником данных.

Условия водной среды	Характеристика альгоценоза и условий среды	Источник данных
	способны развиваться в измененных человеком условиях. По мере нарастания загрязнения увеличивается число α-, α-β-, β-α- и β-мезосапробионтов. На присутствие в водоемах загрязнителей антропогенного происхождения указывают хорошо выраженные у ряда родов (<i>Gonatozygon</i>, <i>Scenedesmus</i>, <i>Diatoma</i>, <i>Eunotia</i>) признаками модификационной и тератологической изменчивости при наибольшем размахе амплитуды размеров с тенденцией к сильному измельчанию у хлорококковых. В зоне городского кольца Воркуты распределение азотфиксаторов имеет ряд особенностей. На мхах и цветковых макрофитах особенно обильно поселяются виды родов <i>Anabaena</i> и <i>Nostoc</i>. В число ведущих наиболее общих видов входят: <i>Anabaena augstumalis</i> Schmidle, <i>A. cylindrica</i> Lemmermann, <i>A. oscillarioides</i>, <i>A. sedovii</i> Kosinskaya, <i>A. variabilis</i> Kützinger, <i>Microchaete tenera</i> Thuret, <i>Nostoc caeruleum</i>, <i>N. commune</i> f. <i>Sphaericum</i> (Vaucher) Elenkin, <i>N. linckia</i>, <i>N. microscopicum</i> Carmichael, <i>N. punctiforme</i> Hariot, <i>Rivularia coadunata</i> (Sommerf.) Foslie, <i>Tolypothrix tenuis</i> f. <i>lanata</i> (Wartmann) Kossinskaja. В зоне рекреации вблизи населенных пунктов условно чистые озера с обилием водных мхов отличает развитие <i>Anabaena sedovii</i> и <i>A. solitaria</i> f. <i>tenuis</i> (Woronichin) Elenkin.	Альгофлора..., 1994
Влияние сельскохозяйственного загрязнения	Характерно массовое развитие диатомовых при обедненности их видового состава. Как по систематическому разнообразию, так и по обилию ведущее значение принадлежит широко распространенным представителям родов <i>Navicula</i> и <i>Nitzschia</i>, что является общей, наиболее характерной чертой водоемов этой группы. К концу вегетации перифитон в ручье зоны сельскохозяйственного загрязнения представляет природную «культуру» рода <i>Closterium</i>. Отличительная особенность – массовое развитие азотфиксаторов: водная поверхность буквально «затянута» слизью ностока (<i>Nostoc linckia</i> f. <i>carneum</i> (Ag.) Elenk.), а на макрофитах совместно с осцилляториевыми и хэтофоровыми обильны <i>Anabaena cylindrica</i> и <i>A. oscillarioides</i> f. <i>cylindrical</i> (Playfair) Elenkin. Водоёмы, находящиеся непосредственно в зоне влияния сточных вод ферм, характеризуются доминированием <i>Nitzschia fonticola</i>, <i>N. palea</i> var. <i>palea</i> et var. <i>capitata</i>, <i>Gomphonema parvulum</i> и реже – <i>Cocconeis placentula</i>. К числу субдоминантов относятся мелкие диатомеи: <i>Navicula minima</i>, <i>N. seminulum</i>, <i>N. pelliculosa</i>, <i>Nitzschia kuetzingiana</i> var. <i>exilis</i>. Большинство указанных видов являются довольно характерными для сельскохозяйственных загрязнений, так как положительно реагируют на внесение дополнительной органики в водоемы. Часть из них – типичные гетеротрофы по азоту. На территории совхозов облик перифитона из хлорококковых определяли особо устойчивые к загрязнению банальные виды: <i>Scenedesmus obliquus</i> var. <i>obliquus</i> et var. <i>alternans</i>, <i>S. bijugatus</i>, <i>S. quadricauda</i> s. lat., <i>Dictyosphaerium pulchellum</i>, <i>D. ehrenbergianum</i>, <i>Tetraëdron caudatum</i>, <i>Ankistrodesmus spiralis</i>, <i>Monoraphidium griffithii</i> и <i>M. contortum</i>. Данные виды характеризуют зону органических загрязнений с высоким содержанием азотсодержащих веществ. Под влиянием сельхозстоков в озерах показательны <i>Anabaena variabilis</i>, <i>A. solitaria</i>, <i>A. sedovii</i>, <i>A. oscillarioides</i>, <i>Tolypothrix tenuis</i>, <i>Nostoc caeruleum</i>. Поверхность мелких озерков затягивает слизь <i>Nostoc linckia</i> f. <i>carneum</i>. Налеты на макрофитах совместно с осцилляториевыми и хэтофоровыми образуют <i>Anabaena cylindrica</i>, <i>A. oscillarioides</i> f. <i>cylindraceae</i>. Осенью перифитон этих озерков изобиловал осцилляториевыми и хэтофоровыми (<i>Oscillatoria tenuis</i> и <i>Stigeoclonium tenue</i>). Высокий	Гецен и др., 1991; Структурно-функциональная организация..., 1994. Альгофлора..., 1994.

Условия водной среды	Характеристика альгоценоза и условий среды	Источник данных
	класс встречаемости (11-20 %) имели и такие индуцирующие загрязнение роды, как <i>Tribonema</i> и <i>Trachelomonas</i> .	
Наличие шахтных стоков в условиях угледобычи (высокоминерализованные щелочные воды озёр)	Наблюдается обеднение видового состава. Виды порядка <i>Nostocales</i> в развитии значительно уступают хроококковым и осцилляториевым, а в водотоках в массе развиваются желтозеленые и хэтофоровые (<i>Tribonema</i> , <i>Stigeoclonium</i>). В сильно загрязненных шахтными стоками мелких водоемах азотфиксаторы практически отсутствуют (в отстойнике шахты встречены лишь ювенильные формы ностока). В составе десмидиевых характерны космарицево-гонатизиговые сочетания видов. Причем род <i>Gonatozygon</i> склонен к тератологическим нарушениям морфологии клетки. В обрастаниях листьев осоки и мхов на 80-90 % главенствуют зеленые при лидирующей роли рода <i>Cosmarium</i> . Представители других порядков в составе зеленых водорослей проявляют те же тенденции изменения видового состава.	Гецен и др., 1991; Структурно-функциональная организация..., 1994.
	Характерным показателем для загрязненных местообитаний является отсутствие или единичная встречаемость реофильных видов-индикаторов чистых вод (<i>Hannaea arcus</i> , <i>Diatoma hiemalis</i> , <i>D. mesodon</i> , <i>Didymosphenia geminata</i>).	Природная среда тундры..., 2005.
	Высокоминерализованные щелочные воды на территории и близ шахт беднее всего по составу десмидиевых. На мхах и цветковых макрофитах в озерах у угольной шахты основу зеленых составляли десмидиевые, род <i>Cosmarium</i> достигал 40-80 % численного соотношения среди десмидиевых и синезеленых. Массового развития достигали <i>C. granatum</i> , <i>C. biretum</i> var. <i>trigibberum</i> и <i>Cosmoastrum punctulatum</i> .	Альгофлора..., 1994.
Водоёмы со смешанным загрязнением	Характерно массовое развитие нитчаток, скопления которых образуют длинные пряди на подводных субстратах и толстые «маты» на дне отдельных водоемов. Изобилуют азотфиксаторы. Для диатомовых отмечено изменение видового богатства в зависимости от антропогенного эвтрофирования. Самая обедненная флора диатомей обнаруживается в крайних звеньях экологического ряда водоемов в любой группе загрязнений. Одновременно со снижением разнообразия в условиях прямого действия загрязняющих веществ формируются олигодоминантные комплексы видов, происходит существенное упрощение сообществ (Лаугасте, Порк, 1980; Трифонова, 1990; Kaweska, 1981; Гецен и др., 1992). В водоемах с антропогенной нагрузкой происходят качественные изменения состава и перестройка доминирующих комплексов диатомовых водорослей, которые заключаются в выпадении из состава ведущих видов оксифильных ксеносапробных диатомей из родов <i>Achnanthes</i> , <i>Eunotia</i> , <i>Cimbella</i> и снижении роли видов <i>Tabellaria</i> . В сравнении с условно чистыми водоемами здесь выше обилие, а следовательно, и значение толерантных к загрязнению и даже сапрофильных видов из родов <i>Diatoma</i> , <i>Navicula</i> , <i>Gomphonema</i> , <i>Nitzschia</i> , <i>Surirella</i> . Как следствие антропогенного загрязнения отмечено в загрязненных водоемах массовые морфологические аномалии у отдельных видов (Гецен и др., 1992).	По: Гецен и др., 1992; Структурно-функциональная организация..., 1994.
Влияние нефтяного загрязнения	Для Большеземельской и Малоземельской тундры (от Чешской губы до Амдермы) отмечено различное воздействие на представителей разных отделов водорослей. Среди диатомовых более чувствительны к нефти планктонные виды, которые погибают при более низких концентрациях, чем бентосные. Высокие концентрации (до 40 г/л) выдерживают хлорококковые. Чувствительность к содержанию в воде нефтепродуктов синезеленых водорослей является одним из значимых факторов, который может регулировать характер альгофлоры водоёмов.	Альгофлора..., 1994.

Условия водной среды	Характеристика альгоценоза и условий среды	Источник данных
	Отмечены следующие реакции водорослей на нефтяное загрязнение: в термокарстовом озере заболоченной тундры в бассейне р. Пеши было очень слабое развитие водорослей в планктоне, с невысокой частотой встречаемости здесь отмечены синезеленые (<i>Aphanizomenon flosaquae</i> – общеизвестный показатель при массовом развитии эвтрофированных условий) и немногочисленные диатомовые (<i>Asterionella formosa</i>); в озере, имеющем источники солей в виде ручьевых и грунтовых вод (в западной части Большеземельской тундры в районе Печорской губы) отмечено сильное «цветение» воды (в июле – <i>Anabaena lemmermannii</i>, в августе – <i>Gloeotrichia echinulata</i>), встречен <i>Aphanizomenon flosaquae</i>; в оз. Кривое на острове Колгуев – «цветение» воды с участием <i>Anabaena lemmermannii</i> и сильный «сгон» планктонных водорослей в тихие заводи озера, легко взмучивающийся наилок; в районе м/ст Тобседа в реке без названия и озерах отмечен специфичный по составу фитопланктон с развитием свойственных заболоченным местообитаниям зеленых водорослей (роды <i>Volvox</i>, <i>Hyalotheca</i>, <i>Sphaerosoma</i>, <i>Anabaena</i>), среди диатомовых – представители дна и обрастаний из родов <i>Tabellaria</i>, <i>Fragillaria</i> и др.; в бассейне р. Черная в озере, соединяющемся с морем – развитие <i>Aphanizomenon flosaquae</i> и <i>Nodularia spumigena</i>; в районе Югорского полуострова в планктоне р. Коротаиха отмечены диатомовые, а также <i>Aphanizomenon flosaquae</i>, в малых озерах – <i>Anabaena lemmermannii</i>, <i>A. solitaria</i>, в озерах, имеющих дополнительный источник минерального питания за счет влияния морских вод – виды родов <i>Scenedesmus</i>, <i>Pediastrum</i>, <i>Coelastrum</i>, <i>Oocystis</i>, <i>Crucigenia</i>. Также имеются данные для других районов Крайнего Севера. Для северных тундр (континентальный вариант) в водоемах, находящихся под постоянным воздействием стоков с буровых площадок, встречены типичные для заболоченных водоемов десмидиевые, включая виды родов <i>Spondilosum</i> и <i>Teilingia</i>, <i>Cosmarium</i>, <i>Euastrum</i>. В перифитоне водоемов имеют место и хлорококковые: <i>Dictyosphaerium</i>, <i>Coelastrum</i>, <i>Scenedesmus</i>, <i>Tetraëdron</i> и <i>Pediastrum</i>.	
Влияние бурового раствора и его компонентов на водные объекты	В действии бурового раствора проявляются отрицательные эффекты токсичности (возможно, за счет серосодержащих соединений), повышения pH и стимулирующий эффект биогенов. Отмечено три уровня действия бурового раствора и его компонентов: при наиболее низких концентрациях отрицательное действие возможно обнаружить лишь на уровне наиболее чувствительных видов, например, <i>Pseudohaplocaulus anabaenae</i>. На остальные компоненты сообщества буровой раствор за счет имеющихся в нем биогенных элементов оказывает стимулирующее действие. Более сильное воздействие приводит к выпадению звена консументов – в первую очередь альгофагов, что наряду с поступлением биогенных элементов также служит стимулирующим фактором для фитопланктона, а вслед за ним и для сапрофитных бактерий, развивающихся на поступившем органическом веществе и отмерших организмах. Крайне высокие концентрации вызывают полное угнетение обычного озерного планктона и последующее развитие на отмерших организмах сапрофитов.	Особенности структуры..., 1994
В целом антропогенное влияние на водоёмы	Антропогенное влияние на тундровые озера приводит к изменению структуры и продуктивности фитопланктона, как первого звена трофической цепи. В зависимости от природных особенностей озер эти изменения проявляются по-разному. В глубоководных олиготрофных озерах с преобладанием диатомовых, золотистых и динофитовых водорослей изменения более заметны и проявляются в смене доминирующих видов. В мелководных озерах повышение содержания биогенных элементов ведет к	Особенности структуры..., 1994

Условия водной среды	Характеристика альгоценоза и условий среды	Источник данных
	более интенсивному развитию синезеленых водорослей, в основном видов рода <i>Anabaena</i>, а также хлорококковых, которые образуют «цветение» воды. По уровню продуктивности эти озера вполне сравнимы с эвтрофными и даже гиперэвтрофными озерами умеренной зоны (биомасса $>10 \text{ г/м}^3$, содержание хлорофилла $>50 \text{ мг/м}^3$). В результате загрязнения еще в большей степени стимулируется интенсивность фотосинтеза, что связано с преобладанием мелкой фракции в планктоне. Прослеживается также и обеднение видового состава фитопланктона и снижение разнообразия сообществ, хотя большая сезонная изменчивость индекса разнообразия не позволяет использовать его в качестве индикатора загрязнения озер Субарктики.	
Влияние повышенной замутненности на планктон	В исследованиях (Горбунова, 1988; Янкявичус и др., 1988; Cuker, 1988) отмечается, что добавки мелкодисперсной глины более 200 мг/л действуют угнетающе. Снижается концентрация хлорофилла «а», интенсивность фотосинтеза у водорослей. Вместо обычных доминирующих водорослей начинают в массе развиваться флагеллаты. Неблагоприятным сопутствующим фактором является недостаточная освещенность, особенно в пасмурную погоду. В то же время увеличение концентрации биогенных элементов, в частности фосфора, смягчает действие замутнения. Экспериментально установлено (Особенности структуры..., 1994), что при добавлении глино порошка начальная вспышка интенсивности фотосинтеза являлась продолжением «цветения» синезелеными, в дальнейшем наблюдалось развитие мелких жгутиковых форм, инфузорий и коловраток (возможно, составляющих единую пищевую цепь с бактериями).	По: Особенности структуры..., 1994
Антропогенное подщелачивание воды	Резкое повышение pH оказывает сильное угнетающее действие. При снижении pH, например, при повышении уровня воды, наблюдалось повышение концентрации хлорофилла «а». Действие повышенного pH «в чистом виде» существенно отличается от действия этого фактора при интенсивном фотосинтезе водорослей. При «цветении» pH воды в озере поднималась до 7,8, наблюдалось изменение видового состава зоопланктона и инфузорий, однако в целом структура сообщества оставалась типичной для большинства озер. Антропогенное подщелачивание ведет к более сильному подъему pH. Щелочные реагенты могут изменять ионный баланс организмов, в целом изменять структуру сообщества и подавлять развитие типичной флоры и фауны.	Особенности структуры..., 1994
Влияние на водоросли биотических факторов в условиях антропогенного загрязнения водных объектов	Мелкие термокарстовые озера и глубоководные озера ледникового происхождения Большеземельской тундры различаются по функциональным показателям гидробионтов, прежде всего по соотношению продукционно-деструкционных процессов. В мелководных термокарстовых озерах, как правило, величины первичной продукции (Ф) значительно превышают скорость деструкции органического вещества (Д), коэффициент Ф/Д в абсолютном большинстве озер больше 1 - эти озера способны к быстрому накоплению в толще воды органического вещества, создаваемого фитопланктоном, и более уязвимы к эвтрофированию при поступлении дополнительных биогенных элементов. В глубоководных озерах со сбалансированными экосистемами - преобладание деструкционных процессов над продукционными (коэффициент Ф/Д меньше 1). Загрязнение водоемов ведет к обеднению видового состава фитопланктона. Роль золотистых водорослей и диатомовых снижается, а доминантами становятся синезеленые и хлорококковые водоросли. При загрязнении озер наблюдается снижение роли или полное выпадение основных доминантов простейших, в массе развиваются либо субдоминантные виды, либо виды, нехарактерные для	Особенности структуры..., 1994

Условия водной среды	Характеристика альгоценоза и условий среды	Источник данных
	планктона исследованных озер. Установлено, что простейшие также активно участвуют в процессах самоочищения, при этом в условиях загрязнения не происходит усиление скорости минерализации органического вещества в водоеме. Способность зоопланктона к самоочищению водоемов: наиболее подвержен стрессовому влиянию загрязнения зоопланктон мелких озер прудового типа, с низким видовым разнообразием и с укороченными пищевыми связями. Выбросы загрязнителей, особенно залповые, способствуют отмиранию в первую очередь тонких фильтраторов, являющихся одними из основных очистителей в озерах. Это приводит к еще большему укорачиванию трофических связей в экосистемах загрязняемых озер, а следовательно, к большей их нестабильности. Загрязнение тундровых озер часто вызывало увеличение биомассы фитопланктона при более слабом увеличении биомассы зоопланктона или даже его отсутствии. Роль высших водных растений сводится к механическому задержанию загрязнителей, увеличению соприкосновения площади нефти и нефтепродуктов с разлагающей их микрофлорой, повышению численности микроорганизмов, участвующих в самоочищении воды благодаря выпадению метаболитов, обогащению воды растворенным кислородом.	
«Цветение» воды	Водоросли, вызывающие «цветение» воды в водных объектах Большеземельской тундры: <i>Anabaena lemmermannii</i> <i>Gloeotrichia echinulata</i> <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	Альгофлора..., 1994; Стенина, Патова, 2010.
	В системе Харбейских озер: <i>Dolichospermum flos-aquae</i> f. <i>flos-aquae</i> <i>Dolichospermum flos-aquae</i> f. <i>gracilis</i> <i>Dolichospermum lemmermannii</i> <i>Planktothrix agardhii</i> <i>Dolichospermum circinale</i> <i>Dolichospermum circinale</i> var. <i>cyrtospora</i> <i>Anabaena solitaria</i> f. <i>solitaria</i> <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Tolypothrix tenuis</i> <i>Woronichinia naegeliana</i>	Патова, 2014.
	Самая высокая численность водорослей в озере при «цветении» тесно сопряжена с рядом особенностей его гидрохимического состава: более щелочная среда, высокая окисляемость воды, обнаружение в период цветения нитратов.	Альгофлора..., 1994

ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Природно-климатические условия Большеземельской тундры и Полярного Урала

Исследования проводились на водных объектах бассейна реки Кара, расположенных в восточной части Большеземельской тундры и западного макросклона Полярного Урала (приложения 1, 2).

Большеземельская тундра – территория на крайнем северо-востоке европейской части России от правого берега р. Печора на западе до хребта Пай-Хой и отрогов Полярного Урала на востоке. Она представляет собой возвышенную холмисто-грядовую равнину на севере и полого-холмистую в южной части. По классификации Г.В. Горбацкого (1976) (по: Стенина, 2009), на основании комплекса геолого-геоморфологических особенностей рассматриваемая территория выделяется в самостоятельный Большеземельский район Восточно-Европейской провинции Кольско-Гыданской области. По ботанико-географическим особенностям Большеземельская тундра относится к подзоне южных гипоарктических тундр (Грибова, 1980). Её южная граница проходит по 67° с.ш., северная – по берегу Баренцева моря, условно разделяется на восточную и западную части по 57° в.д., ее восточная часть на западе условно ограничена Коротаихской низиной (Ребристая, 1977).

Полярный Урал – горная область на севере Евразии, самая северная часть Уральских гор. Северной границей региона считается гора Константинов камень, а от Приполярного Урала район отделяет р. Хулга (Кеммерих, 1966; Биоразнообразие..., 2007). Территория расположена в тундровой области, в подзоне субарктических (или гипоарктических) тундр (Юрцев и др., 1978) и горных тундрах Полярного Урала с выраженной высотной поясностью. Район работ относится к Восточноевропейско-Западносибирской геоботанической провинции Урало-Пайхойской подпровинции субарктических тундр (Александрова, 1977), а согласно районированию – Арктической флористической области, находится в пределах Урало-Новоземельской флористической подпровинции Европейско-Западносибирской провинции (Юрцев и др., 1978). Южная граница зоны тундр на прилегающей к Уралу равнине проходит по широте 67°18' (Растительный покров..., 2006).

Геологическое строение и рельеф. В орографическом отношении восточная часть Большеземельской тундры представляет собой полого-холмистую равнину, с востока примыкает к Печорской низменности и ограничена Уралом, а с запада – Тиманом. Абсолютные высоты не превышают 220 м.

Полярный Урал приурочен к опущенному участку Центрально-Уральского антиклинария (Собско-Войского) и представлен одним хребтом протяженностью 15-20 км.

С востока к нему примыкает цепочка гряд и увалов высотой до 600 м, называемая Малым Уралом. На западе Полярный Урал ограничен полого-холмистой наклонной равниной, высоты которой уменьшаются до 400-500 м близ подножия хребта и до 200-260 м на границе с Печорской низменностью (Борисевич, 1974; Биоразнообразие..., 2007). По характеру рельефа и геологическому строению Полярный Урал разделяется на северную и южную резко различающиеся части (Кеммерих, 1966). Северная часть (от г. Константинов Камень на севере до р. Собь на юге) представляет собой сложную систему коротких хребтов и массивов северного или северо-восточного направления, разделенного продольными и поперечными долинами рек на отдельные массивы и возвышенности. В пределах Урала выделяют три геоморфологические области: высокогорье (характеризуется высотами более 1000 м), среднегорье (с высотными отметками от 500 до 1000 м, это своеобразные горные гряды, круто вздымающиеся над окружающей их плоской равниной с отметками 120-180 м), холмисто-увальное предгорье (300-500 м, в том числе предгорная равнина и низкое предгорье с высотами 100-500 м и уклонами до 10°). Наиболее высокими являются хребты Оче-Ныр, Б. и М. Пайпудынский: Хаймейский, Борзова, Енганэпэ с относительными высотами над долинами рек 800-1000 м и шириной долин 3-4 км. К югу ширина горной области резко увеличивается (от 5-7 км у г. Константинов Камень до 125 км в районе кряжа Енганэпэ). Западный склон более крутой, чем восточный, значительно сильнее расчленен реками и ручьями. Наряду с платообразными вершинами здесь широко развиты хребты с типичными альпийскими формами рельефа. На вершинах и склонах гор широко развиты каменные россыпи, осыпи, полигональные и другие формы, связанные с процессами морозного выветривания. В гольцовой части выражен ступенчатый рельеф с плоскими нагорными террасами, более или менее плоскую поверхность имеют такие перевалы седловидного типа. Наиболее распространена крутизна склонов от 5-6 до 15-20° (Забоева, 1975; Биологическое разнообразие..., 2010).

Горные цепи Полярного Урала (большую часть территории которых занимает Центрально-Уральское (Полярноуральское) поднятие) круто сменяются на западе увалами Западно-Уральской зоны складчатости, которые переходят через Предуральский краевой прогиб в равнину Восточно-европейской (Русской) платформы. На северо-западе они сочленяются с грядами Пай-Хоя, а на севере и востоке – полого спускаются к низменности Западно-Сибирской плиты (Милановский, 1989). Породы, слагающие Уральскую складчатую область, имеют длительную историю развития, которая прослеживается с рифейского времени. Широко распространены позднекембрийско-верхнепалеозойские отложения западного склона севера Урала (уралиды). В их структурном плане преобладают субмеридиональные и северо-восточные структурные направления, осложненные надвиговыми дислокациями.

От нижележащих отложений уралиты повсеместно отделены перерывом в осадконакоплении, мощными толщами (2-150 м) полимиктовых конгломератов, содержащих продукты размыва подстилающих пород, и нередко структурным несогласием (Шишкин, 1989, 2003, по: Биоразнообразие..., 2007). В карбоно-пермский этап в связи с общеуральскими коллизионными процессами и формированием магматических комплексов шло внедрение гранитных, граносиенитовых и монзонитовых интрузий. В конце олигоценового этапа развития возникла основная морфологическая структура с характерными для нее поверхностями выветривания. В миоцене сформировалась долина. Осадконакопление было связано с деятельностью водотоков на склонах. В период оледенения сформировался комплекс осадочных образований, включающий ледниковые, озерно-ледниковые и гляциофлювиальные отложения. Были сформированы такие формы рельефа как кары, троговые долины, моренные гряды и подпрудные озера (Астахов, 1998, по: Биоразнообразие..., 2007). В настоящее время в зоне кряжа продолжается интенсивная денудация, ведущая к нивелировке склонов. В понижениях и депрессиях преобладают процессы речной и озерно-болотной аккумуляции (Биоразнообразие..., 2007).

В геологическом строении территории Большеземельской тундры принимают участие породы пермского возраста и четвертичные отложения, в основании которых лежит морена предпоследнего оледенения. Четвертичные отложения, по мнению большинства ученых, имеют континентальное происхождение (Продуктивность озер..., 1976). В геологическом отношении район Воркуты относится к силурийской системе палеозойской эры. Силурийские отложения представлены известняками, доломитами, кремнистыми и углисто-глинистыми сланцами и филлитами. Древние коренные породы перекрыты четвертичными отложениями, мощность которых достигает 118 м. Почвообразующими породами являются элюво-делювий коренных пород, торфяные коренные залежи (Забоева, 2001). На четвертичных отложениях сплошным чехлом, облегающим разные элементы водоразделов и надпойменных террас, залегают покровные суглинки. Мощность их составляет от 0,5 до 3-5 м. 80 % этих отложений приходится на пылеватые фракции. Пылеватые суглинки являются наиболее распространенной в данном районе почвообразующей породой (Экологические основы..., 1991; Забоева, Казаков, 2001).

Таким образом, геологическое строение и рельеф района исследований обуславливает формирование единой водосборной площади для водных объектов восточной части Большеземельской тундры и западного склона Полярного Урала. Водоразделами бассейна р. Кара и входящих в ее систему водных объектов являются Пай-Хой и Урал. Общность геологической истории в периоды оледенений в обоих районах исследований способствовала формированию сходных мезорельефа и почвообразующих пород.

Климат. Большеземельская тундра и Полярный Урал характеризуются суровым климатом с длительной морозной зимой и коротким прохладным летом. Климатические характеристики районов исследований с использованием данных многолетних наблюдений (Атлас..., 1964; Обедков, 1995; Атлас..., 1997; Атлас..., 2001), а также сводок по Большеземельской тундре (Хантимер, 1974; Ребристая, 1977; Альгофлора..., 1994; Особенности структуры..., 1994; Какунов, 2000; Экологические основы..., 2001; Посттехногенные системы..., 2002) и Полярному Уралу (Кеммерих, 1966; Биоразнообразие..., 2007) представлены в таблице 2.1.1.

Гидрография. Значительная часть озер северо-востока Европейской территории России образовалась по периферии последнего Валдайского оледенения, более крупные водоемы сформировались в разные ледниковые эпохи (Румянцев и др., 2015). Геологические особенности территории, климат, современный рельеф и обусловленный им характер стока определили закономерности распространения водных объектов Большеземельской тундры и Полярного Урала, высокую их численность и разнообразие. Гидрографическая характеристика районов исследований представлена в разделе 2.2 данной работы.

Таблица 2.1.1

Климатические особенности районов исследований

Характеристика	Район исследований	
	Восточная часть Большеземельской тундры	Западный склон Полярного Урала
Общая характеристика климата района	Климат суровый, относится к субарктической климатической области, характеризуется морозной продолжительной зимой, коротким и прохладным летом.	Резко континентальный, с суровой длительной зимой, холодным летом, очень коротким вегетационным периодом и с относительно большим количеством осадков, чрезвычайно малыми величинами испарения и избыточным увлажнением.
Световой режим	Расположение в высоких широтах обеспечивает большую продолжительность солнечного сияния и высокое положение солнца над горизонтом в летний период, что дает приход энергии, как в южных районах. За полярным кругом – отсутствие прихода солнечной радиации в длительный период полярной ночи и непрерывное ее поступление в период полярного дня.	
Средняя годовая температура воздуха	От -7,6 до -4 °С (по данным метеостанций Варандей, Воркута, Хальмер-ю).	В разных районах изменяется от -9 до -6 °С.
Переход средней суточной температуры через 0 °С	Май, обратный переход – третья декада октября.	Июнь.
Среднемноголетняя температура воздуха в период активной вегетации	9 °С (у южных окраин тундры – до 10 °С, в кустарниковых тундрах – 10-11 °С) – с конца июня до второй декады августа.	8-11 °С в июле.
Продолжительность периода с устойчивой отрицательной среднемесячной	200-210 дней в году (с октября по май).	190-215 дней (в горах – на наиболее возвышенных плато, хребтах зима примерно на месяц длиннее (продолжается 8-9 месяцев), чем на равнинах, но морозы слабее – редко

Характеристика	Район исследований	
	Восточная часть Большеземельской тундры	Западный склон Полярного Урала
температурой воздуха (ниже -5 °С)		достигают 45 °С.
Продолжительность периода вегетации (период со среднесуточной температурой воздуха выше 5 °С)	90 дней, до 10 °С – 43-50 дней.	Не более 80 дней, до 10 °С – 0-40 дней.
Средняя продолжительность безморозного периода	52 дня	60 и менее дней (с 21 июня по 2 августа).
Сумма атмосферных осадков за год	550 мм, из них 283 мм – в безморозный период (июнь-сентябрь), максимум приходится на сентябрь.	В наиболее возвышенных районах западного склона осадков выпадет 1000-1500 мм, восточного склона – 600-800 мм в год. Среднегодовое количество осадков в равнинной части – 450-600 мм. 70% осадков приходится на август-сентябрь (600-900 мм в год). Вынос влажных атлантических масс происходит преимущественно в виде западных и юго-западных потоков – наиболее увлажнёнными оказываются наветренные (западные и юго-западные) склоны Полярного Урала.
Характеристика снежного покрова	Устанавливается в октябре, а сходит в начале июня. Его мощность варьирует от 10 см до 1,5 м и более. В связи с запыленностью снег в окрестностях Воркуты сходит на 3-4 недели раньше, чем в открытой тундре (в конце мая - начале июня).	Устанавливается в середине октября. Сходит в конце мая, в горах – в начале июня (210-215 дней в равнинной части, более 240 – в горной). Его толщина в предгорной части менее 1 м, в глубоких долинах высокогорья – десятки метров, образует снежники.
Преобладающие направления ветра	В зимнее время – южное и юго-западное, летом – северное и северо-восточное.	В январе преобладают юго-западные ветры (42 %) и восточные (23 %), в июле – ветры северного (19 %), северо-западного и восточного (по 16 %) направлений.
Величина радиационного баланса	Суммарная радиация 72 ккал/см ² . В тундре в окрестностях г. Воркута достигает 50 % этой величины, а в условиях загрязненной атмосферы самого города еще меньше на 10-15 ккал/см ² .	Суммарная радиация 70 (63,5-72,0) ккал/см ² (40-50 ккал/см ² – поглощенная радиация).

Почвенно-растительный покров. Суровость факторов среды в Большеземельской тундре дополняют многолетнемерзлые породы, на Урале – щебнистые субстраты с маломощными почвами, крайняя нестабильность погодных условий. Мощность многолетней мерзлоты в Большеземельской тундре достигает 40-50 м, средняя глубина сезонного промерзания почвогрунтов – более 150 см. Верхняя граница мерзлоты и температура почвы значительно колеблются в зависимости от формы рельефа (Обедков, 1995; Атлас..., 2001; Посттехногенные экосистемы..., 2002; Экологические основы..., 1991). Почвы характеризуются глубоким и длительным промерзанием, способствующим развитию криогенных процессов, которые формируют микро- и мезорельеф тундры. Широко

распространены два типа почвенных процессов: один из них представлен слабо развитой поверхностно-глеевой почвой пятна-медальона и тундровой торфянисто-перегноино-глеевой почвой бугорка пучения, второй – болотно-тундровой и болотно-тундровой торфянисто-(торфяно-)глеевой почвами (Арчегова, Забоева, 1974). Для тундровых почв восточной части Большеземельской тундры характерны низкие температуры, бедность корнеобитаемого слоя элементами минерального зольного питания, переувлажнение, оглеенность, зачастую анаэробные условия, сильноокислая реакция по всему профилю. Минеральная почвенная толща обеднена основаниями по сравнению с породой, представленной преимущественно суглинком. Запасы гумуса сосредоточены в верхнем горизонте почвы, в составе гумуса преобладает группа фульвокислот. Почвенно-растительному покрову свойственна пестрота и комплексность сложения, малая мощность и поверхностное расположение мохово-торфянистого слоя (Дружинина, Мяло, 1990; Продуктивность озер..., 1976; Посттехногенные экосистемы..., 2002). Разнообразие почвенного покрова тундры оказывает влияние на интенсивность склонового стока, на инфильтрацию осадков, а тем самым – на условия питания озер. Химические особенности отдельных почвенных разностей тундры влияют на химизм озерных вод и на его сезонные изменения (Голдина, 1972).

Зональным типом растительности восточной части Большеземельской тундры являются кустарничково-моховые и кустарничково-лишайниковые тундры. В растительном покрове преобладают ерниково-ивняковые и ивняково-ерниковые моховые, лишайниковые тундры с *Betula nana* L., *Salix phylicifolia* L., *S. glauca* L., *S. lapponum* L., *S. lanata* L. В ложбинах стока развиты разнотравные ивняки. На плоских водоразделах встречаются плоскобугристые болота. В долинах рек широко развиты луговые группировки. Характерна разреженная растительность обрывов, осыпей, обнажений коренных пород (Грибова, 1980; Структурно-функциональная организация..., 1994; Альгофлора..., 1994).

На Полярном Урале горные тундры расположены ниже по сравнению с другими горными поднятиями Евразии. Кроме того, здесь по хребтам и гребням широко распространены каменистые россыпи и скалы с очень разреженной растительностью, что объясняется суровым климатом региона (Биологическое разнообразие..., 2010). В горных тундрах вследствие контрастных экологических условий почвенный покров так же отличается большой комплексностью и неоднородностью (Фирсова, Дедков, 1983, по: Биоразнообразие..., 2007). Для вертикальной зональности характерна смена горных почв. В гольцовом поясе представлены каменистые субстраты с покровом литофильных лишайников и мхов. В поясе горных тундр формируются горно-тундровые глеевые почвы, слабо оторфованные, общей мощностью до 20-40 см, сильнощебнистые, они приурочены к каменистым россыпям, террасам и плоским вершинам горных хребтов (Иванова, 1962, по: Биоразнообразие..., 2007). В горном

поясе также встречаются горно-луговые почвы. В предгорьях преобладают криоземы глеевые на суглинках и глинах. Также на Полярном Урале широко распространены неоподзоленные каменистые маломощные почвы – подбуры криогенные, образующиеся в условиях высокой водонепроницаемости щебнистой почвенной толщи, и подзолы альфегумусовые на песках (Таргульян, 1971; Фирсова, Дедков, 1983, по: Биоразнообразие..., 2007). В понижениях рельефа представлены болотные почвы – торфоземы криогенные (Биоразнообразие..., 2007).

Полярный Урал располагается в зонах крайнесеверной тайги (его южная часть), лесотундры и ерниковой тундры – на севере (Атлас..., 1964). В горах выражены высотные пояса растительности: горно-лесной (до 300 м над уровнем моря (далее – над ур. моря) с участием *Picea obovata* Ledeb., *Larix sibirica* Ledeb.), подгольцовый, в котором распространены редкостойные лиственничные леса, близ их верхней границы встречаются заросли ольховника кустарникового (*Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar), горно-тундровый (тянется на высотах от 50 до 800-900 м над ур. моря, представлен каменистыми, реже – лишайниковыми и моховыми тундрами, с вкраплениями луговинных и заболоченных тундр) и гольцовый, в котором широко представлены каменистые россыпи и скалистые останцы (Игошина, 1964; Природные условия..., 1968; Биоразнообразие..., 2007).

2.2. Характеристика водных объектов Большеземельской тундры и Полярного Урала

Гидрология и гидрохимия многочисленных водных объектов в бассейне р. Кара вследствие труднодоступности района мало изучены. Исследования в этих направлениях в настоящее время почти не проводятся. Характеристику рек и озер Большеземельской тундры и прилегающего к ней Полярного Урала можно найти в ряде работ, посвященных в основном вопросам морфометрии, гидрологии и особенностям гидрохимии озер (Долгушин, Кеммерих, 1959; Жадин, Герд, 1961; Кеммерих, 1961, 1966; Миронова, Покровская, 1964; Богданов и др., 2004) и отдельных рек (Миронова, Покровская, 1964; Голдина, 1972; Хохлова, 1991; Биоразнообразие..., 2007; Patova, Demina, 2008). География озер Большеземельской тундры исследована Л.П. Голдиной (1972): даны физико-географическое и морфологическое описание озерных бассейнов, характеристика гидрологического и гидрохимического режимов, классификация тундровых озер. Работа до настоящего времени не утрачивает своей актуальности, также содержит краткий исторический очерк об изучении озер Большеземельской тундры. Сведения о происхождении озер, их лимнологической изученности, особенностях функционирования, существующих видах антропогенного воздействия позднее обобщены в монографии «Озёра европейской части России» (Румянцев и др., 2015).

До 1980-х гг. исследования на территории Большеземельской тундры и Полярного Урала, как правило, имели целью оценку природных особенностей водных объектов – их температурного режима, процессов накопления веществ, характера донных отложений (Россолимо, 1964; Миронова, 1964; Федорова, 1964; Миронова, Россолимо, 1964; Миронова, Покровская, 1964; Limnology..., 1980). В 1968-1970 гг. были выполнены комплексные исследования озер Харбейской системы, расположенных в восточной части Большеземельской тундры: на оз. Б. Харбей в вегетационный период были изучены абиотические факторы (элементы гидрологии, химический состав вод, грунтов) и основные звенья продукционного процесса, состав органических веществ в воде (Продуктивность озер..., 1976). Ряд работ содержит анализ гидрохимических показателей поверхностных вод Большеземельской тундры (Альгофлора..., 1994; Структурно-функциональная организация..., 1994; Особенности структуры..., 1994; Хохлова, 1996, 2002; Оберман и др., 2004; Природная среда тундры..., 2005; Даувальтер, Хлопцева, 2008; Стенина, 2009; Хохлова, Фефилова, 2014), отдельные сведения опубликованы для Полярного Урала (Миронова, Покровская, 1964; Стенина, 1993; Оберман и др., 2004; Биоразнообразие..., 2007; Биологическое разнообразие..., 2010). Гидрохимический режим водоемов, изучавшихся в 1960-80-е гг., полностью определялся природными факторами: климатическими и почвенными условиями, морфологическими параметрами, особенностями озер и развитием в них биологических процессов (Румянцев и др., 2015). Современные исследования позволяют оценить изменения, произошедшие в результате развития добывающей промышленности региона. Анализ гидрохимических показателей водных объектов района исследований будет представлен в разделе 4.2 настоящей работы.

Характеристика водных объектов Большеземельской тундры. Рельеф юго-восточной части Большеземельской тундры разделен на две части водоразделом, идущим в широтном направлении по линии оз. Харбейты, через Падимейские и Вашуткины озера до правого берега р. Печоры. К северу от этого водораздела реки текут в Баренцево море, к югу – выходят в бассейн р. Печоры. Этот водораздел, известный под названием Большеземельского хребта, представляет собой моренную губу, состоящую из комплекса отдельных холмов разной высоты (до 50-60 м) и ориентировки (Станкевич, 1962, по: Голдина, 1972). Между этими холмами расположены многочисленные озёра различной величины.

Гидрографическая сеть восточной части Большеземельской тундры представлена р. Уса (правый приток р. Печора) с ее притоками: Адзьва, Б. Роговая, Елец, Воркута с левым притоком Сейдой, принадлежащими к бассейну Печорского моря. Наиболее крупными реками, впадающими в Баренцево море, являются Коротайха с притоками Тарью, Падимей-ты-вис, Хаайпудыра, Море-ю и Кара. На водоразделах и склонах широко распространены неглубокие

ложбины (полосы стока), которые являются эрозионными и термокарсто-эрозионными формами рельефа. Они имеют ширину до 200 и глубину от 0,5 до 6 м. В летнее время постоянные водотоки в полосах стока отсутствуют. Для всех элементов рельефа характерна заболоченность. Наиболее крупные массивы болот приурочены к водоразделам.

Большое количество озер (свыше 6000 на площади более 1500 км²) является особенностью гидрографической сети восточной части Большеземельской тундры, где озерность достигает 55-70%, при этом водоёмы очень неравномерно распределены по территории – на их размещение влияет характер геологических отложений, эрозионные, аккумулятивные и эоловые процессы, а также формы рельефа, связанные с реликтовой мерзлотой, карстом и прошлой деятельностью ледника. Также оказывают влияние климат, современный рельеф и связанные с ними условия стока. Тундровые озера разнообразны по происхождению, форме и размерам. Л.П. Голдина (1972) выделяет следующие группы озер восточной части Большеземельской тундры: *ледниковые*, образовавшиеся в результате выпахивающего действия ледника и образования моренных и флювиогляциальных отложений; *термокарстовые*, относящиеся к посткриогенным физико-географическим формам рельефа, являющимся результатом протаивания ископаемых льдов и льдистых пород; *озера, связанные с деятельностью рек, и лагунные озера* – появившиеся в результате эрозионного перемещения (меандрирования) русла реки (Голдина, 1972). При этом благодаря распространению многолетнемерзлых грунтов преобладают термокарстовые озера с площадью менее 0,1 км² (Голдина, 1972; Продуктивность озер..., 1976; Дружинина, Мяло, 1990; Румянцев и др., 2015). Термокарстовые озера отличаются обрывистыми берегами, ширина их не превышает 10 м, глубина – до 3 м. На их долю приходится 90 % озер (Голдина, 1972). При этом встречаются термокарстовые воронки с глубиной до 20 м (Особенности структуры..., 1994). Рельеф дна таких водоемов сглажен, в отличие от более глубоких озёр, для которых характерен сложный рельеф дна с впадинами и ямами, которые чередуются с каменистыми грядами и отмелями. Донные отложения озер представлены илами различного оттенка, в прибрежной полосе они сменяются песчаными, каменистыми или глинистыми грунтами и валунами (Голдина, 1972).

Также для Большеземельской тундры характерно большое число ручьев, стекающих с болот, озер, снежников. На обследованной территории протекают ручьи двух типов: с быстрым течением, наличием порогов, каменистым дном, прозрачной и холодной водой и с небольшой скоростью течения, бурым цветом воды, каменистым или заросшим мхами заболоченным дном и относительно теплой водой. Реки восточной части Большеземельской тундры в целом имеют высокую скорость течения (от 0.1 до 1 м/с, на порогах и водопадах – до 3–4 м/с и более) вследствие особенностей рельефа данной территории (Голдина, 1972). Морфология речных долин зависит от геологического строения территории и мощности водотоков. На участках без

выходов коренных пород речные долины имеют ширину до 2 км, террасированы, пороги и перекаты редки. В местах пересечения с выходами коренных пород образуются узкие долины и каньоны с мощными и длинными перекатами и порогами (Бобов, Уваркин, 1964). Дно рек и ручьев валунно-галечное или галечно-песчаное.

Водный режим рек характеризуется весенне-летним половодьем и летними паводками. Половодье обычно приходится на середину мая – начало июля, половодья наблюдаются неоднократно за сезон, они растянуты по времени, что обусловлено периодами быстрого таяния снежников, сменой погоды и частыми дождями. Летняя межень (июль-август) неустойчивая с дождевыми паводками, а зимняя межень (ноябрь-май) характеризуется устойчиво низкими расходами воды. Ледостав в среднем продолжается 240-260 дней. Весенний паводок на тундровых озерах обычно начинается в третьей декаде июня, при этом в течение июня сохраняются зимние условия с обратной температурной стратификацией (у поверхности воды температура 1,6 °С, на дне – 4,6 °С). Прямая термическая стратификация устанавливается в конце июня (на поверхности – 6 °С, на глубине – 4 °С). Для весеннего режима тундровых озер характерна его кратковременность: переход от зимней стагнации к гомотермии и далее к прямой стратификации завершается в течение 4-7 дней. С расслоением на термические зоны, хотя и слабо выраженные в начале процесса, наступает период летнего прогревания, который в условиях тундровых озер длится с первых чисел июля до первой декады сентября. Для мелководных озер характерен значительно менее устойчивый температурный режим – в течение летних месяцев водная масса неоднократно перемешивается, благодаря чему водные слои хорошо прогреваются. Температура поверхностной воды в летний период обычно 12-16 °С, мелководья прогреваются до 28 °С (Голдина, 1972; Продуктивность озер..., 1976; Особенности структуры..., 1994). По данным Т.А. Власовой (Продуктивность озер..., 1976), фактор ветрового перемешивания, практически постоянно действующий в условиях открытых пространств тундры, играет существенную роль в режиме озер. Он наряду с проточностью определяет в период открытой воды гомотермию озер, хорошую аэрацию водных слоев, однородность в распространении большинства компонентов химического состава воды и многих биологических показателей.

Основными источниками питания водных объектов является приток с водосборной площади и атмосферные осадки, 65-76 % которых трансформируется в поверхностный сток, что обусловлено отсутствием их инфильтрации в почву в связи с распространением в данном районе многолетнемерзлых грунтов, а также малыми потерями влаги на испарение из-за охлаждения поверхностного слоя почвы той же «вечной» мерзлотой (Особенности структуры..., 1994). Атмосферные осадки региона – ультрапресные хлоридно-гидрокарбонатные со смешанным катионным составом, кислотность их средняя и слабая.

Состав подземных вод чаще гидрокарбонатный кальциевый и натриевый, хотя нередки и хлоридные воды (Оберман и др., 2004).

Характеристика водных объектов Полярного Урала. Полярный Урал изрезан густой сетью рек, ручьев и временных водотоков, несущих свои обильные воды на запад – в Печору, на север – в Байдарацкую губу Карского моря и на восток – в Обь. Наиболее крупные реки данного района (с севера на юг) – Кара, Уса, Елец. Горные реки отличаются большой водоносностью, бурным, стремительным течением, русла их изобилуют порогами и перекатами; небольшие речки, особенно впадающие в Байдарацкую губу, и реки бассейна Кары, прорезающие твердые горные породы нередко имеют водопады. Наиболее бурные и порожистые участки с падением русла на несколько десятков метров на километр, с быстрым течением (в межень до 15-20 км/час) отмечаются в местах прорыва рек через меридианальные хребты, гряды и увалы (Б. Уса, Войкар, Кожим). В продольных долинах рек (Тань-Ю, Б. Пайпудына, Лагорта) течение более спокойное, а русло более извилистое. После выхода из гор в низменности реки резко меняют свой характер: они спокойно текут в широких долинах, образуя многочисленные извилины, острова и старицы; падение русла снижается до нескольких десятков сантиметров на километр, а скорость течения не превышает 1-2 км/час; в долинах рек появляется много озер. Различие в крутизне склонов Полярного Урала сказывается на характере речной сети: в пределах горной области большая часть рек западного склона имеет меньшую протяженность, большие уклоны русла и скорости течения, чем реки восточного склона (Кеммерих, 1966).

Весной реки очищаются ото льда обычно с 25 мая до 10 июня, а в октябре покрываются льдом. Средняя многолетняя продолжительность ледостава составляет около 200-210 дней (с 30 октября по 20-30 мая и позднее). Средняя максимальная толщина ледяного покрова – 80-100 см и более. Весеннее половодье на реках западного склона Полярного Урала (реки бассейнов Усы и Кары), проходит очень бурно, с мощным ледоходом и высокими подъемами уровней воды (до 5-7 м), продолжается на различных реках от 1,5 до 2,5 месяцев и заканчивается в первой половине июля. В период летне-осенней межени (июль-август) все реки Полярного Урала, особенно в верховьях, отличаются непостоянством режима и резкими колебаниями уровней и расходов воды после продолжительного дождя или снегопада. При этом ливневые паводки типа селей наиболее характерны для горных рек восточного склона южной части Полярного Урала (реки бассейнов Сыни, Войкара и Соби). Подъемы уровней и расходы воды на реках от сильных ливней бывают иногда настолько велики, что превышают максимальные расходы и подъемы уровней воды весеннего половодья. Но высокие дождевые паводки сравнительно редки: в дождливые годы за июль-сентябрь проходит от 4 до 6 паводков, причем наиболее высокие уровни на реках бывают в июле и сентябре, август – самый

маловодный месяц. Вода в горных озерах холодная и даже в жаркие дни температура поверхностных слоев не выше 10-14 °С. Послойное распределение температуры и структура водной массы озер отличаются большим разнообразием и непостоянством (Миронова, Покровская, 1964; Кеммерих, 1966; Биоразнообразие..., 2007).

Основная часть горных озер и наиболее крупные из них – Б. и М. Щучье, Оче-Ты, Б. и М. Хадата-Юган-Лор, Усва-Ты и другие – расположены в северной, расширенной, части Полярного Урала, преимущественно на высотах от 200 до 500 м над ур. моря. На более влажном западном склоне озер больше (1968), чем на восточном (1259), но крупных здесь мало. Озера в основном ледникового происхождения; расположены в глубоких карах и цирках – каровые озера, в троговых долинах рек – плотинные озера, образовавшиеся в результате подпруживания реки мореной или конусами выноса боковых притоков и в углублениях среди морен – моренные озера. Самые крупные озера – Б. и М. Щучье – тектонического происхождения (глубина первого – 136 м, площади – 12 и 4 км² соответственно). В речных долинах встречаются пойменные озера, а на заболоченных участках днищ древних трогов и перевальных седловин – небольшие термокарстовые озера. Размеры горных водоёмов невелики – всего от нескольких сот квадратных метров до 1-2 км², при этом глубины озер, особенно каровых, достигают нескольких десятков метров (Кеммерих, 1966; Румянцев и др., 2015). Все озера Полярного Урала проточны. Очень характерны донные отложения озер, представляющие собой плотный глинистый ил разных оттенков от серо-голубого до коричневатого-оливкового, происхождение которого связано с накоплением в озерах продуктов ледниковой и снежной эрозии (Миронова, Покровская, 1964). Вследствие неглубокого залегания вечной мерзлоты на Полярном Урале почти отсутствуют топкие болота. Встречаются различные типы ледников – от присклоновых и висячих до каровых и карово-долинных. Благодаря северному расположению, полярноуральские ледники отличаются значительно большими размерами, мощностью и более низкими высотными отметками над ур. моря, чем ледники Приполярного и Северного Урала. По данным А.О. Кеммериха (1966), площадь пяти наиболее крупных из них равна площади всех ледников Приполярного и Северного Урала.

Особенностью гидрографической сети Полярного Урала является большое число ручьев различного происхождения, стекающих со снежников и ледников, из горных озер, болот и горно-долинных озер. Ручьи первых двух типов из-за перепадов высот имеют быстрое течение, пороги или водопады, каменистое дно, вода в них прозрачная и холодная. Для водотоков второй группы характерны небольшие скорости течения, бурый цвет воды, каменистое или заросшее мхами дно (Биоразнообразие..., 2007).

Основным источником питания рек и озер Полярного Урала являются атмосферные осадки – снеговые и дождевые воды, а также талые воды ледников. Соотношение источников

питания рек следующее: снеговое (70 %), снежниково-дождевое (20 %), подземное (10 %). В зонах тектонической трещинности подземное питание осуществляется за счет межмерзлотных и подмерзлотных вод (Биоразнообразие..., 2007).

Кара, в границах бассейна которой проводились представленные в данной работе исследования, является одним из наиболее крупных водотоков района, имеет длину 287 км и площадь бассейна 16180 км² (Кеммерих, 1961). Истоки ее составляют реки Б. и М. Кара: первая берет начало в маленьком горном озерке в 5 км к западу от г. Хуута-Саурей на высоте более 1000 м над ур. моря на западном склоне Полярного Урала, вторая вытекает из-под ледника. После слияния рек Кара течет в довольно широкой долине и поворачивает на север, сохраняя это направление до устья, впадает Байдарацкую губу Карского моря. К числу крупных притоков Кары относятся реки Большой Лядгей (Б. Лядгей-Яха), Нярма (Нярма-Яха), Силовая-Яха, Сибирчата-Яха и некоторые другие. Две последних берут начало на хребте Пай-Хой (Биоразнообразие..., 2007). В долине реки имеется большое количество ручьев и озер. Подробнее описание обследованных нами водных объектов представлено в разделе 4.1 настоящей работы, а также приложении 2.

Исследуемый район отличается обилием разных по происхождению водоёмов, принадлежность которых к бассейну одной реки определяет возможность сопоставления полученных результатов. В связи с малой изученностью рек и озер восточной части Большеземельской тундры и прилегающей к ней части Полярного Урала, обследование водных объектов бассейна р. Кара, анализ их гидрохимических и гидробиологических показателей имеет важное значение для оценки их современного состояния.

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Материалы исследования

Объектом исследования являются сообщества водорослей пресноводных экосистем западного склона Полярного Урала и восточной части Большеземельской тундры из отделов Chlorophyta, Chrysophyta, Cyanoprokaryota, Dinophyta и Xanthophyta, а также привлечены литературные данные по Bacillariophyta (Стенина, 2009; 2015). Также определены и проанализированы физико-химические параметры водной среды. Описание обследованных водоёмов, координаты точек отбора проб и фотографические материалы представлены в приложении 2.

Отбор проб воды, донных отложений и водорослей фитопланктона и перифитона проведен в июле-августе 2011-2013 гг. общепринятыми методами (Гидрохимические показатели..., 1999). Обследовано 5 рек и 9 озер: р. Силова-Яха, её приток р. Хальмерью, озёра Хальмерты, Круглое, Тройное, без названия – № 3, № 4, № 5, находятся на значительном удалении от крупных населенных пунктов, относятся к бассейну р. Силова-Яха, на водосборе которой влияние магистрального газопровода отсутствует. При этом имеются иные источники загрязнения (традиционное природопользование – оленеводство, туризм). Река Кара и её притоки – реки Б. Лядгей, Нярма, а также озёра Б. Манясейто, Коматы, без названия № 1, обследованы в зоне воздействия трассы газопровода «Бованенково-Ухта» и транспортных путей по его обслуживанию (грунтовая автомобильная дорога с забетонированными мостовыми переходами), которые пересекают все основные водотоки и водосборы в бассейне р. Кара. Все реки исследованы в местах их пересечения магистральным газопроводом. Для оценки влияния антропогенного воздействия на реки пробы природной поверхностной воды, донных отложений и водорослей в водотоках отобраны на двух участках для каждой реки, на расстоянии 500 м от дороги: на условно чистом (выше моста по течению) и загрязненном (ниже по течению реки). В озерах пробы отобраны у берега и в центре.

Всего исследованы 52 смешанные пробы водорослей, из них 9 – количественные (приложение 3), 19 проб природной поверхностной воды, 9 проб донных отложений (приложение 4).

С 04.08.2011 по 12.08.2011 обследовано межгорное озеро ледникового происхождения на территории Полярного Урала – Б. Манясейто, которое относится к бассейну р. Кара, расположено через гору Б. Манясей на расстоянии около 8 км от магистрального газопровода и автомобильной дороги, проложенной вдоль него. Координаты: 68° 28' с.ш., 66° 21' в.д., 160 м над ур. моря. Глубина озера достигает 40 м. Взято в качестве фонового.

С 09.07.2012 по 28.07.2012 проведен отбор проб на водных объектах, испытывающих влияние указанного магистрального газопровода, находящихся в бассейне р. Силова-Яха, одного из основных притоков р. Кара, включая: р. Хальмерью (правый приток р. Силова-Яха), озёра Хальмерты, Тройное, Круглое, без названия № 3 (68°11' с.ш., 64°30' в.д., 179 м над ур. моря; размер 500×300 м), № 4 (68°10' с.ш., 64°29' в.д., 180 м над ур. моря; размер 500×400 м), № 5 (68°10' с.ш., 64°34' в.д., 177 м над ур. моря; размер 400×250 м).

С 20.07.2013 по 26.07.2013 обследованы р. Кара, ее притоки Нярма (Нярма-Яха) и Б. Лядгей (Б. Лядгей-Яха), озера Коматы, безымянное термокарстовое № 1, относящиеся к бассейну р. Кара. Отбор проб природной поверхностной воды и донных отложений произведен в районе влияния на водотоки и озера наиболее значимых источников загрязнения (автомобильной дороги, магистрального газопровода и объектов, связанных с его обслуживанием и эксплуатацией).

3.2. Методы сбора и обработки материала

Для описания состава альгофлоры водоёмов использованы качественные и количественные пробы разных экологических групп водорослей: планктона (в том числе метафитона), перифитона (эпифитона и эпилитона) и бентоса.

Отбор проб водорослей проводили общепринятыми в альгологических исследованиях методами (Методика..., 1975; Руководство..., 1983; Водоросли..., 1989). Сбор проб *планктона* производили с помощью планктонной сети из мельничного газа № 76. Для качественных и количественных проб объем профильтрованной воды составлял 50 л. *Метафитон* (свободно плавающие водоросли – нитчатки, пленки, слизистые образования) собирали вручную или сачком. Пробы *эпифитона* (обрастания растений) отбирали вручную. С фрагментов растений соскабливали и смывали водоросли в небольшое количество воды в широкой баночке. Полученную суспензию клеток сливали в коллекционную посуду. В случаях, когда наблюдалось зарастание плотного грунта мхами, их поднимали с помощью «кошки». Сбор проб *эпилитона* (обрастания камней) проводился путем соскабливания налета водорослей с поверхности камней в малый объем воды в широкую ёмкость, затем небольшое количество пробы из смешанных образцов помещалось в коллекционную посуду. *Фитобентос* (совокупность водорослей, обитающих на поверхности донных отложений) в водоёмах и водотоках исследовали на разных глубинах. В прибрежных участках, на мягких грунтах пробы для изучения водорослей отбирали резиновыми трубками диаметром 7-10 мм или простым зачерпыванием небольшого количества донных отложений непосредственно в коллекционную посуду.

Поскольку существует фактор микромозаичности в распределении водорослей, отбор материала во всех местообитаниях проводился путем получения смешанной пробы, состоящей из нескольких отдельных образцов. Пробы были зафиксированы 4% раствором формальдегида.

Определение водорослей осуществлено автором в фиксированных пробах с использованием микроскопов Carl Zeiss «Axiolab», Nikon Eclipse 80i с встроенными цифровыми фотокамерами и с прилагающимися компьютерными программами для анализа изображений при увеличении $\times 400$, $\times 1000$ в лаборатории геоботаники и сравнительной флористики Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Правильность идентификации проверена Е.Н. Патовой. Исследовали цианопрокариоты, зеленые, эвгленовые, динофитовые, желтозеленые, золотистые, красные и харовые водоросли.

Выборки из каждой пробы изучались под микроскопом до достижения состояния, когда новых видов не появляется. При идентификации водорослей использованы «Определитель пресноводных водорослей СССР» (Голлербах, Полянский, 1951; Голлербах и др., 1953; Матвиенко, 1954; Попова, 1955; Дедусенко-Щеголева и др., 1959; Дедусенко-Щеголева, Голлербах, 1962; Зеленые, красные..., 1980; Паламарь-Мордвинцева, 1982; Мошкова, Голлербах, 1987), «Флора споровых растений СССР» (Косинская, 1952, 1960; Попова, Сафонова, 1976), «Визначник прісноводних водоростей УРСР» (Коршиков, 1953; Матвієнко, 1965; Кондратьева, 1968; Матвиенко, Догадина, 1978; Паламарь-Мордвинцева, 1986; Юнгер, Мошкова, 1993), Süßwasserflora von Mitteleuropa (Mrozińska, 1985; Popovský, Pfiester, 1990; Krause, 1997; Komárek, Anagnostidis, 1986, 1989, 1998, 2005; Komárek, 2013), De Dosmidiaceen van Nederland (Coesel, 1982, 1983, 1985, 1994, 1997), Flora of New Zealand (Croasdale, Flint, 1986, 1988; Croasdale et al., 1994), а также сводки зарубежных авторов (West et al., 1923; Skuja, 1956, 1964; Ettl, 1978; Komárek, Fott, 1983; Hindák, 1990; Anagnostidis, Komárek, 1985, 1988, 1990; John et al., 2002; Willén, 2003; Wołowski, Hindák, 2005; Benthic algae..., 2006) и систематические обзоры по группам (Кондратьева, Коваленко, 1975; Gerrath, 1986; Handke, 1986; Eloranta, 1989; Царенко, 1990; Рундина, 1998; Ветрова, 2004; Патова, 2004; Лукницкая, 2005; Lenzenweger, 1996, 1997, 1999, 2003).

В систематическом списке видов водорослей, обнаруженных в водных объектах бассейна р. Кара (приложение 5), отделы расположены в генетическом порядке с учетом современных номенклатурных изменений по базе данных AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2020), таксоны внутри отделов – в алфавитном порядке. Для определения авторских знаков также использован портал Universal Biological Indexer and Organizer (<http://www.ubio.org/>).

Методы эколого-флористического и статистического анализа. Оценка экологического состояния водных объектов на основе альгологических данных осуществлена с учетом следующего. Известно, что показатели экосистемы постоянно меняются, и непрерывные

флуктуации среды вызывают адекватные перестройки в видовом составе и структуре видовых популяций и сообществ видов (Юрцев, 1990). Структурные характеристики биосистемы или ее части, например, водорослей, могут выступать в качестве показателей характера действия комплекса факторов, интенсивности их влияния на экосистему (Барина и др., 2006). Вместе с тем, поскольку пресноводные микроскопические водоросли – одноклеточные растения, развивающиеся чрезвычайно быстро, они быстро реагируют на трансформацию условий среды их обитания изменением числа и обилия видов в сообществах. В течение вегетационного сезона, по мере изменения условий обитания, меняется и видовой состав, и обилие каждого вида. Кроме того, как набор видов, так и обилие каждого, меняются в водном объекте год от года. Для того, чтобы с помощью водорослей охарактеризовать изучаемый водный объект, необходимо в такой динамичной системе найти закономерности происходящих изменений и выделить характерные (Барина и др., 2006). В связи с этим особое значение в настоящей работе придавалось сопоставлению полученных нами результатов с данными других авторов в отношении доминантных комплексов и индикаторных групп водорослей, полученных для аналогичных водных объектов данного района исследования.

В работе приведен систематический список водорослей. Эколого-географический анализ выполнен с использованием баз данных (Барина и др., 2006; Давыдов и др., 2019). В анализе структуры водорослевых сообществ применены индексы видового разнообразия Шеннона-Уивера, выровненности, Пieloу, Симпсона, Шелдона, и Бергера-Паркера (Песенко, 1982), расчет индексов выполнен с помощью программы Excel. Для подсчета численности водорослей применяли счетные камеры Горяева, определение биомассы отдельных клеток водорослей измеряли, используя окуляр-микрометр, получали среднее значение параметров (Руководство..., 1983). Подсчет численности фитопланктона проводили в камере Горяева в пяти повторностях. Пересчет на 1 л воды вели по формуле (Методика..., 1975):

$$N = \frac{n \times v \times 1000}{\omega}, (1)$$

где N – число клеток в 1 л воды, n – число клеток в камере объемом 1 см³, v – объем концентрата пробы, ω – объем профильтрованной воды.

Оценка сходства видового состава альгоценозов выполнена с помощью программного модуля «Graphs» (Новаковский, 2004) на основе коэффициента Сьеренсена-Чекановского.

Для определения встречаемости (постоянства) видов использовали формулу (Кондратьева, Коваленко, 1975):

$$N = \frac{a}{A} \times 100\%, (2)$$

где N – коэффициент встречаемости (постоянства) вида (таксона), а – число альгологических проб, в которых обнаружена данная систематическая форма, A – общее число изученных проб. Для установления встречаемости исследовали не менее 10 проб.

Обилие водорослей оценивалось по шкале (Васильева, Ремигайло, 1982), при увеличении $\times 400$, в произвольно взятых трансектах на стекле 18×18 мм считали число индивидов водорослей. Шкала обилия шестибальная: 1 – единично (ед), менее 10 индивидов в препарате; 2 – редко (р), 10 индивидов в препарате; 3 – нередко (нр), 1-10 индивидов в ряду препарата; 4 – часто (ч), 11-25 индивидов в одном ряду препарата; 5 – очень часто (оч), 25-50 индивидов в ряду препарата; 6 – в массе (м), более 50 индивидов в ряду препарата.

Оценка состояния водных объектов по индикаторным группам водорослей осуществлена с применением базы данных и методических подходов, предложенных С.С. Бариновой, Л.А. Медведевой, О.В. Анисимовой (2006), с учетом результатов исследований района Большеземельской тундры и Полярного Урала прошлых лет (Миронова, Покровская, 1964; Покровская, 1964; Гецен, 1973; Продуктивность озер..., 1976; Флора и фауна..., 1978; Споровые растения..., 1982; Гецен, 1985; Стенина, 1990; Гецен и др., 1992; Стенина, 1993; Альгофлора..., 1994; Структурно-функциональная организация..., 1994; Особенности структуры..., 1994; Богданов и др., 2004; Природная среда тундры..., 2005; Биоразнообразие..., 2007; Стенина, 2010; Биологическое разнообразие..., 2010).

По отношению к минерализации воды использованы общепринятые *группы галобности* для пресных водоемов (Прошкина-Лавренко, 1953; Баринова и др., 2006). Олигогалобные виды, развивающиеся при низкой солености воды от 0.01 до 5 ‰, разделены на галофобные, индифферентные и галофильные виды. Галофобы характерны для пресных вод, соленость которых не превышает 0.02 ‰. Индифференты обитают при солености воды 0.2-0.3 ‰. Галофилы населяют слегка солоноватые водоемы с минерализацией воды 0.4-0.5 ‰. Выделяется также группа мезогалобных видов, характерных для солоноватых водоемов с содержанием солей в воде более 5 ‰.

Для анализа использованы и *pH-группы*, включающие виды-индифференты, ацидофилы и алкалифилы вместе с алкалибионтами (Meriläinen, 1967). Алкалибионты активно развиваются при значениях $pH > 7$. Алкалифилы – при pH около 7 и с оптимумом > 7 . Индифференты обильны при pH около 7. Ацидофилы – при pH около 7, но наиболее широко распространены < 7 . Ацидобионты – при pH ниже 7, оптимум распространения при pH 5.5 и ниже.

В географическом анализе применена широко используемая терминология в подразделении на группы – бореальные, арктобореальные, арктомонтанные, арктические виды и космополиты (Давыдов, 2008, Давыдов и др., 2019). По ареалу распространения –

палеотропические, евразийские, европейские, биполярные, циркумполярные, космополитные (Барина и др., 2006; Давыдов, 2008; Давыдов и др., 2019).

В анализе структуры водорослевых сообществ применены индексы видового разнообразия Шеннона-Уивера, выровненности, Симпсона, Шелдона, Животовского и Бергера-Паркера (Песенко, 1982), расчет индексов выполнен с помощью программы Excel.

Для оценки сходства видового состава водорослей исследованных водоемов с помощью программного модуля «Graphs», разработанного в качестве специального программного обеспечения для Microsoft Excel (Новаковский, 2004), рассчитывали коэффициент Сьеренсена-Чекановского (Песенко, 1982):

$$K_{sc} = \frac{2c}{a+b} \times 100\%, \quad (3)$$

где K_{sc} – коэффициент Сьеренсена-Чекановского, a – число видов в одном водоёме, b – число видов во втором водоёме, c – общее число видов для этих двух водоёмов.

Методы исследования физико-химических параметров водной среды. В местах сбора альгологических проб проведено описание водных объектов, измерены глубины основных водоемов, температура, прозрачность и pH воды по общепринятым методам (Гидрохимические показатели, 1999), взяты пробы природной поверхностной воды (с глубины 0,5 м, а в ряде случаев с разных глубин по стандартным методам – ГОСТ Р 51592-2000, ГОСТ 31861-2012) и донных отложений (по ГОСТ 17.1.5.01-80) на химический анализ. *Измерение физико-химических параметров среды:* температуры воздуха, воды, pH осуществляли при помощи полевого экспресс-прибора Water test (Hanna instruments, Португалия), температуры воды – также с помощью температурных логгеров типа Thermochron DS 1921 (USA).

Химический анализ проб воды и донных отложений выполнен по метрологически аттестованным методикам (таблица 3.1.1) в лаборатории «Экоаналит» ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (аттестат аккредитации РОСС RU.0001.511257).

Таблица 3.1.1

Методики измерений, средства измерений, использованные для химического анализа проб воды и донных отложений

Показатель	Метод измерений, нормативный документ	Средство измерений (марка, производитель)
Водородный показатель, pH	Потенциометрический метод, РД 52.24.495-2017 (ФР.1.31.2019.33238) ³ Исследование нефилтрованных проб	Анализатор жидкости – pH-метр-кондуктометр Professional Meter PP-20 с pH-метрическим комбинированным электродом в стеклянном корпусе PY-P11,

³ Нормативные документы, в соответствии с которыми был выполнен химический анализ проб воды и донных отложений и которые представлены в настоящем разделе для пояснения метода, не отражены в списке использованных источников, поскольку химический анализ выполнен аккредитованной лабораторией.

Показатель	Метод измерений, нормативный документ	Средство измерений (марка, производитель)
		Sartorius, Германия
Удельная электрическая проводимость, κ	Кондуктометрический метод, Руководство по эксплуатации Sartorius Professional Meter PP-20 Исследование нефилтрованных проб	Анализатор жидкости – pH-метр-кондуктометр Professional Meter PP-20, Sartorius, Германия
Взвешенные вещества, ВВ	Гравиметрический метод, ПНД Ф 14.1:2:4.254-09 (ФР.1.31.2018.29036) Исследование проб, отфильтрованных через фильтры обеззоленные «Синяя лента» с фильтрующей способностью не более 100 секунд	Весы лабораторные аналитические 1 класса точности XP205, Mettler Toledo, Швейцария
Прозрачность	Визуальный метод, РД 52.24.496-2018 (п. 9.2) Исследование нефилтрованных проб	Линейка измерительная металлическая, 300 мм, ОАО «Ставропольский инструментальный завод», Россия
Мутность (по формазину)	Турбидиметрический метод, ПНД Ф 14.1:2:3:4.213-05 (ФР.1.31.2019.34789) Исследование нефилтрованных проб	Спектрофотометр UNICO 2100, United Products & Instruments, Inc., США
Цветность	Фотометрический метод, ПНД Ф 14.1:2:4.207-04 (ФР.1.31.2007.03807) Исследование проб, отфильтрованных через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм	Спектрофотометр UNICO 2100, United Products & Instruments, Inc., США
Биохимическое потребление кислорода, БПК ₅	Амперометрический метод с БПК-тестером, ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97 (ФР.1.31.2007.03436) Исследование нефилтрованных проб	Анализатор портативный серии АНИОН 7000 (А 7040 – кислородомер) с амперометрическим сенсором АСрО ₂ и датчиком температуры ДТ-1, «Инфраспак-Аналит», Россия
Химическое потребление кислорода, ХПК	Фотометрический метод с применением анализатора жидкости «Флюорат-02», ПНД Ф 14.1:2:4.190-2003 (ФР.1.31.2012.12706) Исследование нефилтрованных проб	Анализатор жидкости «Флюорат-02-3М», ООО «Люмэкс», Россия
Перманганатная окисляемость, ПО	Титриметрический метод, ПНД Ф 14.1:2:4.154-99 (ФР.1.31.2013.13900) Исследование нефилтрованных проб	Бюретка с однокровым краном 1-1-2-25-0,1, ПАО «Химлаборприбор», Россия
Гидрокарбонат-ион, HCO ₃ ⁻	Метод потенциометрического титрования, ГОСТ 31957-2012 (Метод А.1) Исследование нефилтрованных проб	Титратор потенциометрический автоматический АТП-02, ЗАО «НПКФ Аквилон», Россия
Азот аммонийный, N-NH ₄ ⁺	Фотометрический метод в виде индофенолового синего, РД 52.24.383-2018 (ФР.1.31.2019.33119) Исследование проб, отфильтрованных через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм	Спектрофотометр UNICO 2100, United Products & Instruments, Inc., США
Азот нитратный, N-NO ₃ ⁻	Фотометрический метод с реактивом Грисса после восстановления в кадмиевом редукторе, РД 52.24.380-2017 (ФР.1.31.2019.32572) Исследование проб, отфильтрованных через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм	Спектрофотометр UNICO 2100, United Products & Instruments, Inc., США
Азот нитритный, N-NO ₂ ⁻	Фотометрический метод с реактивом Грисса, РД 52.24.381-2017 (ФР.1.31.2019.32573) Исследование проб, отфильтрованных через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм	Спектрофотометр UNICO 2100, United Products & Instruments, Inc., США
Хлорид-ион, Cl ⁻	Метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой, Методика измерений № 88-17641-002-2016 (ФР.1.31.2016.23501) Исследование проб, отфильтрованных через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм	Спектрометр атомно-эмиссионный с индуктивно-связанной плазмой Spectro Arcos, Spectro Analytical Instruments GmbH, Германия

Показатель	Метод измерений, нормативный документ	Средство измерений (марка, производитель)
Сульфат-ион, SO_4^{2-}	Турбидиметрический метод, РД 52.24.405-2018 (ФР.1.31.2019.32905) Исследование проб, отфильтрованных через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм	Спектрофотометр UNICO 2100, United Products & Instruments, Inc., США
Фосфат-ион, PO_4^{3-} (приведен в расчете на фосфор P- PO_4^{3-})	Фотометрический метод, ПНД Ф 14.1:2.4.248-07 (ФР.1.31.2016.22975) Исследование проб, отфильтрованных через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм	Спектрофотометр UNICO 2100, United Products & Instruments, Inc., США
Общий углерод, $\text{C}_{\text{общ}}$ Общий неорганический углерод, IC Общий органический углерод, DOC	Метод термokatалитического окисления с бездисперсионной ИК-регистрацией с помощью анализатора TOC (Shimadzu), Методика измерений М-02-2405-13 (ФР.1.31.2017.25625) Исследование проб, отфильтрованных через стекловолоконные фильтры с диаметром пор 0,7 мкм	Анализатор общего углерода/азота TOC-V _{CPN} , Shimadzu Corporation, Япония
Азот общий, $\text{N}_{\text{общ}}$	Метод термokatалитического окисления с хемилюминесцентным детектированием с помощью анализатора TOC (Shimadzu), М-02-2405-13 (ФР.1.31.2017.25625) Исследование проб, отфильтрованных через стекловолоконные фильтры с диаметром пор 0,7 мкм	Анализатор общего углерода/азота TOC-V _{CPN} , Shimadzu Corporation, Япония
Сера общая ($\text{S}_{\text{общ}}$); Фосфор общий ($\text{P}_{\text{общ}}$); Кремний (Si); Калий (K); Натрий (Na); Кальций (Ca); Магний (Mg); Железо (Fe); Марганец (Mn); Цинк (Zn); Медь (Cu); Свинец (Pb); Кадмий (Cd); Никель (Ni); Кобальт (Co); Хром (Cr); Алюминий (Al); Ванадий (V); Молибден (Mo); Бор (B); Стронций (Sr); Мышьяк (As)	Метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой, ПНД Ф 14.1:2.4.135-98 (ФР.1.31.2000.00132) Исследование проб, отфильтрованных через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм	Спектрометр атомно-эмиссионный с индуктивно-связанной плазмой Spectro Arcos, Spectro Analytical Instruments GmbH, Германия
Ртуть, Hg	Атомно-абсорбционный метод с зеемановской коррекцией неселективного поглощения на анализаторе ртути РА-915 (метод «холодного пара»), ПНД Ф 14.1:2.4.243-07 (ФР.1.29.2006.02578) Исследование нефилтрованных проб	Анализатор ртути РА-915М, ООО «Люмэкс-Маркетинг», Россия
Нефтепродукты, НП	Флуориметрический метод на анализаторе жидкости «Флюорат-02», ПНД Ф 14.1:2.4.128-98 (ФР.1.31.2012.13169) Исследование нефилтрованных проб	Анализатор жидкости «Флюорат-02-3М», ООО «Люмэкс», Россия
Анионные поверхностно-активные вещества, АПАВ	Флуориметрический метод на анализаторе жидкости «Флюорат-02», ПНД Ф 14.1:2.4.158-2000 (ФР.1.31.2014.17189) Исследование нефилтрованных проб	Анализатор жидкости «Флюорат-02-3М», ООО «Люмэкс», Россия
Фенол	Метод капиллярной газовой хроматографии с детектором электронного захвата, Методика измерений № 88-17641-001-2019 (ФР.1.31.2019.33465) Исследование нефилтрованных проб	Хроматограф «Кристалл 2000М», ЗАО СКБ «ХРОМАТЭК», Россия
Полициклические ароматические углеводороды, ПАУ Включая бенз[а]пирен, БП нафталин, аценафтен,	Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектированием с использованием жидкостного хроматографа «Люмахром», ПНД Ф 14.1:2.4.186-02 (ФР.1.31.2006.02395)	Хроматограф жидкостный «Люмахром» со спектрофлуориметрическим детектором, ООО «Люмэкс», Россия

Показатель	Метод измерений, нормативный документ	Средство измерений (марка, производитель)
флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, хризен, бенз(b)флуорантрен, бенз(k)флуорантрен, дибенз(a,h)антрацен, бенз(g,h,i)перилен, индено(1,2,3-c,d)пирен	Исследование нефилтрованных проб	

Таким образом, для проб природной поверхностной воды и донных отложений определены общие показатели, а также концентрации приоритетных для наблюдения поллютантов.

Поверхностные слои донных отложений отражают аккумулирующий эффект аэротехногенной нагрузки металлов на водосборы, которая зачастую может быть не зарегистрирована гидрохимическими методами (Даувальтер, Канищев, 2008).

В связи с этим при анализе результатов количественного химического анализа проб воды и донных отложений произведена оценка их загрязненности по коэффициентам донной аккумуляции (КДА) (Об утверждении Методических указаний..., 2014), которые рассчитаны по формуле:

$$КДА = \frac{C_{до}}{C_{вода}}, \quad (4)$$

где КДА – коэффициент донной аккумуляции загрязняющего вещества, $C_{до}$ – концентрация загрязняющего вещества в донных отложениях, мг/кг или мкг/кг; $C_{вода}$ – концентрация этого вещества в воде, отобранной одновременно в этом же створе, мг/л или мкг/л.

Величины КДА, равные $n \times 10$ (где n = от 1 до 9) при низких концентрациях загрязняющих веществ в воде и донных отложениях, обычно характеризуют обстановку в водном объекте как относительно удовлетворительную (без признаков хронического загрязнения). Невысокие значения КДА ($n \times 10$ до $n \times 10^2$) и повышенные концентрации загрязняющих веществ в воде указывают на поступление в водный объект свежего загрязнения, в результате чего отношения $C_{до}/C_{вода}$ снижаются и не превышают двух порядков. Значения КДА, равные от $n \times 10^3$ до $n \times 10^4$ при концентрациях загрязняющего вещества в воде, существенно превышающих величину ПДК_{рыбохоз}, свидетельствуют о высоком уровне хронического загрязнения водного объекта. На основании КДА, свидетельствующих о наличии свежих и хронических загрязнений, определяют специфические загрязняющие вещества в сточных водах и предполагаемый источник загрязнения.

Статистический анализ по выявлению влияния химических показателей на состав водорослей выполнен методом канонического анализа соответствий (Canonical Correspondence Analysis: CCA, предикторами модели служили показатели химического состава вод), а также программ Statistica 13.0 (StatSoft, США), R (версия 3.5.1) и Excel надстройки – ExStatR (Новаковский, 2016).

С учетом специфики районов исследований нами применены следующие **методические подходы при обследовании экологического состояния водных объектов**:

1) охват исследованием различных типов водных объектов, характерных районам Большеземельской тундры и Полярного Урала, не нарушенных и испытывающих антропогенное воздействие: для определения гидрохимических и альгологических показателей водных объектов в их естественном состоянии, а также оценки и прогноза их изменений в условиях антропогенного воздействия (влияния магистрального газопровода);

2) сезонная сопоставимость результатов исследования: значительная удаленность и протяженность районов исследования затрудняет длительные мониторинговые наблюдения, кроме того, требуется учет природных сезонных явлений, влияющих на физико-химические показатели вод, сукцессии в альгоценозах. В связи с этим исследования проводились на протяжении нескольких лет в летние месяцы (с середины июля до начала августа), в период климатического оптимума для развития живых систем в данных районах;

3) применение комплексного и системного подходов: проведено исследование водных объектов как совокупности факторов среды обитания микроводорослей, выявлены адаптивные особенности альгоценозов различных типов водных объектов в естественных условиях и при антропогенном воздействии на основе анализа доминантных и индикаторных таксонов и групп водорослей;

4) сопоставление полученных альгологических и гидрохимических показателей с результатами других исследователей. Накоплен большой объем сведений о составе альгоценозов, гидрохимических показателях водных объектов. Имеются фундаментальные исследования в области гидроэкологии, известен ряд работ по оценке воздействия строительства и эксплуатации линейных объектов на природные комплексы в районах Крайнего Севера. Вместе с этим, требуется дальнейшее обобщение сведений о состоянии водоёмов и выработка подходов к оценке и прогнозу изменений в условиях антропогенного воздействия.

Кроме того, *методологической основой* при анализе специфики формирования химического состава природных поверхностных вод и донных отложений послужили работы Т.И. Моисеенко с соавторами (Моисеенко и др., 2006, 2010а, 2010б, 2011а, 2012; Моисеенко, 2009; Моисеенко, Гашкина, 2010; Кремлева и др., 2012; Гашкина и др., 2012).

ГЛАВА 4. ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ КАРА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

4.1. Общая характеристика обследованных водных объектов Большеземельской тундры и Полярного Урала

Для исследования выбраны типичные и наиболее распространенные водные экосистемы Большеземельской тундры и Полярного Урала (приложение 2) – небольшие термокарстовые водоёмы и крупные озера ледникового происхождения, реки (в горной и равнинной их части), в природном состоянии и в условиях влияния строительства и эксплуатации магистрального газопровода. Это обеспечивает возможность определения гидрохимических и альгологических показателей условно чистых водных объектов и оценки их изменений в результате антропогенного воздействия. Общая характеристика гидрографической сети, основных типов рек и озёр района исследований, а также их гидрологических условий представлена в разделе 2.2 настоящей работы, картографические и фотоматериалы, описание обследованных нами водных объектов в местах отбора проб воды, донных отложений и альгологического материала – в приложении 2. В разделе 4.2 дана оценка гидрохимических показателей обследованных водных объектов, в разделе 4.3 – анализ изменений водной среды в зоне влияния газопровода.

Водные объекты, не испытывающие влияния строительства и эксплуатации газопровода (р. Силова-Яха, ее правый приток первого порядка – р. Хальмерью, озёра Хальмерты, Круглое, Тройное, без названия – № 3, № 4, № 5), находятся на значительном удалении от крупных населённых пунктов, относятся к бассейну р. Силова-Яха (Большеземельская тундра), на водосборе которой влияние магистрального газопровода отсутствует, сброс сточных вод непосредственно в указанные водные объекты не осуществляется. При этом имеются иные источники загрязнения: территория используется для традиционного природопользования, в том числе оленеводства. Встречаются временные стоянки экспедиций и туристов (рисунки 4.1.1, 4.1.2).

Река Силова-Яха (Силовая) – относительно большая река Большеземельской тундры, один из основных притоков р. Кара, берет начало за южными склонами Пай-Хоя, затем перерезает этот горный хребет. Ширина – от 20 до 100 м, глубина – 0.15-0.5 м. Скорость на перекате – 1.5 м/с (Биоразнообразие..., 2007). Берега пологие, местами обрывистые, русло извилистое с перекатами, дно каменистое, галечниковое или илисто-песчаное. Течение быстрое. Вода прозрачная, в глубоких участках зеленовато-голубая, без запаха. По берегам каменистые бичевники, заросли осоки, разнотравья, ив и ерника.

Река Хальмерью – шириной от 20 до 70 м, берега обрывистые, местами пологие, заросшие осокой и ивами. Русло реки извилистое с перекатами и ямами, дно каменистое,

участками илисто-песчаное. Течение до 0.1-0.5 м/с. Измеренная глубина – до 3 м, средняя 0.5-1.0 м. Вода прозрачная без запаха. Пробы взяты в районе оз. Хальмерты, близ заброшенной угледобывающей шахты.

Озеро Хальмерты – самое крупное на исследованной территории, предположительно, ледникового происхождения (о чем свидетельствуют моренные отложения в его окрестностях), округлой формы, есть заливы. По классификации озёр, предложенной В.И. Жадиным и С.В. Гердом (1961), Хальмерты можно отнести к мезотрофным (глубиной до 25 м) озерам. Грунт галечный, песчаный местами илистый. Прибрежно-водная растительность представлена *Carex aquatilis* Wahlenb., *Potamogeton* sp., берега местами покрыты осокой, ивами или мхами. Озеро через протоку соединяется с р. Хальмерью. Вода прозрачная, без запаха.

Озеро Круглое – мелкое термокарстовое (средняя глубина 50 см), размером 500×500 м, сточное. Имеет пологие частично заболоченные берега с моховыми и осоковыми зарослями. Дно песчаное, местами илистое, макрофиты (арктофила, осоки, мхи) отсутствуют. Вода коричневая, мало прозрачная (влияет болотное питание). Координаты: 68°17' с.ш., 64°31' в.д. В озере наблюдали «цветение» воды, в момент отбора проб pH = 7.9.

Озеро Тройное – мелкое термокарстовое (средняя глубина до 1 м), сточное. Дно илисто-каменистое, местами сильно заиленное, вода прозрачная. Берега извилистые с зарослями осоки, хвоща, зеленых мхов. Прибрежно-водная растительность представлена *Carex aquatilis*, *C. cinerea* Pollich, *Comarum palustre* L. В озере развит зоопланктон. В момент отбора проб pH = 8.5.

Озеро № 3 – небольшой термокарстовый водоем, типичный для района исследований. Координаты: 68°11' с.ш., 64°30' в.д., высота над ур. моря 179 м. Размер 500×300 м. Озеро проточное, имеет пологие берега, есть обрыв и заболоченные участки. Дно илистое, местами каменисто-песчаное. Вода непрозрачная, коричневая. Прибрежно-водная растительность образована *Carex aquatilis*, *Calamagrostis purpurea* (Trin) Trin., *Comarum palustre*. По берегам – ивы, ерник. В озере наблюдали «цветение» воды, в момент сбора проб pH = 7.26.

Озеро № 4 – термокарстовый водоем размером 500×400 м. Координаты: 68°10' с.ш., 64°29' в.д., высота над ур. моря 180 м. Озеро проточное, расположено в понижении рельефа между торфянистыми буграми. Берега местами обрывистые, заросшие осокой. Дно топкое, илистое, местами песчаное или торфянистое, максимальная глубина 3 м, средняя глубина 1-1.5 м. Вода коричневая. В озере «цветения» воды не наблюдали, pH = 7.07.

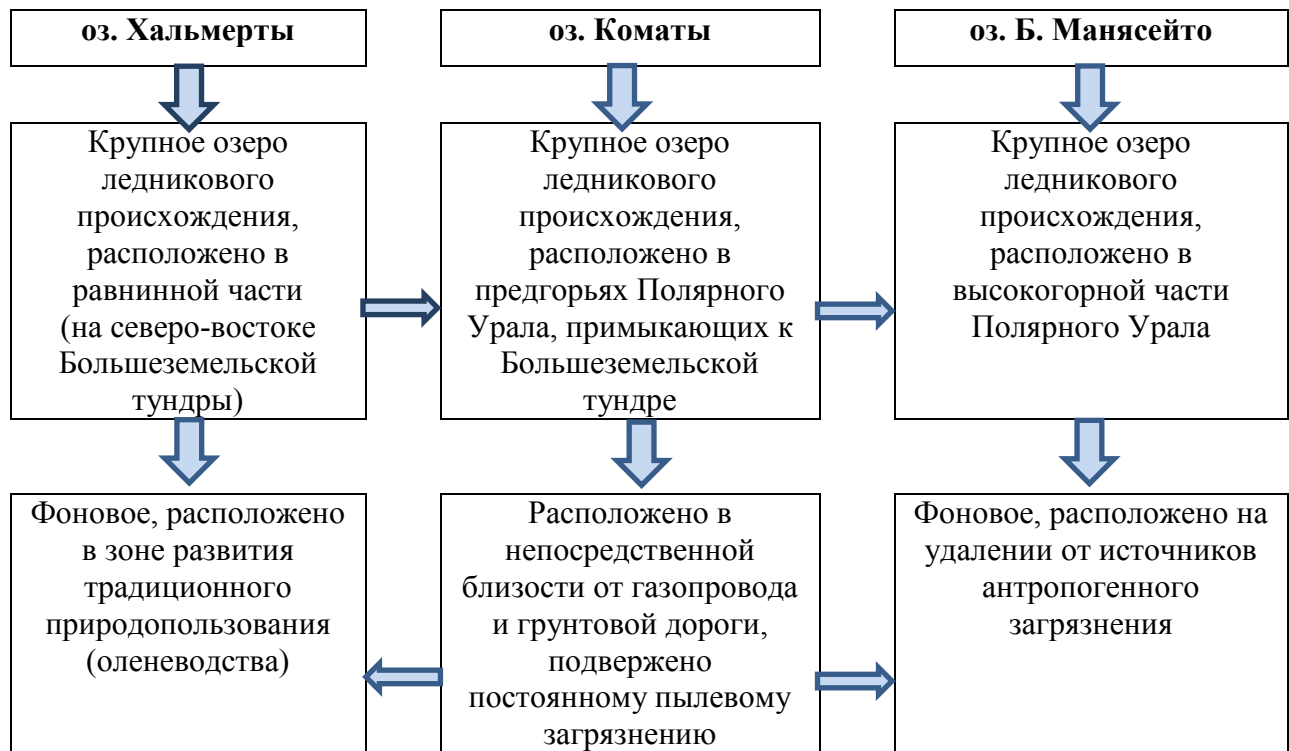


Рисунок 4.1.1. Экологический ряд озёр ледникового происхождения относительно расположения в рельефе и по наличию загрязнения

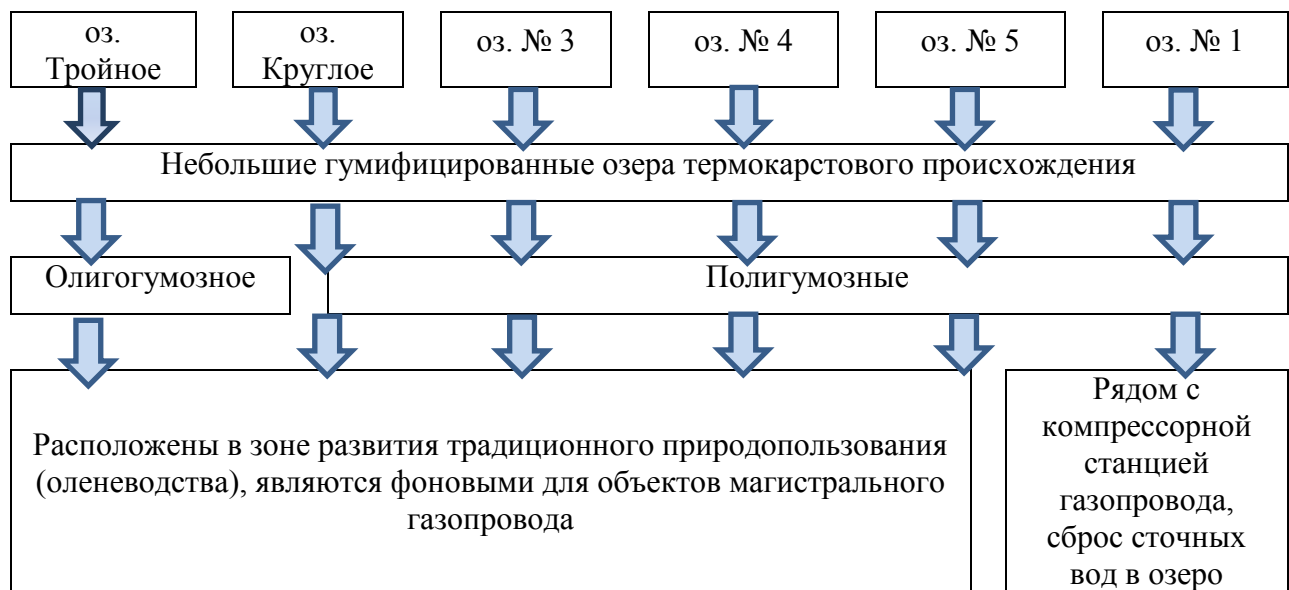


Рисунок 4.1.2. Сравнение обследованных озёр термокарстового происхождения

Озеро № 5 – термокарстовое гумифицированное озеро. Координаты: 68°10' с.ш., 64°34' в.д., 177 м над ур. моря; размер 400×250 м. Средняя глубина 1-1.5 м. Вода коричневая. Дно топкое, илистое. Берега местами обрывистые, заросшие осокой.

По данным гидрохимического и альгологического анализа, представленного в настоящей работе, указанные водные объекты можно охарактеризовать как чистые, не испытывающие заметного антропогенного воздействия, и рекомендовать к включению в состав особо

охраняемой природной территории (ООПТ) регионального значения как эталонные объекты тундровых пресноводных экосистем равнинных озер Большеземельской тундры (Тикушева, 2013; Тикушева, Патова, 2013, 2014, 2015а; Стенина, 2015; Патова и др., 2015).

Водные объекты в зоне влияния газопровода. Р. Кара и её притоки – реки Б. Лядгей, Нярма, а также озёра Б. Манясейто, Коматы, без названия № 1, обследованы в зоне воздействия трассы газопровода «Бованенково-Ухта» (участок газопровода «Ямал-Центр») и транспортных путей по его обслуживанию, которые пересекают все основные водотоки и водосборы в бассейне р. Кара.

Река Кара является одним из наиболее крупных водотоков района (ее длина 287 км). Берет начало на западном склоне Полярного Урала, впадает в Карское море. После слияния рек Б. и М. Кара, являющихся ее истоками, течет в довольно широкой долине и поворачивает на север, сохраняя это направление до устья. Впадает в Байдарацкую губу Карского моря. Ширина реки составляет около 30 м, глубина – 0.5-1.3 м, скорость течения – 0.4-0.9 м/с. На плёсах в прибрежье преобладают галечные грунты, в медиали – песчаные с мелкой галькой, а на перекатах – преимущественно валунные или валунно-галечные. Вода прозрачная, её температура 11.9 °С. После спуска с гор на территории Большеземельской тундры скорость течения несколько снижается. В среднем течении в местах пересечения твердых горных пород между отрогами Пай-Хоя р. Кара течёт то в глубоком каньонообразном ущелье, то в широкой долине с пологими берегами. Ширина её в устье р. Б. Лядгей достигает 120 м. На галечном дне плёсовых участков лежат огромные валуны с моховыми обрастаниями (в основном представлены *Hygrohypnum ochraceum* (Turn. ex Wils.) Loeske), местами – сплошные каменные плиты. Река имеет здесь порожистый характер, встречаются водопады, самый большой из них – Буредан. В нижнем течении перекаты чередуются с плёсами, глубина которых составляет 5.8 м (Биоразнообразие..., 2007). Координаты обследованного участка: 68° 07' 12.4" с.ш., 65° 19' 17.8" в.д. (по течению ниже моста); 68° 07' 08.5" с.ш., 65° 19' 21.7" в.д. (выше моста).

Река Нярма (Нярма-Яха) – крупный приток р. Кара протяженностью 81 км, собирающий воды с западного склона Полярного Урала, после спуска с которого течёт по территории Большеземельской тундры, в её восточной части. Быстрая многоводная река с бурными порогами, а местами с водопадами. От истока река течет с юга на север, лишь приняв справа руч. Хара-пэ-шор, поворачивает на запад к Каре. В верховьях, до впадения р. Кызыгей-Яхи, Нярма течет по широкой долине в каменном ущелье со скоростью 5-6 км/ч. В трех километрах ниже устья Кызыгей-яхи река входит в узкий глубокий каньон, где на участке длиной 8 км сосредоточены 8 водопадов высотой от 1,5 до 5 метров. В равнинной части река течёт в низких, поросших кустарником берегах. Дно каменистое, песчаных участков мало, торфяных

практически нет совсем. После устья р. Сябта-Яха через Нярма проложена автодорога для обслуживания газопровода «Бованенково – Ухта» (68° 28' 34.1" с.ш., 66° 06' 19.0" в.д.).

Река Б. Лядгей (Б. Лядгей, Б. Лядгей-Яха, Лядхей-Яха) – крупный приток р. Кара (181 км), течет по территории Полярного Урала. В 300 м от устья ширина реки составляет около 50 м, по левому берегу имеются выходы горных пород высотой до 4 м. Грунт преимущественно валунный, реже галечный с моховыми и водорослевыми (*Tetraspora cylindrica*, *Closterium acerosum*, *Nostoc caeruleum*) обрастаниями. Скорость течения около 1 м/с, глубина 0.4-1.0 м. Температура воды 10.4 °С (Биоразнообразие..., 2007). Координаты обследованного участка: 68° 17' 19.1" с.ш., 65° 41' 17.8" в.д. (по течению ниже моста); 68° 17' 20.7" с.ш., 65° 41' 28.8" в.д. (выше моста).

Озеро Большое Манясейто – межгорное озеро ледникового происхождения глубиной до 40 м (Полярный Урал, бассейн р. Кара), расположено от газопровода и автомобильной дороги на расстоянии около 8 км, через гору Б. Манясей (фоновое). Координаты: 68° 28' с.ш., 66° 21' в.д., 160 м над ур. моря.

Озеро Коматы соединено протокой с р. Кара в её верхнем течении (территория Полярного Урала). По берегам протоки растет ива, а в прибрежьи – заросли осоки и хвоща, грунт песчано-илистый. В озере наблюдается обильное развитие макрофитов (арктофила, рдесты, уруть, ряска, болотник), на дне распространены моховые и водорослевые обрастания. Длина озера – 2.5 км, ширина – 0.8 км. Наибольшая глубина равна 4 м, распространённая – 2 м. Грунты в основном песчаные. Вода бесцветная, без запаха, рН 8,26, температура на поверхности 7.4 °С. Электропроводность – 54 мкС/см, содержание кислорода – 8.5 мг/дм³. Озеро используется оленеводами для ловли рыбы (Ponomarev, Loskutova, 2006; Биоразнообразие..., 2007). Расположено в непосредственной близости от газопровода и грунтовой дороги, подвержено постоянному пылевому загрязнению. Координаты: 68° 08' с.ш., 65° 21' в.д., 90 м над ур. моря.

Безымянное оз. № 1 – термокарстовое гумифицированное озеро (Полярный Урал, бассейн р. Кара), находится рядом с компрессорной станцией газопровода, в него осуществляется сброс сточных вод. Донные отложения представлены наилком с запахом нефти. Координаты: 68° 01' с.ш., 65° 11' в.д., 90 м над ур. моря.

Реки Кара, Б. Лядгей, Нярма берут начало в горных озерах, это определяет их гидрологический режим. Реки Хальмерью и Силоваяха – равнинные. Все они относятся к бассейну р. Кара, являются её притоками. Места отбора проб альгологического материала в направлении с юга на север были расположены следующим образом: р. Кара – р. Хальмерью – р. Силоваяха – р. Б. Лядгей – р. Нярма. Места отбора проб определяли удалением от дороги и газопровода на 500 м выше и ниже по течению (приложения 2, 3, 4). Озёра Б. Манясейто,

Коматы и Хальмерты – крупные, ледникового расположения, могут быть объединены в экологический ряд относительно расположения в рельефе местности, а также по признаку наличия антропогенного влияния (рисунок 4.1.1). Оз. Тройное – термокарстовое, средних размеров, сопоставимо с аналогичными по происхождению озерами без названия № 1, № 3, № 4, № 5, различие заключается в источниках их загрязнения (рисунок 4.1.2).

4.2. Анализ гидрохимических показателей обследованных водных объектов Большеземельской тундры и Полярного Урала

Качество воды определяют гидрологический и температурный режим водного объекта, химический состав его вод и донных отложений, вегетативная активность отдельных видов и групп водорослей при благоприятной совокупности экологических (экзогенных и эндогенных) факторов среды, наличие теплового или химического загрязнения вод.

Поверхностные воды Полярного Урала и прилегающей части Большеземельской тундры относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу, характерному и для поверхностных вод континентальных восточноевропейских тундр (Голдина, 1972; Биоразнообразие..., 2007). Преобладание ионов HCO_3^{3-} в составе растворенных веществ, как и малая минерализация вод и низкая удельная электропроводность при относительно большом поверхностном стоке и превалировании атмосферных осадков в питании водоёмов, является общей особенностью вод северных районов (Соколов, 1952; Миронова, Покровская, 1962; Голдина, 1972; Особенности структуры..., 1994; Хохлова, 1996, 2002, 2014; Природная среда тундры..., 2005; Даувальтер, Хлопцева, 2008; Торопов, Бешенцев, 2013; Румянцев и др., 2015).

Электропроводность воды исследованных водоёмов измеряется в пределах от 41 (оз. Б. Манясейто) до 140 (оз. № 1) мкСм/см в озёрах и от 78 (р. Нярма) до 166 (р. Хальмерью) мкСм/см в водотоках (приложение 4). Значениям электропроводности пропорционально соответствуют показатели жесткости, концентрации гидрокарбонат-иона, сульфат-иона и сопутствующих элементов – кальция, магния, натрия (приложение 4, рисунок 4.2.1). Концентрация гидрокарбонат-иона наименьшая в чистом горном оз. Б. Манясейто (15.5-18.0 мг/дм³), наибольшая в термокарстовом, загрязненном стоками, оз. № 1 (56.4 мг/дм³), такое же распределение проявляет сульфат-ион: 2.5-2.6 и 10.4 мг/дм³ соответственно. Содержание биогенных элементов – кальция и магния – много меньше их ПДК_{рыбохоз} (приложение 4), равного 180 и 40 мг/дм³ соответственно, находится в пределах природной нормы. Минимальные значения отмечены для оз. Б. Манясейто (5.1-5.2 и 0.57-0.50 мг/дм³ соответственно). Наибольшее значение кальция для водных объектов Полярного Урала – в оз. № 1 (15.5), в остальных водных объектах – 10.4-12.4 мг/дм³. Для рек и озер восточной

части Большеземельской тундры характерно содержание кальция на уровне $4.6-30 \text{ мг/дм}^3$, при этом в водотоках значения больше. Аналогичные закономерности в распределении проявляет магний. Его массовая доля в воде больше в оз. Коматы и оз. № 1 (1.79 и 2.5 соответственно), чем в остальных водоёмах Полярного Урала ($0.92-1.35 \text{ мг/дм}^3$). Наибольшие концентрации магния выявлены в водотоках востока Большеземельской тундры ($3.9-4.3 \text{ мг/дм}^3$), в озерах данного района содержание этого элемента меньше – $1.26-2.4 \text{ мг/дм}^3$. Сопоставимые данные ранее отмечены для поверхностных вод Большеземельской тундры (Тентюков, 2010).

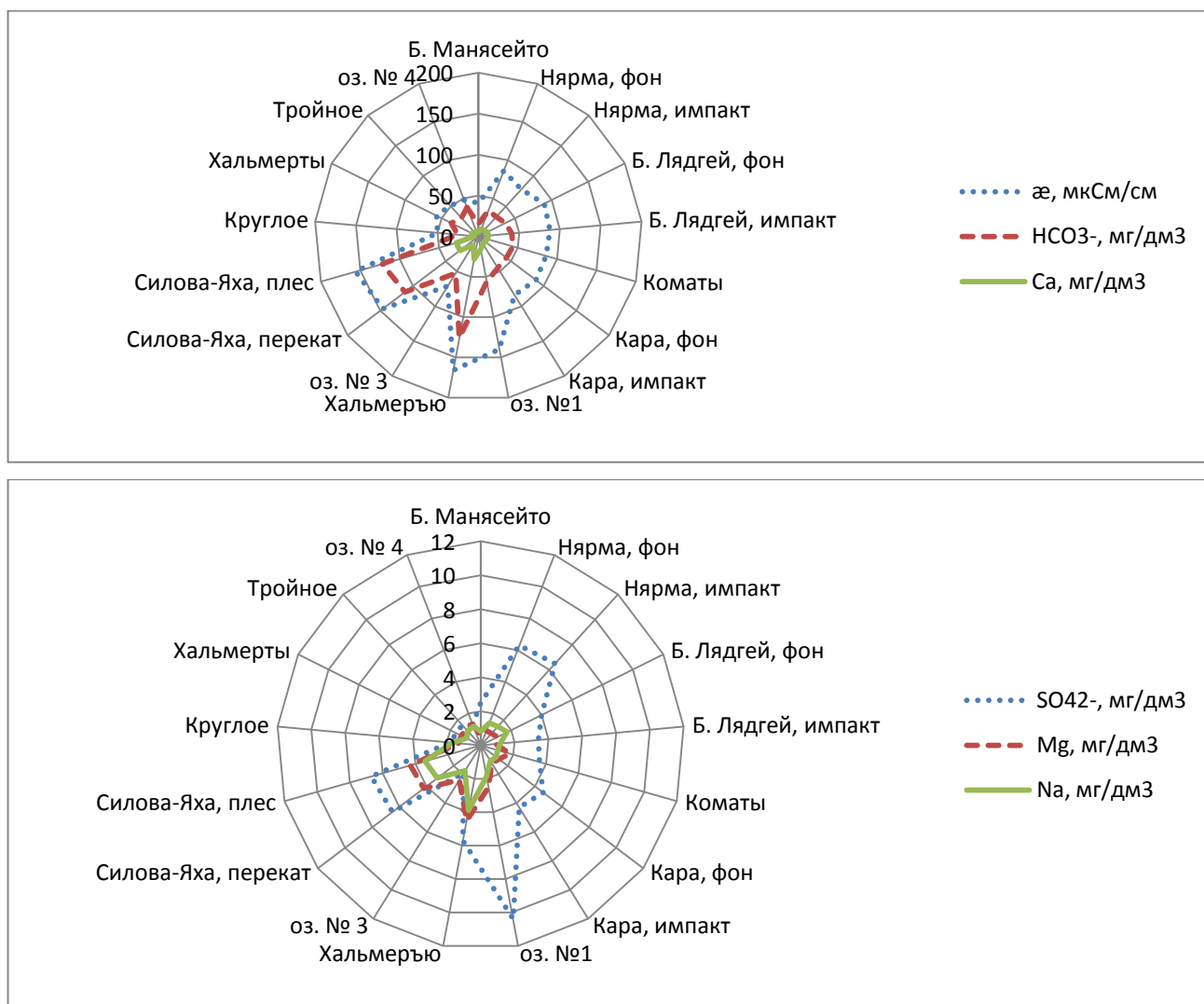


Рисунок 4.2.1. Соотношение электропроводности и основных ионов

Для водных объектов бассейнов рек Кара и Силова-Яха отмечено статистически достоверное различие в содержании в воде хлорид- и фосфат-ионов, K и Fe (рисунок 4.2.2), что указывает на различия в составе природных вод. Установлено также, что в условиях воздействия газопровода лотические системы трансформируются в меньшей степени, чем лентические. Статистический анализ показал также достоверное изменение ряда изученных

параметров водной среды в зоне воздействия газопровода на водоемы (рисунок 4.2.3, приложение 4).

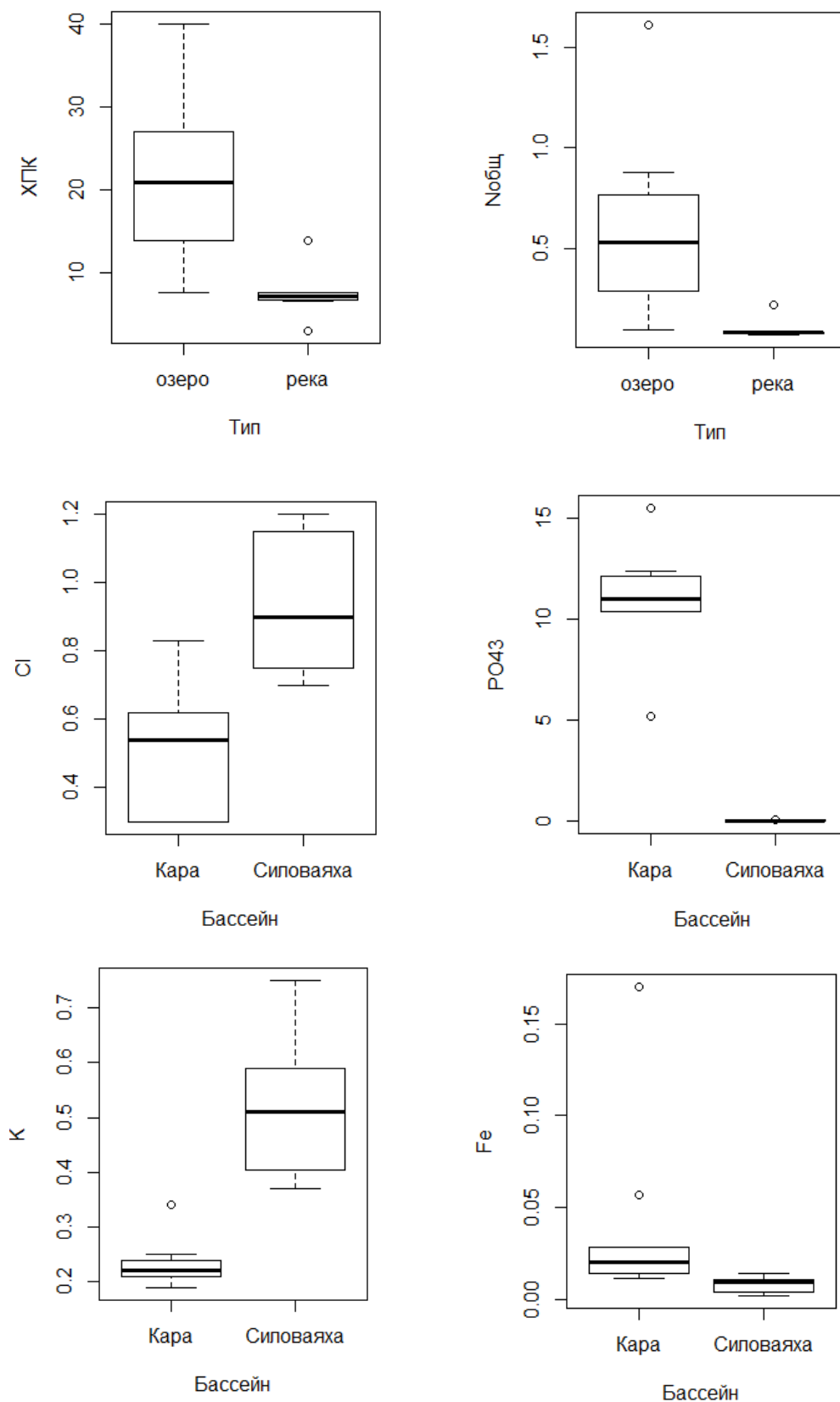


Рисунок 4.2.2. Парное сравнения рек и озер (верхние два рисунка), басс. рек Кара и Силова-Яха (нижние четыре рисунка) по ряду гидрохимических показателей с использованием непараметрического рангового критерия Манна-Уитни.

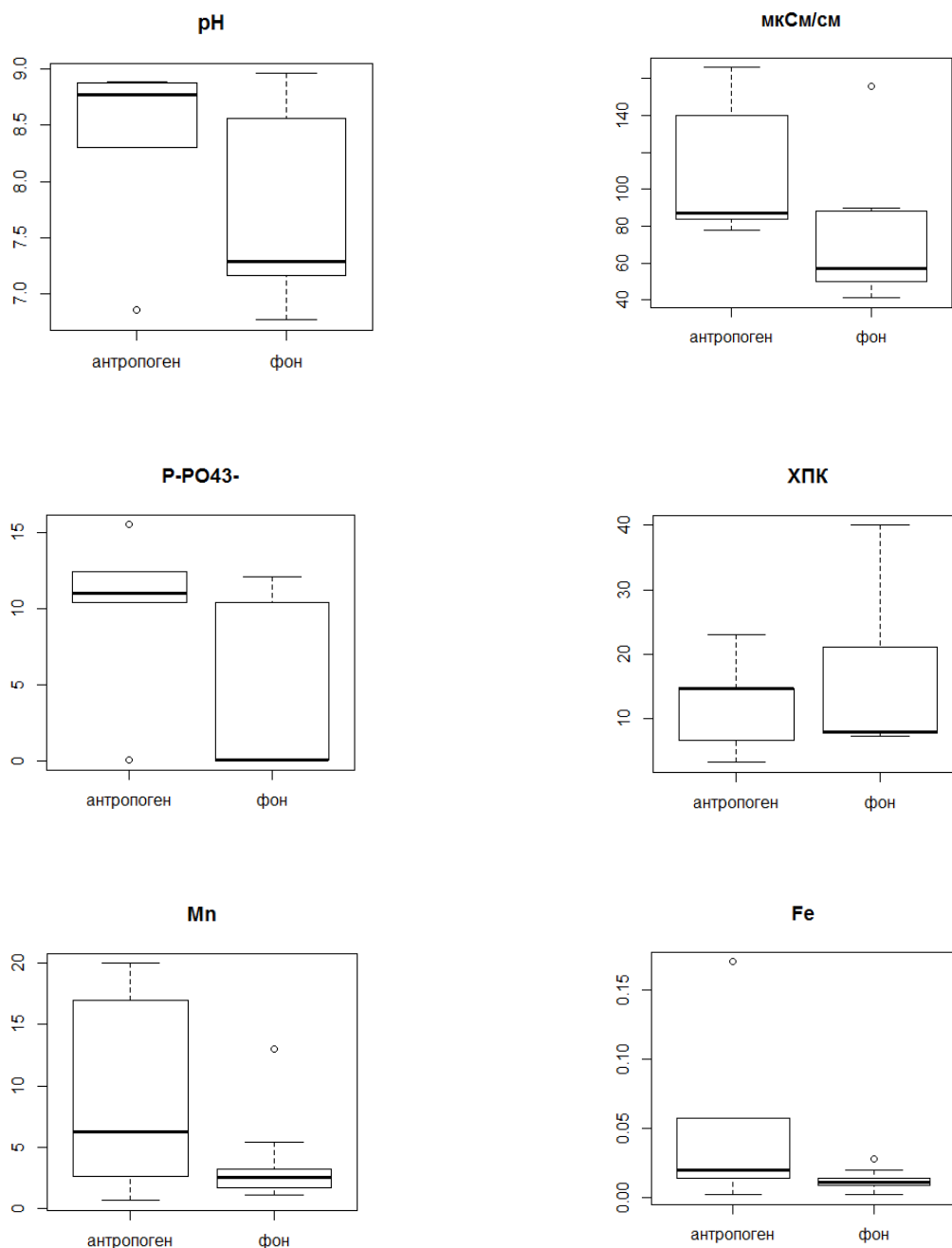


Рисунок 4.2.3. Парное сравнение гидрохимических показателей для фоновых и антропогенно трансформированных водоемов с использованием непараметрического рангового критерия Манна-Уитни.

Повышенное содержание Fe в обследованных водоемах бассейна р. Кара может быть обусловлено антропогенным влиянием, о чем указано ниже (рисунок 4.2.8). Также показано достоверное различие по показателю ХПК и содержанию $N_{\text{общ}}$ – они выше в озерах, что является природной нормой и определяется особенностями территории водосбора, различиями питания рек и озер.

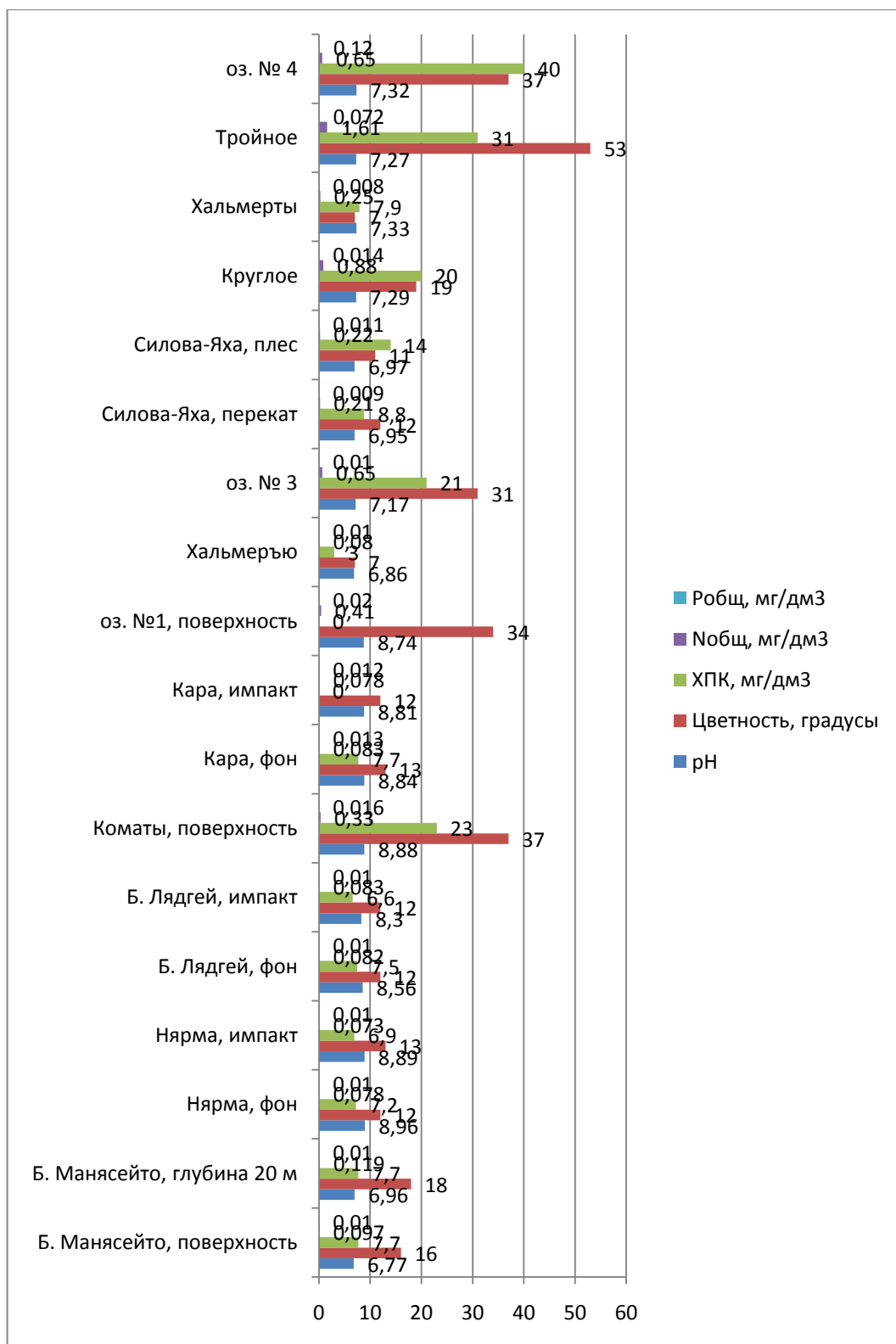


Рисунок 4.2.4. Показатели содержания органических веществ и рН
Примечание: для р. Кара (импакт) и оз. № 1 ХПК не определяли.

Активная реакция водной среды различна, изменяется от слабонейтральной до слабощелочной (рН 6.77-8.96) (приложение 4, рисунок 4.2.4). Известно, что рН поднимается до 7.8 при «цветении» водоемов, антропогенное подщелачивание определяют при рН > 7.8

(Особенности структуры..., 1994). Отмеченная нами реакция водной среды фоновых водных объектов бассейна р. Силова-Яха, оз. Б. Манясейто соответствует их природным особенностям. Для рек и озер в районе магистрального газопровода «Бованенково-Ухта» (реки Кара, Нярма, Б. Лядгей, озера Коматы и № 1) характерны значения рН от 8.30 до 8.96, что может свидетельствовать о наличии антропогенного подщелачивания (приложение 4, рисунок 4.2.4) или о значительном содержании в почвообразующих породах водосбора щелочных и щелочноземельных металлов. Вместе с этим, нельзя исключать и влияния фотосинтетической активности синезеленых в указанных водных объектах (таблица 5.1.4), разложение после отмирания которых приводит к значительному подщелачиванию водной среды (Стенина, Патова, 2010). В естественных условиях для поверхностных вод Большеземельской тундры характерны меньшие значения рН – до 6.6-7.6 (Тентюков, 2010), для Полярного Урала – 6.56-7.23 (Биоразнообразие..., 2007). Более высокие значения рН (до 8.6) вместе с увеличенным содержанием микроэлементов по сравнению с природными водами, обогащении воды железом, медью, повышении минерализации с 20 до 114 мг/л ранее отмечались для ореольных вод в районах нефтедобычи (Тентюков, 2010).

Содержание микроэлементов (приложение 4) в большинстве случаев находится в пределах существенно более низких, чем их предельно допустимые концентрации (Гидрохимические показатели..., 1999). При этом проявляются следующие закономерности в их распределении.

В бассейне р. Силова-Яха содержание стронция (рисунок 4.2.5) наибольшее в водотоках – реках Силова-Яха и Хальмерью ($56-83 \text{ мкг/дм}^3$, что меньше ПДК_{рыбохоз} этого элемента), в других водоёмах обследованного района $16-44 \text{ мкг/дм}^3$. Это, вероятно, является природной особенностью, поскольку концентрации элемента в пробах воды аналогичны с показателями электропроводности и основных ионов (рисунок 4.2.1). Кроме того, известны аномалии стронция в тундровых почвах данного района, связанные с наличием сезонных криогенных карбонатных форм данного элемента в иллювиальном горизонте (Тентюков, 2010). При этом полученные результаты сопоставимы с данными для озёр тундры и лесотундры Западной Сибири (Кремлева и др., 2012).

Медь и никель проявляют сходное друг с другом распределение вне зависимости от типа водного объекта: относительно высокие, средние или низкие концентрации указанных микроэлементов, как правило, проявляются парно для одних и тех же водных объектов (рисунок 4.2.6, приложение 4). Для донных отложений озер северо-запада Мурманской области в зоне загрязнения ГКМ «Печенганикель», также была отмечена тесная положительная корреляция для никеля, меди и кобальта между собой, что свидетельствует о едином источнике их поступлений и сходных путях миграции (Даувальтер, Канищев, 2008; Даувальтер и др.,

2015). Более высокие массовые доли этих элементов отмечены в пробах воды из стоячих водоёмов и водотоков на участках с небольшой скоростью течения, как загрязнённых, так и фоновых, что свидетельствует об их поступлении с природными источниками, с водосбора и с грунтовыми водами.



Рисунок 4.2.5. Соотношение содержания стронция в природной поверхностной воде обследованных водотоков и водоёмов

Различается содержание марганца и цинка в зависимости от гидрологического режима водных объектов (рисунок 4.2.7, приложение 4). Вероятно, скорость течения обратно пропорционально влияет на концентрацию этих элементов (в интенсивных потоках значения минимальны). Например, на перекате р. Силовая-Яха, в р. Хальмерью содержание марганца 0.61-0.75 мкг/дм³, на плёсе р. Силовая-Яха – 2.5 мкг/дм³.

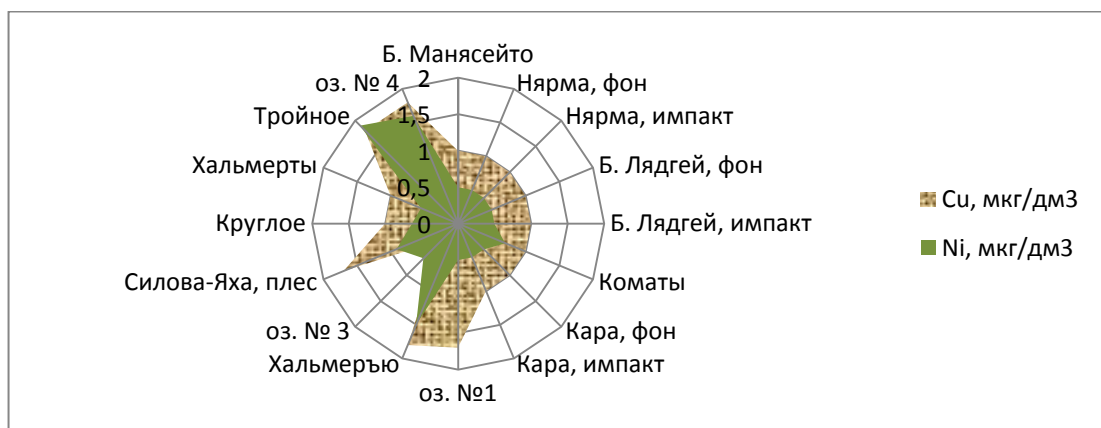


Рисунок 4.2.6. Диаграмма, отображающая сходное распределение меди и никеля в пробах природной поверхностной воды

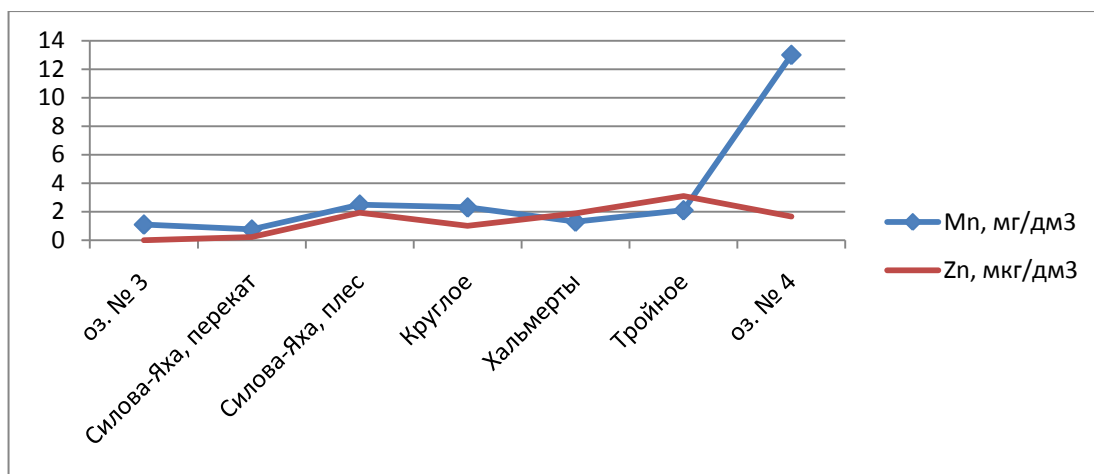


Рисунок 4.2.7. Соотношение содержания марганца и цинка в пробах природной поверхностной воды

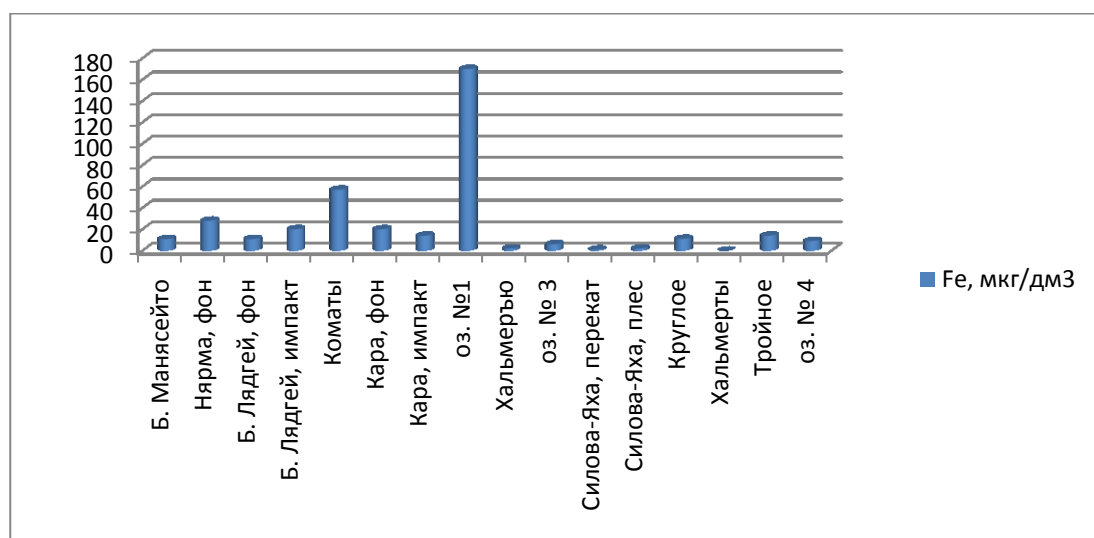


Рисунок 4.2.8. Соотношение концентрации железа в пробах природной поверхностной воды

Концентрации железа в воде обследованных водных объектов восточной части Большеземельской тундры (рисунок 4.2.8, приложение 4) находятся за пределами границы его определяемого диапазона, но в небольших гумифицированных озерах значения больше, что соответствует природным особенностям их питания и водного режима. Для вод Полярного Урала концентрации этого элемента выше, чем в равнинной тундре. При этом много максимальные значения характерны для озер № 1 и Коматы (в первом достигает значения 1,7 ПДК_{рыбохоз}), что может быть признаком антропогенного загрязнения названных водоёмов железом от объектов магистрального газопровода. На рисунке 4.2.2 показано более высокое содержание данного микроэлемента в водоемах бассейна р. Кара, находящихся в зоне влияния газопровода, по сравнению с бассейном р. Силова-Яха. Обогащение вод железом также наблюдалось в районах нефтедобычи (Тентюков, 2010). Также по данным М.П. Тентюкова (2010), в районах газодобычи поверхностное ожелезнение почвенно-растительного покрова

связано с гидроксидами железа атмосферного происхождения. Их появление обусловлено взаимодействием кислых аэрозолей техногенного происхождения с железосодержащими минералами теллурической пыли, в результате которого образуются сульфатные комплексы железа.

Концентрация цинка минимальна для пробы воды, взятой на перекате р. Силова-Яха (0.22), на плёсе этой же реки – 1.93 мкг/дм^3 (приложение 4). Другие исследователи химического состава поверхностных вод Большеземельской тундры также отмечали, что содержание железа, марганца, меди и цинка характеризуется большим диапазоном величин. Возрастание концентраций этих микроэлементов наиболее характерно для гумифицированных вод с кислой реакцией среды и недостатком кислорода (Еременко, 1969; Лозовик, 1998, по: Хохлова, Фефилова, 2014; Хохлова, 2002), что соответствует полученным нами данным. Высокое фоновое содержание марганца отмечают и в других районах при наличии болотного питания водоёмов (Ларина и др., 2010). Для северной и, прежде всего, восточной части Русской плиты, отмечают повышенные содержания в поверхностных водах озер железа, меди и цинка (Румянцев и др., 2015). По данным Н.Г. Обермана с соавторами (2004) для разных водоносных комплексов равнинных ландшафтов Республики Коми может отмечаться незначительное, в основном до единиц ПДК, загрязнение вод железом, барием, марганцем. При этом содержание марганца и железа в грунтовых водах и водах первых от поверхности субнапорных горизонтов подзоны сплошного распространения многолетнемерзлых пород могут достигать в результате криогенного концентрирования солей, чрезвычайно опасных концентраций: Mn – 29-28 ПДК, Fe – до 105, что объясняется широким развитием железистых конкреций (Оберман и др., 2004). Поступление указанных элементов с грунтовыми водами может объяснить более высокие их содержания в стоячей или малотекучей воде, что было отмечено нами.

Органические вещества (рисунок 4.2.4, приложение 4) содержатся в воде в небольшом количестве, что отражается в показателях цветности ($7-53^\circ$), перманганатной окисляемости ($1.27-7.8 \text{ мг/дм}^3$) и соответствует данным других исследователей (Голдина, 1972; Хохлова, 1996; Даувальтер, Хлопцева, 2008). По данным Л.Г. Хохловой (1996), цветность на уровне $7-28^\circ$ свидетельствует о наличии органического вещества преимущественно автохтонного происхождения. В настоящем исследовании цветность воды большинства водных объектов отмечена на уровне $7-19^\circ$ (приложение 4). Исключение составили озера Коматы и № 1 (37 и 34° соответственно), загрязненные в результате деятельности объектов газопровода, а также озёра, испытывающие воздействие традиционного природопользования и получающие питание с заболоченной территории – № 3, № 4, Тройное (31 , 37 , 53° соответственно). Это соответствует общей концентрации азота ($0.65-1.61 \text{ мг/дм}^3$ – для полигуменных озёр, $0.073-0.25 \text{ мг/дм}^3$ – для остальных водных объектов). Показатель взвешенных веществ для всех обследованных

водоемов составил менее 5 мг/дм^3 , значение мутности – в среднем 1.92 ЕМФ для водных объектов Полярного Урала, 2.09 ЕМФ – для восточной части Большеземельской тундры, что соответствует природным водам с малой мутностью (Глазовская, 2007).

Дополняют отмеченные закономерности показатели перманганатной окисляемости (ПО) и химического потребления кислорода (ХПК), которые характеризуют загрязненность вод органическими соединениями. В равнинной тундре наименьшие значения определены для р. Хальмерью и оз. Хальмерты (1.27 и 1.41 – ПО, 3.14 и 7.9 – ХПК соответственно), наибольшие – для полигуменных озёр (7.2-7.8 – ПО, 21-40 – ХПК) (рисунок 4.2.4, приложение 4). ХПК для водоёмов Полярного Урала достоверно меньше (рисунок 4.2.3), чем для востока Большеземельской тундры (имеет значение строение русел рек и котловин озёр – в горной части они образованы скальными породами, менее заилены, также в питании значительна доля талых вод снежников, в равнинной – формирование гидрохимического режима водных объектов происходит при участии притоков с заболоченного водосбора). Полученные результаты соответствуют общим тенденциям: заболоченность является одной из основных причин высокой окисляемости поверхностных вод (Моисеенко и др., 2011а). Максимальное содержание органических и биогенных веществ в воде так же отмечено, в основном, для термокарстовых озёр (рисунок 4.2.4, приложение 4), где кроме заболоченного водосбора не исключен также вклад антропогенного влияния (традиционного природопользования) в повышение содержания в воде отдельных водоёмов органических и биогенных веществ. Аналогичные результаты получены ранее (Биоразнообразие..., 2007; Тентюков, 2010).

Наибольшие значения азота характерны для оз. Тройное ($N_{\text{общ}} - 1.61 \text{ мг/дм}^3$, $NH_4^+ - 1.04 \text{ мг/дм}^3$ (что выше $ПДК_{\text{рыбохоз}} = 0.5 \text{ мг/дм}^3$), $NO_3^- - 0.82 \text{ мг/дм}^3$ (менее $ПДК_{\text{рыбохоз}} = 40.0 \text{ мг/дм}^3$): возможно, это озеро в большей степени испытывает нагрузку от оленеводства. В других исследованных водных объектах аналогичные показатели измеряются в следующих пределах: $N_{\text{общ}} - 0.073-0.88 \text{ мг/дм}^3$, $NH_4^+ - 0.018-0.44 \text{ мг/дм}^3$, $NO_3^- - 0.005-0.044 \text{ мг/дм}^3$. Ранее для озёр Большеземельской тундры отмечалось отсутствие нитратов и нитритов, незначительное содержание аммония как результат замедленности процессов аммонификации и нитрификации при низких температурах и кислой реакции среды (Гецен, 1985). Увеличение концентрации азота является интегральным показателем антропогенной эвтрофикации водоемов (рисунок 4.2.4 это иллюстрирует для оз. № 1 и Коматы). Такой вывод согласуется с данными С.С. Бариновой (Оценка состояния..., 1992). Наряду с появлением токсичных свойств среды обитания, как правило, увеличивается содержание биогенных элементов. Высокая доля их биодоступных форм в экосистеме свидетельствует о том, что полностью они не утилизируются в трофической системе, создавая условия для интенсивного развития устойчивых форм первичных продуцентов (Моисеенко, 2009). Дополнительно для вод

Полярного Урала были определены показатели неорганического (IC) и органического углерода (DOC) (приложение 4). Нижнее значение IC – в оз. Б. Манясейто (3.2-3.6), верхнее – в оз. № 1 (9.1), в остальных – 5.8-7.9 мг/дм³, DOC наименьшее в водотоках (реки Нярма, Б. Лядгей, Кара) – 0.80-1.21, максимальное – в испытывающих влияние газопровода оз. Коматы и оз. № 1 – 6.7 и 6.1 мг/дм³ соответственно, что кроме различий в гидрологическом режиме подтверждает ранее отмеченную закономерность. При этом максимальные из установленных нами значений DOC сопоставимы с показателями для европейской части России и даже меньше некоторых отмеченных значений, например, для Северной Двины (Рижинашвили, 2008).

В озерах тундры и тайги Европейской территории России (для Западной Сибири это не характерно) условия для развития водорослей отличаются лимитированием как по фосфору, так и по азоту, но на критическом уровне – больше по азоту. Считается, что фосфор, неорганический азот и кремний становятся лимитирующими, когда их концентрация ниже 10 мкг/л, 300 мкг/л и 0,5 мг/л соответственно. Данные концентрации можно рассматривать как нижние границы для оптимального развития водорослей (по: Гашкина и др., 2012). Для обследованных водных объектов указанные показатели выше лимитирующих (приложение 4, рисунок 4.2.4).

В пределах западного склона Печорского Урала возможно естественное загрязнение нефтепродуктами поверхностных водоёмов за счет трещинно-жильных вод в границах нефтегазоносных провинций (Оберман и др., 2004). Однако, полученные нами данные выявляют загрязнение нефтепродуктами импактных участков в зоне влияния газопровода (приложение 4): их содержание в водных объектах Полярного Урала наибольшее в р. Нярма (выше моста) – 0.022, термокарстовом оз. № 1 – 0.014, оз. Коматы – 0.011, р. Б. Лядгей (ниже моста) – 0.010, в остальных пробах воды – менее 0.0050 мг/дм³. Нефтепродукты попадают в водоёмы со стоками от автомобильного транспорта и в виде атмосферных осадков, содержащих пары нефтяного горючего и выхлопные газы (Долматова, 2009). Высокое загрязнение условно чистого участка р. Нярма, возможно, связано с тем, что до строительства дороги с мостовым переходом проезд автотранспорта мог осуществляться по руслу этой реки немного выше по течению, поскольку на данном участке река имеет пологие берега (приложение 2). Эти значения сопоставимы с результатами других авторов (Структурно-функциональная организация..., 1994).

Массовая концентрация анионных поверхностно-активных веществ во всех пробах до 0.025 мг/дм³, фенола – менее 0.50 мкг/дм³, полициклических ароматических углеводородов – ниже 1.0 нг/дм³.

Ранее отмечалось, что химический состав поверхностных вод Большеземельской тундры отличается низкой минерализацией, а по отдельным показателям проявляет большую

вариабельность, доминирующая роль в его формировании принадлежит природным факторам (Хохлова, Фефилова, 2014). Для территории Мурманской, Архангельской областей также характерно значительное разнообразие озерных экосистем, в том числе и по величинам минерализации, что отражает значительные вариации в геохимии водосборной площади, с объединяющей такие водоёмы повышенной чувствительностью их экосистем к антропогенному воздействию (Даувальтер и др., 2015; Румянцев и др., 2015). Проведенный анализ гидрохимических показателей обследованных нами водных объектов показал, что они в основном сохраняют свои природные особенности, при этом проявляется техногенное загрязнение вод в зоне влияния газопровода, прежде всего, активным использованием грунтовой автомобильной дороги, проходящей вдоль трассы газопровода и необходимой для обеспечения его эксплуатации, а также для строительства новых объектов инфраструктуры системы транспортировки природного газа (Патова и др., 2014а; Тикушева, 2014; Тикушева и др., 2015). Наиболее загрязненными из обследованных водных объектов являются озёра Коматы и № 1.

В зоне влияния газопровода по всем показателям наиболее чистым является оз. Б. Манясейто, расположенное на расстоянии 8 км от магистрального газопровода и грунтовой автомобильной дороги, закрытое от них горным массивом – естественным барьером, препятствующим техногенному пылевому загрязнению. В связи с этим прокладку трубопроводов и иных линейных объектов рекомендуется осуществлять с учетом рельефа местности, обеспечивая защиту от их влияния водоёмов, имеющих ключевое значение для водной системы района. Природные резерваты следует выделять также в местах наиболее защищенных от пылевого техногенного загрязнения.

Вместе с этим, анализ качества природных вод с точки зрения экосистемного подхода, который применен в данной работе, требует учета не только абиотических факторов среды (гидрохимических и гидрофизических), но и биотических – в их взаимодействии, поскольку показатели чистоты или качества воды, определенные по какому-либо критерию (например, по уровню цветности, содержанию азота, биогенных элементов или взвешенных веществ, по индексу сапробности, степени эвтрофикации и др.), будут в различной степени применимы к водным объектам. В категории «сильно загрязненных» могут оказаться водоёмы в естественном их состоянии, не испытывающие антропогенного воздействия.

4.3. Оценка потенциального воздействия строительства линейных промышленных объектов на водные экосистемы

Водные экосистемы в местах прохождения линейных сооружений инфраструктуры газопровода испытывают значительные нагрузки, выявлены признаки техногенного загрязнения. О масштабе потенциального влияния магистральных газопроводов можно судить и по тому факту, что для озёрных регионов Русской равнины предприятия линейного производственного управления магистральных газопроводов «Газпром Трансгаз Ухта» относятся к крупнейшим центрам загрязнения атмосферы и аэротехногенного загрязнения вод наряду с предприятиями Череповецкого промышленного узла (Румянцев и др., 2015). Проведенный анализ гидрохимических проб и донных отложений показал повышенное накопление в водоемах и водотоках, пересекаемых трассой, и в зоне размещения объектов инфраструктуры (поселки, компрессорные станции, карьеры) нефтепродуктов и ряда тяжелых металлов (Тикушева, 2014; Тикушева и др., 2015). Наибольшее аэротехногенное (прямое) загрязнение происходит за счет пылевого загрязнения от дорог и выхлопных газов автотранспорта. Кроме этого, строительство трасс трубопроводов создает ряд факторов, косвенно влияющих на химический состав вод и донных отложений, к ним относят следующие: захламление; заиление и зарастание русел; разрушение берегов и размыв траншей; перекрытие (полное или частичное) русел трубами газопровода и временными притрассовыми дорогами, а также пойм трубами в обваловке и без нее на высоте 0.5-2.0 м; изрытость пойм и нарушение задернованности прибрежной полосы и поверхности пойм. Таким образом, происходит изменение условий поверхностного стока, а также реологических свойств рек и ручьёв и, соответственно, процессов аккумуляции поллютантов и вторичного загрязнения ими вод (Ефимов, 2000).

Обследованный участок дороги вдоль газопровода «Бованенково-Ухта» расположен севернее Воркуты в тундровой зоне и на восточном макросклоне Полярного Урала. Дорога отсыпана природным грунтом (преимущественно суглинками), слагающим водораздельные пространства территории, в сухую погоду летучие частицы которого легко переносятся ветром и оседают не только на прилегающей территории (15-100 м), но и далеко за ее пределами по направлению преобладающих ветров. Согласно материалам дистанционного зондирования Земли, на отдельных участках протяженность пылевых выбросов от автодороги фиксируется на расстоянии от 250 до 1000 м в зимний период. Летом интенсивность пылевых выбросов значительно возрастает. По материалам космической съемки регистрируются ореолы пылевых загрязнений от газопровода, достигающие десятков километров (Патова и др., 2014б). Расчеты показали, что на листьях кустарников (ивы, карликовой березки) на площади в 1 м² за летний

период осаждается до 10 г пыли, содержащей токсичные вещества (Патова и др., 2014а). В импактной зоне, которая формируется вблизи функционирующих производств, происходит осаждение частиц с повышенным содержанием металлов в составе пылевой эмиссии (Моисеенко, 2009). Соответственно, наблюдается загрязнение водосборов, с территории которых стоки приносят загрязнители в водоемы, а также имеет место непосредственное осаждение на зеркало водных объектов частиц из приземного слоя атмосферы.

Кроме пылевого загрязнения наиболее значимые выбросы загрязнителей в процессе эксплуатации газопроводов возникают за счет так называемого потребления газа на собственные нужды (Казак, Самсонов, 2007). Это топливный газ, расходуемый на компрессорных станциях (КС), технологические потери, которые включают в себя утечки на линейной части трубопровода и при работе газокompрессорной станции (ГКС), аварийные ситуации, а также прочие технологические нужды, в том числе потери при ремонте газопроводов (Методические рекомендации..., 2012). Нефтегазопроводные ландшафтно-техногенные комплексы при функционировании исправных трубопроводов характеризуют наличием следующих элементов-загрязнителей почв (соответственно, и других компонентов среды) – хрома, ванадия, марганца, в меньшей степени – мышьяка, цинка, молибдена, никеля. Присутствие перечисленных элементов в большинстве случаев умеренно опасное. На таком уровне содержание ртути, хрома, марганца, бария во мхах аккумулятивных ландшафтов (Оберман и др., 2004). Кроме тяжелых металлов за счет потерь газа из системы газопровода происходит загрязнение воздуха кислотоформирующими соединениями – оксидами серы и азота, метаном, сероводородом, а также другими эвтрофирующими неорганическими и органическими веществами. По обобщенным данным Т.И. Моисеенко (2009), как правило, сопутствующая пылевая эмиссия и эрозионные процессы в импактной зоне производств формируют щелочные потоки с высоким содержанием взвешенных веществ и металлов. При этом в кислой и щелочной средах тяжелые металлы наиболее токсичны, так как в первом случае они максимально представлены в ионной форме, во втором – в виде гидроксокомплексов (Моисеенко, 2009).

Для функционирования транспортных коммуникаций обычно характерна линейная конфигурация и относительно малые поперечные размеры сформировавшихся зон техногенного воздействия (Оберман и др., 2004). Зона потенциального воздействия эмиссии загрязнителей при работе ГКС, определяемая на основании моделей переноса загрязняющих веществ в атмосфере, может достигать в рассматриваемом регионе 90 тыс. км² для каждой станции. При этом в условиях относительно близкого расположения двух и более ГКС их зоны перекрываются, и относительная суммарная зона воздействия может составить 805 тыс. км²,

привести к актуальному и потенциальному превышению критических нагрузок азота, серы и кислотности (Самсонов и др., 2007).

Биогенные вещества (соединения углерода, азота, фосфора), содержащиеся в сточных водах, при поступлении в поверхностные водоемы наносят значительный ущерб экологической системе (сведения о содержании в обследованных водоемах биогенных веществ, а также поллютантов представлены в разделе 4.2 настоящей работы). Нитраты, образованные в процессе нитрификации, при попадании в водоем становятся питательной средой для микрофлоры, что может привести к эвтрофикации водоема.

Наименьшая устойчивость к аэротехногенному загрязнению соединениями серы и азота характерна тундровым экосистемам. Максимально допустимое поступление кислотообразующих соединений серы для биогеоценозов изучаемой территории не должно превышать 200-250 экв/га (для сравнения, таежных экосистем – 500-1000 экв/га в год), азота – 301 экв/га (для тайги – 1776 экв/га) (Самсонов и др., 2007). Увеличение концентрации соединений азота в пробах природной поверхностной воды (приложение 4) в результате загрязнения за счет эмиссии газов из трубопровода не выявлено. Для соединений серы (сульфат-ион) отмечено различие концентраций в значительном диапазоне, при этом большие из них характерны для водотоков. Поскольку повышение содержания азота является интегральным показателем антропогенной эвтрофикации водоемов, увеличение количества биогенных элементов свидетельствует о том, что полностью они не утилизируются в трофической системе, создают предпосылки для «цветения» водоемов и зарастания их высшей водной растительностью (раздел 4.2 данной работы, рисунок 4.2.3). В связи с этим требуется контроль на регулярной основе содержания азота, соединений серы и биогенных элементов в природных поверхностных водах в зоне влияния магистрального газопровода.

Значительно загрязнение выхлопными газами автотранспорта. Большинство сортов бензина содержат в качестве антидетонационных присадок тетраэтилсвинец, а в дизельное топливо входят для уменьшения сажи в отработавших газах металл-органические соединения на основе свинца, меди, никеля, хрома. В выхлопных газах самыми вредными являются оксиды углерода, азота и несгоревшие углеводороды. При использовании дизельных двигателей образуется больше сернистых соединений, сажи, чем в бензиновых, присутствует бенз(а)пирен (Оберман и др., 2004). В связи с прекращением выпуска этилированных бензинов уменьшилось загрязнение природных объектов свинцом, в то же время наблюдается повышенное содержание в компонентах среды нефтепродуктов, соединений цинка и некоторых других тяжелых металлов. Цинк и кадмий поступают в придорожную пыль при истирании различных деталей, эрозии оцинкованных поверхностей, износе шин, за счет использования в маслах присадок, содержащих этот металл. В результате этих процессов вдоль автомобильных дорог

формируются геохимические аномалии цинка (Пшенин, 2003). Кроме того, цинк имеет более подвижные формы в почве по сравнению со свинцом и легче мигрирует из них в водную среду. В отличие от органических соединений, тяжелые металлы не подвергаются деструкции и продвигаются по цепи питания, конечным звеном которой являются крупные гидробионты.

Полученные нами результаты подтверждают отмеченные выше тенденции. Массовая доля цинка во всех исследованных пробах воды менее 2.5 мкг/дм^3 , при этом химический анализ донных отложений позволяет сделать вывод о формировании локальных геохимических аномалий по содержанию цинка в зоне воздействия автомобильных дорог (рисунок 4.3.1). В нижних створах р. Кара массовая доля цинка в донных отложениях составила 1800, р. Б. Лядгей – 190 (при этом в верхних створах этих рек – 34 и 40 соответственно, что сопоставимо со средним значением других проб – $31,6 \text{ мг/кг}$). Аккумуляция цинка в таких величинах происходит за счет значительного загрязнения территории водосбора и непосредственного осаждения загрязнителей на поверхность воды. Возможно, также последующее существенное влияние биотических процессов за счет аккумуляции в перифитоне (Meylan et al., 2004). Для водоёмов Большеземельской тундры и для более южных районов северо-востока европейской территории России ранее также отмечалось повышенное содержание меди и цинка в воде (Альгофлора..., 1994; Хохлова, 2014; Румянцев и др., 2015). Исследование Харбейских озёр показало, что концентрации меди и цинка в придонных слоях за последние десятилетия возрастали, что могло объясняться их смывом с водосбора или контактом с подземными водами (Хохлова, 2014). Это не является общей тенденцией для других районов. Например, для озёр лесостепного Приишимья отмечено, что эти же элементы незначительно аккумулируются грунтом озёр (Ларина и др., 2010). При этом для донных отложений водоёмов вокруг Норильского комбината в Сибири концентрации никеля и меди отмечены до значений 2142 и 5400 мкг/кг соответственно (Даувальтер и др., 2015). Образующаяся при взаимодействии цинка с водой гидроокись практически нерастворима, многие соединения цинка, прежде всего его сульфат и хлорид, токсичны. В то же время, цинк относится к числу биологически активных микроэлементов, влияющих на рост и нормальное развитие организмов (участвует в азотном обмене). Можно предположить, что высокие концентрации цинка в водных объектах будут способствовать их эвтрофированию.

Наибольшие концентрации кадмия в донных отложениях отмечены также для загрязненных участков – в термокарстовом оз. № 1 (1.3) и в нижнем створе р. Нярма (0.9), в других водных объектах его содержание находилось на уровне 0.21-0.6 мг/кг . Во всех пробах воды концентрация кадмия – менее 0.2 мкг/дм^3 (приложение 4).

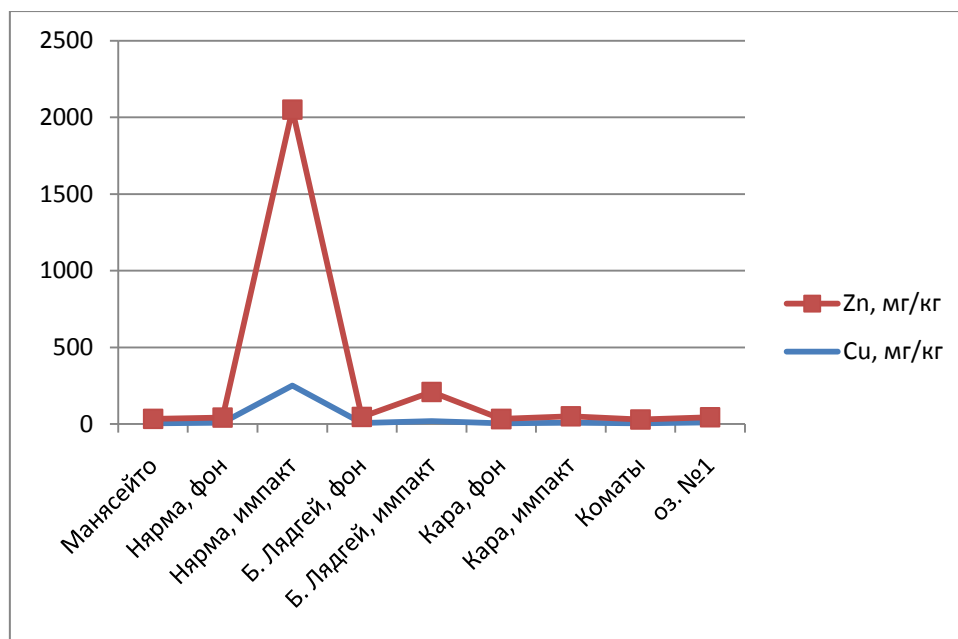


Рисунок 4.3.1. Многократное превышение содержания цинка и меди в донных отложениях импактных участков рек Нярма и Б. Лядгей

Содержание свинца в исследованных пробах воды составило менее 2 мкг/дм^3 . Максимальное содержание данного элемента в донных отложениях определено для р. Нярма в зоне воздействия дороги – 47, в остальных его среднее значение равно 3.16 мг/кг (приложение 4).

Свинец, кадмий и их соединения проявляют высокую токсичность, а также кумулятивный и мутагенный эффект (связываются с низкомолекулярными белками). Кроме того, кадмий способен замещать кальций в метаболических процессах, а накопление свинца в организмах приводит к разрушению клеточных органелл (Базова, 2013).

Медь относится к числу микроэлементов, необходимых для жизнедеятельности растений, участвует в фотосинтезе, дыхании, перераспределении углеводов, восстановлении и фиксации азота, метаболизации протеинов. Одной из причин токсичности этого металла является то, что медь способна накапливаться в растениях. Содержание данного элемента в воде (приложение 4) отмечено на уровне $0.22\text{-}2.1 \text{ мкг/дм}^3$, при этом результаты анализа химического состава донных отложений показывают увеличение концентрации меди в водотоках в зоне загрязнения. Так в донных отложениях р. Нярма концентрация меди на фоновом участке составила 8.1 , в зоне загрязнения – 250 мг/кг (таблица 4.3), что также может свидетельствовать о формировании локальной техногенной геохимической аномалии, в ее образовании также могут принимать участие микроорганизмы перифитона (Meylan et al., 2004).

Значительное содержание в воде алюминия, железа, марганца и бария является естественной особенностью природно-подкисленных озер заболоченных массивов, обуславливающих обогащение вод гумусовыми веществами и способствующими активной

миграции в воду озер указанных элементов (Базова, 2013). Вместе с этим, анализ природной поверхностной воды (приложение 4) выявил увеличение в зоне антропогенного воздействия р. Б. Лядгей концентрации марганца (1.7 – выше моста, 6.2 мкг/дм³ – ниже моста) и алюминия (менее 2.5 и 13 мкг/дм³ соответственно). Также наблюдается увеличение содержания алюминия в р. Кара (менее 6.8 и 17 мкг/дм³ соответственно).

Водные объекты в зоне антропогенного воздействия имеют признаки загрязнения ртутью (Тикушева, Патова, 2015б). Наибольшие показатели этого элемента в донных отложениях отмечены в оз. № 1 (46) и нижнем створе р. Нярма (52), в остальных – на уровне 6-23 мкг/кг (приложение 4, таблица 4.3.1), при этом во всех пробах воды содержание ртути менее 0.010 мкг/дм³ (ПДК_{рыбохоз} для поверхностных вод 0.0005 мг/дм³). Это высокие значения, они могут быть обусловлены как природными особенностями горных пород района, так и антропогенными факторами. Например, фоновые значения ртути в донных отложениях отложениях озёр Фенноскандии и Северной Америки по литературным данным составляют от 0.02 до 0.1 мкг/г сухого вещества, а фоновые значения в донных отложениях озёр северо-запада Мурманской области находятся в диапазоне от 0,008 до 1,146 мкг/г (Даувальтер и др., 2015). Опасность ртути обусловлена токсичностью и очень высокой степенью ее бионакопления.

Известно, что ртуть является неспецифическим загрязнителем окружающей среды в зоне интенсивного антропогенного воздействия. К естественным источникам ртути относится выветривание горных пород и почв. Данный процесс усиливает интенсивное движение автотранспорта, так как дорога вдоль газопровода «Бованенково-Ухта» не имеет твердого покрытия, построена с использованием общераспространенных полезных ископаемых, строительных отходов. Источником загрязнения ртутью также является сжигание ископаемого топлива, технологические утечки природного газа из системы трубопровода. Основной способ попадания ртути в водные экосистемы – со сточными водами в виде гомогенных и коллоидных растворов и взвесей. Количество антропогенной ртути, поступающей в водоёмы (в том числе при загрязнении других компонентов среды), в 10 раз превышает её поступление из природных источников (Петросаян, 2007; Вайнберг, 2010). В воде катионы ртути Hg²⁺ образуют большое количество устойчивых комплексных соединений с различными органическими и неорганическими лигандами. Водные организмы и абиотические факторы превращают ее в метилртуть – металлорганическое соединение, которое в малых дозах намного токсичнее элементарной ртути (в воде данный элемент примерно на 85% присутствует в виде метилртути), подвергается биоаккумуляции и биоконцентрации в пищевых цепях водных экосистем. Особую роль играют комплексы неорганических солей ртути с природными гуминовыми веществами. Процессы сорбции-десорбции и седиментации являются ключевыми для ртути: интенсивное связывание этого элемента в воде с твердыми взвешенными частицами

приводит к тому, что фактор концентрирования составляет величину порядка $1.3-1.8 \times 10^5$, то есть доля ртути, связанной со взвешенными частицами, в 10 тысяч раз больше, чем растворенная доля (Петросаян, 2007; Вайнберг, 2010). Это соответствует полученным нами данным (таблица 4.3.1). Загрязнение Арктики также объясняют процессом истощения атмосферной ртути: согласно расчетам его вклад в два раза превышает количество ртути, выпадающей в данном районе в результате других процессов (Jens et al., 2005; Steffen et al., 2008; Laurier et al., 2008).

В импактной зоне в донных отложениях наблюдается увеличение концентрации мышьяка (приложение 4, таблица 4.3.1). Его наименьшее содержание (3.0) – в оз. Б. Манясейто, максимальное – в оз. № 1 (14). В водотоках в нижнем створе данного поллютанта больше, чем в верхнем (в р. Нярма – соответственно 4.7 и 9, в р. Б. Лядгей – 3.7 и 4.5, в р. Кара – 3.9 и 4.8 мг/кг). Мышьяк является высокотоксичным веществом, поступает в результате выветривания, биологических, геохимических процессов, антропогенной деятельности – при горных разработках, сжигании топлива (Кофман, 2014).

Нефтепродукты, представляющие собой группу различных углеводородов – повсеместные загрязнители придорожных полос. Среди показателей содержания углеводородов особую значимость имеет канцероген бенз(а)пирен, который образуется в отходящих газах автомобильных двигателей. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) также входят в состав шин (Пшенин 2003). В связи с этим требуется контроль названных веществ в окружающей среде. Данные по содержанию в воде нефтепродуктов и ПАУ представлены в разделе 4.2.

Нами рассчитаны коэффициенты накопления химических элементов донными отложениями (таблица 4.3.1), которые дополняют вышеуказанные результаты химического анализа. Установлен высокий уровень хронического загрязнения всех обследованных водных объектов ртутью, а также рек Нярма и Б. Лядгей ниже моста – нефтепродуктами (КДА от 1000 до 10000). Исключение составило оз. Коматы – КДА ртути указывает на наличие свежего поступления. На этом же уровне (КДА от 90 до 1000) значения для нефтепродуктов в озерах № 1 и Коматы, в р. Нярма выше моста, цинка в реках Нярма и Б. Лядгей ниже моста (влияние дороги), меди в р. Нярма, тоже на загрязненном участке. Величины КДА до 90 при относительно низких концентрациях поллютантов в воде и донных отложениях, характеризующие обстановку в водном объекте как удовлетворительную, отмечены для большинства наблюдаемых компонентов. Эти данные свидетельствуют о степени загрязнения и способности самоочищения водоёмов. В настоящее время водные экосистемы справляются с антропогенным воздействием магистрального газопровода, о чем свидетельствуют результаты по химии вод, при этом происходит накопление загрязняющих веществ в донных отложениях.

Таблица 4.3.1

**Содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов в воде и донных отложениях
исследованных водных объектов**

	Cu, мг/кг	Pb, мг/кг	Cd, мг/кг	Zn, мг/кг	Ni, мг/кг	Co, мг/кг	Cr, мг/кг	As, мг/кг	Hg, мкг/кг	НП, мг/кг
Термокарстовое оз. № 1 (воздействие дороги и компрессорной станции)										
Вода	1.7	<2.0	<0.20	<2.5	<0.50	<0.50	<0.50	1.8	<0.010	0.014
д/о	12.0	5.6	1.3	33	21	6.1	16	14	46	27
КДА	7.06	>2.8	>6.5	>13.2	>42	>12.2	>32	7.78	>4600	192.86
оз. Коматы (воздействие дороги)										
Вода	<1.0	<2.0	<0.20	<2.5	0.7	<0.50	<0.50	<0.50	<0.010	0.011
д/о	4.2	1.2	0.21	25	11	5.2	12.5	1.7	6	6.3
КДА	>4.2	>0.6	>1.05	>10	15.7	>10.4	>25	>3.4	>600	572.73
р. Нярма, выше моста										
Вода	<1.0	<2.0	<0.20	<2.5	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.010	0.022
д/о	8.1	3.5	0.53	34	14	6.7	16	4.7	23	7
КДА	>8.1	>1.75	>2.65	>13.6	>28	>13.4	>32	>9.4	>2300	318.18
р. Нярма, ниже моста (воздействие дороги)										
Вода	<1.0	<2.0	<0.20	<2.5	<0.50	<0.50	<0.50	0.67	<0.010	<0.0050
д/о	250	47	0.9	1800	31	10	40	9	52	29
КДА	>250	>23.5	>4.5	>720	>62	>20	>80	13.43	>5200	>5800
р. Б. Лядгей, выше моста										
Вода	<1.0	<2.0	<0.20	<2.5	<0.50	<0.50	<0.50	0.67	<0.010	<0.0050
д/о	6.5	2.0	0.46	40	14	6.9	19	3.7	10	5.1
КДА	>6.5	>1	>2.3	>16	>28	>13.8	>38	5.5	>1000	>1020
р. Б. Лядгей, ниже моста (воздействие дороги)										
Вода	<1.0	<2.0	<0.20	<2.5	<0.50	<0.50	<0.50	0.59	<0.010	0.010
д/о	19	5.3	0.54	190	16	8	22	4.5	13	14
КДА	>19	>2.65	>2.7	>380	>32	>16	>44	7.63	>1300	1400
р. Кара, выше моста										
Вода	<1.0	<2.0	<0.20	<2.5	<0.50	<0.50	<0.50	0.9	<0.010	н/а
д/о	5.1	2.1	0.38	28	14	6.1	13.5	3.9	11	7
КДА	>5.1	>1.05	>1.9	>11.2	>28	>12.2	>27	4.3	>1100	-
р. Кара, ниже моста (воздействие дороги)										
Вода	<1.0	<2.0	<0.20	<2.5	<0.50	<0.50	<0.50	0.9	<0.010	<0.0050
д/о	8.3	1.8	0.6	43	22	9	19	4.8	9	5.8
КДА	>8.3	>0.9	>3	>17.2	>44	>18	>38	5.3	>900	>1160
оз. Б. Манясейто										
Вода	<1.0	<2.0	<0.20	<2.5	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.010	н/а
д/о	5.1	3.8	0.31	29	12	3.9	11.8	3.0	20	<5.0
КДА	>5.1	>1.9	>1.55	>11.6	>24	>7.8	>23.6	>6	>2000	-

Примечание: д/о – донные отложения; н/а – не анализировали.

Способность водных грунтов аккумулировать тяжелые металлы или же наоборот, отдавать их в воду, контактирующую с ним, определяется их сорбционными свойствами, на которые влияют природа неорганической матрицы (кварц, алюмосиликаты), имеющиеся органические вещества, характер функциональных групп (Кремлева, Бронникова, 2010). Комплексообразующая способность вод является важным фактором, определяющим буферную емкость водных экосистем по отношению к токсичным металлам (Моисеенко и др., 2011а). Экспериментальным путем установлено, что медь имеет значительно более высокое сродство к гуминовым кислотам донных отложений по сравнению с кадмием и свинцом, биоаккумуляция

меди происходит за счет слабокомплексированной меди в неорганических и органических комплексах (Meylan et al., 2004; Фахрутдинов и др., 2010). Полученные нами данные (таблица 4.3.1) подтверждают указанные закономерности. Известно, что ионные формы металлов, как наиболее подвижные и химически активные, обладают наибольшей токсичностью (Дину и др., 2012).

Эссенциальные или биофильные элементы (железо, кобальт, медь, хром, марганец, цинк и др.) в небольших концентрациях не оказывают токсического воздействия на живые организмы, а наоборот, являются необходимыми для нормальной жизнедеятельности организмов (Базова, 2013). Исходя из распределения металлов по формам, опасные свойства таких микроэлементов как алюминий, железо, медь проявляются в природных водах с низким содержанием гумусовых веществ. Токсичные свойства кадмия, свинца, никеля, цинка наблюдаются в присутствии больших количеств ионов железа, меди, алюминия, то есть при наличии в системе сильных конкурентов в комплексообразовании с гумусовыми веществами, проявляющих большее сродство к органическому веществу (Моисеенко и др., 2011а; Дину и др., 2012).

Низкоминерализованные воды рек Полярного Урала и прилегающей части Большеземельской тундры, содержащие в небольшом количестве твердые взвешенные вещества, имеют невысокую способность к самоочищению. Кроме того, значительная скорость течения водотоков данного района затрудняет седиментацию. Возможно осаждение загрязняющих веществ и их накопление донными отложениями в непосредственной близости от источника – в силу постоянного поступления поллютантов от аэротехногенного загрязнения и их смыва с прилегающей территории, а также на более удаленных участках рек со спокойным течением. Небольшие термокарстовые водоёмы, распространенные в данном районе, несмотря на возможность самоочищения за счёт насыщения их вод гумусовыми и взвешенными веществами, также будут иметь малую буферную ёмкость экосистемы (её способность сохранять свои основные характеристики при внешних воздействиях) из-за своих малых размеров. Более стабильными и устойчивыми к загрязнению представляются крупные озера. Кроме того, в условиях формирования локальных техногенных геохимических аномалий по содержанию цинка, меди возможно усиление токсических свойств этих элементов, а также кадмия, свинца, никеля. Также следует учесть, что донная аккумуляция цинка и меди происходит в значительной степени с участием фитобентоса (Meylan et al., 2004), что в последующем проявится в более высоких звеньях пищевой цепи. Для ореольных вод в районах нефтедобычи ранее также отмечалось, что ионный состав водотоков с высокой скоростью течения даже в пределах техногенного участка менялся слабо, изменения наблюдались в стоячих водах (Тентюков, 2010). Таким образом, природно-климатические условия района

создают предпосылки для большей токсичности тяжелых металлов при меньших их концентрациях. Небольшие озера (по сравнению с водотоками и крупными озерами) в зоне влияния магистрального газопровода и автомобильной дороги более предрасположены к накоплению биогенных веществ и эвтрофированию.

Полученные данные свидетельствуют о загрязнении вод и донных отложений нефтепродуктами, ртутью, цинком, медью и другими тяжелыми металлами в результате аэротехногенного воздействия автомобильной дороги и смыва поллютантов с загрязненной территории. С учетом представленных результатов можно предположить, что в настоящее время водные экосистемы в зоне влияния магистрального газопровода справляются с уровнем загрязнения с помощью механизмов самоочищения. В большей степени донными отложениями аккумулируются ртуть и нефтепродукты, что связано с седиментацией этих веществ твердыми взвешанными частицами из толщи воды. Среди поллютантов, поступающих в текущем времени, отмечены специфические загрязнители придорожного пространства – нефтепродукты, цинк и медь. В отношении последних двух результаты химического анализа донных отложений показали формирование зон техногенных геохимических аномалий. Особые опасения вызывает уровень загрязнения ртутью. Трансформация водных экосистем приведет к значительному ухудшению качества среды и в конечном итоге окажет негативное воздействие на здоровье населения, проживающего в зоне влияния объектов газового комплекса, в том числе малых народов Севера.

ГЛАВА 5. СТРУКТУРА ВОДОРΟΣЛЕВЫХ СООБЩЕСТВ И ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАННЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ АЛЬГОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

5.1. Таксономический, географический и экологический анализ водорослевых сообществ

Видовой состав водорослей является отражением состояния водного объекта, его диагностическим признаком. Любые процессы в водной среде изменяют таксономическую и экологическую структуру альгоценозов. Доминирующая роль в водорослевых группировках всегда будет принадлежать видам, находящимся в оптимуме условий своего развития. Норма реакции, свойственная всем живым системам, проявление адаптивных механизмов в меняющихся условиях среды определяют индикаторную функцию биоценоза. Важным является как определение нормальной организации альгоценозов, характерной для естественных, не измененных водных экосистем данного района, так и выявление особенностей таксономической и экологической структуры водорослевых сообществ, проявляющихся при наличии антропогенного воздействия.

Совокупность видов водорослей на определенной территории составляет альгофлору (Барина и др., 2006). Анализ её, как системы совместно обитающих и эволюционирующих популяций видов (по Б.А. Юрцеву, 1982), проводится на основе видового разнообразия. Для флор сосудистых растений В.М. Шмидт (1980) считает достаточным в указанных целях ограничиться анализом 10 ведущих в видовом и родовом отношении семейств, как составляющих «лицо» флоры, её систематической структуры, головную часть флористического спектра. В отношении альгоценозов наиболее представленные таксономические группы показывают, какие именно таксоны нашли в данных условиях оптимум для своего развития. Вместе с тем, еще не сложилось общепринятой методологии альгофлористического анализа, которая учитывала бы особенности именно флор водорослей – высокое видовое богатство, внутривидовое разнообразие, большие отличия альгофлор в целом друг от друга и по составу головной части флористического спектра. Кроме того, остается неясным вопрос о достаточном видовом составе для проведения адекватного флористического и сравнительно-флористического анализа и о полноте изученности каждой из анализируемых флор (Барина и др., 2006). По этой причине использовать имеющиеся опубликованные данные по флоре водорослей отдельных районов Большеземельской тундры и Полярного Урала для целей сравнительно-флористического анализа с нашими данными затруднительно, поскольку особенностью района исследования является значительное варьирование сообществ водорослей

как по видовому разнообразию, так и по числу видов для разных по гидрологии и происхождению водных объектов (Продуктивность озер..., 1976; Гецен, 1985; Особенности структуры..., 1994; Биоразнообразие..., 2007; Румянцев и др., 2015). В связи с этим представляется возможным сравнение альгоценозов осуществлять по доминантным видам и группам водорослей, как группы оптимума данных условий, с учетом индикаторов среды. Такой подход согласуется с методологией оценки влияния экологических факторов на основе водорослей, предложенной С.С. Бариновой, Л.А. Медведевой и О.В. Анисимовой (2006): на разных стадиях развития экосистемы для неё характерен определенный состав видов в сообществах, по которому в общих чертах, на качественном уровне, можно определить эту стадию.

Таксономический анализ. Биологическое разнообразие альгоценозов обследованных водных объектов бассейна р. Кара в таксономическом аспекте (альфа-разнообразие) представлено в таблице 5.1.1, список видов – в приложении 5. Исследованная нами альгофлора водных объектов бассейна р. Кара подчиняется распределению Виллиса (рисунок 5.1.1), следовательно, составляет систему, которую можно анализировать с позиции системного анализа, оценивая качественные параметры – таксономический состав, видовое обилие, и структурные показатели. Плавная зависимость Виллиса отражает достаточно хорошо изученную альгофлору (Баринова и др., 2006).

Нами выявлено 206 видов (в том числе внутривидовых форм, без учета диатомовых), включающих представителей 77 родов из 46 семейств, 7 отделов (приложение 5). По неопубликованным данным А.С. Стениной в тех же водных объектах бассейна реки Кара выявлено 179 видов диатомовых с разновидностями и формами из 62 родов, 27 семейств (рисунок 5.1.2).

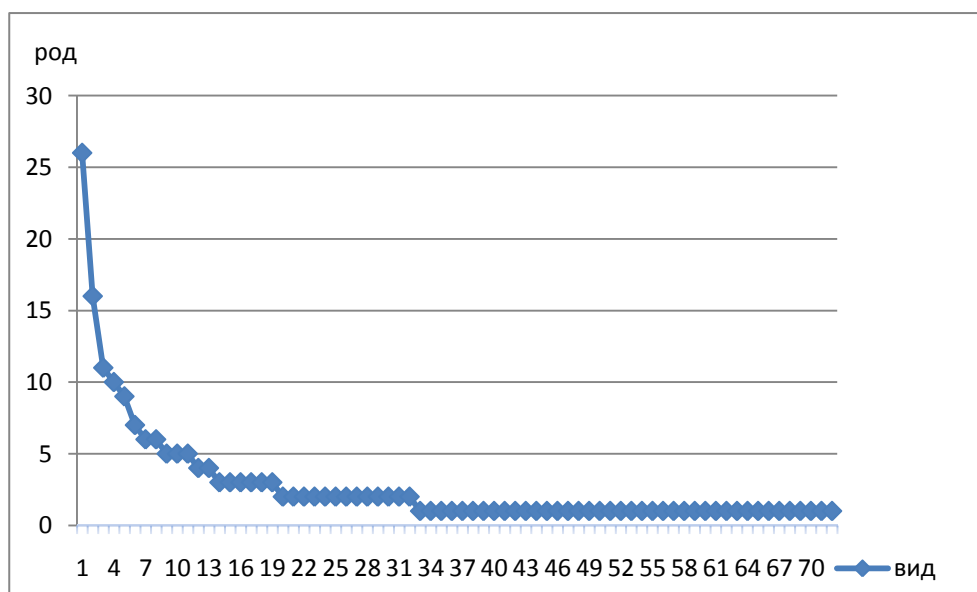


Рисунок 5.1.1. Зависимость Виллиса для альгофлоры водных объектов бассейна р. Кара

Таблица 5.1.1

**Представленность отделов по числу семейств и родов водорослей в альгоценозах
обследованных водных объектов (за исключением диатомовых)**

Отдел	Число семейств	Число родов
Cyanoprokaryota	15	29
Rhodophyta	3	4
Dinophyta	2	2
Euglenozoa	1	3
Ochrophyta	4	4
Chlorophyta	17	32
Streptophyta	4	13
Всего: 7	46	87

Основу флоры водных объектов исследованного района составляют представители отделов Bacillariophyta, Cyanoprokaryota, Streptophyta, Chlorophyta (с учетом современной систематики), что согласуется с результатами других авторов (Гецен, 1973; Продуктивность..., 1976; Флора и фауна..., 1978; Альгофлора..., 1994; Структурно-функциональная..., 1994; Биоразнообразие..., 2007; Биологическое разнообразие..., 2010). При этом данная структура не является общей для других северных регионов России. Например, по данным Н.А. Бондаренко (2009) в озерах горных областей Восточной Сибири отмечено значительное участие золотистых водорослей, в основном за счет бореальных форм, которые в незначительной степени представлены в обследуемом нами районе. Флора рек южного (Поморского) побережья Белого моря (Комулайнен и др., 2012) отличается незначительным участием Streptophyta (ранее – Dinophyta), аналогично – для водоёмов Республики Карелия (Чекрыжева, Комулайнен, 2010).

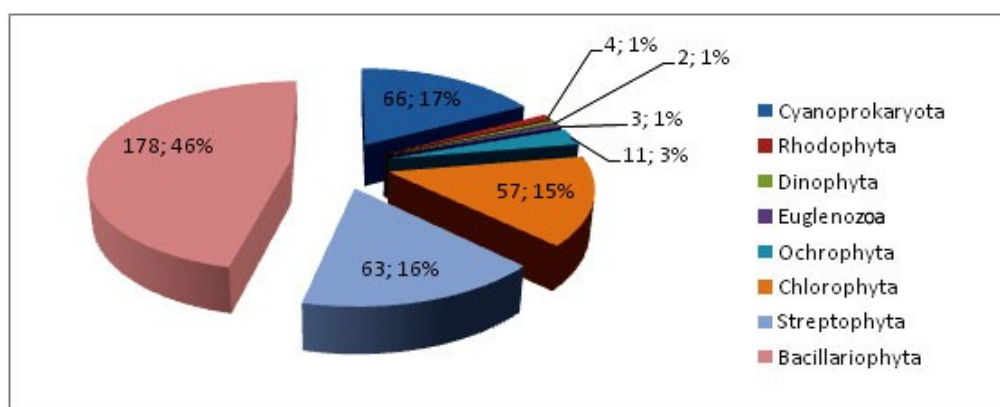


Рисунок 5.1.2. Таксономическая структура альгоценозов водных объектов в обследованном районе

Примечание: указаны число видов и форм водорослей в отделах, а также их доля от общего количества. Число видов диатомовых – по данным А.С. Стениной.

Систематическая структура флоры – это одно из ее свойств. Наиболее представленные таксономические группы составляют половину и более списка видов (Барина и др., 2006). В

нашем исследовании такая закономерность подтверждается (таблица 5.1.2): 12 ведущих по видовому разнообразию родов объединяют 108 (52 %) выявленных видов. В водорослевых сообществах обследованных водных объектов по числу видов (без учета диатомовых) преобладают представители родов *Cosmarium*, *Scenedesmus*, *Staurastrum*, *Closterium* (таблица 5.1.2). Ранее названные роды относились к одному семейству – *Desmidiaceae*, в настоящее время являются представителями *Scenedesmaceae*, *Closteriaceae*, *Desmidiaceae*. Несмотря на изменение систематики, десмидиевые по числу видов преобладают. Доминирующими семействами (без учета диатомовых) являются *Desmidiaceae* (46), *Scenedesmaceae* (16), *Nostocaceae* (14), *Aphanizomenonaceae*, *Closteriaceae*, *Selenastraceae* (по 9), *Merismopediaceae* (8 видов) (таблица 5.1.3), что согласуется с результатами других авторов (Гецен, 1973; Продуктивность..., 1976; Флора и фауна..., 1978; Альгофлора..., 1994; Структурно-функциональная..., 1994; Биоразнообразие..., 2007; Биологическое разнообразие..., 2010). Полученные данные подтверждают известную особенность низкоминерализованных и слабощелочных вод, а также испытывающих влияние значительной заболоченности территории – так называемую, «десмидиевость» флоры (Гецен, 1973). Известно, что данная группа является высокоиндикаторной для условий Большеземельской тундры и других районов (Природная среда тундры..., 2005; Solak, Ács, 2011). Среди отмеченных нами видов десмидиевых есть обитатели чистых вод – олигосапроб *Staurastrum muticum*, и, напротив, типичные представители реофильного комплекса, которые часто встречаются в затронутых деятельностью человека водоёмах – *Cosmarium botrytis*, *Euastrum bidentatum*, *Cosmarium formosulum*, *Closterium ehrenbergii*. Наибольшей встречаемостью в обследованных водных объектах характеризуются *Pediastrum boryanum* (33,32 %), *Spirogyra* sp. (29,40 %), *Cosmarium formosulum* (27,44 %), *Tribonema minus* (25,48 %), *Dolichospermum flos-aquae* (23,54 %), *Nostoc caeruleum* и *N. paludosum* (по 21,56 %), *Closterium leibleinii*, *Cosmarium botrytis*, *Staurastrum gracile* (по 19,6 %), *Chaetophoropsis elegans*, *Cosmarium reniforme*, *Pediastrum duplex* (по 17,64 %), *Scenedesmus acutiformis*, *S. ellipticus*, *S. quadricauda*, *Messastrum gracile*, *Ulothrix zonata* (по 15,68 % от общего числа проб).

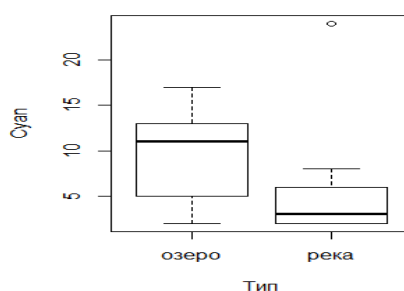


Рисунок 5.1.3. Непараметрический ранговый критерий Манна-Уитни для Cyanoprokaryota по числу видов для озёр и рек исследованного района.

Таблица 5.1.2

**Ведущие роды в водорослевых сообществах обследованных водных объектов
(за исключением диатомовых)**

Род	Число видов	Место по количеству видов
<i>Cosmarium</i>	25	1
<i>Staurastrum</i>	14	2
<i>Scenedesmus</i> s.l. (+ <i>Desmodesmus</i>)	11	3
<i>Closterium</i>	9	4
<i>Anabaena</i>	8	5
<i>Nostoc</i>	7	6
<i>Dolichospermum</i>	6	7-8
<i>Monoraphidium</i>	6	7-8
<i>Dinobryon</i>	5	9-10
<i>Spirogyra</i>	5	9-10
Другие роды (76)	110	–

Таблица 5.1.3

**Ведущие семейства в водорослевых сообществах обследованных водных объектов
(за исключением диатомовых)**

Семейство	Число видов	Место по количеству видов
<i>Desmidiaceae</i>	46	1
<i>Scenedesmaceae</i>	16	2
<i>Nostocaceae</i>	15	3
<i>Closteriaceae</i>	9	4-5
<i>Selenastraceae</i>	9	4-5
<i>Aphanizomenonaceae</i>	8	6-8
<i>Merismopediaceae</i>	8	6-8
<i>Zygnemataceae</i>	8	6-8
<i>Phormidiaceae</i>	6	9-11
<i>Pseudanabaenaceae</i>	6	9-11
<i>Rivulariaceae</i>	6	9-11
<i>Dinobryaceae</i>	5	12-13
<i>Hydrodictyaceae</i>	5	12-13
Другие семейства (33)	59	–

В эпилимне абсолютным доминантом являлась цианопрокариота *Nostoc caeruleum* (приложение 6 - рисунок 2). Показатели численности и биомассы в исследованных озерах изменялись в пределах от 108 тыс. до 525 тыс. кл/дм³, биомасса от 0.011 до 0.25 мг/дм³, что соответствует слабой степени «цветения». Численность планктона в период «цветения» может достигать 1.5-20 млн кл/дм³, цианопрокариоты формируют до 20-80 % биомассы, в основном их развитие происходит с середины июля до начала сентября (Тикушева, Патова, 2013).

Представленные результаты подтверждают общие закономерности, характерные для Большеземельской тундры и районов Крайнего Севера в целом, которые описаны в разделе 1.1

настоящей работы. Флористический состав водорослевых группировок отображает природные особенности исследованных водоемов: заболоченные водосборы, холодные воды с низкой минерализацией, бедный ионный состав, невысокое содержание биогенных элементов и органических веществ.

Для прогноза изменений водных объектов в условиях антропогенного загрязнения на основе альгоиндикации (оценки трансформации альгоценозов, выявлении индикаторных групп и таксонов водорослей) важны понимание структуры водорослевых группировок ненарушенных водных объектов, выявление критериев оценки, сопоставление с которыми в отношении аналогичных по природно-климатическим условиям водоёмов, позволяет судить об изменении альгоценозов. В таблице 5.1.4 представлена систематическая структура альгофлор 13 водных объектов бассейна р. Кара. Обследованные реки и озера проявляют широкий спектр различных условий для развития водорослей, соответственно в значительной степени варьируют видовое богатство их альгоценозов и доминантные комплексы видов (таблицы 5.1.4, 5.1.5, рисунки 5.1.4, 5.1.5).

Таблица 5.1.4

**Систематическая структура альгофлор водных объектов бассейна реки Кара
(за исключением диатомовых)**

Обследованные водные объекты	Отделы, число видов водорослей							
	Cyanoprokaryota	Rhodophyta	Dinophyta	Euglenozoa	Ochromophyta	Chlorophyta	Streptophyta	Всего
все водные объекты	66	4	2	3	11	57	63	206
р. Силова-Яха	24	3	0	0	3	17	20	67
р. Хальмерью	3	0	0	0	2	5	7	17
оз. Хальмерты	13	2	1	0	0	6	6	28
оз. Круглое	9	0	1	0	0	13	17	40
оз. Тройное	16	0	0	0	2	24	19	61
оз. № 3	4	0	0	0	0	0	0	4
оз. № 4	3	0	0	0	0	10	15	28
оз. № 5	2	0	0	0	0	0	0	2
р. Кара (фон)	8	1	0	0	0	13	10	32
р. Кара (импакт)	2	0	0	0	0	5	8	15
р. Б. Лядгей (фон)	3	0	0	0	1	2	0	6
р. Б. Лядгей (импакт)	4	0	0	0	0	8	3	15
р. Нярма (фон)	2	0	0	0	0	6	4	12
р. Нярма (импакт)	2	2	0	0	0	3	0	7
оз. Б. Манясейто	17	0	0	0	8	10	30	65
оз. Коматы	11	0	0	3	1	6	11	32
оз. № 1	10	0	0	1	0	22	8	41

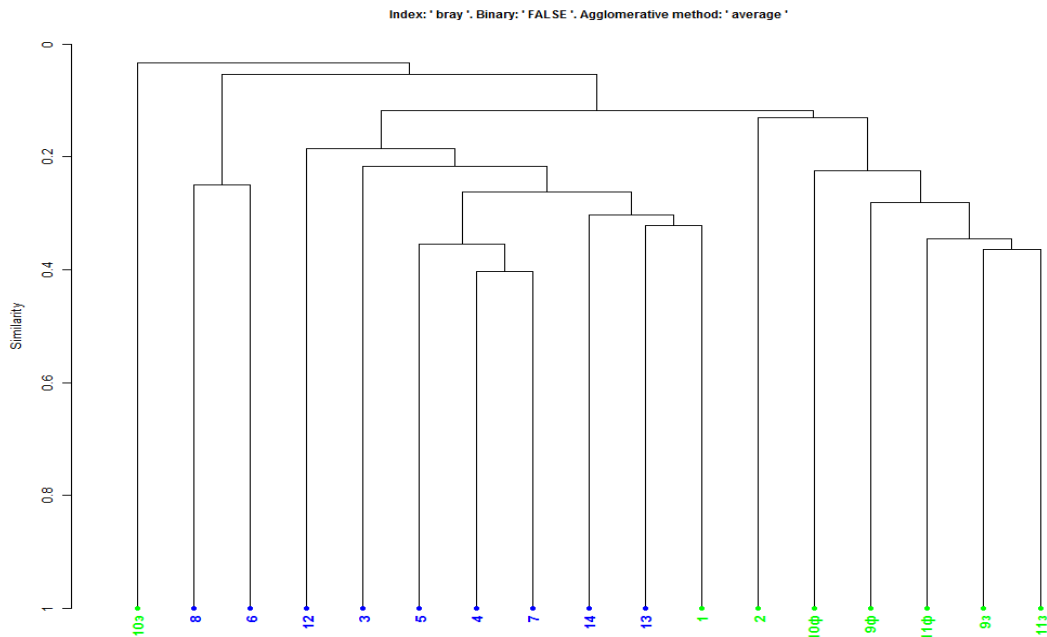


Рисунок 5.1.4. Дендрограмма сходства видового состава альгоценозов обследованных водных объектов (без учета диатомовых) на основе качественного коэффициента Сьеренсена-Чекановского (K_{sc}) с использованием минимального расстояния

Примечание: 1 – р. Силоваяха, 2 – р. Хальмерью, 3 – оз. Хальмерты, 4 – оз. Круглое, 5 – оз. Тройное, 6 – оз. № 3, 7 – оз. № 4, 8 – оз. № 5, 9з – р. Кара, ниже моста, 9ф – р. Кара, выше моста, 10з – р. Нярма, ниже моста, 10ф – р. Нярма, выше моста, 11з – р. Б. Лядгей, ниже моста, 11ф – р. Б. Лядгей, выше моста, 12 – оз. Б. Манясейто, 13 – оз. Коматы, 14 – оз. № 1. На ребрах графа отмечены значения K_{sc} .

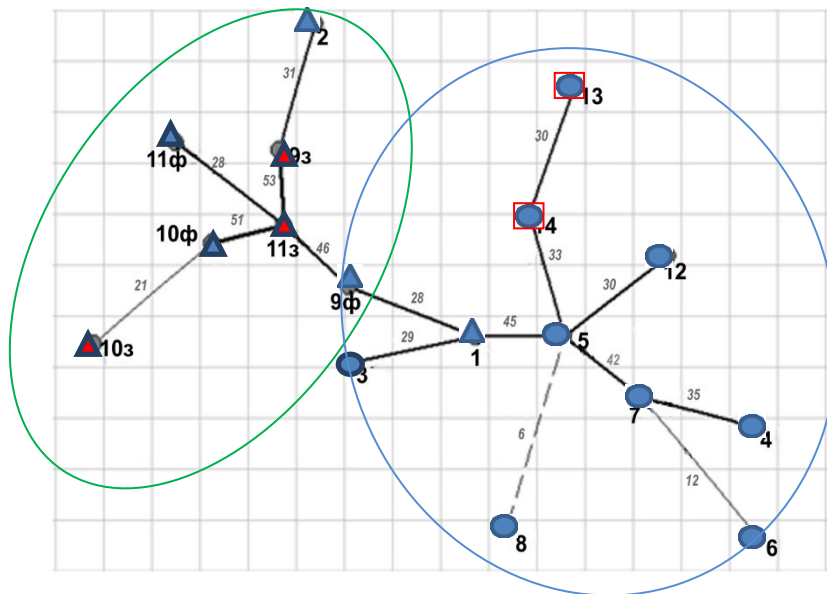


Рисунок 5.1.5. Дендрит сходства видового состава альгоценозов обследованных водных объектов (без учета диатомовых) на основе качественного коэффициента Сьеренсена-Чекановского (K_{sc})

Условные обозначения: те же, что и на рисунке 5.1.4. На ребрах графа отмечены значения K_{sc} . Реки отмечены треугольниками (включены в зеленый овал), озера – кругами (включены в синий овал).

Проведенные исследования показали высокое видовое богатство водорослей рек и озер данного района. Во всех пробах альгологического материала наблюдали доминирование диатомовых водорослей, приспособленных к обитанию в холодных, низкоминерализованных и бедных биогенами водах (приложение 6 – рисунок 3). При этом также распространены виды-обитатели северных районов из десмидиевых, зеленых и синезеленых водорослей. Несмотря на то, что видовой состав доминирующих комплексов типичен для водоемов высокоширотных регионов, не испытывающих антропогенного воздействия, под влиянием строительства и эксплуатации объектов магистрального газопровода проявляются изменения в структуре альгоценозов – они проанализированы в разделе 5.2.

Таблица 5.1.5

**Доминантные комплексы видов
для обследованных водных объектов бассейна р. Кара**

Водный объект	Доминантный комплекс видов (за исключением диатомовых) – виды, преобладающие по встречаемости	
	доминанты	субдоминанты
оз. Б. Манясейто	В перифитоне: <i>Cosmarium reniforme</i> , <i>C. subcostatum</i> , <i>C. subprotumidum</i> , <i>Staurastrum muticum</i> – обрастания растений (лютик, арктофилла); <i>Ulothrix zonata</i> – на камнях	<i>Euastrum elegans</i> , <i>Staurastrum gracile</i> – обрастания растений
	В планктоне: <i>Dinobryon divergens</i> – на поверхности; этот же вид и <i>Tribonema minus</i> – на глубине 9-10 м	<i>Dinobryon cylindricum</i> – на глубине 9-10 м
	Бентос – не исследован	
оз. № 1	На дне и обрастаниях растений - <i>Nostoc paludosum</i> , <i>Pediastrum boryanum</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Trachelomonas volvocina</i>
	В планктоне - <i>Trachelomonas volvocina</i>	-
оз. Коматы	В перифитоне: <i>Dolichospermum lemmermannii</i> , <i>Nostoc paludosum</i> – в обрастаниях водных растений (осока и сабельник); <i>Anabaena oscillarioides</i> f. <i>oscillarioides</i> , <i>Nostoc caeruleum</i> – на камнях	<i>Cosmarium botrytis</i> , <i>Tolypothrix tenuis</i> – в обрастаниях водных растений <i>Nostoc paludosum</i> – на камнях
	В планктоне: <i>Dolichospermum lemmermannii</i>	<i>Nostoc paludosum</i>
р. Кара, ниже моста	На камнях – <i>Nostoc caeruleum</i> , <i>Tetraspora cylindrica</i> , <i>Ulothrix zonata</i>	<i>Cosmarium formosulum</i> , <i>Microcoleus autumnalis</i>
р. Кара, выше моста	На камнях – <i>Tetraspora cylindrica</i> , <i>Anabaena cylindrospora</i> , <i>A. hieronymii</i> , <i>A. inaequalis</i> , <i>Spirogyra weberi</i>	<i>Cosmarium meneghinii</i> , <i>Mougeotia sp.</i> , <i>Nostoc caeruleum</i>
р. Б. Лядгей, ниже моста	На камнях – <i>Tetraspora cylindrica</i> , <i>Scenedesmus acutiformis</i> , <i>S.</i>	<i>Monoraphidium arcuatum</i>

Водный объект	Доминантный комплекс видов (за исключением диатомовых) – виды, преобладающие по встречаемости	
	доминанты	субдоминанты
	<i>quadricauda</i>	
р. Б. Лядгей, выше моста	На камнях – <i>Nostoc caeruleum</i> , <i>Tetraspora cylindrica</i> , <i>Ulothrix tenerrima</i>	<i>Anabaena oscillarioides</i> f. <i>oscillarioides</i>
р. Нярма, ниже моста	На камнях – <i>Audouinella chalybaea</i>	-
р. Нярма, выше моста	На камнях – <i>Chaetophoropsis elegans</i> , <i>Ulothrix zonata</i>	<i>Closterium leibleinii</i>
р. Силова-Яха	На камнях – <i>Nostoc caeruleum</i> , <i>N. parmelioideis</i> ; В отжиме водных мхов - <i>N. caeruleum</i>	<i>Closterium tumidum</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Snowella lacustris</i>
	В планктоне доминантный комплекс не выражен	-
р. Хальмерью	На камнях – <i>Chaetophora tuberculosa</i> , <i>Spirogyra gracilis</i> , <i>Spirogyra</i> sp.	<i>Staurostrum punctulatum</i> , <i>Ulothrix zonata</i>
оз. Тройное	В обрастаниях осоки – <i>Microcystis flosaquae</i> , <i>Snowella lacustris</i>	<i>Cosmarium formosulum</i> , <i>Cosmarium turpinii</i> , <i>Scenedesmus acutus</i>
	В планктоне – <i>Dolichospermum flos-aquae</i> , в зоне «цветения» - <i>Dolichospermum lemmermannii</i> , <i>Tribonema</i> sp.	<i>Ankyra</i> cf. <i>ancora</i> , <i>Pseudocharacium acuminatum</i>
оз. № 3	В зоне «цветения» в планктоне – <i>Dolichospermum flos-aquae</i> и <i>D. lemmermannii</i>	
оз. Круглое	В обрастаниях водных растений (арктофила) – <i>Bulbochaete</i> sp.	<i>Cosmarium botrytis</i>
	В планктоне в зоне «цветения» – <i>Dolichospermum flos-aquae</i> и <i>D. lemmermannii</i>	
оз. № 4	В зоне «цветения» в планктоне – <i>Dolichospermum flos-aquae</i> и <i>D. lemmermannii</i> . В обрастаниях водных растений (осока) – <i>Cosmarium botrytis</i> , <i>C. formosulum</i>	-
оз. № 5	Не выражен	
оз. Хальмерты	В планктоне – <i>Ceratium hirundinella</i>	-
	На камнях – <i>Lemanea borealis</i>	<i>Nostoc caeruleum</i> , <i>N. paludosum</i> , <i>Rivularia borealis</i>

На дендрограмме сходства видового состава водорослевых сообществ обследованных водных объектов (рисунок 5.1.4) в общую группу включены альгоценозы озер, обследованных в качестве фоновых, проявляется близость видового состава водорослей рек, при этом водорослевые сообщества отличаются относительно невысоким видовым сходством (таблица

5.1.4, рисунок 5.1.4). На рисунке 5.1.4 водотоки объединены в общий кластер со значениями K_{sc} 46-53. Альгоценоз р. Хальмерью близок к водорослевым сообществам обследованных рек в зоне влияния газопровода (рисунок 5.1.4), а также к ценозу оз. Хальмерты (рисунок 5.1.5), с которым образует одну речную систему. В отдельную группу, мало сходную с остальными, объединены озёра Коматы и № 1 (рисунки 5.1.4, 5.1.5), испытывающие значительное антропогенное воздействие объектов магистрального газопровода (раздел 4.1, приложение 2), а также равнинная р. Силоваяха с заболоченным водосбором. Вместе с этим, дендрограмма (рисунок 5.1.4) отображает в целом различие видового состава водорослей для рек и озёр одного района исследований. В правой части дендрита сходства сгруппировались альгоценозы озёр, отдельную ветвь формируют сообщества рек.

Для водоёмов бассейна р. Кара малое родство по видовому составу водорослей, выраженное в значениях K_{sc} , также отмечено М.И. Ярушиной (Богданов и др., 2004). Для Большеземельской тундры наибольшие коэффициенты сходства характерны для более чистых участков водных объектов (Гецен, 1985). По нашим результатам наиболее сходны водорослевые сообщества, сгруппированные по типам водоёмов.

Кроме того, водорослевые сообщества, имеющие общие черты, о которых будет отмечено в эколого-географическом анализе, представленном в настоящем разделе, в значительной степени (по числу видов и форм водорослей) сформированы случайными видами (приложение 5). Из 206 видов водорослей только 31 вид имеет показатель встречаемости более 10 %, при этом 95 видов (46 % от общего числа выявленных видов) отмечено только в одной альгологической пробе. Это удостоверяет экологическую закономерность о небольшом числе часто встречающихся в природных условиях видов, отражая важную роль в их отборе факторов среды (Гецен, 1985). Вместе с этим, состав доминантных видов в близких местообитаниях различных арктических водоёмов сходен (Флора и фауна..., 1978), что также подтверждают полученные нами данные (таблица 5.1.5).

Эколого-географический анализ. В общей структуре альгоценозов обследованных водных объектов по географическому распространению преобладают космополиты (89 %), доля других групп составляет: 7 % – арктобореальные виды, по 3 % – арктомонтанные и бореальные виды, 1 % – арктические виды водорослей, соотношение географических групп представлено на рисунке 5.1.6. Полученные результаты соответствуют данным других авторов (Гецен, 1985; Структурно-функциональная организация..., 1994; Альгофлора..., 1994). Арктический компонент представлен *Calothrix parietina*. Значительно участие арктомонтанных видов (распространены как в Арктике, так и горах, высоких их поясах): *Chroococcus cohaerens*, *Gloeocapsa alpina*, *Tolypothrix lanata*, *Woronichinia compacta*, *Staurostrum anatinum*, *S. pelagicum*, *Tolypella canadensis*, *Staurodesmus spetsbergensis*, *Spondylosium planum*, два последних из них

достигают значительного обилия (приложение 5). Среди арктобореальных видов отмечены *Anabaena inaequalis*, *Nostoc caeruleum*, *Tolypothrix tenuis*, *Lemanea borealis*, *Tribonema vulgare*, отличающиеся высокой встречаемостью в обследованных водных объектах (таблица 5.1.6; приложение 5). Бореальный компонент представлен *Anabaena aequalis*, *Dolichospermum lemmermannii*, *Cyanosarcina chroococcoides*, *Coenocystis subcylindrica*, *Staurastrum botrophilum*.

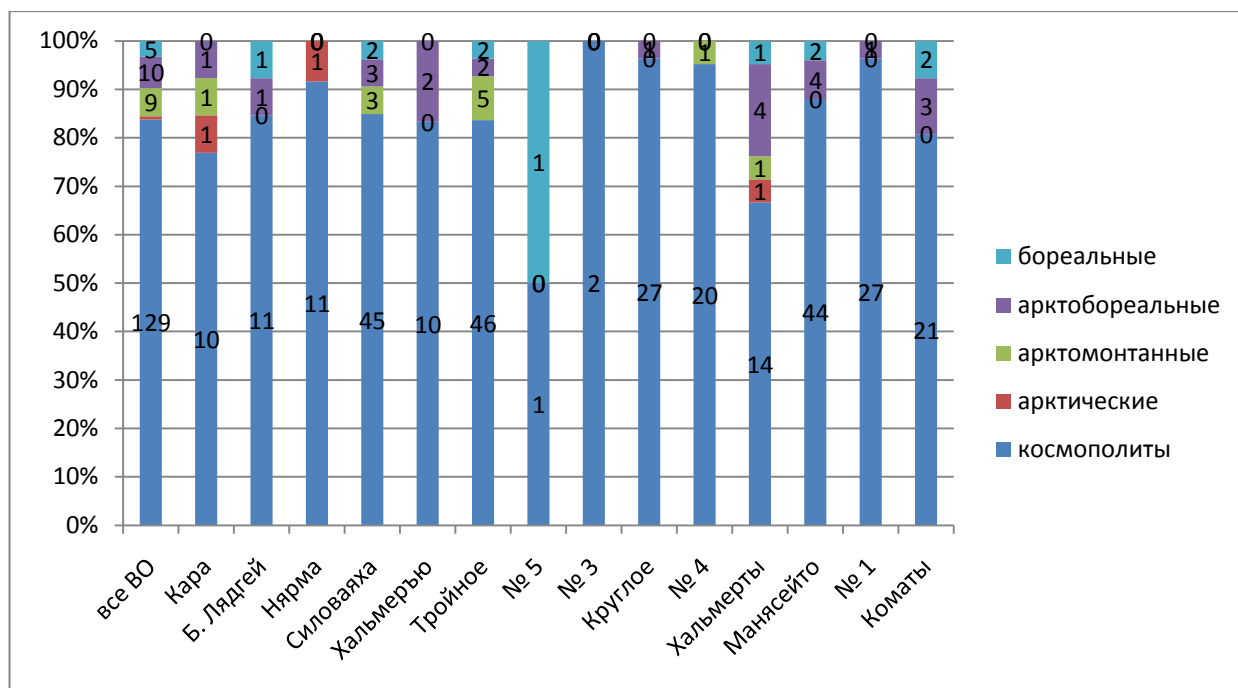


Рисунок 5.1.6. Соотношение географических групп водорослей
Примечание: ВО – водные объекты

По району распространения треть водорослей обследованных водных объектов бассейна р. Кара относятся к видам с космополитным (19 %) и голарктическим (13 %) ареалами, также отмечены циркумполярные, биполярные, европейские, еврозиатские и палеотропические виды (рисунок 5.1.7). По данным Н.А. Бондаренко (2009) для Восточной Сибири меньше всего космополитов в горных озерах (60 %). Обследованные нами горные озера не проявляют такую особенность (рисунок 5.1.5).

Соотношение водорослей обследованных водных объектов бассейна р. Кара по показателю сапробности представлено на рисунке 5.1.8, а также в разделе 5.2 на рисунках 5.4.4-5.4.6. Сапробность является функцией потребности организма в органическом питании, а также и устойчивости к возникающим при разложении органики веществам – сероводороду, аммиаку, водородным ионам, органическим кислотам, последствию загрязнений – дефициту кислорода (Снитько, 2009). В водных объектах бассейна р. Кара отмечено преобладание β -мезосапробов (33 %), что является зональным признаком в связи с большой заболоченностью территории водосбора рек Большеземельской тундры. Вместе с этим, обследованные водные объекты можно охарактеризовать как чистые. В структуре альгоценозов значительна доля α - β , (β - α)-

мезосапробов, о-α-мезосапробов и олигосапробов (рисунок 5.1.7). Доминантные комплексы видов для обследованных водных объектов (таблица 5.1.6) в основном представлены β-мезосапробами – водорослями родов *Nostoc*, *Anabaena*, *Dolichospermum*, *Snowella*, *Scenedesmus*, *Cosmarium*, а также о-α-, о-β-мезосапробами (*Ulothrix zonata*, *Cosmarium formosulum*, *Staurastrum punctulatum*), о-χ-сапробами (*Cosmarium turpinii*). Доминирование анабен с конца июля до сентября характерно в целом для озер Большеземельской тундры и других заполярных регионов, оно приходится на период истощения ресурсов водной среды по питательным веществам (Гецен, 1985). В исследованных водных объектах полисапробы, являющиеся индикаторами загрязненных вод, не отмечены.

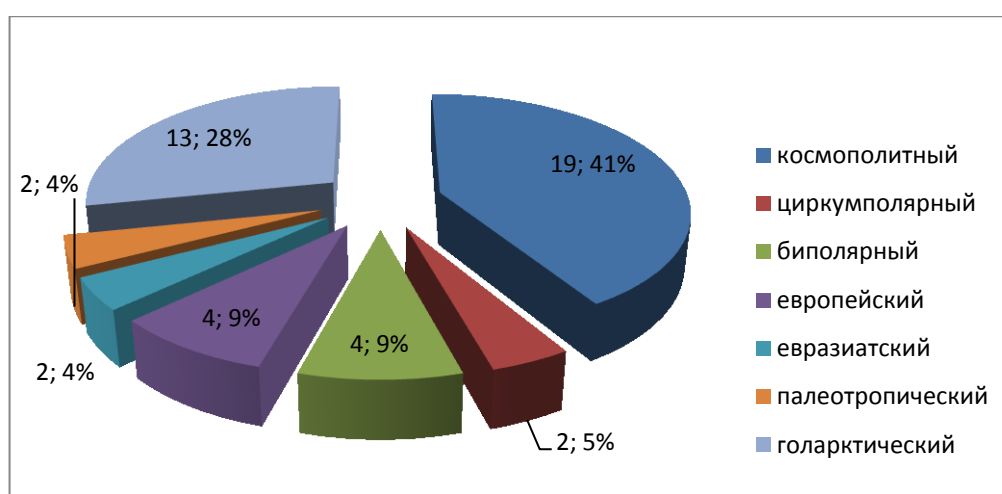


Рисунок 5.1.7. Соотношение водорослей обследованных водных объектов бассейна р. Кара по ареалу распространения

По составу водорослей-биоиндикаторов органического загрязнения, исследованные водоемы можно охарактеризовать как чистые и очень чистые, что соответствует данным гидрохимического анализа. Раздел 5.2 настоящей работы содержит анализ изменения показателя сапробности под влиянием строительства и эксплуатации объектов магистрального газопровода.

Рассчитанные А.С. Стениной (Патова и др., 2014а) с использованием диатомовых и остальных групп водорослей индексы сапробности колеблются в водных объектах в пределах 1.80-2.03, что соответствует III классу качества воды, или бетамезосапробной зоне с умеренным загрязнением легко окисляемыми органическим веществами. Для сравниваемых участков рек (фоновое и импактного) индексы сапробности составляют следующие величины: р. Кара – 1.85-1.89, р. Б. Лядгей – 1.88-1.90, р. Нярма – 2.02-2.03, для оз. Коматы – 1.80, оз. № 1 – 1.87.

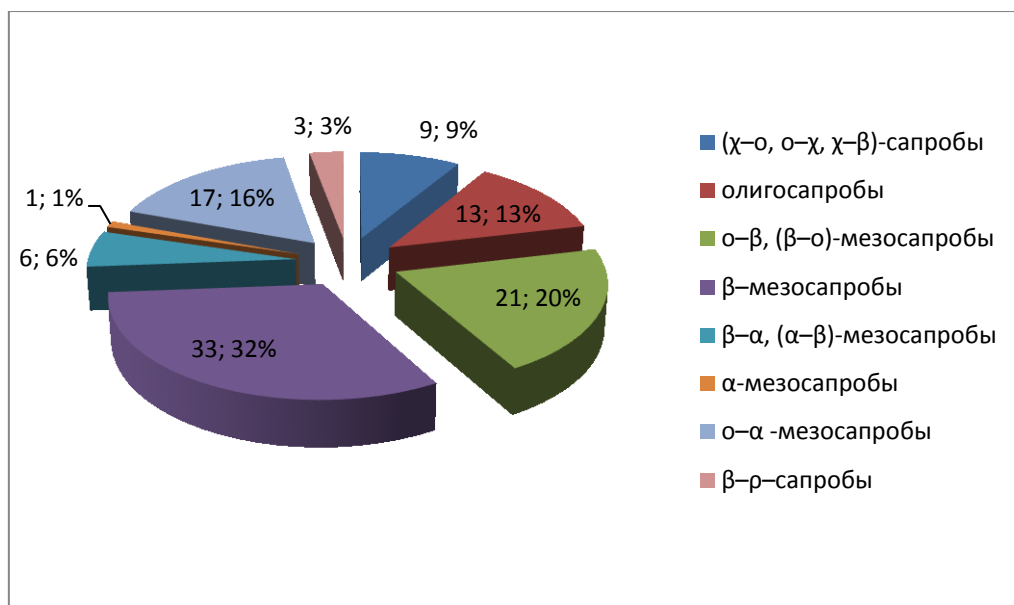


Рисунок 5.1.8. Структура альгоценозов по соотношению экологических групп водорослей (за исключением диатомовых) по показателю сапробности.

Положение по шкале галобности известно для 40 таксонов (приложение 5), три четверти из которых приходится на долю олигогалобов-индифферентов (рисунок 5.1.9), что характерно для низкоминерализованных вод, соответствует данным для других районов Крайнего Севера (Комулайнен и др., 2011, 2013). Олигогалобы-галофобы с высокой встречаемостью отмечены в р. Силоваяха, оз. Тройное и Круглое, олигогалооб-галофоб *Cosmarium reniforme* является доминантом по численности в горном оз. Б. Манясейто, что является показателем чистоты его вод (приложение 6, рисунок 4). Среди галофилов доминантных видов не отмечено.

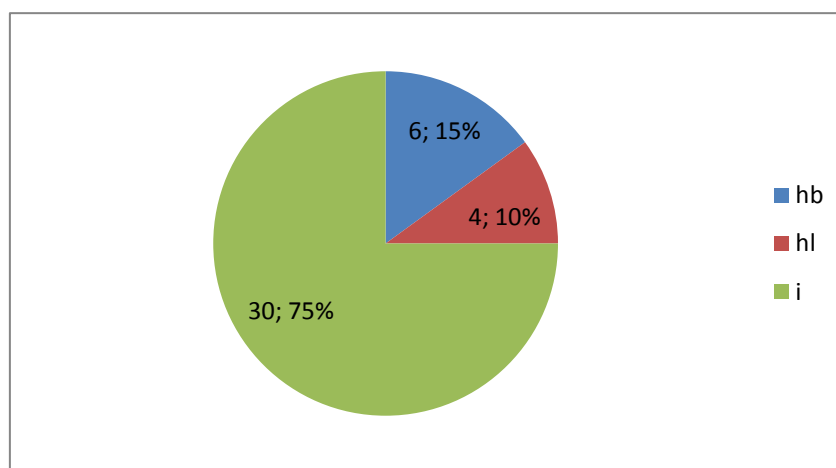


Рисунок 5.1.9. Соотношение водорослей обследованных водных объектов бассейна р. Кара по показателю галобности

Примечание: i – олигогалооб-индифферент, hl – олигогалооб-галофил, hb – олигогалооб-галофоб.

Индикаторов ацидификации (рН-приуроченности) – 16 видов (приложение 5), преобладают индифференты и/или нейтрофилы (10), что соответствует данным других авторов

(Флора и фауна..., 1978; Гецен, 1985; Природная среда тундры..., 2005; Биологическое разнообразие..., 2010). Алкалифил *Audouinella chalybaea* доминирует в импактной зоне р. Нярма, алкалифил *Chantransia* sp. с высокой встречаемостью отмечена в р. Силоваяха близ заброшенной шахты – данные виды при массовом развитии могут свидетельствовать об антропогенном подщелачивании водных объектов относительно ненарушенных природных аналогов. Среди ацидофилов отмечены *Aphanocapsa grevillei* в оз. Коматы, испытывающем значительное антропогенное загрязнение от компрессорной станции газопровода, и *Closterium tumidulum*, которые не достигает массового развития, но являются видами с высокой встречаемостью в обследованных водных объектах (приложение 5).

По приуроченности к местообитанию (приложение 5; рисунок 5.1.10) в обследованных водных объектах преобладают планктонно-бентосные виды (58 %), на долю планктонных приходится 40 %, бентосных – 22 %, эпифитов – 3 %. Указанные соотношения для каждой реки или озера индивидуальны (рисунок 5.1.9), что определяется условиями экотопа в месте отбора проб водорослей: реологическими свойствами, особенностями субстрата, формирующего дно водного объекта, наличием или отсутствием водной растительности, мхов. Приуроченность к местообитанию можно сопоставить с данными в отношении 55 видов-индикаторов реофильности (приложение 5): 76 % составляют индикаторы стояче-текучих вод и/или индифференты, 20 % - стоячих вод, 4 % - текучих.

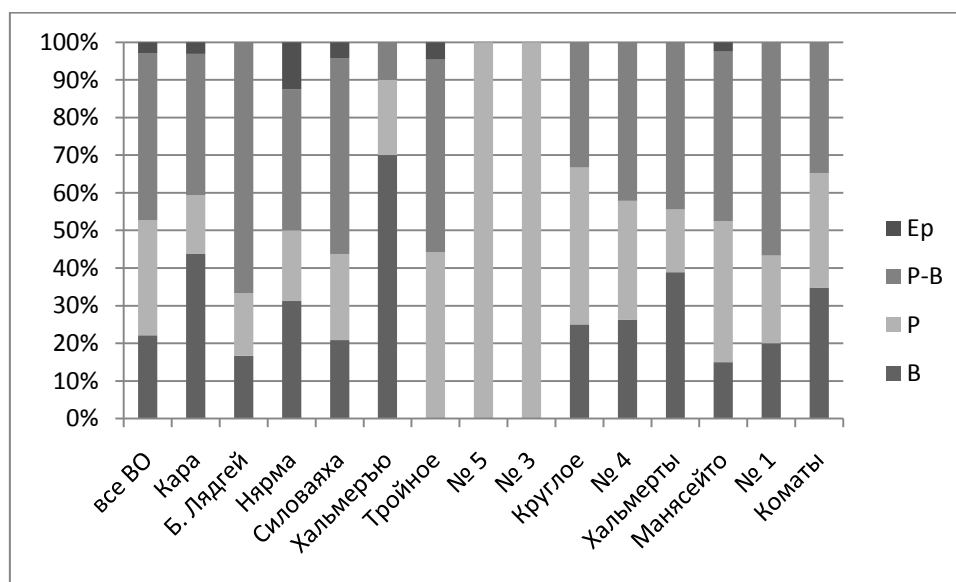


Рисунок 5.1.10. Соотношение водорослей обследованных водных объектов бассейна р. Кара по приуроченности к местообитанию

Примечание: ВО – водные объекты.

Таким образом, основу альгоценозов формируют экологически лабильные виды, способные обитать в широком интервале условий среды, что обусловлено природными

особенностями водных объектов Полярного Урала и Большеземельской тундры: короткий вегетативный период, прогревание и перемешивание водных масс на всю глубину, отсутствие температурной стратификации в большинстве водоёмов, заболоченные водосборы, различные субстраты и гидрологический режим разных участков рек. Вместе с этим, нами отмечены виды, которые при массовом развитии или высоких показателях встречаемости могут являться индикаторами антропогенного загрязнения (данные обобщены в разделе 5.2).

Интересны находки редких видов *Tolypothrix saviczii* (приложение 6 – рисунок 11), *Nostoc pruniforme*, *Stigonema mamilosum* (приложение 6 – рисунки 5, 7), в северных водоемах иногда достигающие массового развития (Комулайнен и др., 2011, 2013), а также обитателя чистых вод, который встречается в моховых ассоциациях (Патова, 2005) – *Fischerella muscicola* (приложение 6 – рисунок 6). Из водорослей, занесенных в Красную книгу Республики Коми, отмечены: красные водоросли *Batrachospermum gelatinosum* (в оз. Хальмерты) и *Lemanea borealis* (в эпилимне оз. Хальмерты, р. Силова-Яха – приложение 6, рисунок 9), очень редкая харовая водоросль *Tolypella canadensis* (оз. Хальмерты – приложение 6, рисунок 10). Можно отметить золотистую водоросль *Hydrurus foetidus* (реки Силова-Яха, Б. Лядгей (выше моста), оз. Манясейто) – вид занесен во многие региональные Красные книги (приложение 6 – рисунок 8), в водоёмах исследованной территории развивается в массе в горных и каменистых ручьях, с очень чистой водой, здесь угрозы его исчезновения на данном этапе нет. Необходима охрана популяций этих видов.

Среди выявленных водорослей рекомендуется для включения в Красную книгу Республики Коми *Chaetophora tuberculosa* (Roth) C. Agardh (синоним *Rivularia tuberculosa* Roth) – хетофора бугорчатая (приложение 6 – рисунок 12). Описание вида: слоевище бородавчатое или узелковое, зеленое; микроскопические нити, погруженные в твердую слизистую оболочку, попеременно или дихотомически разделенные, выходящие радиально от общего центра, базальная система не ризоидная, самые верхние нити плотно сомкнуты и все заостряются слегка к острой вершине или более редко, оканчивающиеся в многоклеточные нити. Вегетативные клетки (3-)8-9 × 15-54 мкм. Зооспоры тетрафлагеллатные; 5-7 × 9-11 мкм (Phadnis, Iyer, 2016). Обитает в ручьях, прикрепляется к каменистым субстратам с помощью слизи. Вид встречается как в чистых водах, так и антропогенно измененных, в частности, был отмечен в водоёмах в районе добычи полезных ископаемых (Chavhan, 2016). Нами *Chaetophora tuberculosa* отмечена только в одной пробе, как доминант в р. Хальмерью, на участке рядом с заброшенной шахтой (приложения 3, 5).

Высокое разнообразие водорослей в реках и озёрах обследованной территории, а также присутствие редких, в том числе охраняемых видов водорослей, в качестве доминантов

сообществ в ряде исследованных водоёмов подчеркивает необходимость организации охраны данных водных объектов.

Нами исследовано распределение видового разнообразия водорослей при разном сочетании экологических факторов, в частности, рек и озёр, посредством NMS-ординации с использованием программы ExStatR для разных типов водоёмов (рисунок 5.1.11).

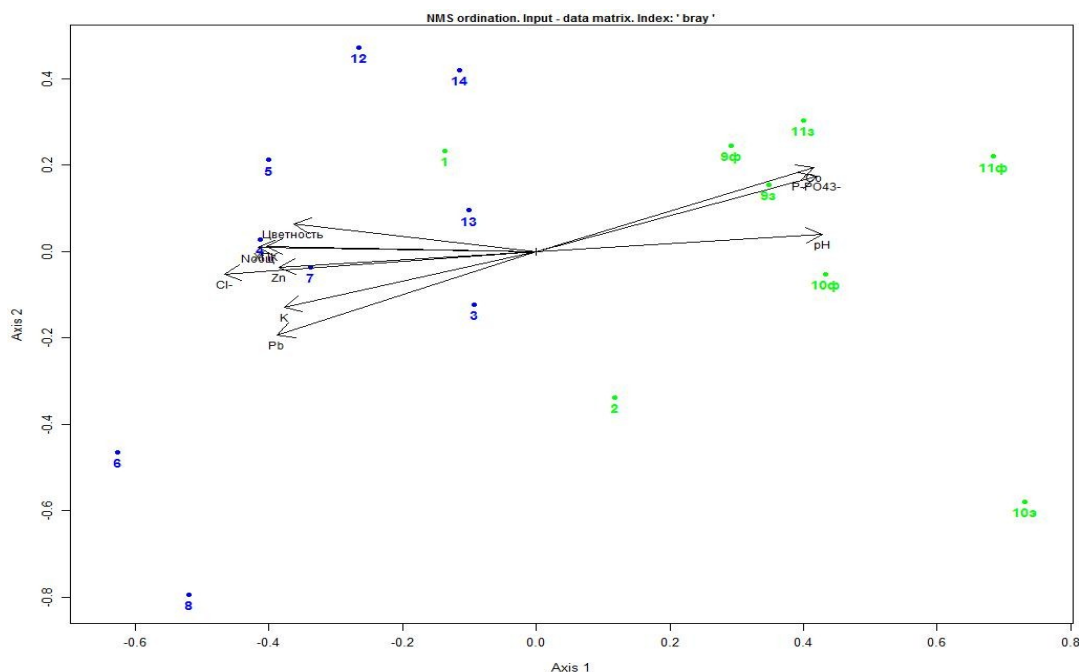


Рисунок 5.1.11. NMS-ординация водных объектов по видовому разнообразию водорослей с учетом гидрохимических показателей

Примечание: 1 – р. Силоваяха, 2 – р. Хальмерью, 3 – оз. Хальмерты, 4 – оз. Круглое, 5 – оз. Тройное, 6 – оз. № 3, 7 – оз. № 4, 8 – оз. № 5, 9з – р. Кара, ниже моста, 9ф – р. Кара, выше моста, 10з – р. Нярма, ниже моста, 10ф – р. Нярма, выше моста, 11з – р. Б. Лядгей, ниже моста, 11ф – р. Б. Лядгей, выше моста, 12 – оз. Б. Манясейто, 13 – оз. Коматы, 14 – оз. № 1.

Зеленым цветом выделены реки, синим озера. Для оси 1 – интерпретировано распределение по гидрологическому режиму (проточности и скорости течения водных объектов), которая проявляется в направлении от озёр к горным водотокам. Ось 2 не интерпретирована.

Ведущими факторами по результатам NMS-ординации в отношении озёр являются содержание общего азота, уровня гумификации (показателя цветности), содержание хлорид-иона (его значения достоверно выше для бассейна р. Силова-Яха – рисунок 4.2.2), свинца, цинка, калия, которые оказывают достоверно значимое отрицательное влияние на видовое богатство водорослей. Эти факторы влияют на повышение уровня сапробности водоёмов, могут вызывать антропогенное эвтрофирование и цветение воды. В результате формируются маловидовые сообщества с доминированием по биомассе отдельных видов (таблица 5.1.5). Цинк, калий, хлор являются неорганическими биогенными элементами, играющими важную роль в метаболизме водорослей (Саут, Уитик, 1990). Существенное изменение их концентрации

в водной среде может приводить к трансформации видового разнообразия – выпадению отдельных видов водорослей либо угнетению их развития.

Как показала NMS-ординация (рисунок 5.1.11), для рек в горной местности достоверно значимыми положительно влияющими факторами на видовое богатство альгоценозов являются уровень pH, фосфат-иона и кобальта. Их большее количество в проточных водоёмах, возможно, связано с вымыванием солей из горных пород. Фосфор относится к основным биогенным элементам, кобальт входит в состав витамина B₁₂ и участвует в энергетическом обмене при фотосинтезе (Саут, Уитик, 1990). При этом повышение содержания фосфат-иона достоверно показано (с применением непараметрического рангового критерия Манна-Уитни) в водоёмах бассейна р. Кара (в предгорьях Полярного Урала) по сравнению с водными объектами бассейна р. Силова-Яха (рисунок 4.2.2), что, по-видимому, является природной особенностью, а не проявлением антропогенного влияния. Содержание фосфора можно отнести к экологически значимым факторам, лимитирующим развитие водорослей (в разделе 4.2 настоящей работы имеются данные о значении фосфора для водных сообществ). Для низкоминерализованных речных вод района исследований, в первую очередь, для водных экосистем Полярного Урала, увеличение содержания фосфора стимулирует развитие водорослей. Легкое подщелачивание вод также положительно влияет на видовое богатство альгоценозов северных рек. Вместе с этим, резкое повышение pH приводит к угнетению развития водорослей (Особенности структуры..., 1994).

Полученные данные NMS-ординации согласуются с невысокими коэффициентами сходства (рисунки 5.1.4, 5.1.5) видового состава обследованных водных объектов, что определяются разнообразием факторов, под действием которых формируются альгоценозы – различие естественных условий местообитаний, степень антропогенной нагрузки.

5.2. Показатели биологического разнообразия сообществ водорослей

Показатели биологического разнообразия сообществ водорослей представлены в таблице 5.2.1. Полученные индексы видового разнообразия, как для фоновых, так и загрязнённых водоемов указывают на невысокое разнообразие сообществ водорослей в целом для исследованного региона, что объяснимо суровостью климатических условий и бедностью вод биогенными элементами. При этом показатели большинства индексов для исследованных водотоков и озёр в фоновых и антропогенно загрязнённых условиях также имеют различия.

Для водотоков наиболее низкие показатели равномерности распределения видов и большая степень доминирования отдельных видов отмечены в условиях загрязнения (таблица 5.2.1), для озёр такая тенденция не прослеживается. По индексам видно, что сообщества

фитопланктона рек в фоновых условиях более выровненным, и бета-разнообразие увеличивается и снижается степень доминирования. Уменьшение разнообразия фитопланктонных сообществ в условиях воздействия объектов газопровода показывают также индексы Бергера-Паркера и Шелдона. Сравнение выровненности сообществ по индексам Пиелоу, Шелдона не показало заметных различий структурного разнообразия.

Таблица 5.2.1

**Распределение значений индексов разнообразия водорослей
для исследованных водотоков и озер**

Индексы	Реки								Озера							
	р. Кара (фон. участок)	р. Кара (импакт. участок)	р. Б. Лядгей (фон. участок)	р. Б. Лядгей (импакт. участок)	р. Нярма (фон. участок)	р. Нярма (импакт. участок)	р.Силовояха	р. Хальмерью	оз. Б. Манясейто	оз. Коматы	оз. Хальмерты	оз. Тройное	оз. № 3	оз. Круглое	оз. № 4	оз. №1
Шеннона-Уивера, H	1,39	1,05	0,78	1,07	0,95	0,74	1,76	1,11	1,71	1,40	1,35	1,69	0,65	1,54	1,35	1,52
Выровненность, E	0,92	0,89	0,92	0,91	0,88	0,87	0,96	0,91	0,94	0,93	0,93	0,95	0,93	0,95	0,92	0,94
Пиелоу (Вероятность межвидовых встреч), PIE	0,95	0,89	0,82	0,90	0,86	0,76	0,98	0,91	0,98	0,95	0,95	0,98	0,76	0,96	0,94	0,96
Симпсона, S	19,81	9,15	5,60	9,81	7,02	4,24	50,60	10,62	42,04	20,79	18,60	40,83	4,12	28,17	16,53	27,65
Шелдона, SH	4,02	2,86	2,18	2,92	2,59	2,09	5,81	3,05	5,53	4,07	3,87	5,42	1,92	4,65	3,84	4,59
Бергера-Паркера, d	0,08	0,18	0,21	0,15	0,24	0,42	0,04	0,16	0,05	0,09	0,09	0,05	0,31	0,08	0,11	0,08

5.3. Изменения таксономической структуры альгоценозов в условиях строительства и эксплуатации объектов газопровода

Для рассмотрения происходящих изменений альгоценозов с позиции системного подхода следует отметить важное свойство экосистем – стремление к поддержанию гомеостаза, под которым понимают (Реймерс, 1990) состояние их внутреннего динамического равновесия, поддерживаемое регулярным возобновлением основных ее структур, вещественно-энергетического состава и постоянной функциональной саморегуляции ее компонентов. Водоёмы с высоким качеством воды характеризуются большим разнообразием, значительным

количеством стенобионтных видов, видов с разными жизненными циклами (Свтушенко, Хижняк, 2013). Известно, что в условиях антропогенного загрязнения происходит изменение структуры альгоценозов (Гецен и др., 1991; Структурно-функциональная организация..., 1994; Альгофлора..., 1994; Баринова и др., 2009; таблица 1.2.1 настоящей работы). Установлено (Баринова и др., 2009), что структура альгоценоза, выраженная более высокими таксонами является достаточно стабильной (в течение года в одном и том же водном объекте в результате сезонных сукцессий меняются доминирующие виды водорослей, при этом их распределение по родам, отделам не поддается значительному изменению). С учетом этого рассмотрим структурные изменения альгоценозов под влиянием объектов магистрального газопровода.

Если применить к распределению видов по отделам способ построения звёздчатых диаграмм, такое представление данных позволяет увидеть характерные черты альгофлоры (Баринова и др., 2009). Нами применен данный метод для оценки изменений в условиях строительства и эксплуатации линейных сооружений, связанных с транспортировкой газа (рисунки 5.3.1 – 5.3.6). Это дает возможность при анализе структуры альгоценозов и ее изменений в результате антропогенного воздействия исключить влияние сезонной динамики видового состава, что имеет значение в нашем случае, поскольку отбор проб производился в течение нескольких лет, в период летней межени (в июле – августе, наиболее теплые месяцы в году). В целом для альгофлоры обследованных водных объектов бассейна р. Кара характерно преобладание по числу видов представителей отделов Cyanoprokaryota, Streptophyta и Chlorophyta (рисунок 5.3.1, А) – на диаграмме образуют трапецевидную или веерообразную форму, три угла которой указывают на преобладающие по разнообразию таксоны. Близки к данному типу диаграммы формы, полученные для водных объектов (их участков), не испытывающих значительное антропогенное воздействие – р. Силова-Яха, озёр Круглое, Тройное (рисунок 5.3.1, Б, В, Г), фоновых участков рек Кара и Нярма (рисунок 5.3.3, Б, В). Известно, что все систематически обширные роды экологически гетерогенны, содержат как индифферентные космополитные виды, так и более избирательные в выборе экотопов, стенобионтные к различным факторам таксоны (Гецен, 1985). В близких к естественным условиям структура ведущих родов является более-менее стабильной, при этом возможны существенные изменения видового состава (Баринова и др., 2009).

Ко второй группе можно отнести диаграммы, построенные для оз. Б. Манясейто (рисунок 5.3.2, Г) и р. Хальмерью (рисунок 5.3.3, А) – в их альгоценозах кроме вышеназванных отделов выделяется значительное участие представителей отдела Ochrophyta, при этом острый угол диаграммы указывает преобладание по числу видов, принадлежащих к Streptophyta.

Отдельную группу образуют небольшое термокарстовое оз. № 4 (рисунок 5.3.2, Б) и импактный участок р. Кара (рисунок 5.3.3, В), проявляющую сходство со второй группой,

которое выражается в наибольшей доле представителей Streptophyta, при этом отсутствуют водоросли из отдела Ochrophyta.

Для крупных озер Коматы (рисунок 5.3.2, В), Б. Манясейто (рисунок 5.3.2, Г) и Хальмерты (рисунок 5.3.3, А), предположительно ледникового происхождения (рисунок 4.1.1), диаграммы не проявляют значительного сходства. В меньшей степени, но различаются фигуры, полученные для небольших термокарстовых озер (рисунок 4.1.2), что подтверждает вывод, который сделан в разделе 5.1: для формирования видового состава водорослей водоёмов не имеет основополагающего значения происхождение их котловин и размеры озера, это ранее отмечалось и для озёр в канадской Арктике и Субарктике (Moore, 1978). Для антропогенно загрязненного термокарстового оз. № 1 (рисунок 5.3.2, А) наблюдается сходство с близкими к нему по размерам и происхождению озёрами Круглое и № 4 (рисунок 4.1.2) – в каждом из них значительно участие Cyanoprokaryota и Chlorophyta (олигогумозное термокарстовое оз. Тройное относится к этой же группе, но его структура отличается наличием видов из рода *Tribonema* отдела Ochrophyta). В отличие от трех последних из названных водоёмов, в оз. № 1 значительно снижается число видов из отдела Streptophyta, ведущими родами которого являются *Closterium*, *Cosmarium*, *Staurastrum*. Названные таксоны до недавнего времени относили к десмидиевым, их индикаторная роль известна для озёр Большеземельской тундры (таблицы 1.2.1, 5.3.1), наши исследования подтверждают следующее их свойство: экологически специализированные маловидовые рода десмидиевых в сильно загрязненных водах практически отсутствуют (Структурно-функциональная организация..., 1994; Природная среда тундры..., 2005), они выпадают из состава альгоценоза (Альгофлора..., 1994). Таким образом, анализ звёздчатых диаграмм в отношении подверженных воздействию газопровода небольшого термокарстового оз. № 1 и достаточно крупного оз. Коматы подтверждает ранее отмеченные закономерности – в условиях загрязнения происходит изменение структуры альгоценозов, в водоёмах происходит выпадение экологически специализированных видов из отдела Streptophyta, представителей родов *Closterium*, *Cosmarium*, *Staurastrum*. Аналогичные изменения структуры в антропогенно измененных условиях – сохранение видов широкого экологического и географического диапазона с утратой мало толерантных видов – подтверждают и другие авторы (Моисеенко, 2009; Моисеенко, Шаров, 2010; Евтушенко, Хижняк, 2013; Анциферова, 2015; таблица 1.2.1). Другим проявлением значительного и постоянного воздействия объектов инфраструктуры магистрального газопровода является развитие в водорослевых сообществах видов из отдела Euglenozoa (в оз. Коматы, оз. № 1), не характерных для чистых водоемов Большеземельской тундры и Полярного Урала (рисунок 5.3.2, В). Виды рода *Euglena* относят к водорослям, наиболее толерантным к сильному загрязнению водоёмов (Hosmani, 2013).

Полученные нами данные подтверждают общеэкологические закономерности, известные для водорослевых сообществ. Т.И. Моисеенко (2009) отмечает, что усиление стрессовых условий элиминирует или снижает численность редких видов, при этом увеличивается изобилие некоторых общих видов, несколько оппортунистических видов становятся доминантами (происходит снижение видового разнообразия и увеличение видовой доминантности), в дополнение – тренд в направлении мелкокоразмерных видов. Черты сукцессий водных экосистем крупных озер в условиях токсичного загрязнения имеют общий характер и согласуются с закономерностями типичных изменений в экосистемах под воздействием любых стрессовых условий. Эти же тенденции отмечают и другие авторы (Олексива, 1995; Борзенков и др., 2009), а также следующее: при умеренном загрязнении происходят флуктуация видового состава, угнетение воспроизводства доминантов, экстремальные колебания численности и биомассы; при повышенном загрязнении – смена доминант при репарационных или детоксикационных процессах в экосистеме, выпадение из состава части экологических группировок, повышение представленности резистентных видов, видов с короткой продолжительностью жизни и высокой репродуктивной устойчивостью, маленького размера; при наибольшем влиянии сточных вод – деструктурированность, потеря буферности, гибель живых организмов или доминирование популяции, резистентной к токсичным влияниям.

Для рек также очевидна трансформация видового состава водорослей в условиях воздействия газопровода (рисунок 5.3.3, Б, В, Г). В р. Кара на импактном участке относительно фонового (рисунок 5.3.3, В) в целом сокращается видовое богатство, при этом значительно уменьшается доля Cyanoprokaryota и Chlorophyta, исчезают Rhodophyta, лидирующую роль по числу видов занимают водоросли из отдела Streptophyta. В р. Нярма (рисунок 5.3.3, Б), напротив, на импактном участке появляются виды из отдела Rhodophyta, сокращается общее видовое богатство, исчезают Streptophyta, вдвое меньше – из отдела Chlorophyta. В р. Б. Лядгей (рисунок 5.3.3, Г) при первоначально низком, увеличилось видовое богатство водорослей в зоне загрязнения, в основном за счет зеленых. Структурные изменения альгоценоза импактного участка р. Б. Лядгей также проявились в исчезновении из спектра отдела Ochrophyta.

Примечательно, что не являющиеся родственными и наиболее сходными по видовому составу (согласно дендрограммам на рисунках 5.1.3, 5.1.4, построенным на основе качественного коэффициента K_{SC}) водные объекты формируют общие группы звёздчатых диаграмм (например, импактный участок р. Кара и оз. № 4), и наоборот (р. Хальмерью и оз. Хальмерты). Ранее отмечалось, что применение звездчатых диаграмм выявляет новые свойства в группе сравниваемых альгофлор, снимая одновременно проблему разновеликости списков видов (Баринова и др., 2009).

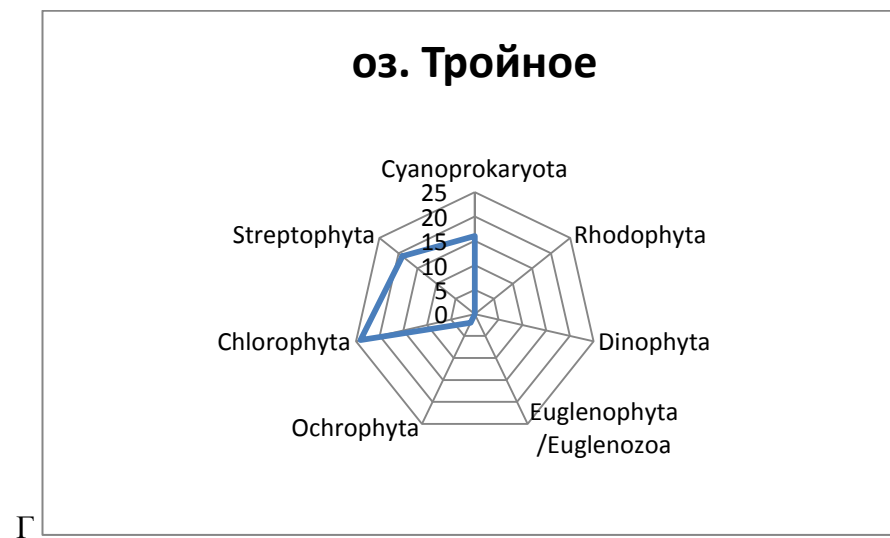
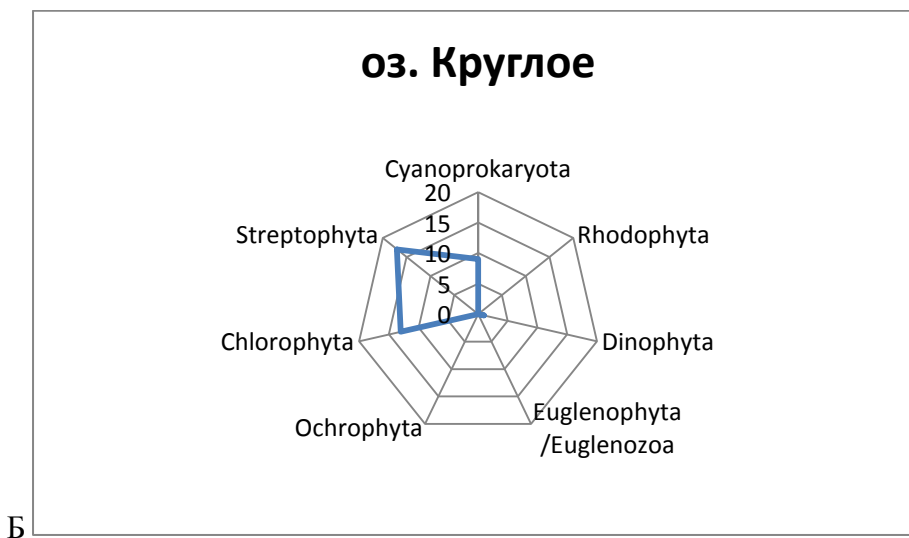
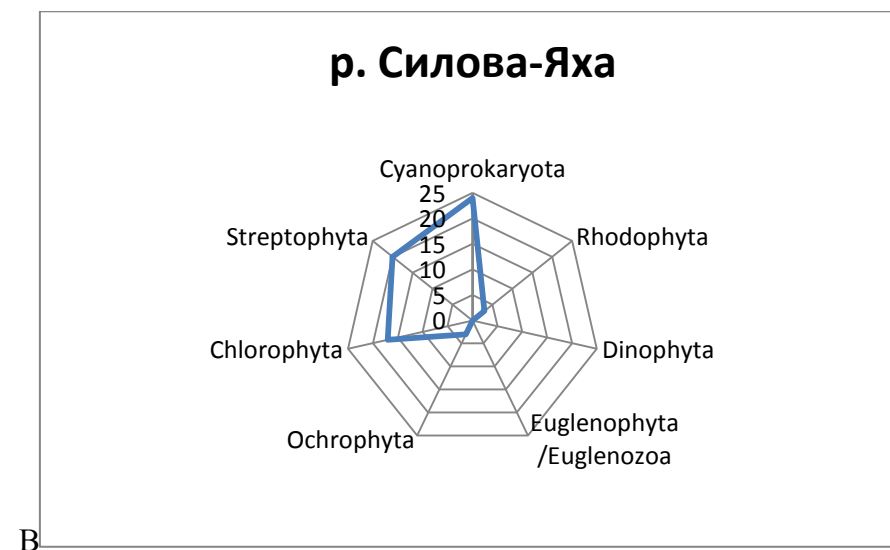
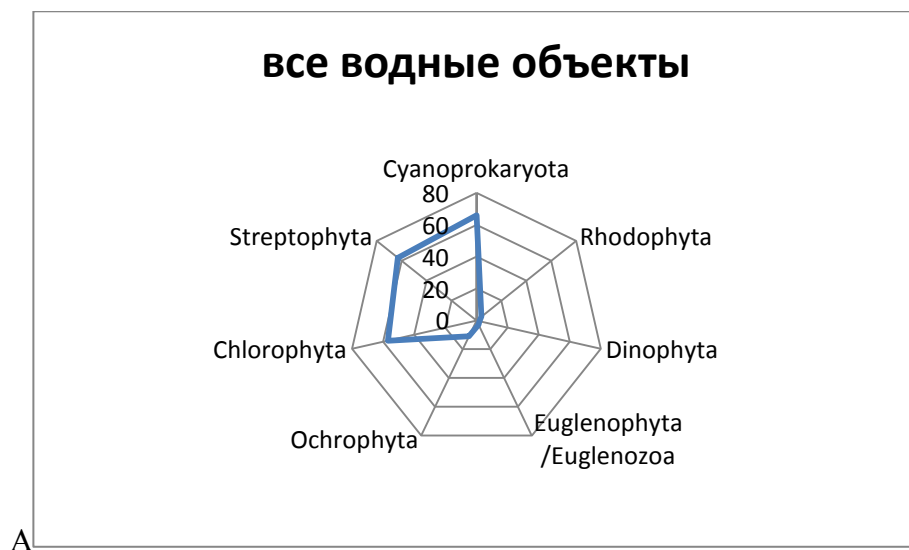


Рисунок 5.3.1. Звездчатые диаграммы – таксономическая структура альгофлор (часть 1)

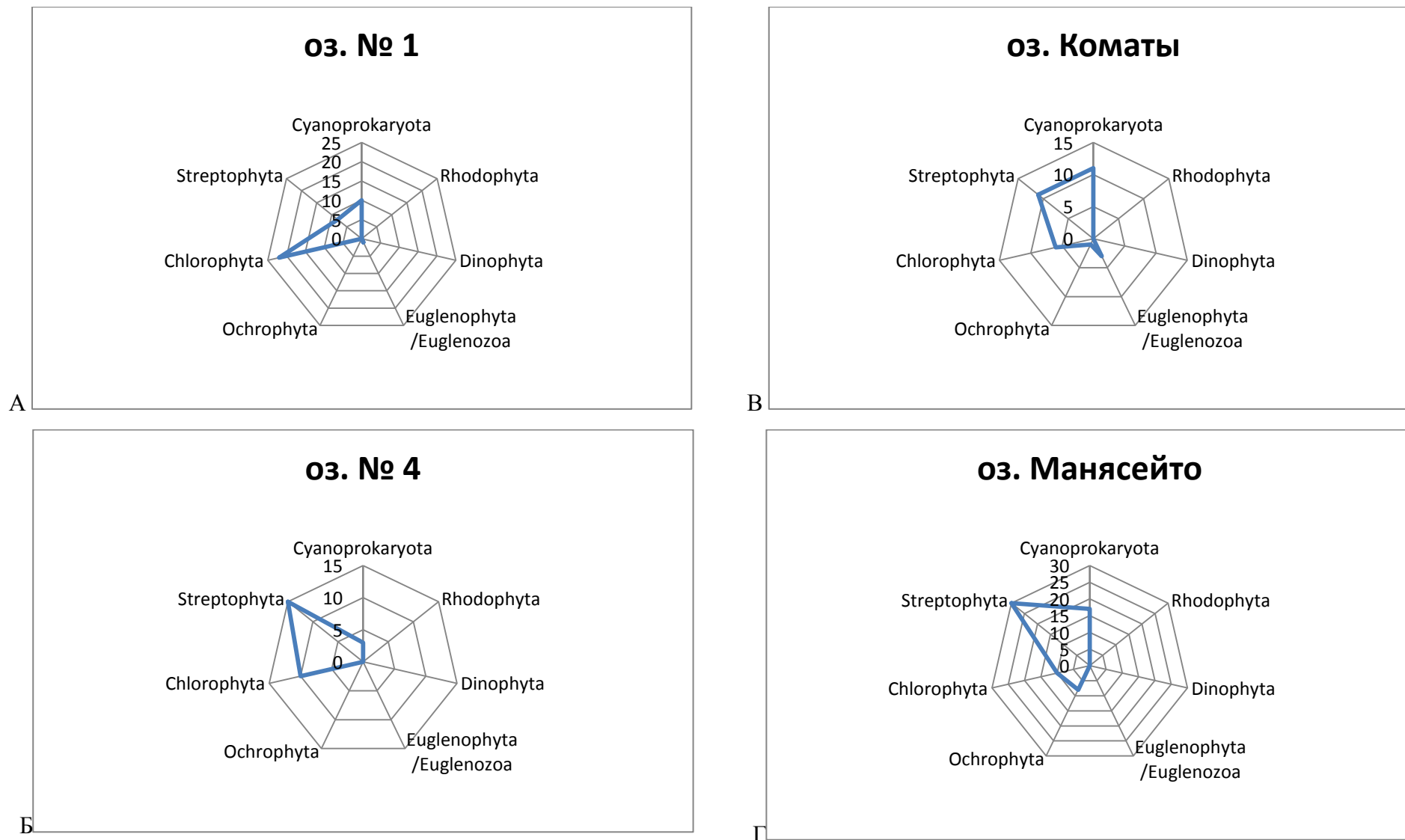


Рисунок 5.3.2. Звёздчатые диаграммы – таксономическая структура альгофлор (часть 2)

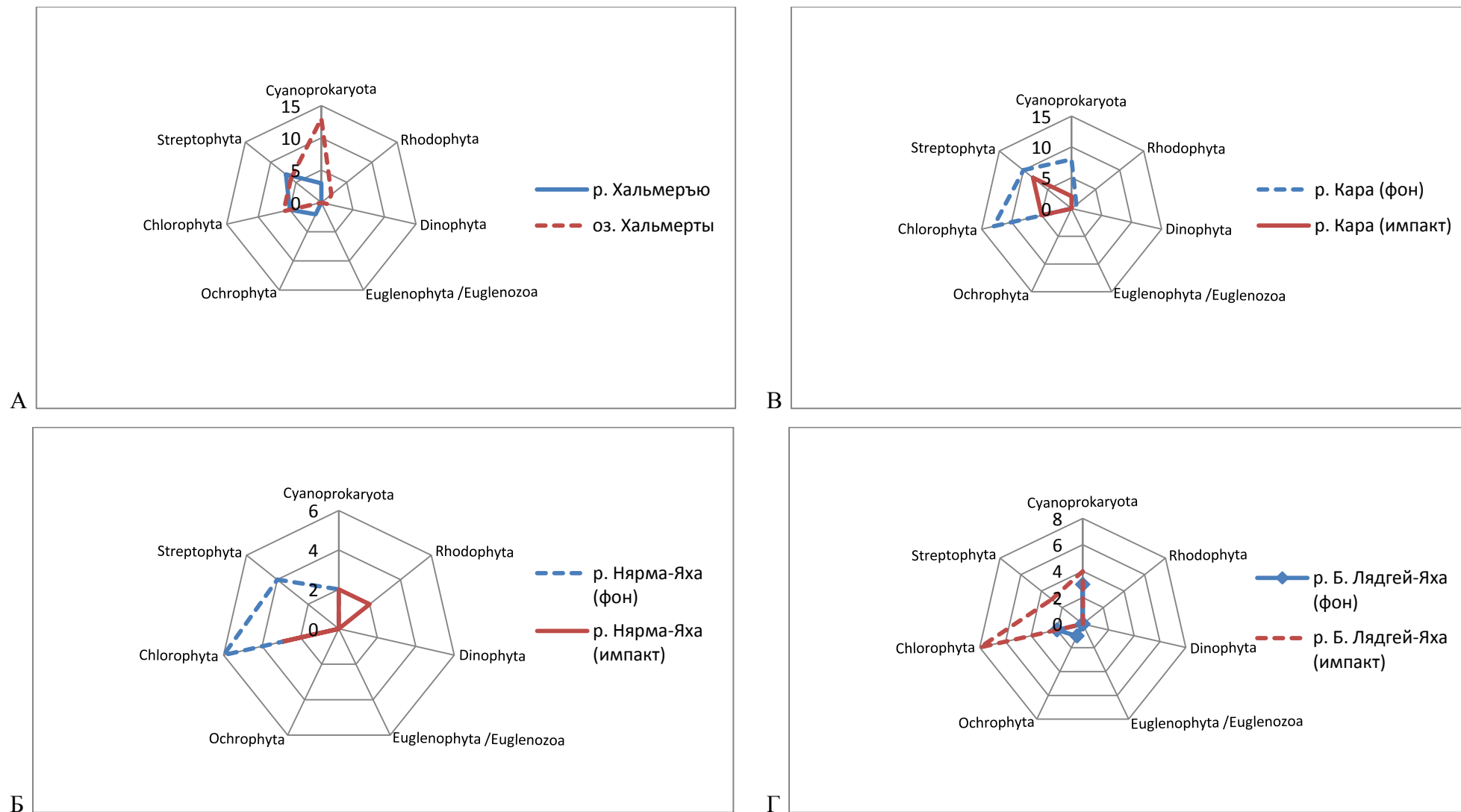
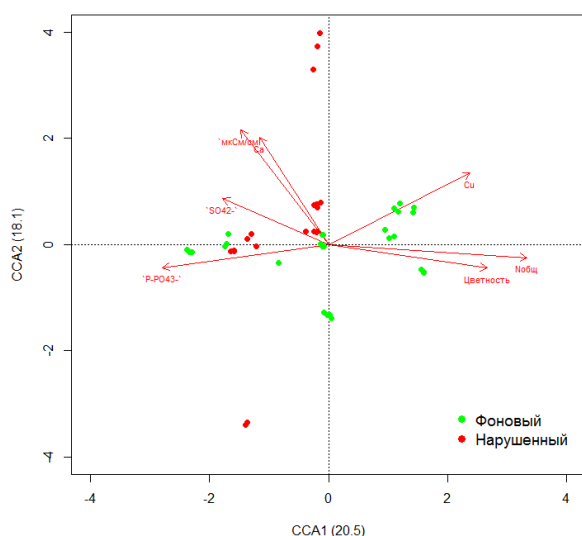


Рисунок 5.3.3. Звёздчатые диаграммы – таксономическая структура альгофлор (часть 3)

С помощью ССА ординации также показано, что видовой состав водорослей проявляет статистически подтвержденные различия для фоновых и загрязненных водоемов (рисунок 5.3.4).



Показатель	Хи-квадрат	F	P
N _{общ}	0,5003	5,698	<0,00
Ca	0,4047	4,609	<0,00
Электро-проводность	0,3976	4,529	<0,00
Фосфат-ионы	0,3946	4,496	<0,00
Сульфат-ионы	0,3766	4,289	<0,00
Цветность	0,3656	4,164	<0,00
Cu	0,273	3,109	<0,00

Рисунок 5.3.4. ССА ординация сообществ водорослей в ограничивающих факторах (предикторы - химические показатели вод исследованных водоемов).

Примечание: доля объяснённой дисперсии первой и второй осями ординации приведена на рисунке. Зеленые точки – фоновые, красные - загрязненные водоемы. Справа представлены результаты дисперсионного анализа построенной ССА модели по отдельным предикторам (предикторы отсортированы по уменьшению F критерия, то есть по уменьшению их значимости в результирующей модели).

Значительная степень корреляции по коэффициенту Пирсона (K_{Pr}) отмечена для pH – в отношении большинства групп водорослей она отрицательная (K_{Pr} от -0,48 до -0,55, $p < 0,05$), за исключением Euglenozoa, которые положительно реагируют на антропогенное подщелачивание вод ($K_{Pr} = 0,36$, $p < 0,1$). С показателем цветности наблюдается умеренная отрицательная корреляция для представителей Rhodophyta ($K_{Pr} = -0,35$, $p < 0,1$), которые наиболее требовательны к прозрачности вод и обитают в основном в чистых быстро текущих реках. Многие виды из отдела Chlorophyta являются индикаторами загрязненных вод, что отражает умеренная положительная корреляция ($K_{Pr} = 0,50$, $p < 0,05$) с показателем цветности. Для остальных групп водорослей отмечена слабая положительная связь с цветностью воды (рисунок 5.2.5). Парный корреляционный анализ числа видов различных групп с химическими показателями также выявил: значительную положительную корреляцию $K_{Pr}=0.51$ ($p < 0.05$) общего количества видов в водоемах и водотоках с $N_{общ}$; тесную положительную корреляцию $K_{Pr}=0.72$ ($p < 0.02$) числа видов Euglenozoa в водоемах и водотоках с содержанием Mn; значительную положительную корреляцию $K_{Pr}=0.57$ ($p < 0.03$) числа видов Streptophyta в водоемах и водотоках с содержанием Cl. С содержанием Zn выявлена положительная корреляция для подавляющего большинства водорослей, значительная связь отмечена для Cyanoprokaryota и Chlorophyta ($K_{Pr}=0,54$ и $0,50$, $p < 0,05$), слабая отрицательная (не значимая) –

у представителей Euglenozoa ($K_{Pr} = -0,2$). Mn, Cl и Zn являются неорганическими биогенными элементами, играют важную роль в метаболизме водорослей (Саут, Уитик, 1990). Существенное изменение их концентрации в водной среде может приводить к трансформации видового разнообразия – выпадению отдельных видов водорослей либо угнетению их развития (рисунок 5.3.5).

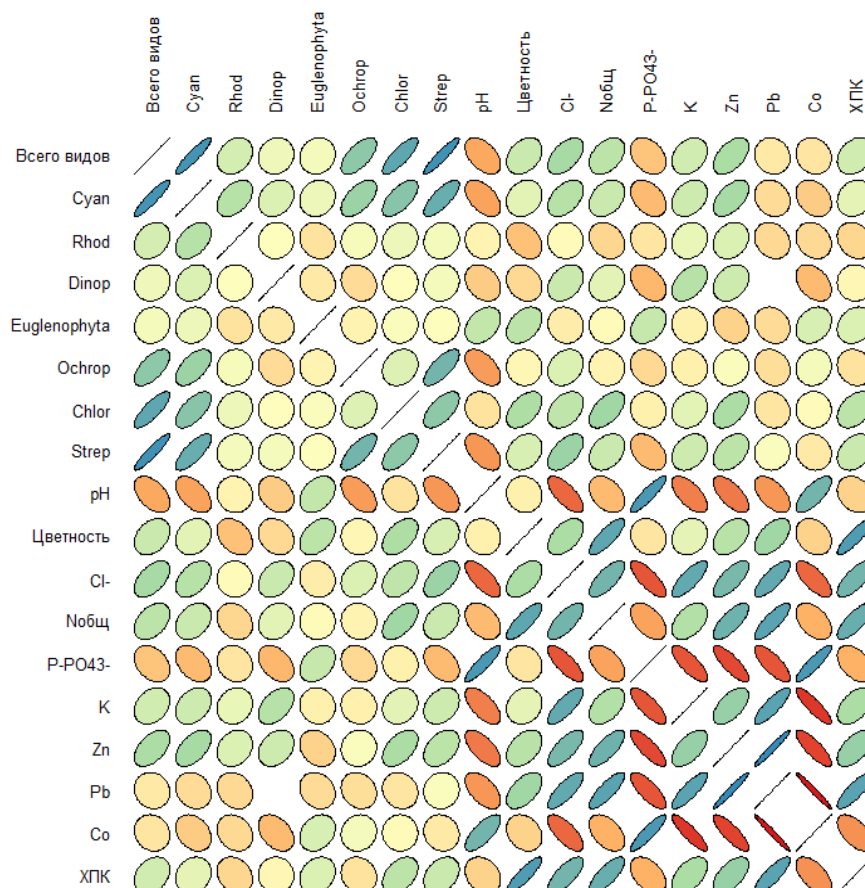


Рисунок 5.3.5. Графическое представление коэффициента корреляции Пирсона для таксономического разнообразия водорослей и гидрохимических показателей исследованных водоёмов

В столбцах исследованные гидрохимические параметры и отделы водорослей. Синие оттенки отображают положительную корреляцию, красные и оранжевые – отрицательную. Размер эллипса показывает степень взаимного влияния показателей друг на друга: чем уже диск, тем сильнее корреляция.

Для отдела Euglenozoa отмечена также положительная связь с показателями цветности, ХПК, содержанием фосфат-ионов, данные условия соответствуют загрязненному оз. Коматы. Эти факторы влияют на повышение уровня сапробности водоёмов, могут вызывать антропогенное эвтрофирование и цветение воды. В отношении тяжелых металлов Pb и Co большинство таксономических групп водорослей демонстрируют отрицательные значения K_{Pr} (рисунок 5.3.5).

Учитывая, что водоросли проявляют корреляционные связи с изученными гидрохимическими параметрами среды уже при относительно невысоких уровнях загрязнения вод (таблица 4.3.1, приложение 4), с применением метода экологического моделирования

можно прогнозировать значимые изменения структуры альгоценозов и в целом перестройку водных экосистем. Множественный линейный регрессионный анализ выявил определенную связь для Cyanoprokaryota и Chlorophyta с химическими показателями воды, которую можно описать следующими моделями:

$$N_{\text{Cyano}} = 47,78 + 4,25 \times N_{\text{общ}} - 4,12 \times \text{Na} - 4,50 \times \text{pH} + 57,89 \times \text{Fe} - 63,59 \times P_{\text{общ}}, \quad (5)$$

где N_{Cyano} – число видов Cyanoprokaryota;

$$N_{\text{Chlor}} = 3,04 + 9,69 \times N_{\text{общ}} + 84,2 \times \text{Fe}, \quad (6)$$

где N_{Chlor} – число видов Chlorophyta.

В модели все коэффициенты при химических показателях и свободный член уравнения в каждой из них статистически значимы. На видовое богатство отдела Cyanoprokaryota наиболее сильное положительное влияние оказывает Fe и отрицательное – содержание $P_{\text{общ}}$. На число видов Chlorophyta сильное положительное влияние оказывает также Fe и в меньшей степени – содержание $N_{\text{общ}}$. Из исследованных групп водорослей сходное отношение к экологическим факторам проявляют Cyanoprokaryota, Chlorophyta и Streptophyta (рисунок 7), которые формируют основу альгофлоры района Большеземельской тундры и Полярного Урала (таблицы 5.1.4, 5.1.5), такое соотношение условий среды для них является оптимальным.

Таким образом, изменение параметров водной среды в результате антропогенного воздействия может оказывать значимое влияние на таксономическую структуру альгоценозов (рисунки 5.3.3, 5.3.6, приложение 7).

Изменение структуры водорослевых сообществ исследованных водоемов проявляется в показателях видового разнообразия (при небольшом уровне загрязнения происходит увеличение числа видов водорослей, при большей степени антропогенного воздействия – уменьшение видового разнообразия), перераспределении представленности по числу видов ведущих отделов водорослей (выпадение из альгоценозов одних, увеличение доли других или появление новых таксонов), трансформации экологической структуры альгоценозов (увеличение доли индикаторов сапробности вод, изменение соотношения других индикаторных групп водорослей), увеличение доли r-стратегов (рисунок 5.3.6).

5.4. Оценка экологического состояния водоемов с использованием индикаторных групп водорослей

Биоиндикационные методы на основе видового состава сообществ и обилия водорослей дают интегральную оценку результатов всех природных и антропогенных процессов, протекающих в водном объекте (McCormick, Cairns, 1994; Kelly, Whitton, 1998; Pienitz, 2004; Potapova, Charles, 2005; Jafari, Gunale, 2006; Reavie et al., 2010; Li et al., 2010; Solak, Ács, 2011). Самым существенным звеном в методах биоиндикации является видовой состав сообществ водорослей. В качестве индикатора условий ранее использовалась система «вид индикатор: есть-нет» и определение «индикаторного лица» флоры на основе анализа изменений соотношения индикаторных групп водорослей (Баринова и др., 2009). Нами составлен перечень водорослей-индикаторов для водных объектов Большеземельской тундры и Полярного Урала (таблица 5.4.1) – для чистых водоемов и испытывающих разные виды антропогенного воздействия. В данный перечень включены виды, в отношении которых авторы указывали, что он является «индикатором» или «показателем» тех или иных условий. Из описаний специфики альгоценозов нарушенных водных объектов Большеземельской тундры нами выделены виды стресс-условий, в качестве которых принимаем наиболее экологически лабильные при сильных загрязнениях водоёмов водоросли.

Кроме того, в таблице 5.4.1 представлены водоросли, которые по данным М.В. Гецен (1985) приурочены только к чистым водоёмам или тяготеющие к нарушенным природным и техногенным биотопам Воркутинского промышленного района.

Также проведен анализ видового разнообразия обследованных водных объектов на предмет выявления индикаторных таксонов. Поскольку фоновые и импактные водоемы бассейна р. Кара формируют свою альгофлору, как правило, из видов, характерных для данного района, о чем свидетельствуют доминантные комплексы водорослей, представленные в таблице 5.1.5, полагаем, что недостаточно для указания в качестве индикатора вида с узкой экологической амплитудой, единично отмеченного в водном объекте. При этом в одном водоёме могут быть одновременно отмечены обитатели чистых вод (катаробионты) и индикаторы наличия загрязнения.

Увеличение уровня загрязнения от объектов магистрального газопровода	Обследованные водные объекты	Изменения видового разнообразия, структуры альгоценозов и химических показателей воды и донных отложений
		Начальная (небольшая) степень загрязнения
	р. Б. Лядгей	- видовое разнообразие ↑, в основном за счет зеленых водорослей (фоновый участок – 6, импактный – 15 видов): привнос биогенных элементов (в составе загрязняющих веществ) для низкоминерализованных вод отказывает стимулирующее воздействие на водоросли; - Изменение структуры: ↑ число β-мезосапробов, появляются экологически пластичные виды – α-β, (β-α)-мезосапробы (по сравнению с фоновым участком этой реки); - преобладание по числу видов представителей отделов Cyanoprokaryota, Streptophyta и Chlorophyta, что соответствует природной норме данного района; - На загрязненном участке – ↑ доли γ-стратегов, стимуляция размножения <i>Scenedesmus communis</i> с образованием его мелких форм (эффект от токсического загрязнения объектами газопровода); - Химические показатели: формирование зон техногенных геохимических аномалий по содержанию Zn в д/о импактной зоны реки; - высокий уровень хронического загрязнения НП (ниже моста).
		Средняя степень загрязнения
	р. Кара	- видовое разнообразие ↓ (фон – 32, импакт – 15 видов); - Изменение структуры: ↓ доля Cyanoprokaryota и Chlorophyta; ↓ доля (χ-α, α-χ, χ-β)-сапробов, при этом исчезают α-β, (β-α)-мезосапробы - Химические показатели: свежее поступление Hg; высокий уровень хронического загрязнения НП в импактной зоне реки;
	р. Нярма	- видовое разнообразие ↓ (фон – 12, импакт – 7 видов); - Изменение структуры: исчезают Streptophyta, вдвое ↓ число видов Chlorophyta; из спектра исчезают α-α-мезосапробы, β-α-, (α-β)-мезосапробы - признаки антропогенного подщелачивания водного объекта (алкалифил <i>Audouinella chalybaea</i> выступает в роли доминанта в импактной зоне р. Нярма); - Химические показатели: формирование зон техногенных геохимических аномалий по содержанию Cu, Zn в д/о импактной зоны реки; - высокий уровень хронического загрязнения НП (ниже моста)
		Сильное загрязнение
	оз. Коматы	- видовое разнообразие ↓ (по сравнению с фон. горн. озером) - Изменение структуры: значительное участие представителей Chlorophyta, на втором месте – Cyanoprokaryota, при этом значительно ↓ число видов из отдела Streptophyta, который широко представлен в фоновых водоёмах данного района; отмечено развитие в водорослевых сообществах видов из отдела Euglenophyta (не характерен для фоновых водоёмов района исследований) - с высокой встречаемостью отмечены ацидофилы <i>Aphanocapsa grevillei</i> и <i>Closterium tumidulum</i> - Химические показатели: ↑ интегральных показателей содержания органических веществ (цветности, N_{общ.}, C_{общ.}); ↑ НП; ↑ Fe в воде; свежее поступление Hg, НП
	термокарстовое оз. № 1	- Изменение структуры: значительное участие представителей Cyanoprokaryota, и Chlorophyta, сильно ↓ число видов из отдела Streptophyta. ↑ доли γ-стратегов, стимуляция размножения <i>Scenedesmus communis</i> с образованием его мелких форм - Химические показатели: ↑ интегральных показателей содержания органических веществ (цветности, N_{общ.}, C_{общ.}); ↑ НП; ↑ Fe в воде; свежее поступление НП

Примечание: ↑ - увеличение; ↓ - уменьшение; д/о – донные отложения; НП - нефтепродукты

Рисунок 5.3.6. Трансформация водных экосистем в зоне влияния газопровода.
Примечание: степень загрязнения дана по: Методические указания..., 2014.

Водоросли-индикаторы для водных объектов Большеземельской тундры и Полярного Урала

Условия обитания, виды воздействия, экологический фактор, индикатором которых является вид (таксон) водорослей	Виды (таксоны) водорослей-индикаторов ⁴	Источник данных	Примечание
Показатели чистых вод (бас. р. Варкневыхьях)	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Achnanthes linearis</i>	Стенина, 1996. С. 111-124.	
Индикатор чистоты вод (северные тундры, территория Варандейского месторождения)	Багрянка <i>Batrachospermum</i> sp.	Структурно-функциональная организация..., 1994. С. 66	
Показательные виды для низкоминерализованных условно чистых вод малых озер Большеземельской тундры	Экологически специализированные виды маловидовых родов: <i>Actinotaenium cucurbitinum</i> (Biss.) Teil. <i>Arthrodesmus incus</i> var. <i>indentatus</i> <i>Bambusina brebissonii</i> Kütz. <i>Micrasterias denticulate</i> <i>Netrium digitus</i> var. <i>digitus</i> et. var. <i>lamellosum</i> <i>Penium margaritaceum</i> <i>P. silvae-nigrae</i> <i>Spondilosium pulchellum</i> Arch. <i>Xanthidium antilopeum</i> var. <i>antilopeum</i> et. var. <i>polymazum</i> , <i>X. armatum</i> Более экологически лабильные виды многовидовых родов: <i>Closterium calosporum</i> , <i>C. setaceum</i> , <i>C. striolatum</i> , <i>C. venus</i> <i>Cosmarium botrytis</i> var. <i>tumidum</i> Wolle., <i>C. humile</i> var. <i>striatum</i> , <i>C. quadrum</i> Lund., <i>C. margaritaceum</i> , <i>C. subangulare</i> f. <i>minima</i> , <i>C. subcrenatum</i> Hantzsch., <i>C. subcontractum</i> W. et G.S. West, <i>C. subprotumidum</i> Nordst, <i>C. tinctum</i> var. <i>intermedium</i> Nordst, <i>C. venustum</i> (Breb.) Arch. <i>Cosmoastrum gladiusum</i> (Turn.) Pal.-Mordv., <i>C. hirsutum</i> (Ehr.) Pal.-Mordv., <i>C. orbiculare</i> var. <i>depressum</i> (Roy et Biss.) Pal.-Mordv., <i>C. phaseolus</i> <i>Euastrum ansatum</i> (Ehr.) Ralfs., <i>E. binale</i> var. <i>binale</i> (Turp.) Ehr. et f. <i>gutwinskii</i> Schmidle, <i>E. binale</i> var. <i>papilliferum</i> Gutw., <i>E. binale</i> var. <i>vanustrum</i> , <i>E. cuneatum</i> Jenn., <i>E. elegans</i> , <i>E. gayanum</i> , <i>E.</i>	Структурно-функциональная организация..., 1994. С. 67	Под влиянием различных загрязнений меняется химический состав вод и доминирующий комплекс десмидиевых водорослей. Его состав определяют широко распространенные виды многовидовых родов, а экологически специализированные маловидовые рода в сильно загрязненных водах практически отсутствуют.

⁴ Примечание: названия видов и родов в таблице указаны в соответствии с использованным литературным источником данных.

Условия обитания, виды воздействия, экологический фактор, индикатором которых является вид (таксон) водорослей	Виды (таксоны) водорослей-индикаторов ⁴	Источник данных	Примечание
	<i>insulare</i> (Wittr.) Roy, <i>E. obesum</i> , <i>E. oblongum</i> (Grev.) Ralfs., <i>E. pectinatum</i> var. <i>inevolutum</i> W. et G.S. West, <i>E. pinnatum</i> Ralfs., <i>E. pulchellum</i> Breb., <i>E. turneri</i> W. West <i>Staurostrum anaitinum</i> Cooce and Wille, <i>S. furcatum</i> (Ehr.) Breb., <i>S. gracile</i> var. <i>nanum</i> Wille, <i>S. inconspicuum</i> Nordst, <i>S. monticulosum</i> , <i>S. mucronatum</i> var. <i>subtriangulare</i> (W. et G.S. West) Croas, <i>S. polymorphum</i> Breb., <i>S. punctulatum</i> Breb., <i>S. sexangulare</i> (Bulnh.) Lund. <i>Staurodesmus cuspidatus</i> (Breb.) Teil., <i>S. dejectus</i> , <i>S. extensus</i> (Borge) Teil		
Показатели чистоты условий сфагновых озер с заболоченной береговой зоной и болот Большеземельской тундры	Показателями чистоты условий этих экотопов является выявленный в водоемах северных тундр состав десмидиевых водорослей – широко распространенные виды заболоченных местообитаний – виды родов <i>Penium</i> , <i>Closterium</i> , <i>Pleurotaenium</i> , <i>Euastrum</i> , <i>Micrasterias</i> , <i>Cosmoastrum</i> , <i>Raphidiastrum</i> , <i>Staurodesmus</i> , <i>Staurostrum</i> , <i>Cosmarium</i> , <i>Xanthidium</i> , <i>Spondilosium</i> , <i>Sphaerosozma</i> , <i>Teilingia</i> .	Альгофлора..., 1994. С. 97-98.	
Индикаторы чистых вод Полярного Урала (верховья рек Кара и Уса)	Развитие ксеносапробов <i>Fragellaria constricta</i> , <i>F. virescens</i> var. <i>oblongella</i> , <i>Frustulia crassinervia</i> , олиго-ксеносапроба <i>Tabellaria flocculosa</i> , ксено-олигосапробов <i>Achnanthes linearis</i> , <i>Hannaea arcus</i> , <i>Eunotia polidentula</i> , олиосапробов <i>Achnanthes subatomoides</i> , <i>Eunotia incise</i> , <i>Fragilaria brevistriata</i> , <i>Navicula bryophila</i>	Биоразнообразие..., 2007. С. 55	
	Золотистая водоросль <i>Hydrurus foetidus</i> – показатель исключительно чистых, ксеносапробных водоёмов.	Биоразнообразие..., 2007. С. 68-69.	Постоянное присутствие золотистых водорослей в сообществах микроорганизмов, указывает на благополучную экологическую ситуацию в этом регионе. Флора золотистых водорослей водоемов в уникальной олиготрофной системе озер Полярного Урала включает представителей родов <i>Mallomonas</i> , <i>Synura</i> , <i>Paraphysomonas</i> , <i>Spiniferomonas</i> , <i>Chrysosphaerella</i> , <i>Dinobryon</i> , <i>Hydrurus</i> .
Индикатор слабого загрязнения от нефтегазозведочных буровых	<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kütz.) Boye P.	Стенина, 1996. С. 111-124.	

Условия обитания, виды воздействия, экологический фактор, индикатором которых является вид (таксон) водорослей	Виды (таксоны) водорослей-индикаторов ⁴	Источник данных	Примечание
(бас. р. Варкневхьяха)			
Индикаторы сильно загрязненных вод (бас. р. Варкневхьяха, озеро водозаборное у буровой)	<i>Nitzschia acicularis</i> , <i>N. communis</i> Rabench. var. <i>minuta</i> Bleisch, <i>N. recta</i> Hantzsch, <i>Gomphonema olivaceum</i> (Lyngb.) Kütz	Стенина, 1996. С. 111-124.	
Индикаторы нефтяного загрязнения	К чувствительным видам относятся <i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Anabaena flos-aquae</i> , численность которых при загрязнении уменьшается.	Альгофлора..., 1994. С. 92.	Ведущая роль в фитопланктоне при нефтяном загрязнении может принадлежать <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Melosira (Aulacosira) granulate</i> и <i>M. inalica</i> , которые являются устойчивыми к этому фактору.
Индикаторы загрязнения минерализованными шахтными водами (р. Юньяга и руч. Безымянный)	<i>Navicula cincta</i> , <i>N. gregaria</i> , <i>N. slesvicensis</i> , <i>N. trivialis</i> , <i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>Nitzschia palea</i> .	Природная среда тундры..., 2005. С. 76.	Данные виды являются альфамезосапробами и индикаторами содержания лабильных органических веществ.
Индикаторы загрязнений – для водоёмов, находящихся под постоянным воздействием стоков с буровых площадок	В составе рода <i>Cosmarium</i> становится показательно развитие целого ряда мелкоклоточных видов – <i>C. abbreviatum</i> , <i>C. regnellii</i> , <i>C. humile</i> . Среди <i>Euastrum bidentatum</i> встречены клетки уродливой формы. Набор мелкоклоточных видов в перифитоне остаточных водоёмов имеют и хлорококковые (по значимости): <i>Dictyosphaerium</i> , <i>Coelastrum</i> , <i>Scenedesmus</i> , <i>Tetraëdron</i> и <i>Pediastrum boryanum</i> , использующиеся как индикаторы органических загрязнений.	Альгофлора..., 1994. С. 100-101.	Многие из перечисленных родов являются мезосапробными организмами. В водоёмах у буровой они имеют наиболее высокие показатели развития. Из десмидиевых в обрастаниях макрофитов высока встречаемость родов <i>Closterium</i> и <i>Cosmarium</i> .
Индикаторы органических загрязнений (северные тундры, территория Варандейского месторождения)	Хлорококковые: <i>Dictyosphaerium</i> , <i>Coelastrum</i> , <i>Scenedesmus</i> , <i>Tetraëdron</i> , <i>Pediastrum boryanum</i> (Turpin) Meneghini	Структурно-функциональная организация..., 1994. С. 64.	В водоёмах у буровых показатели этих видов выше.
Индикаторы сильно эвтрофных условий среды (Воркутинская тундра)	<i>Cladophora glomerata</i> , <i>Chaetophora elegans</i> , <i>Stigeoclonium tenue</i> , <i>Spyrogyra</i> spp. ster., <i>Tribonema viride</i> , <i>T. vulgare</i> , <i>Ulotrix</i> spp. ster., <i>Vaucheria</i> sp.	Гецен и др., 1992. С. 17	
Показательный вид для текучих загрязненных вод (северные тундры, территория Варандейского месторождения)	<i>Oscillatoria tenuis</i> f. <i>nigra</i> (Schkorb.) Elenk.	Структурно-функциональная организация..., 1994. С. 66	В условиях загрязнения отмечена 100% встречаемости в препаратах с обилием 3 балла
Индикатор сельскохозяйственного	Виды рода <i>Closterium</i>	Структурно-функциональная	К концу вегетации перифитон в ручье зоны сельскохозяйственного загрязнения

Условия обитания, виды воздействия, экологический фактор, индикатором которых является вид (таксон) водорослей	Виды (таксоны) водорослей-индикаторов ⁴	Источник данных	Примечание
загрязнения вод Большеземельской тундры		организация..., 1994. С. 68	представляет природную «культуру» рода <i>Closterium</i> .
Индикаторы загрязнения (в водоемах, испытывающих смешанное загрязнение) для Большеземельской тундры	<i>Nitzschia palea</i> и <i>N. acicularis</i>	Гецен и др., 1992. С. 12. Альгофлора..., 1994. С. 107.	Преобладание данных видов указывает на наличие в воде большого количества органических и минеральных веществ.
Индикаторы имеющихся загрязнений в водоемах Большеземельской тундры	<i>Nitzschia palea</i> и <i>N. paleacea</i>	Гецен, 1985. С. 126-127.	При сильном загрязнении водоемов нитцшия почти полностью вытесняет виды других родов. <i>Nitzschia communis</i> , <i>N. palea</i> , <i>N. paleacea</i> , <i>N. acicularis</i> образуют специфичные ценозы с осцилляториевыми, микроспоровыми и эвгленовыми водорослями.
	Наблюдается перестройка доминирующих комплексов диатомовых водорослей в сравнении с фоновыми водоемами. Из состава ведущих видов выпадают оксифильные ксеносапробные диатомеи из родов <i>Achnanthes</i> , <i>Eunotia</i> , <i>Cymbella</i> и снижается роль видов <i>Tabellaria</i> . В сравнении с условно чистыми водоемами здесь выше обилие, а следовательно, и значение толерантных к загрязнению и даже сапрофильных видов из родов <i>Diatoma</i> , <i>Navicula</i> , <i>Gomphonema</i> <i>Nitzschia</i> , <i>Surirella</i> .	Альгофлора..., 1994. С. 107-108.	Среди массовых видов увеличивается доля алкалифилов, галофильных широко распространенных и космополитных диатомей – явление закономерное, наблюдаемое и для других групп водорослей в северных водоемах (Гецен, 1985). Происходит неизбежное обогащение альгофлоры аллохтонными видами, стирание ее зональных черт, формирование совершенно новых для нее нетипичных фитоценозов.
	Особо устойчивы к загрязнению: <i>Cosmarium punctulatum</i> , <i>C. formosulum</i> , <i>C. botrytis</i> , <i>Euastrum bidentatum</i> , <i>Scenedesmus obliquus</i> var. <i>obliquus</i> и var. <i>alternans</i> , <i>S. bijugatus</i> , <i>S. quadricauda</i> var. <i>quadricauda</i> и var. <i>setosus</i> , <i>Dictyosphaerium pulchellum</i> , <i>D. ehrenbergianum</i> , <i>Tetraëdron caudatum</i> , <i>Ankistrodesmus spiralis</i> , <i>Monoraphidium griffithii</i> , <i>M. contortum</i> .	Гецен, 1985. С. 127.	Данные виды приводятся в числе наиболее устойчивых и типичных даже к обитанию в сточных водах южных широт, характеризуя β-мезосапробную зону органических загрязнений. Наиболее высокие концентрации загрязнения выдерживает <i>Scenedesmus obliquus</i> (по: Гецен, 1985).
	В антропогенных экототопах в Большеземельской тундре (в созданных и измененных человеком условиях) ведущее значение в водоемах получают нитчатые зеленые и желтозеленые водоросли родов <i>Vaucheria</i> , <i>Spirogyra</i> , <i>Ulothrix</i> , <i>Cladophora</i> и	Гецен, 1985. С. 128	Массовое развитие нитчатых зеленых водорослей, особенно кладофоры, в прибрежной зоне относят к выражению антропогенного эвтрофирования.

Условия обитания, виды воздействия, экологический фактор, индикатором которых является вид (таксон) водорослей	Виды (таксоны) водорослей-индикаторов ⁴	Источник данных	Примечание
Показатели эвтрофирования водоемов Большеземельской тундры	<i>Tribonema</i> .		
	<i>Cladophora glomerata</i> , <i>Chaetophora elegans</i> , <i>Stigeoclonium tenue</i> , <i>Spirogyra</i> ssp. <i>ster.</i> , <i>Vaucheria</i> sp.	Гецен, 1985. С. 128; Альгофлора..., 1994. С. 115.	Массовое развитие нитчатых зеленых водорослей, особенно кладофоры, в водоемах различных природных вод относится к «выражению природного эвтрофирования». Отмечено, что приведенный вид стигеоклониума при массовом развитии характеризуется как сапрофильный. Массовое развитие кладофоры (побережье реки затянута тиной нитчатых водорослей) – следствие сильно эвтрофных условий среды, может быть результатом загрязнения реки после аварийного прорыва отходов ряда предприятий.
	<i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>Fragellaria vaucheriae</i> , <i>F. capucina</i> var. <i>mesolepta</i> , <i>F. pennata</i> , <i>Cocconeis placentula</i>	Гецен и др., 1992. С. 12.	Преобладающие виды, лучше развиваются при обогащении вод соединениями биогенных элементов.
	В нарушенных экотопах из хроококковых получают развитие как аборигенные для северных вод виды (например, <i>Gomphosphaeria lacustris</i> f. <i>compacta</i>), так и малоизвестные для района виды (<i>Aphanothece castagnei</i>). Из осциллариторииевых типичными обитателями загрязненных вод являются <i>Pseudanabaena galeata</i> , <i>P. papillateterminata</i> , виды рода <i>Oscillatoria</i> , особенно <i>O. limosa</i> и <i>O. tenuis</i>	Гецен, 1985. С. 127-128	Среди синезеленых водорослей наибольшую экологическую лабильность при нарушении условий проявляют представители порядков <i>Chroococcales</i> и <i>Oscillatoriales</i> . Эвтрофные воды способствуют развитию хроококковых, что дает основание использовать эту группу в числе показательных на антропогенное эвтрофирование условий (по: Гецен, 1985).
Показатели загрязнения вод Большеземельской тундры	Наблюдается выпадение сине-зеленых-азотфиксаторов из состава альгофлоры тундровых водоемов при эвтрофировании (влиянии нефтяных загрязнений).	Гецен, 1985. С. 128	Могут встречаться совместно с осциллариями мелкие неопределенные виды анабен с показательным полисапробом <i>Anabaena constricta</i> .
	<i>Trachelomonas hispida</i> , <i>T. planctonica</i> , виды рода <i>Clamidomonas</i> , <i>Chlorogonium maximum</i>	Особенности структуры..., 1994. С. 92.	Диагностический признак – доминирование по биомассе эвгленовых в летнем фитопланктоне – для водоемов с

Условия обитания, виды воздействия, экологический фактор, индикатором которых является вид (таксон) водорослей	Виды (таксоны) водорослей-индикаторов ⁴	Источник данных	Примечание
			повышенным содержанием органического вещества
Виды стресс-условий, наиболее экологически лабильные при сильных загрязнениях водных объектов Большеземельской тундры	На загрязненных органическими веществами территориях совхоза из десмидиевых в перифитоне развиваются только широко распространенные мелкоразмерные виды <i>Cosmarium subprotumidum</i> и <i>Cosmarium regnellii</i>, из зеленых – особо устойчивые к загрязнению банальные виды <i>Scenedesmus obliquus</i> var. <i>obliquus</i> et var. <i>alternans</i>, <i>S. bijugatus</i>, <i>S. quadricauda</i> s. lat., <i>Dictyosphaerium pulchellum</i>, <i>D. ehrenbergianum</i>, <i>Tetraëdron caudatum</i>, <i>Ankistrodesmus spiralis</i>, <i>Monoraphidium griffithii</i>, <i>M. contortum</i> – характеризуют зону органических загрязнений с высоким содержанием азотсодержащих веществ. В щелочных водах промзагрязнений массового развития достигают лишь обычные для региона <i>Cosmarium granatum</i>, <i>C. biretum</i> var. <i>trigibberum</i> (треб. проверка вида), <i>Cosmoastrum punctulatum</i>. В этих условиях характерны космариово-гонатоэиговые сочетания видов с тератологическими нарушениями последнего рода. В водоемах со смешанным загрязнением массово развиваются лишь широко распространенные виды <i>Cosmarium botrytis</i>, <i>C. formosulum</i> и <i>Cosmoastrum</i>. Из синезеленых экологически наиболее лабильны при нарушении природных условий представители порядков хроококковых и осцилляториевых – эвтрофные условия способствуют их развитию. В Воркутинской тундре они дают вспышку в щелочных водах промзагрязнений (<i>Aphanothece clathrata</i>). В подобных условиях из хроококковых развиваются и единичные аборигенные виды (<i>Gomphosphaeria lacustris</i> f. <i>compacta</i>). В водах на территориях угольных шахт показательны осцилляториевые, где в массе развиваются типичные обитатели загрязненных вод (<i>Pseudoanabaena galeata</i>, <i>P. papillateterminata</i>, <i>Oscillatoria limosa</i>, <i>O. tenuis</i> – являются характерными компонентами альгоценозов с диатомовыми, зигнемовыми и	Гецен и др., 1992. С. 15, 17.	

Условия обитания, виды воздействия, экологический фактор, индикатором которых является вид (таксон) водорослей	Виды (таксоны) водорослей-индикаторов ⁴	Источник данных	Примечание
	эвгленовыми водорослями). В щелочных водах промзагрязнений в Воркутинской тундре дают вспышку представители порядка хроококковых и осцилляториевых: <i>Aphanothece clathrata</i>, <i>Pseudoanabaena galeata</i>, <i>P. papillaterminata</i>, <i>Oscillatoria limosa</i>, <i>O. tenuis</i>.	Альгофлора..., 1994. С. 115.	Эвтрофные условия способствуют развитию этих видов, они являются характерными компонентами альгоценозов с диатомовыми, зигнемовыми и эвгленовыми водорослями.
Водоросли, приуроченные только к чистым водоёмам Воркутинского промышленного района	Десмидиевые – <i>Actinotaenium cucurbitinum</i>, <i>Arthrodesmus incus</i> var. <i>indentatus</i>, <i>Bambusina brebissoni</i>, <i>Closterium striolatum</i>, <i>C. venus</i>, <i>Cosmarium botrytis</i> var. <i>tumidum</i>, <i>C. quadrum</i>, <i>C. margaritatum</i>, <i>C. subangulare</i> f. <i>minima</i>, <i>C. subcrenatum</i>, <i>C. subcontractum</i>, <i>C. subprotumidum</i>, <i>C. tinctum</i> var. <i>intermedium</i>, <i>C. venustum</i>, <i>Cosmoastrum gladiosum</i>, <i>C. hirsutum</i>, <i>C. orbiculare</i> var. <i>depressum</i>, <i>Euastrum ansatum</i>, <i>E. binale</i> var. <i>binale</i>, <i>E. binale</i> var. <i>binale</i> f. <i>gutwinskii</i>, <i>E. binale</i> var. <i>papilliferum</i>, <i>E. binale</i> var. <i>venustum</i>, <i>E. cuneatum</i>, <i>E. elegans</i>, <i>E. gayanum</i>, <i>E. insulare</i>, <i>E. oblongum</i>, <i>E. pectinatum</i> var. <i>inevolutum</i>?, <i>E. pinnatum</i>, <i>E. pulchellum</i>, <i>Netrium digitus</i> var. <i>lamellosum</i>, <i>Penium silvae-nigrae</i>, <i>Spondylosium pulchellum</i>, <i>Stauroastrum anatinum</i>, <i>S. furcatum</i>, <i>S. gracile</i> var. <i>nanum</i>, <i>S. inconspicuum</i>, <i>S. monticulosum</i>, <i>S. micronatum</i> var. <i>subtriangulare</i>, <i>S. polymorphum</i> var. <i>polymorphum</i> и var. <i>minutum</i>?, <i>S. punctulatum</i>, <i>S. sexangulare</i>, <i>Staurodesmus cuspidatus</i>, <i>S. dejectus</i>, <i>S. extensus</i>, <i>Xanthidium antilopeum</i> var. <i>antilopeum</i> и var. <i>polymazum</i>, <i>X. armatum</i>; синезеленые – <i>Aphanothece clathrata</i> f. <i>brevis</i>, <i>A. saxicola</i> f. <i>nidulans</i>, <i>Anabaena angustumalis</i>, <i>A. cylindrica</i>, <i>A. sedowii</i>, <i>A. variabilis</i>, <i>Calothrix aeruginosa</i>, <i>Coelosphaerium natans</i>, <i>Cylindrospermum stagnale</i>, <i>Gloeocapsa cohaerens</i>, <i>G. minita</i>, <i>G. punctata</i>, <i>Lyngbya limnetica</i> f. <i>limnetica</i>, <i>Merismopedia elegans</i>, <i>Microcystis grevillei</i>, <i>M. pulverea</i>, <i>Nostoc caeruleum</i>, <i>N. linckia</i>, <i>N. microscoricum</i>, <i>N. punctiforme</i>, <i>Oscillatoria nigra</i>, <i>Phormidium bijugatum</i>, <i>Ph. tenue</i>, <i>Ph. valderiae</i>, <i>Pseudanabaena catenata</i>; хлорококковые – <i>Coenocystis obtuse</i>, <i>Characium ornithocephalum</i>, <i>Crucigenia apiculata</i>, <i>C. quadrata</i>, <i>C. irregularis</i>, <i>C. tetrapedia</i>, <i>Dictyosphaerium pulchellum</i> var. <i>ovatum</i>, <i>D. simplex</i>, <i>D. tetrachotomum</i>, <i>Dispora crucigenioides</i>, <i>Franceia echidna</i>, <i>F.</i>	Гецен, 1985. С. 121-122.	Отличительная черта этой группы – систематическое разнообразие десмидиевых. Около половины видов выявленного в данном районе состав этой группы приурочено к моховым озерам – здесь объединены как свойственные чистым заболоченным водоемам виды различных природных зон, так и северные. Северные черты всей этой группы оттеняют и североальпийские виды диатомей, приуроченные к чистым быстротекущим водотокам.

Условия обитания, виды воздействия, экологический фактор, индикатором которых является вид (таксон) водорослей	Виды (таксоны) водорослей-индикаторов ⁴	Источник данных	Примечание
	<i>elongate</i>, <i>F. polychaeta</i>, <i>F. tenuispina</i>, <i>Kirchneriella irregularis</i> var. <i>spiralis</i>, <i>Lagerheimia cingula</i>, <i>Monoraphidium irregular</i>, <i>Oocystis eremosphaeria</i>, <i>Scenedesmus acutiformis</i>, <i>S. intermedius</i>, <i>S. microspina</i>?; эвгленовые – <i>Astasia</i> sp., <i>Menoidium minimum</i>, <i>Rhabdomonas incurva</i>, <i>Sphenomonas teres</i>, <i>S. sp.</i>, <i>Trachelomonas hispida</i> var. <i>australiana</i>, <i>T. rotunda</i>, <i>T. volvocina</i>, <i>T. sp.</i>; диатомовые – <i>Ceratoneis arcus</i>, <i>Cymbella gracilis</i>, <i>Eunotia lunaris</i> var. <i>capitata</i> и var. <i>subarcuata</i>, <i>Meridion circulare</i>, <i>Tabellaria fenestrata</i>, <i>Synedra</i> sp.		
Виды водорослей, тяготеющие к нарушенным природным и техногенным биотопам Воркутинского промышленного района	Диатомовые – <i>Achnanthes affinis</i>, <i>A. lineris</i> var. <i>pusilla</i>, <i>A. minutissima</i> var. <i>minutissima</i> и var. <i>cryptocephala</i>, <i>Amphipleura pellucida</i>, <i>Cyclotella meneghiniana</i>, <i>C. pseudostelligera</i>, <i>Cymbella cistula</i>, <i>C. ventricosa</i>, <i>Diatoma elongatum</i> var. <i>tenue</i>, <i>D. vulgare</i> var. <i>ovale</i>, <i>Epithemia zebra</i> var. <i>porcellus</i>, <i>Fragillaria crotonensis</i>, <i>F. pinnata</i>, <i>F. sp.</i>, <i>Gomphonema angustatum</i> var. <i>productum</i>, <i>G. parvulum</i> var. <i>parvulum</i> и var. <i>micropus</i>, <i>G. sp.</i>, <i>Hantzschia amphioxys</i>, <i>Melosira varians</i>, <i>Navicula cryprocephala</i>, <i>N. gregaria</i>, <i>N. heufferi</i>, <i>N. menisculus</i>, <i>N. pelliculosa</i>, <i>N. radiosa</i>, <i>N. rhynchocephala</i> var.?, <i>N. similis</i>, <i>N. viridula</i> var. <i>glesvicensis</i>, <i>N. sp.</i>, <i>Nitzschia acicularis</i>, <i>N. clausii</i>, <i>N. communis</i>, <i>N. palea</i>, <i>N. paleacea</i>, <i>N. sigmoidea</i>, <i>N. thermalis</i> var. <i>minor</i>, <i>N. sp.</i>, <i>Pinnularia interrupta</i> f. <i>minor</i>, <i>Stauroneis anceps</i>, <i>S. sphoenicenteron</i>, <i>Synedra meniscula</i>, <i>S. ulna</i> var. <i>danica</i>, <i>Stephanodiscus dubius</i>, <i>S. hantzschii</i>, <i>S. perforates</i>, <i>Surirella ovata</i> var. <i>ovata</i> и var. <i>pinnata</i>, <i>Thalassiosira pseudonana</i>; эвгленовые – <i>Entosiphon sulcatus</i>, <i>Euglena acus</i>, <i>E. deses</i>, <i>E. thinophila</i>?, <i>E. granulata</i> var. <i>polymorpha</i>, <i>E. spirogyra</i>, <i>E. texta</i>, <i>E. trinophyla</i>?, <i>E. viridis</i>, <i>E. sp.</i>, <i>Lepocinclis globula</i>, <i>L. ovum</i> var. <i>ovum</i> и var. <i>striata</i>, <i>L. steinii</i>, <i>Menoidium tortuosum</i>, <i>Petalomonas mediocanellata</i>, <i>Phacus acuminatus</i>, <i>Ph. dangeardii</i>, <i>Ph. longicauda</i>, <i>Ph. orbicularis</i>, <i>Ph. oscillans</i>, <i>Ph. parvulus</i>, <i>Ph. pleutata</i>, <i>Trachelomonas armata</i>, <i>T. bacillifera</i>, <i>T. bernardinensis</i>, <i>T. caudate</i>, <i>T. cervicula</i>, <i>T. cylindrical</i>, <i>T. hispida</i>, <i>T. intermedia</i>, <i>T. manginii</i>, <i>T. oblonga</i> var. <i>oblonga</i>, var. <i>pulcherrima</i> и var. <i>punctata</i>, <i>T. pseudobulla</i>, <i>T. similis</i>, <i>T. sydneyensis</i> var. <i>sydneyensis</i> и var. <i>grandicollis</i>, <i>T. superba</i> f. <i>echinata</i>, <i>T. volvocinopsis</i>;	Гецен, 1985. С. 122-123.	В этих сборах вне систематической обработки оказались показательные для антропогенной обработки остались хетофоровые, криптофитовые и динофитовые. Следствием антропогенного эвтрофирования водоемов, связанного с освоением северных территорий, может явиться в дальнейшем некоторое увеличение ценотической роли эвгленовых водорослей в небольших озерах, расположенных близ поселков (Т.А. Сафонова, 1982, по: Гецен, 1985).

Условия обитания, виды воздействия, экологический фактор, индикатором которых является вид (таксон) водорослей	Виды (таксоны) водорослей-индикаторов ⁴	Источник данных	Примечание
	хлорококковые – <i>Ankistrodesmus arcuatus</i>, <i>Pediastrum tetras</i>, <i>Scenedesmus armatus</i>, <i>S. circumfusus</i>, <i>S. costato-granulatus</i>, <i>S. helveticus</i>, <i>S. incrassatulus</i> var. <i>incrassatulus</i> и var. <i>alternans</i>, <i>S. lefevrii</i>, <i>S. obliquus</i> var. <i>obliquus</i> и var. <i>costulatus</i>, <i>S. planctonicus</i>, <i>S. serratus</i> f. <i>minor</i>, <i>Tetraëdron incus</i>, <i>T. minimum</i> var. <i>minimum</i> и var. <i>scrobiculatum</i>; синезеленые – <i>Anabaena aequalis</i>, <i>A. catenula</i>, <i>A. constricta</i>, <i>Chlorogloea microcystoides</i>, <i>Merismopedia tenuissima</i>, <i>Oscillatoria amphibian</i> f. <i>tenuis</i>, <i>O. granulate</i>, <i>O. geminate</i> f. <i>sulphurae</i>, <i>O. irrigua</i>, <i>O. kuetzingiana</i> f. <i>crassa</i>, <i>O. limosa</i>, <i>O. terebriformis</i> и f. n/det., <i>Pseudanabaena galeata</i>, <i>P. papillaterminata</i>; десмидиевые и гонатозиговые – <i>Closterium delpontei</i>, <i>C. leibleinii</i> f. <i>borgei</i>?, <i>C. moniliferum</i>, <i>C. pritchardianum</i>, <i>Cosmarium humile</i> var. <i>humile</i>, <i>C. granatum</i> var. <i>subgranatum</i>, <i>C. leave</i> var. <i>septentrionale</i>, <i>C. regnesii</i> var. <i>montanum</i>, <i>Gonatozygon brebissonii</i> var. <i>laeve</i>, <i>G. kinahanii</i>, <i>G. monotaenium</i>, <i>Raphidiastrum lunarum</i> var. <i>planctonicum</i>, <i>Staurodesmus brevispinus</i>; золотистые – <i>Dinobryon angulatum</i>, <i>D. asymmetricum</i>, <i>D. septularia</i>, <i>D. sociale</i> var. <i>americanum</i>, <i>Epipyxis aurea</i>, <i>E. borealis</i>, <i>E. natans</i>, <i>E. proteus</i>, <i>E. tabellariae</i>?, <i>Hymenomonas roseola</i>, <i>Mallomonas papillosa</i>, <i>M. striata</i> var. <i>serrata</i>, <i>Paraphysomonas bondaensis</i>, <i>P. imperforate</i>, <i>P. vestita</i>, <i>Spinispermomonas abei</i>, <i>Synidra petersenii</i>; зеленые – <i>Cladophora glomerata</i>, <i>Eudorina elegans</i>, <i>Geminella interrupta</i>, <i>Microspora quadrata</i>, <i>Mougeotia</i> ssp. <i>ster.</i>, <i>Oedogonium minus</i>, <i>Pandorina morum</i>, <i>Spirogyra</i> spp. <i>ster.</i>, <i>Ulothrix</i> spp., <i>Vaucheria</i> spp.; желтозеленые – <i>Ophiocytium capitatum</i>, <i>O. parvulum</i>, <i>Tribonema affine</i>, <i>T. viride</i>, <i>T. vulgare</i>; харовые – <i>Chara vulgaris</i>.		

Узкоспециализированные виды проявляют себя как диагностический признак определенных условий при их нахождении в зоне оптимума, характеризующейся массовым развитием данного вида.

По результатам настоящего исследования в качестве индикатора можно отметить алкалифилов *Audouinella chalybaea* (вид выступает в роли доминанта в импактной зоне р. Нярма) и *Chantransia sp.* (с высокой встречаемостью отмечен в р. Силваяха близ заброшенной шахты) – эти виды при массовом развитии могут свидетельствовать об антропогенном подщелачивании водных объектов относительно ненарушенных природных аналогов. Среди ацидофилов отмечены *Aphanocapsa grevillei* в озере Коматы, испытывающем значительное антропогенное загрязнение от компрессорной станции газопровода, и *Closterium tumidulum*, который не достигает массового развития, но является видом с высокой встречаемостью в обследованных водных объектах.

Индикатором значительного и постоянного воздействия объектов инфраструктуры магистрального газопровода является развитие в водорослевых сообществах видов из отдела Euglenozoa (в оз. Коматы, оз. № 1), не характерных для чистых водоемов Большеземельской тундры и Полярного Урала.

В импактной зоне объектов газопровода также часто встречаются *Cosmarium botrytis*, *Euastrum bidentatum*, *Cosmarium formosulum*, *Closterium ehrenbergii* – типичные представители реофильного комплекса, обитающие в затронутых деятельностью человека водоёмах.

Массовое развитие олигосапроба *Staurastrum muticum*, напротив, свидетельствует о чистых условиях водной среды. Олигогалофоб-галофоб *Cosmarium reniforme* (приложение 6 – рисунок 4) является доминантом по численности в горном оз. Б. Манясейто – это показатель чистоты его вод.

Диагностическим признаком, как указано выше, является изменение соотношения индикаторных групп водорослей (Баринова и др., 2009). Не представляется возможным оценить динамику изменения структуры альгоценозов для всех групп водорослей (для многих видов не известны их экологические характеристики). Нами построены диаграммы, отражающие структуру альгофлор по индикаторам сапробности (рисунки 5.4.4-5.4.6).

Отдельную группу водных объектов, в которой преобладают β-мезосапробы – острый угол диаграмм (рисунки 5.4.4, А, Б, В, Г; 5.4.5, Б, В; 5.4.6, Б, В, Г) указывает данное направление – составляют флоры озер Тройное, № 4, р. Силваяха, фоновых участков рек Кара и Нярма, импактного участка р. Б. Лядгей. Кроме того, в трех последних кроме β-мезосапробов лидирующие позиции по числу видов занимают о-α-мезосапробы. Это наиболее характерное соотношение показателей сапробности для альгофлор данного района, на что указывает диаграмма (рисунок 5.4.4, А), построенная на основе общего списка видов

(приложение 1) обследованных водных объектов бассейна р. Кара, а также данные других исследователей (Биологическое разнообразие..., 2010). Отмеченное сходство импактного участка р. Б. Лядгей с фоновыми станциями рек Кара и Нярма подтверждает результаты, полученные на дендрите сходства видового состава альгоценозов обследованных водных объектов, построенного на основе качественного коэффициента Сьеренсена-Чекановского (рисунок 5.1.4). Индивидуальные особенности проявляет оз. Круглое (рисунок 5.4.5, Г), отличающееся от общей группы большим участием α -мезосапробов с уменьшением доли α - β , (β - α)-мезосапробов и β -мезосапробов.

Для оз. Хальмерты (рисунок 5.4.6, А) острые углы диаграммы указывают на практически равные доли олигосапробов, β - и α -мезосапробов. В спектре р. Хальмерью (рисунок 5.4.6, А) представлены практически все группы индикаторов сапробности, при небольшом преобладании α - α -, α - β , (β - α)- и β -мезосапробов.

Для выявления диагностических признаков изменения экологической структуры альгоценозов в условиях загрязнения от объектов магистрального газопровода представляют интерес звёздчатые диаграммы, построенные для рек Кара, Нярма, Б. Лядгей (рисунок 5.4.6, Б, В, Г). В р. Кара (рисунок 5.4.6, В) на загрязненном участке при сохранении ведущей роли β -мезосапробов увеличивается участие α -мезосапробов, уменьшается – (χ - α , α - χ , χ - β)-сапробов, при этом исчезают виды – α - β , (β - α)-мезосапробы. Таким образом, можно отметить изменение структуры альгоценоза и повышение уровня сапробности водотока. Известно, что влияние антропогенной трансформации водосборов проявляется в увеличении трофического статуса водоемов (Восстановление..., 1994; Якушко, 1994; Снитко, 2009). В р. Б. Лядгей (импактная зона) увеличивается участие α - и β -мезосапробов, при этом появляются экологически пластичные виды – α - β , (β - α)-мезосапробы, не отмеченные на фоновом участке этой реки (рисунок 5.4.6, Б). Существенно отличается экологическая структура водорослевого сообщества р. Нярма в импактной зоне относительно фоновой участка этой реки (рисунок 5.4.6, Г): из спектра исчезают α -мезосапробы, β - α -, (α - β)-мезосапробы, при этом появляются (χ - α , α - χ , χ - β)-сапробы, увеличивается доля олигосапробов при снижении участия β -мезосапробов. Отсутствие на фоновом участке χ - α , α - χ , χ - β -сапробов, указывает на загрязнение реки на условно фоновом участке, повышение сапробности отмечено и по гидрохимическим показателям р. Нярма выше моста (см. разделы 4.2, 4.3). В частности, отмечено загрязнение нефтепродуктами (таблица 4.3.1), возможно, в результате проезда автотранспорта до строительства моста по руслу реки.

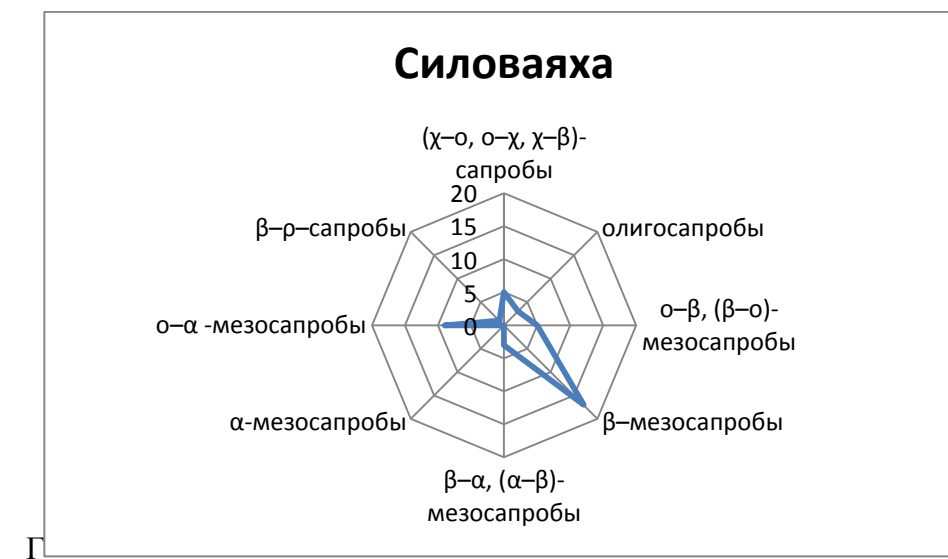
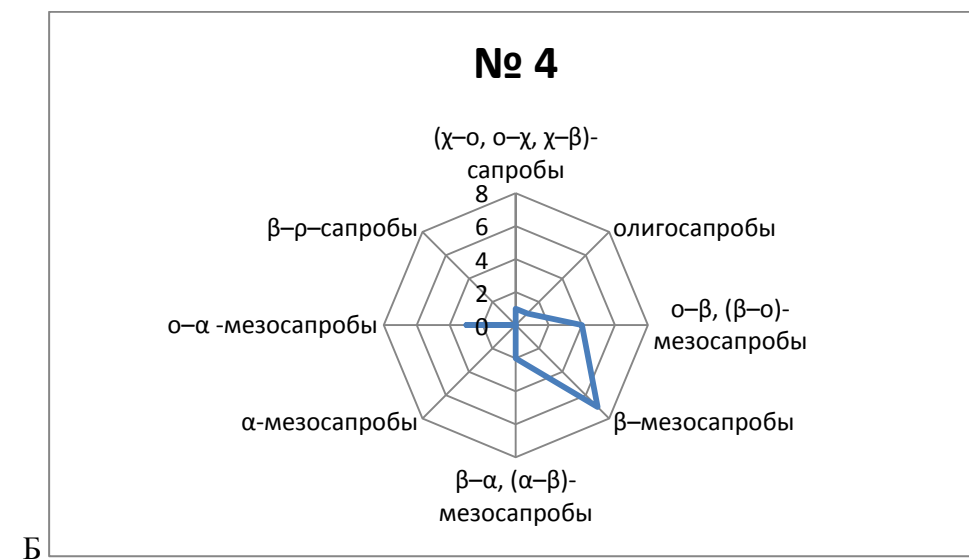
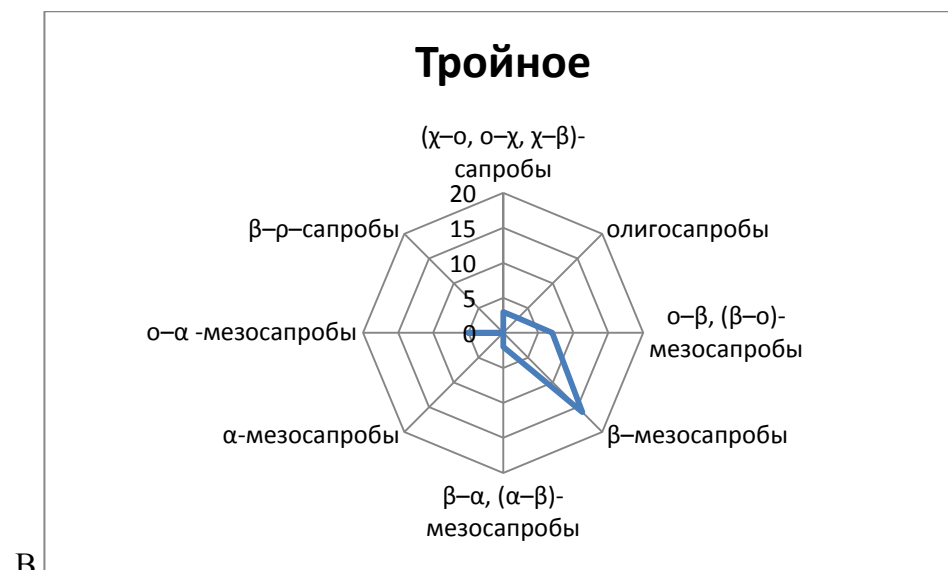
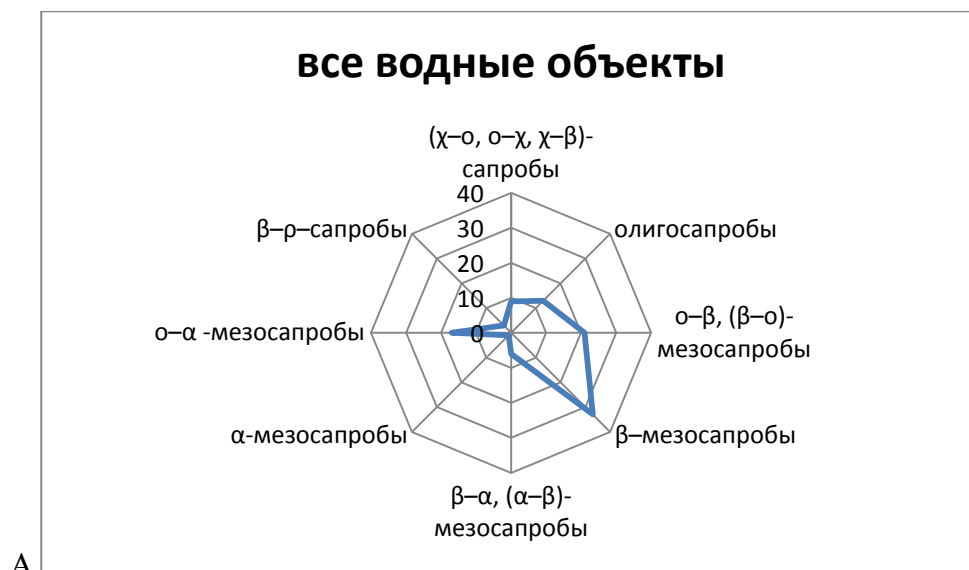
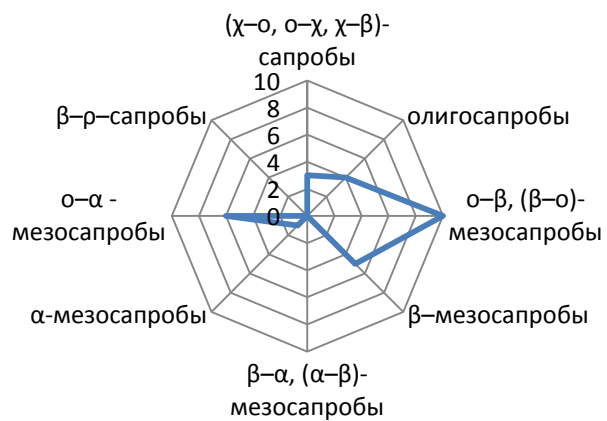


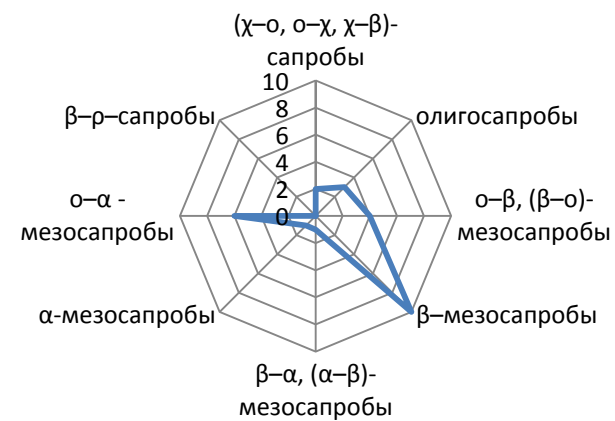
Рисунок 5.4.4. Звёздчатые диаграммы – экологическая структура альгофлор по индикаторам сапробности (часть 1)

Манясейто



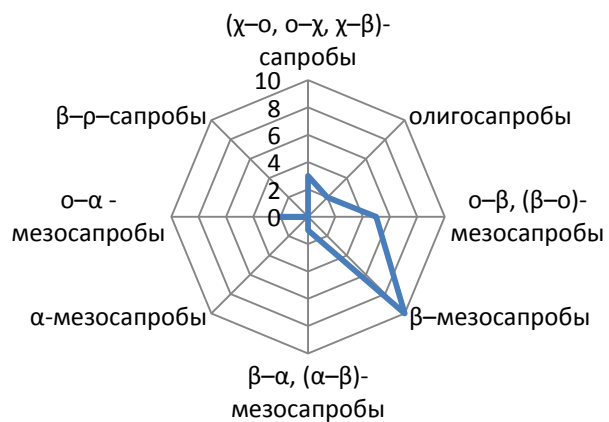
А

№ 1



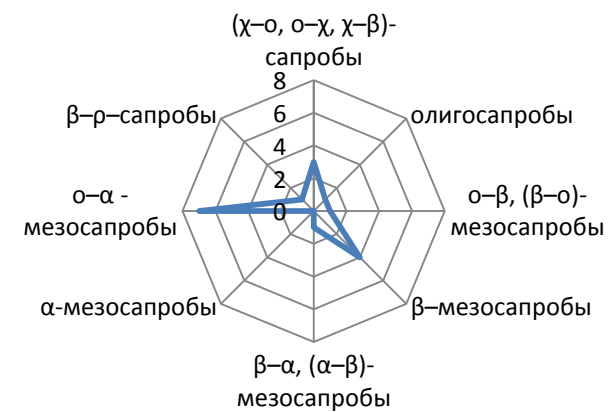
В

Коматы



Б

Круглое



Г

Рисунок 5.4.5. Звёздчатые диаграммы – экологическая структура альгофлор по индикаторам сапробности (часть 2)

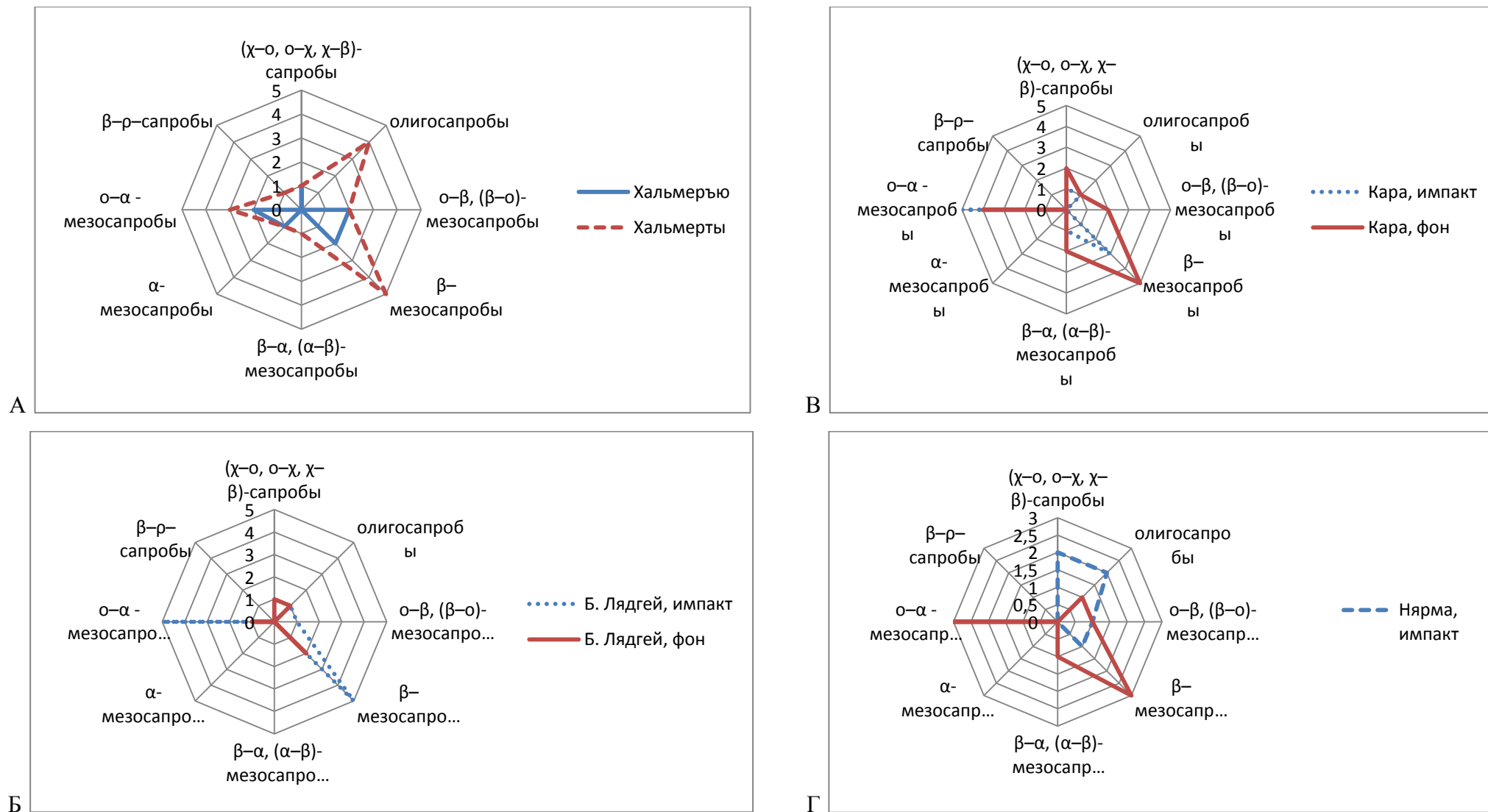


Рисунок 5.4.6. Звёздчатые диаграммы – экологическая структура альгофлор по индикаторам сапробности (часть 3)

Последователи теории В.И. Вернадского о ведущей геохимической роли живого вещества находят, что основным критерием загрязненности или незагрязненности территории должно быть состояние и функционирование присущих данной системе живых организмов (Глазовская, 2007). Незагрязненные биокосные системы должны удовлетворять следующим условиям: не нарушаются биохимические функции живого вещества в системе; не понижается биологическая продуктивность системы, ее информативность. Критерий сохранения биологического разнообразия долгое время считался определяющим для оценки наличия негативного антропогенного воздействия (Reynolds, 1984; Одум, 1986). Вместе с этим, наши исследования показали, что загрязнение территории водосбора приводит к увеличению или уменьшению числа видов водорослей, изменению структуры сообществ (таблицы 5.1.4, 5.1.5, рисунки 5.3.1-5.3.6, 5.4.4-5.4.6) в водоеме. Возможность увеличения числа видов в слабо и умеренно загрязненных водах, с последующим снижением при более сильных загрязнениях, согласуется с данными других авторов (Гецен, 1985; Природная среда тундры..., 2005; Барина и др., 2006; Снитько, 2009; Моисеенко, 2009). В результате многолетних исследований на модельном оз. Имандра для водорослей установлено, что виды-индикаторы загрязнения тяжелыми металлами отсутствуют, а показатель разнообразия сообщества не является надежным индикатором в условиях слабого загрязнения (Моисеенко, 2009). Указанное еще раз подчеркивает необходимость совмещения гидрогеохимических и альгологических исследований.

5.5. Адаптационные механизмы альгоценозов в зоне влияния магистрального газопровода, прогноз их изменений и подходы к организации экологического мониторинга

Закономерности сукцессий экосистем после токсичного загрязнения, происходящие взаимосвязанно в их структурных элементах, мало изучены (Моисеенко, Шаров, 2010). При этом известно, что для большинства биологических видов реагирование на любое техногенное загрязнение (если оно не носит катастрофический характер) принципиально не отличается от выработанных в ходе эволюции обычных реакций на колеблющиеся условия среды. В процессе адаптации биоценоза к меняющимся условиям включаются компенсаторные механизмы (Шитиков и др., 2003). Определение состояния живых систем и их отклика на загрязнение среды (Николаевский, 1981; Реймерс, 1990), оценка качества вод по состоянию индикаторных механизмов или сообществ организмов (Моисеенко и др., 2010б) – это функции экологического мониторинга. Подходы к нему, которые объединяют оценку состояния окружающей среды и прогноз предполагаемых изменений, представляют большой интерес с

точки зрения практической значимости (Федоров, 1974; Израэль, 1977; Бурдин, 1985; Моисеенко и др., 2010б).

В настоящее время для обследованных водных объектов в зоне загрязнения отмечена трансформация структуры альгоценозов, в том числе выпадение одних и появление других отделов и экологических групп водорослей, при этом необратимые нарушения водных экосистем не выявлены. Аналогично в зоне влияния щелочных шахтных стоков в районе Воркутинского промышленного узла не наблюдалось «катастрофических» изменений водорослевых сообществ (Природная среда тундры..., 2005), что отмечает наличие адаптационных механизмов. Самоочищение водотоков обеспечивается благодаря устойчивости фитоперифитона, активности конкурентоспособных видов и саморегуляции экосистем (там же).

Кроме того, применительно к водорослям показана наибольшая энергетическая активность мелких видов в составе фитопланктона арктических озер (Гецен, 1985). В загрязненных водных объектах и в эвтрофных условиях отмечалось развитие мелких видов водорослей (Структурно-функциональная организация..., 1994; Альгофлора..., 1994; Особенности структуры..., 1994; Гецен, 1985; Снитько, 2009; Моисеенко, Шаров, 2010; таблица 1.2.1), что может быть проявлением r-стратегии (MacArthur, Wilson, 1967) – быстрое развитие, раннее размножение и небольшие размеры как приспособление к изменчивым и(или) непредсказуемым условиям среды. Обширные исследования Павони (Pavoni, 1963, по: Гецен, 1985) показали, что олиготрофные и эвтрофные условия в одинаковой степени способствуют повышению процента мелких видов, но отличаются их составом: при олиготрофии доминируют хризомонады, криптомонады и перидинеи, при эвтрофии – синезеленые, диатомовые, при гиперэвтрофии – зеленые и эвгленовые. В составе доминантных комплексов (таблица 5.1.5) во многих водных объектах нами отмечены мелкие нитчатые водоросли – представители родов *Dolichospermum*, *Anabaena*, *Nostoc*, характерные для летнего фитопланктона в природном оптимуме развития. Диагностическим признаком антропогенного эвтрофирования являются доминирование мелких форм водорослей в оз. Тройном, импактной зоне р. Б. Лядгей и оз. № 1 (таблица 5.1.5). В первом – *Microcystis flosaquae* и *Snowella lacustris* (приложение 6, рисунок 13), что может быть следствием загрязнения от традиционного природопользования – оленеводства, признаки которого также проявились в результатах гидрохимии. Виды рода *Microcystis* известны как показатели загрязненных вод (Jafari, Gunale, 2006; таблица 5.3.1). В двух других – как доминанта и субдоминанта *Scenedesmus communis* (син. *Scenedesmus quadricauda*) с образованием его мелких форм, что является проявлением токсического воздействия загрязнения от объектов магистрального газопровода. Для *S. communis* ранее в экспериментальных исследованиях (Дмитриева и др., 1992, Филенко и др., 2005, по: Моисеенко, 2009) было установлено, что при

хроническом действии токсичных веществ часть клеток погибала, другая оказалась нечувствительной к действию токсикантов, у третьей наблюдалась стимуляция размножения, у четвертой – задержка деления на длительное время. При действии более высоких концентраций клетки были очень мелкими в составе 4-клеточных ценобиов, поскольку начинали делиться клетки, не достигшие нормальных размеров – 3.5 мкм при 4.5 мкм в норме. Аналогичные уменьшенные размеры *S. communis* наблюдались нами в пробах воды из импактной зоны р. Б. Лядгей и оз. № 1 (приложение 6 – рисунок 14). *S. communis*, *Snowella lacustris* также отмечены нами в качестве субдоминантов в обрастаниях в р. Силова-Яха, но там первый вид имел клетки нормальных размеров. Таким образом, стимуляция размножения *S. communis* с образованием мелких форм является эффектом от токсического загрязнения объектами газопровода, что может использоваться в качестве диагностического признака состояния альгоценозов в зоне его влияния. Согласно схеме модификаций водной экосистемы в условиях токсичного стресса и биогенного загрязнения, предложенной Т.И. Моисеенко (2009), повышенное содержание биогенных элементов (обусловленное «энергетическими субсидиями»), снижение биоразнообразия и доминирование мелких форм (г-стратегов), связанное с более быстрым оборотом биомассы в экосистеме (как механизм упорядочения энергии), характерно для ее нестабильного состояния, после которого наблюдается устойчивая антропогенная модификация. По мере увеличения токсической нагрузки система упрощается при нарастании биомассы и продуктивности структурных элементов экосистемы.

Таким образом, увеличение доли г-стратегов, формирование маловидовых сообществ с ярко выраженным доминированием нескольких видов по обилию или биомассе может быть проявлением критической нагрузки на водные экосистемы.

Устойчивость – это способность системы выдерживать изменения, вызванные влиянием извне, и возобновляться, а стабильность – мера изменчивости системы. Нестабильный ландшафт, к которому можно отнести тундровые и горные экосистемы, может быть очень устойчив – «закален» в условиях постоянно меняющихся условий среды, способен без существенных для себя последствий перерабатывать поступающую дополнительную энергию в виде внешнего воздействия – возмущения (Митенко, Снакин, 2009). М.В. Гецен (1985) отмечает высокий адаптивный потенциал водорослей в условиях экстремальности условий среды высоких широт. По ее данным «страховочными адаптациями» для обитания в среде с резко переменчивыми условиями являются: повышенная способность к вегетативному размножению, наличие в популяциях водорослей большого резерва вегетативных клеток, различных по назначению и переживанию неблагоприятных условий; сложная поведенческая стратегия водорослей-азотфиксаторов – во флоре тундры синезеленые среди других отделов выделяются наибольшей фитоценотической и физиологической пластичностью. Приспособительные возможности азотфиксаторов в суровых условиях среды повышаются за

счет усложнения структуры популяций за счет форм внутривидовой изменчивости («экофенов»), особенно у многовидовых родов *Anabaena* и *Nostoc*. Азотфиксирующие виды способны поддерживать постоянство внутриклеточной среды. Водоросли, адаптированные к условиям низких температур, содержат большое количество органических веществ, в том числе протеина, энзимов, пролина, а также жира и крахмала (Jørgensen, 1968; Steemann, Jørgensen, 1968a, 1968b; Кошелева, Новичкова-Иванова, 1958, по: Гецен, 1985).

При действии определенных факторов среды конкретная экосистема может находиться в стабильном состоянии в диапазоне действия факторов, к которым она исторически адаптирована. За их пределами структура и функции экосистемы изменяются. При этом она может приобрести другие свойства и будет уже в новом качестве (как новая система) оставаться стабильной до тех пор, пока будут действовать данные факторы (Моисеенко и др., 2012). Экспертная характеристика экологического состояния водного объекта основывается на общей сумме всех признаков, включая структурные (видовой состав, численность, биоразнообразие, соотношение видов различной экологической валентности, характеристики их сапробности) и функциональные характеристики водных сообществ (показатели продукции, деструкции и др.) (Моисеенко и др., 2010б). При воздействии деструктивного фактора, каким является загрязнение экосистемы, он нарушает, прежде всего, стабильность системы. В конкретных условиях среды при наличии сезонной вариабельности формируются определенные экосистемы (Моисеенко и др., 2012). Согласно карте интегральной балльной оценки природных территориальных комплексов (ПТК) на территории Европы (Митенко, Снакин, 2009), Большеземельская тундра и Полярный Урал относятся к слабоустойчивым ПТК. Для определения их устойчивости к воздействию человека необходимо знать, какие условия и факторы природной среды определяют нормальное функционирование ПТК, как адаптируются или сопротивляются природные системы. При этом антропогенное воздействие можно рассматривать как аналог естественному изменению внешних условий существования – каждому типу воздействия можно найти соответствующий тип природного процесса, на определенном уровне обобщения (Снакин и др., 1998; Митенко, Снакин, 2009).

При эксплуатации объектов газодобывающей промышленности существует вероятность накопления в донных отложениях водных объектов углеводородов, ПАУ, их азот- и серосодержащих гетероциклических производных, хлор- и аминокислотных других циклических веществ, СПАВ (Об утверждении Методических указаний..., 2014), что вызовет повышение трофического статуса водоёмов.

Антропогенное воздействие на экосистему отличает от природного его комплексность (Митенко, Снакин, 2009). При проведении исследований на удаленных и обширных территориях, какими являются Большеземельская тундра и Полярный Урал без проведения многолетних круглогодичных мониторинговых исследований достаточно сложно выявить

конкретные факторы стресса, приводящие к деструктивным изменениям водных экосистем. По результатам полевых исследований возможно оценить только влияние совокупного действия факторов от тех или иных антропогенных объектов. Импактные участки обследованных рек и озер характеризуются трансформацией структуры водорослевых группировок (рисунки 5.2.3, 5.3.6, 5.4.6, разделы 5.3, 5.4 данной работы), проявляют в основном неспецифические реакции на изменение условий среды, что также обуславливает небольшое число индикаторных видов. Известна индикаторная роль видов родов *Pediastrum* (Jankovská, Komárek, 2000), *Scenedesmus* (Jafari, Gunale, 2006; Mohammed, Markert, 2006; Bauer et al., 2012). Отмеченные нами виды родов *Pediastrum*, *Cosmarium*, *Scenedesmus* являются характерными для загрязненных местообитаний района исследований (таблицы 1.2.1, 5.3.1). Ранее исследователи также отмечали изменения водорослевых ассоциаций на участках выше по течению и ниже по течению реки, где антропогенные воздействия приводят к увеличению количества питательных веществ. В нижележащих участках наблюдалась общая тенденция к уменьшению видового богатства, численности и разнообразия цианобактерий (Perona, Bonilla, Mateo, 1998), а также достоверные изменения химических показателей в створах одной реки выше и ниже по течению от источника загрязнения (Warner et al., 2013).

Экосистемы водоемов испытывают действие двух факторов различной экологической значимости – притока энергетических субсидий (биогенных элементов) и стрессовых условий, формируемых токсичным загрязнением вод (Kelly, Whitton, 1998; Моисеенко, Шаров, 2010). Изменения биоразнообразия, структуры сообществ могут рассматриваться для интегральной оценки последствий пролонгированного влияния слабых доз загрязнения, неудовлетворительного качества вод (Моисеенко и др., 2010б, 2012).

Полученные нами данные по содержанию тяжелых металлов в воде и донных отложениях обследованных водных объектов (разделы 4.2, 4.3, таблица 4.3.1) подтвердили прогноз других исследователей, осуществленный с применением методов экологического моделирования, относительно достижения критических нагрузок к 2010-2015 гг. в результате загрязнения, а также проявления аддитивных синергетических эффектов уже на начальных стадиях работы магистрального газопровода «Ямал-Центр» (Казак, 2002; Самсонов и др., 2006). Кроме того, имеются данные (Одишария и др., 1994, по: Самсонов и др., 2006), согласно которым увеличение эмиссии окислов азота (NO_x) в районе Бованенковского газоконденсатного месторождения (БГКМ) будет происходить в течение 2010-2025 годов. Эмиссия сернистого ангидрида будет неизменной в течение этого времени и составит 470 тыс. т/год. Сопоставляя эти данные по планируемому объему эмиссии оксидов азота при переработке газа на БГКМ, специалисты ООО «ВНИИГАЗ» и Института физикохимических и биологических проблем почвоведения (Самсонов и др., 2006) предполагают, что величины атмотехногенных выпадений соединений азота могут существенно возрасти по сравнению с

периодом проведения их исследований. По состоянию на 2006 год для экосистем, расположенных в зоне потенциального воздействия ГКС газопровода «Ямал-Центр» на его участке «Бованенковская ГКС-Торжокская ГКС», превышения величин критических нагрузок по подкисляющим соединениям серы и азокислота не было. Проведенные нами исследования также показали, что в 2013 году, когда был осуществлен отбор проб природной поверхностной воды в зоне влияния объектов газопровода, отсутствовало антропогенное подкисление водоемов. Это подтверждает и соотношение молярных концентраций анионов HCO_3^- и SO_4^{2-} (приложение 4) – превалирование первого свидетельствует о сохранении буферной ёмкости вод, об отсутствии подкисления (Моисеенко и др., 2011б).

Согласно понятию качества вод с точки зрения экологической парадигмы, предложенному Т.И. Моисеенко с соавторами (2010а), это «свойства вод, сформированные в процессе химических, физических и биологических процессов, как на водоёме, так и на водосборе; благоприятным качество вод может считаться в том случае, если оно отвечает требованиям сохранения здоровья организмов и воспроизводства наиболее чувствительных видов, адаптированных в процессе эволюционного развития к существованию в условиях этого водоёма». По результатам данного исследования установлено, что состояние водных экосистем в зоне влияния объектов магистрального газопровода близко к достижению критических нагрузок, поскольку отмечаются антропогенные изменения структуры альгоценозов как наиболее восприимчивого компонента экосистем, наблюдается химическое загрязнение воды и донных отложений. Исчезновение из альгоценозов чувствительных таксонов и групп водорослей свидетельствует о снижении качества вод.

Вместе с этим, показатели среды (поступление поллютантов) пока еще не вызывают необратимых изменений в биогеохимическом круговороте элементов в экосистемах, «значительного вредного воздействия на специфические чувствительные организмы» (Самсонов и др., 2006).

В дальнейшем возможно локальное превышение установленных величин критических нагрузок (по содержанию соединений азота и тяжелых металлов) и усиление процессов подкисления и/или эвтрофирования наземных и пресноводных экосистем. Также следует учитывать, что для низкоминерализованных вод, к которым относятся воды Большеземельской тундры и Полярного Урала, проникающая способность и токсичное действие металлов многократно усиливаются (Моисеенко, Кудрявцева, Гашкина, 2006). Эвтрофирование озер – достаточно опасное проявление антропогенной трансформации водоемов. На ранних стадиях развития данного процесса потребительское качество воды сохраняется на приемлемом уровне, а повышение рыбопродуктивности воспринимается как положительное явление. «Происходят десятилетия прежде, чем появление биопомех

водоснабжению, гибель рыбы, снижение рекреационного потенциала напоят о накоплении в экосистеме биогенов и вовлечении их в биотический круговорот» (Голубок, Речкалов, 2013).

Ю.А. Израэль (1984) предложил понятие ассимиляционной ёмкости экосистемы, характеризующейся ее способностью утилизировать поток загрязнений без изменения структурно-функциональной организации, то есть способность системы «перерабатывать» поступающие извне загрязняющие вещества. Ассимиляционная ёмкость определяется прежде всего процессами самоочищения, которые в свою очередь зависят как от гидрологических и биогеохимических процессов, так и от видового изобилия и функционального многообразия системы (по: Моисеенко и др., 2012).

Самоочищение загрязненных вод осуществляется в результате биологического круговорота веществ, включающего процессы создания органических веществ, их трансформацию и разрушение, осуществляемые через трофические связи бактериального, животного и растительного населения вод. «Цветение» прудов способствует минерализации и самоочищению стоков (Митина, Телитченко, 2011). Это природное явление наблюдается в результате массового развития одного или нескольких видов водорослей при нарушении экологического баланса как в ненарушенных природных водоемах, так и в водных объектах, находящихся под влиянием антропогенного эвтрофирования во всех природно-климатических зонах (Патова, 2014). «Цветение», вызванное массовым развитием цианопрокариот, также было отмечено нами (данные обобщены в разделе 5.1 данной работы).

Известна большая очищающая способность синезеленых водорослей, по сравнению с зелеными и жгутиковыми, которые в летние месяцы интенсивно выедаются зоопланктоном (особенно зеленые водоросли), вследствие чего значительно снижается альгологическая реаэрация воды и ухудшается ее очистка. Так, внесение альгологического полинокулята в биологические пруды с мутной водой вызывало цветение и сопровождалось коагуляцией, через 4 сут. прозрачность воды повышалась с 4 до 30 см. Фотосинтетическое аэрирование воды не только усиливает минерализацию органических веществ, но и ускоряет многие процессы окислительной биологической детоксикации и тем самым улучшает качество воды (Митина, Телитченко, 2011). Кроме того, увеличение концентрации биогенных элементов, в частности фосфора, смягчает действие замутнения (Особенности структуры..., 1994).

В условиях загрязнения окружающей среды происходит увеличение интенсивности метаболизма (метаболический прогресс) или снижение (ретаболический регресс). Выделяют три общих направления метаболического прогресса, связанные с тремя путями изменения структур биоценоза: с услаждением структуры (экологический прогресс); с перестройкой, не ведущей к упрощению или усложнению (экологические модуляции); с упрощением (экологический регресс). В связи с этим выделяют следующие границы состояния экосистем: фоновое состояние; антропогенное экологическое напряжение, выражающееся в увеличении

разнообразия биоценоза, усложнении структуры и уменьшении энтропии; антропогенный экологический регресс, характеризующийся уменьшением биоразнообразия, упрощением структуры и увеличением энтропии экосистем; снижение активности всех процессов образования и разрушения органического вещества, включая процессы первичного и вторичного продуцирования – метаболический регресс, который наступает в условиях тяжелого загрязнения водных объектов токсикантами. В соответствии с состоянием водных сообществ дается следующая градация оценки качества вод: чистая, слабо загрязненная, умеренно загрязненная и грязная (Моисеенко, 2009; Моисеенко и др., 2010б). До настоящего времени не выявлено однозначно установленной связи структуры сообществ фитопланктона с трофическим уровнем водной экосистемы (Снитько, 2009). Проведенное нами исследование показало антропогенное экологическое напряжение импактных участков рек и озёр в зоне влияния магистрального газопровода (Тикушева, Патова, 2014, 2015а).

Согласно учению Ю. Одума (1986), «ценность концепции лимитирующих факторов, которые «функционально важны» для организма, состоит в том, что дает отправную точку при экологических исследованиях» (по: Гашкина и др., 2012). В разделах 4.2 и 5.1 мы отмечали лимитирующее значение азота и фосфора в водных объектах данного района, а также развитие азотфиксаторов как один из адаптивных механизмов альгофлоры тундровой зоны. В развитии альгоценоза имеет существенное влияние биогенный фактор в виде накопления азота при увеличении минерализации вод, которое способствует дальнейшему развитию водорослей, вызывая «цветение» воды. Последнее, в свою очередь является механизмом самоочищения воды. Таким образом, привнос в водный объект микроэлементов в небольших количествах компенсируется процессами самоочищения. Более длительная экспозиция обычно сопровождается вторичным загрязнением водоемов отмирающим фитопланктоном. Данные выводы подтверждает прогноз других авторов (Самсонов и др., 2006).

Таким образом, основными путями адаптации водорослевых сообществ в стрессовых условиях, обусловленных влиянием объектов магистрального газопровода территории Большеземельской тундры и Полярного Урала, могут являться: антропогенное «цветение» воды как реакция на увеличение трофического статуса водных объектов, механизм самоочищения воды, а также поддержание функциональной структуры альгоценоза за счет толерантных «местных» видов, замещающих более чувствительные, экологически специфичные таксоны и группы водорослей.

Данные по трансформации водных экосистем в зоне влияния газопровода, полученные на основе химического анализа вод и донных отложений, сведений по альгоиндикации обобщены в блок-схеме на рисунке 5.3.6. Эти сведения могут быть учтены при проведении ОВОС и разработке программ производственного экологического мониторинга и производственного экологического контроля при эксплуатации транспортного газопровода в

районах Крайнего Севера. Это общепринятая мировая практика (Кичигин, Поляков, 2005; Broderick, Durning, 2006), когда научные исследования являются основой для обеспечения соблюдения нормативов качества среды и допустимых уровней воздействия.

С учетом полученных данных, а также известных сведений об устойчивости и трансформации водных экосистем, можно прогнозировать следующие проявления критических нагрузок при дальнейшем возрастании загрязнения в зоне влияния магистрального газопровода «Бованенково-Ухта»:

1) выпадение из состава альгофлоры катаробионтов и реофильных видов – обитателей чистых вод, в последующем – других экологически специализированных видов при массовом развитии небольшого числа относительно толерантных, эврибионтов;

2) обеднение видового состава альгоценоза с последующим уменьшением самоочистительных возможностей (может наблюдаться и после повышения разнообразия водорослей);

3) увеличение доли мелких форм водорослей как неспецифическая реакция г-стратегов (выход мелких по размеру видов в доминанты и субдоминанты сообщества, а также стимуляция размножения *S. communis* с образованием его мелких форм является эффектом от токсического загрязнения объектами газопровода);

4) при сильном антропогенном эвтрофировании водных объектов Большеземельской тундры и Полярного Урала наиболее вероятно формирование маловидовых водорослевых ассоциаций с господством нитчатых синезеленых – представителей родов *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Dolichospermum*, *Nostoc*, «цветение» воды, вызванное их массовым развитием;

5) увеличение доли видов из отдела Euglenozoa, не характерных для чистых водоемов Большеземельской тундры и Полярного Урала, появление новых космополитных видов, широко представленных в других районах.

В последующем, в случае уменьшения уровня антропогенного воздействия за счет естественного развития экосистем происходит их восстановление. Например, для озер Ладожское, Онежское, Имандра установлено, что происходит успешная утилизация минеральных форм биогенных элементов, снижаются концентрации тяжелых металлов в воде, при этом видовая структура сообществ остается отличной от природной. Ряд видов, характерных для естественных экосистем, не восстанавливают свою численность. Происходит увеличение обилия крупных форм (К-стратегов) и хищных организмов в структуре зоопланктона (бентосные сообщества более инертны к восстановлению, и их биоразнообразие остается низким). Вместе с этим, ведущим механизмом возврата к природным условиям является стабильность функционирования вновь сформированной экосистемы после загрязнения (Моисеенко, Шаров, 2010). Для исследуемого нами района можно предположить аналогичные изменения.

Для сравнения также отметим, что крупные озера даже в условиях длительного антропогенного воздействия сохраняют относительно высокое качество воды и разнообразие водорослевых сообществ. Так, крупное озеро Кольского Севера – Умбозеро несмотря на длительное (с 1978 г.) загрязнение взвешенными веществами и нитросоединениями при значительном превышении показателей по отдельным химическим элементам, изменении структуры альгоценозов продолжает оставаться олиготрофным водоёмом с относительно чистой водой и высоким разнообразием водорослей. Однако, внешне благополучная обстановка с биотой и отсутствие превышения ПДК химических элементов в воде, сохранение природных особенностей воды, не свидетельствуют об отсутствии негативного воздействия. Например, в Чунозере, испытывающем исключительно аэротехногенное загрязнение предприятий того же района и расположенном на территории Лапландского государственного биосферного заповедника, практически не подверженного другим видам воздействия, дополнительные исследования выявили наличие токсических изменений в организме рыб в связи с аккумуляцией тяжелых металлов (Румянцев и др., 2015). Вместе с этим, исследователи полагают, что экологическая обстановка в районах прохождения магистрального газопровода существенно не изменится в случае его эксплуатации с соблюдением требований природоохранного законодательства и действующих нормативов качества среды (Vilchek, 2002; Кичигин, Поляков, 2006; Broderick, Durning, 2006).

В данной работе использованы в совокупности альгоиндикация и химический анализ вод и донных отложений, что позволяет оценить комплексный характер загрязнения на ранней стадии воздействия газопровода. Водоросли являются наиболее чувствительным и информативным компонентом водных биоценозов, дают возможность диагностировать первые нарушения и оценить их значимость для всей экостистемы в ближайшем и отдаленном будущем. Из-за своих особенностей питания и положения в основе водных пищевых сетей водоросли предоставляют уникальную информацию о состоянии экосистемы, быстро реагируют на широкий спектр загрязняющих веществ и, таким образом, обеспечивают потенциально полезные сигналы раннего предупреждения об ухудшающихся условиях среды и возможных их причинах. Показатели альгоиндикации также являются экономически эффективным инструментом мониторинга (McCormick, Cairns, 1994).

В результате обобщения полученных результатов (рисунок 5.3.6) нами предложена программа экологического мониторинга состояния водных объектов в зоне влияния магистрального газопровода (таблица 5.5.1).

Определение экологических рисков (первый столбец таблицы 5.5.1) производится методом оценки значимости воздействий, описанным В.К. Шитиковым с соавторами (2003), путем сравнения параметров состояния окружающей среды с фоновыми или характерными для данного района значениями. Контролируемые показатели (четвертый столбец таблицы

5.5.1) отражают как химические (формальные) показатели качества вод, так и специфику структурно-функциональной организации сообществ. Предложенная программа позволит оценить изменения качества водной среды в зоне влияния магистрального газопровода «Бованенково-Ухта» как в экологическом (для живых организмов, естественных свойств водоёмов), так и прикладном, хозяйственном (для человека) значении.

Таблица 5.5.1

**Программа экологического мониторинга
состояния водных объектов в зоне влияния магистрального газопровода «Бованенково-Ухта» (в районе Большеземельской тундры и Полярного Урала) с использованием
альгоиндикации и данных химического анализа**

Экологические риски (диагностические признаки)	Приобретаемые факторы среды, их значимость для экосистемы в целом (прогноз состояния)	Объекты наблюдений	Контролируемые показатели	Периодичность наблюдений
Риск эвтрофикации водоёмов	Токсичность водной среды (за счет цианотоксинов, избытка органики), ухудшение условий дыхания водных организмов (недостаток кислорода). Снижение потребительского качества воды. Заболачивание, зарастание участков с малой скоростью течения и небольших водоёмов.	Природная поверхностная вода. Водоросли водоёмов.	Контроль содержания в природной поверхностной воде азота, углерода, цинка и других биогенных элементов (фосфора, кальция и магния); показателей перманганатной окисляемости (ПО) и химического потребления кислорода (ХПК). Оценка сапробности вод по водорослям-индикаторам.	В период летней межени, 1 раз в 1-3 года.
Риск формирования антропогенно измененных альгоценозов	Изменение структуры сообществ водорослей на первых стадиях не вызывает существенных изменений в экосистеме, в последующем возможны изменения в пищевых цепях.	Водоросли водоёмов.	Изучение эколого-географической структуры альгоценозов, выявление индикаторных таксонов и групп водорослей.	В период летней межени, 1 раз в 1-3 года.
Риск утраты биологического разнообразия водорослей	Сокращение биологического разнообразия - утрата узко-специализированных видов водорослей и гидробионтов.	Водоросли водоёмов.	Оценка биологического разнообразия водорослей (числа видов, выпадающих из структуры	В период летней межени, 1 раз в 1-3 года.

Экологические риски (диагностические признаки)	Приобретаемые факторы среды, их значимость для экосистемы в целом (прогноз состояния)	Объекты наблюдений	Контролируемые показатели	Периодичность наблюдений
	Разрушение экосистемы.		альгоценозов таксонов и групп водорослей).	
Риск загрязнения вод поллютантами	Токсичность водной среды, накопление поллютантов до уровня опасных концентраций, эффект концентрации токсикантов на более высоких трофических уровнях, риск отравления живых организмов на верхних ступенях пищевой цепи, а также влияние на здоровье человека. Снижение потребительского качества воды.	Природная поверхностная вода. Донные отложения.	Контроль содержания в природной поверхностной воде, донных отложениях тяжелых металлов (кадмия, свинца, меди, цинка, марганца, алюминия, ртути, мышьяка), нефтепродуктов, ПАУ.	В период летней межени, 1 раз в 1-3 года.
Риск подкисления или подщелачивания вод	Изменение естественных химических свойств водной среды, увеличение ее химической активности, снижение буферной ёмкости. Появление новых токсичных соединений. Реакция живых организмов на изменение условий их существования.	Природная поверхностная вода.	Контроль водородного показателя (рН), содержания в воде оксидов кислотообразующих соединений серы, азота, а также метана и сероводорода.	В период летней межени, 1 раз в 1-3 года.
Риск формирования локальных геохимических аномалий по содержанию цинка, меди в зоне влияния дорог	Токсичность донных отложений, риск вторичного загрязнения вод. Реакция живых организмов на изменение условий их существования.	Природная поверхностная вода. Донные отложения.	Контроль содержания в природной поверхностной воде, донных отложениях цинка, меди.	В период летней межени, 1 раз в 1-3 года.

Задача природоохранной деятельности на водоемах сводится к тому, чтобы, используя природные рычаги самоочистительной активности сообществ гидробионтов, населяющих водоемы, направлять природоохранную деятельность на сохранение их биоценозов (Митина, Телитченко, 2011). Полученные нами результаты позволили сделать некоторые обобщения и выявить закономерности трансформации альгоценозов и их адаптивных реакций, при этом

представленные данные являются рекогносцировочными. В дальнейшем для целей экологического мониторинга рекомендуется:

1) проведение углубленного системного исследования на модельных водосборах, как в природных ненарушенных условиях, так и в отношении наиболее значимых факторов воздействия, которыми являются сброс сточных вод компрессорных станций и иных объектов магистрального газопровода, интенсивное пылевое загрязнение от использования дорог вдоль его трассы;

2) длительные регулярные наблюдения реакции альгоценозов и в целом экосистем на меняющиеся условия среды более возможны на особо охраняемых природных территориях – в связи с этим требуется расширение их сети с обязательным включением в них отдельных водных объектов и крупных континентальных реликтовых озерно-речных систем Большеземельской тундры и Полярного Урала;

3) для обоснования охранного статуса водоёмов и для сохранения редких видов альгофлоры необходимо выявлять редкие альгоценозы, в том числе по условиям местообитания, редкие виды водорослей, включать их в региональную Красную Книгу.

Рекомендуется контроль на регулярной основе содержания в природных поверхностных водах в зоне влияния магистрального газопровода: азота; соединений серы (сульфат-ион); биогенных элементов (соединения углерода, азота, фосфора, кальция и магния); показателей перманганатной окисляемости (ПО) и химического потребления кислорода (ХПК), которые характеризует загрязненность сточных вод органическими соединениями; нефтепродуктов, ртути, меди, цинка, свинца, никеля, хрома, марганца, алюминия, мышьяка и кадмия – загрязнителей, характерных для зоны влияния автомобильной дороги; хрома, ванадия, марганца, а также мышьяка, цинка, молибдена, никеля – как элементов-загрязнителей почв при функционировании исправных трубопроводов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нами исследовано влияние нового промышленного объекта на альгоценозы пресноводных тундровых экосистем. Ранее магистральные газопроводы и объекты, связанные с их эксплуатацией, на территории Большеземельской тундры и западного макросклона Приполярного Урала отсутствовали. Проанализирована реакция альгоценозов на новый техногенный объект, оценено его комплексное воздействие на изменение состава водорослей, химических показателей вод и донных отложений типичных водных объектов Приполярного Урала и Большеземельской тундры.

Большая удаленность и труднодоступность объекта воздействия не позволили провести обширные исследования с широкой выборкой непосредственно для целей статистического анализа, вместе с этим, полученные материалы всесторонне проанализированы и статистически достоверно подтверждены корреляции между изменением химических показателей водной среды и видовым составом альгоценозов.

Водорослевые сообщества низкоминерализованных тундровых водных объектов реагируют увеличением видового разнообразия при начальном и среднем уровне загрязнения в зоне влияния газопровода. Снижение числа видов проявляется в сильнозагрязненных водных объектах (непроточные озера в непосредственной близости от дороги и компрессорной станции, загрязняемые осаждением пыли на водное зеркало и водосбор, а также сточными водами, сбрасываемыми в водный объект).

Даже при относительно малом уровне воздействия газопровода видовой состав водорослей реагирует на изменение водной среды, что проявляется в трансформации таксономической и экологической структуры альгоценоза относительно характерных признаков водорослевых сообществ района исследования вне зоны влияния газопровода.

При выявлении показателей изменения видового состава водорослей применен новый подход к оценке индикаторных свойств отдельных водорослей, на основе экологического понятия зоны оптимума. Проанализированы имеющиеся источники литературы по исследованию водорослевых сообществ водных объектов и составлена сводная таблица видов-индикаторов разных загрязнений, известных для данного района. При этом нами таксон отбирался как индикатор только в случае указания автором на его массовое развитие либо нетипичное появление для района исследований, если вид определен как «индикатор» или «показатель» тех или иных условий (характерные виды). Единичное нахождение вида, известного как индикатор по литературным данным, по нашему мнению, само по себе не свидетельствует о его индикаторных свойствах к исследуемому виду воздействия. Существенное значение имеет не только выявление в пробах таксона, отмеченного в

известных списках видов-индикаторов, а по признакам, подтверждающим его положительную реакцию на исследуемый вид воздействия как зону оптимума для развития.

В отношении магистрального газопровода – нового вида загрязнения в качестве индикаторных таксонов нами отмечены: *Scenedesmus communis* с образованием его мелких форм, что является эффектом от токсического загрязнения объектами газопровода; о наличии интенсивного воздействия оленеводства свидетельствуют мелкоклеточные виды *Microcystis flosaquae*, *Snowella lacustris*, доминирующие в обрастаниях макрофитов (перевыпас оленей на отдельных территориях – косвенное влияние газопровода при изъятии земель под промышленные объекты).

Таким образом, для снижения вероятности ошибочной интерпретации и повышения надежности результатов оценки экологического состояния водоема на основе альгоиндикации в настоящей работе предложен подход к отбору видов-индикаторов не только с учетом известных их экологических характеристик по отношению к среде обитания, но и с учетом их значения в альгоценозе – это виды, выходящие в число доминантов и субдоминантов, отмеченные «в массе», «встречающиеся в обилии». Виды-индикаторы, зарегистрированные в значительном обилии свидетельствуют об их развитии в зоне оптимума к комплексному воздействию существующих в конкретном водоеме экологических факторов.

Апробированы в части подхода к анализу данных методические указания по осуществлению государственного мониторинга водных объектов, утвержденные приказом Минприроды России от 24.02.2014 № 112. Применение коэффициента донной аккумуляции (КДА) при биологических исследованиях существенно дополняет понимание происходящих изменений видового состава водорослевых сообществ и интерпретацию данных химического анализа проб воды и донных отложений, помогает в организации экологических наблюдений за состоянием водных объектов.

Проведенный анализ доминантных комплексов видов каждого из исследованных озер и участков рек позволил отметить направления происходящих изменений для целей экологического мониторинга. Была реализована идея выявления диагностических признаков воздействия на водные экосистемы от нового вида загрязнения – промышленными объектами магистрального газопровода. На основе полученных данных об изменении видового состава водорослей, химических показателей воды и донных отложений разработана система экологического мониторинга для данного вида воздействия, в которой сформулированы диагностические признаки разных уровней загрязнения и предложены наблюдаемые показатели.

ВЫВОДЫ

1. Исследованные водные объекты в основном сохраняют типичный для района исследований химический состав вод (относятся к низкоминерализованным с гидрокарбонатно-кальциевым типом). Сравнительный анализ проб воды и донных отложений показывает разные уровни воздействия объектов газопровода – от «свежего» поступления загрязняющего вещества до интенсивного с хроническим уровнем загрязнения, в ряде случаев можно наблюдать формирование техногенных геохимических аномалий по химическому составу донных отложений. В зоне влияния газопровода проявляется техногенное загрязнение вод и донных отложений нефтепродуктами, ртутью, цинком, медью и другими тяжелыми металлами. Повышается концентрация соединений азота ($N_{\text{общ}}$, NH_4^+ , NO_3^-), серы (SO_4^{2-}), фосфора (PO_4^{3-}) и растворенного $C_{\text{орг}}$ в воде. Наиболее загрязненными из обследованных водных объектов являются термокарстовые озёра Коматы и № 1.

2. В обследованных водных объектах в бассейне реки Кара вдоль магистрального газопровода «Бованенково-Ухта» выявлено 206 видов с внутривидовыми таксонами из 87 родов, 46 семейств, 7 отделов. Основу альгофлоры (без учета диатомовых) водных объектов исследованного района составляют представители отделов Cyanoprokaryota, Streptophyta, Chlorophyta. В водорослевых сообществах по числу видов преобладают представители родов *Cosmarium*, *Scenedesmus*, *Staurastrum*, *Closterium*. В комплексе доминантов кроме типичных для фоновых водоемов видов из родов *Dolichospermum*, *Anabaena*, *Nostoc*, *Dinobryon*, *Ulothrix*, *Tetraspora*, *Spirogyra* в зоне влияния газопровода входят также представители родов *Trachelomonas* и *Scenedesmus*.

3. Видовой состав водорослей и его изменение отображает наличие воздействия на водную среду объектов газопровода, что проявляется в изменении структуры альгоценозов относительно типичной для данного района исследований. В результате воздействия объектов магистрального газопровода наблюдается увеличение видового разнообразия при вносе дополнительных питательных элементов с последующим снижением числа видов в зоне интенсивного загрязнения, которое подтверждается химическим анализом проб воды и донных отложений. В водоемах, расположенных в зоне влияния газопровода, отмечено формирование сообществ с участием в качестве субдоминанта *S. communis* с образованием его мелких форм, что является эффектом от токсического загрязнения объектами газопровода, а также доминирование мелкоклеточных водорослей (*Microcystis flosaquae*, *Snowella lacustris*) в зоне интенсивного оленеводства (косвенное воздействие от изъятия земель под промышленные объекты газопровода).

4. По изменению видового состава водорослей можно заключить, что при влиянии магистрального газопровода происходит постепенное повышение трофического статуса

водоемов, формирование условий, приводящих к эвтрофированию за счет привноса биогенных элементов и органики с загрязненного водосбора и непосредственно при сбросе сточных вод и пылевом загрязнении зеркала водного объекта, в зоне интенсивного влияния наблюдаются признаки токсического воздействия на водные экосистемы и угнетения альгоценозов, что проявляется в снижении числа видов и упрощении структуры, участие в числе субдоминантов r-стратегов.

Список сокращений и условных обозначений

ПО – перманганатная окисляемость

ХПК – химическое потребление кислорода

РВ – массовая концентрация растворенных веществ (сухой остаток)

ВВ – массовая концентрация взвешенных веществ

Cl^- – хлорид-ион

SO_4^{2-} – сульфат-ион

HCO_3^- – гидрокарбонат-ион

NH_4^+ – ион аммония

NO_3^- – нитрат-ион

NO_2^- – нитрит-ион

DOC – массовая концентрация растворенного органического углерода

IC – массовая концентрация растворенного неорганического углерода

$N_{\text{общ}}$ – массовая концентрация общего азота

$P_{\text{общ}}$ – массовая концентрация фосфора общего

Ca – кальций

Mg – магний

K – калий

Na – натрий

Fe – железо

Mn – марганец

Zn – цинк

Cd – кадмий

Pb – свинец

Cu – медь

Ni – никель

Co – кобальт

Cr – хром

Ba – барий

Mo – молибден

Al – алюминий

V – ванадий

Sr – стронций

As – мышьяк

Hg – ртуть

НП – нефтепродукты

КДА – коэффициент донной аккумуляции

$C_{\text{вода}}$ – концентрация загрязняющего вещества в воде

$C_{\text{до}}$ – концентрация загрязняющего вещества в донных отложениях

pH – водородный показатель активной реакции водной среды

κ – удельная электропроводность

ЕМФ – единица измерения мутности (в единицах мутности по формазину)

д/о – донные отложения

н/а – не анализировали

ПАУ – полициклические ароматические углеводороды (нафталин, аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз(а)антрацен, хризен, бенз(б)флуорантрен, бенз(к)флуорантрен, дибенз(а, h)антрацен, бенз(g, h, i)перилен, индено(1, 2, 3-с, d)пирен)

АПАВ – показатели анионных поверхностно-активных веществ

КХА – количественный химический анализ

ПДК_{рыбохоз} – предельно допустимые концентрации для рыбохозяйственных водоёмов

K_{SC} – качественный коэффициент Сьеренсена-Чекановского

БГКМ – Бованенковское газоконденсатное месторождение

ГКС – газокompрессорная станция

ТЭЦ – теплоэнергоцентр

КС – компрессорная станция

ПТК – природный территориальный комплекс

H – индекс Шеннона-Уивера (используется для количественной оценки биоразнообразия)

E – выровненность (показатель равномерности распределения видов, изменяется обратно пропорционально показателю доминирования)

PIE – индекс Пиелоу (вероятность межвидовых встреч, показатель равномерности распределения видов в структуре сообщества)

S – индекс Симпсона, мера доминирования Симпсона (используется для измерения разнообразия сообщества, означает уменьшение разнообразия и увеличение степени доминирования отдельных видов – позволяет оценить, насколько равномерно распределены доли отдельных таксонов в сообществе. Высокие значения параметра указывают на дисбаланс в пользу численности небольшого количества видов. Мера доминирования принимает большие значения в экосистемах с ярко выраженными доминантами, то есть при наличии видов с большим количеством особей)

SH – индекс Шелдона (показатель биоразнообразия, разнообразие – как мера информации о сообществе на основе выборки)

d – индекс Бергера-Паркера (индекс видового разнообразия, доля наиболее обильного вида)

г. – гора

г., гг. – год, годы

оз. – озеро

р. – река

Б. – Большое, Большая, Большой (в названиях географических объектов)

М. – Малое, Малая, Малый (в названиях географических объектов)

над ур. моря – над уровнем моря

с.ш. – северной широты

в.д – восточной долготы

др. – другие

ОВОС – оценка воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду

АН СССР – Академия наук Союза советских социалистических республик

РАН – Российская академия наук

РФФИ – Российский фонд фундаментальных исследований

УрО РАН – Уральское отделение Российской академии наук

ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина» – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина»

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН – Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук

ИППЭС КНЦ РАН – Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук»

к.б.н. – кандидат биологических наук

Географическая приуроченность (сюда же включена экологические группы арктобореальномонтанных и арктомонотанных видов):

К – космополит;

А – арктический;

АБ - аркто-бореальный;

АБМ – арктобореальномонотанный;

АМ – арктомонотанный;

Б – бореальный.

Ареал:

К – космополитный;

ЦП – циркумполярный;

БП – биполярный;

Е – европейский;

ЕА – евразийский;

ПТ – палеотропический;

ГА – голарктический.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова В.Д. Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики. Л.: Наука, 1977. 189 с.
2. Альгофлора Большеземельской тундры в условиях антропогенного воздействия / Гецен М.В., Стенина А.С., Патова Е.Н. Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. 147 с.
3. Анциферова Г.А. Особенности вегетационных сукцессий низших водорослей в условиях аномально высоких летних температур 2010-2012 годов (бассейн Среднего Дона) // Вестник ВГУ, серия: География. Геоэкология. 2013. № 2. С. 107-112.
4. Арчегова И.Б., Забоева И.В. Криогенные проявления в почвах Коми АССР / Серия препринтов «Научные доклады» АН СССР, Коми фил. Вып. 10. Сыктывкар, 1974. 36 с.
5. Атлас Коми АССР. М.: Гл. управл. геодезии и картографии гос. геол. комитета СССР, 1964. 112 с.
6. Атлас Республики Коми по климату и гидрологии. М.: Дрофа, ДиК, 1997. 116 с.
7. Атлас Республики Коми. М.: Изд-во «Дизайн. Информация. Картография», 2001. 552 с.
8. Базова М.М. Металлы и металлоиды в природных водах Кольского Севера и их экологическая опасность // Вестник Тюменского государственного университета. 2013. № 12. С. 189-198.
9. Балонов И.М. Золотистые водоросли водоемов Большеземельской тундры // Споровые растения тундровых биогеоценозов / Тр. Коми филиала АН СССР. № 49. Сыктывкар, 1982. С. 32-38.
10. Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей–индикаторов окружающей среды. Tel-Aviv, 2006. 498 с.
11. Башкин В.Н., Казак А.С., Сафонов В.С. Оценка экологического риска в зоне воздействия магистрального газопровода Ямал-Центр // Охрана окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2006. № 3. С. 9-14.
12. Башкин В.Н., Казак А.С., Снакин В.В., Припутина И.И., Хрисанов, Качуров Б.А. Устойчивость экосистем к эмиссиям магистральных газопроводов. Москва-Смоленск: Универсум, 2002. 232 с.
13. Биологическое разнообразие особо охраняемых природных территорий Республики Коми. Вып. 7. Природные комплексы заказника «Хребтовый». Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2010. 140 с.
14. Биоразнообразие экосистем Полярного Урала / Отв. ред. М.В. Гецен. Сыктывкар, 2007. 252 с.

15. Бобов Н.Г., Уваркин Ю.Т. Географическое положение и рельеф // Геологические условия Печорского угольного бассейна. М., 1964. С. 15-20.
16. Богданов В.Д., Богданова Е.Н., Гаврилов А.Л., Мельниченко И.П., Степанов Л.Н., Ярушина М.И. Биоресурсы водных экосистем Полярного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 167 с.
17. Бондаренко Н.А. Экология и таксономическое разнообразие планктонных водорослей в озерах горных областей Восточной Сибири. Автореф. дис. д.б.н. Борок, 2009. 30 с.
18. Борзенков А.А., Кумани М.В., Лукьянчиков Д.И. Формирование техногенных донных отложений и их влияние на гидробионты // Геология, география и глобальная энергия. 2009. № 4 (35). С. 179-183.
19. Борисевич Д.В. Рельеф и геологическое строение // Урал и Приуралье. М., 1974. С. 19-81.
20. Бурдин К.С. Основы биологического мониторинга. М.: Изд-во МГУ, 1985. 158 с.
21. Вайнберг Джек. Ртутное загрязнение – введение в проблему для НПО // Работаем вместе во имя будущего без токсичных веществ. Буклет IPEN (Международная сеть по ликвидации СОЗ). 2010. 146 с. / Электронный ресурс: http://www.ecoaccord.org/pop/mercury/IPEN_Mercury_Intro_Booklet.pdf. Дата сохранения: 20.01.2015.
22. Васильева И.И., Ремигайло П.А. Водоросли Виллойского водохранилища. Якутск: Якут. филиал СО АН СССР, 1982. 115 с.
23. Ветрова З.И. Эвгленофитовые водоросли // Флора водорослей континентальных водоемов Украины. Киев: Лиля, 2004. Вып. 2. 272 с.
24. Водоросли, вызывающие «цветение» водоемов Северо-Запада России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 367 с.
25. Водоросли. Справочник / отв. Ред. С.П. Вассер. Киев: Наукова думка, 1989. 608 с.
26. Восстановление экосистем малых озер / Ред. В.Г. Драбкова, М.Я. Прыткова, О.Ф. Якушко. СПб.: Наука, 1994. 144 с.
27. Гашкина Н.А., Моисеенко Т.И., Кремлева Т.А. Особенности распределения биогенных элементов и органического вещества в малых озерах и лимитирование их трофности на европейской территории России и Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. 2012. № 12. С. 17-25.
28. Гецен М.В. Водоросли бассейна Печоры. Состав и распространение. Л.: Наука, 1973. 148 с.
29. Гецен М.В. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера (на примере Большеземельской тундры). Л.: Наука, 1985. 165 с.

30. Гецен М.В. О гетерогенности альгофлоры тундровых озер // Биологические основы использования природы Севера. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1970. С. 258-262.
31. Гецен М.В. Споровые растения в экосистемах Крайнего Севера // Ботанический журнал. 1983. Т. 68. № 1. С. 10-20.
32. Гецен М.В., Грунина Л.К. Сине-зеленые водоросли как важнейший компонент биогеоценозов Большеземельской тундры // Споровые растения тундровых биогеоценозов / Тр. Коми филиала АН СССР. № 49. Сыктывкар, 1982. С. 54-65.
33. Гецен М.В., Костяев В.Я. Интенсивность фиксации молекулярного азота в водоемах и почвах Большеземельской тундры // Споровые растения тундровых биогеоценозов / Тр. Коми филиала АН СССР. № 49. Сыктывкар, 1982. С. 66-75.
34. Гецен М.В., Стенина А.С., Вехов Н.В. Фитоиндикация антропогенных изменений водоемов Воркутинской тундры / Серия препринтов «Научные доклады». Вып. 290. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 1992. 24 с.
35. Гецен М.В., Стенина А.С., Патова Е.Н. Библиография работ по современным водорослям Европейского Северо-Востока России. Сыктывкар, 2005. 88 с.
36. Гецен М.В., Стенина А.С., Патова Е.Н. Изучение водорослей Большеземельской тундры: традиции и современные тенденции // Возобновимые ресурсы водоемов Большеземельской тундры. Тр. Коми научного центра УрО РАН. № 169. 2002. С. 15-24.
37. Гидробиологическое изучение и рыбохозяйственное освоение озер Крайнего Севера. М., 1966. 170 с.
38. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: Справочные материалы. М.: ВНИРО, 1999. 304 с.
39. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов. М.: Географический факультет МГУ, 2007. 350 с.
40. Голдина Л.П. География озер Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1972. 102 с.
41. Голлербах Г.Г., Косинская Е.К., Полянский В.И. Синезеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. Л.: Наука, 1953. Вып. 2. 650 с.
42. Голлербах М.М., Полянский В.И. Пресноводные водоросли и их изучение // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Сов. наука, 1951. Вып. 1. 200 с.
43. Голубок О.В., Речкалов В.В. Выявление признаков антропогенного эвтрофирования димиктических озер по показателям развития зоопланктона // Вестник ОГУ. 2013. № 10 (159). С. 61-68.
44. ГОСТ 17.1.5.01-80. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность (утв. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 24.06.1980 № 3009) / Электронный ресурс: <http://gostrf.com/normadata/1/4294835/4294835626.htm>. Дата сохранения: 15.06.2012.

45. ГОСТ 31861-2012. Межгосударственный стандарт. Вода. Общие требования к отбору проб (введен в действие Приказом Росстандарта от 29.11.2012 № 1513-ст). М.: Стандартиформ, 2013.

46. ГОСТ Р 51592-2000. Государственный стандарт Российской Федерации. Вода. Общие требования к отбору проб (принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 21.04.2000 № 117-ст).

47. Грибова С.А. Тундры // Растительность европейской части СССР. М.: Наука, 1980. С. 29-64.

48. Грунина Л.К., Симаков А.Ф., Гецен М.В. Об аминокислотном составе азотфиксирующих сине-зеленых водорослей // Споровые растения тундровых биогеоценозов / Тр. Коми филиала АН СССР. № 49. Сыктывкар, 1982. С. 76-80.

49. Давыдов Д.А. База данных CYANOpro. Электронный ресурс: <http://kpabg.ru/cyanopro/?q=node/1>. Дата обращения 26.02.2020.

50. Давыдов Д.А. Подход к географическому анализу цианопрокариот на примере флоры Мурманской области // Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века: Материалы всероссийской конференции (Петрозаводск, 22–27 сентября 2008 г.). Часть 2: Альгология. Микология. Лихенология. Бриология. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. С. 29-32.

51. Даувальтер В.А., Канищев А.А. Геоэкологическая обстановка водоемов в зоне влияния ГKM «Печенганикель» // Вестник МГТУ. Т.11. 2008. № 3. С. 398-406.

52. Даувальтер В.А., Кашулин Н.А., Сандимиров С.С. Тенденции изменений химического состава донных отложений пресноводных субарктических и арктических водоемов под влиянием природных и антропогенных факторов // Тр. Карельского научного центра Российской академии наук. 2015. С. 55-87. / Электронный ресурс: Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» <https://cyberleninka.ru/>. Дата сохранения: 12.09.2017.

53. Даувальтер В.А., Хлопцева Е.В. Гидрологические и гидрохимические особенности озёр Большеземельской тундры // Вестник МГТУ. 2008. Т. 11. № 3. С. 407-414.

54. Дедусенко-Щеголева Н.Т., Голлербах М.М. Желтозеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. Вып. 5. 271с.

55. Дедусенко-Щеголева Н.Т., Матвиенко А.М. Шкорбатов Л.А. Класс Вольвоксовые // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1959. Вып. 8. 230 с.

56. Дину М.И., Моисеенко Т.И., Кремлева Т.А. Влияние процессов комплексообразования гумусовых веществ на формы миграции металлов в природных водах зон северной тайги и лесостепи Тюменской области // Вестник Тюменского государственного университета. 2012. № 12. С. 71-79.

57. Долгушин Л.Д., Кеммерих А.О. Горные озёра Приполярного и Полярного Урала // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1959. № 5. С. 76-84.
58. Долматова Л.А. Исследование содержания нефтепродуктов и фенолов в воде Талецкого озера и связанных с ним рек // Мир науки, культуры, образования. № 1 (13). 2009. С. 22-26.
59. Дружинина О.А., Мяло Е.Г. Охрана растительного покрова Крайнего Севера: проблемы и перспективы. М.: Агропромиздат, 1990. 176 с.
60. Ефимов В.А. Функциональная характеристика экологической безопасности нефтегазопроводов // Защита от коррозии и охрана окружающей среды. 2000. № 4-5. С. 25-29.
61. Жадин В.И., Герд С.В. Реки, озёра и водохранилища СССР. Их фауна и флора. М., 1961. 600 с.
62. Забоева И.В. Почвообразующие породы // Атлас Республики Коми. М.: изд-во «Дизайн. Информация. Картография», 2001. С. 46-47.
63. Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1975. 344 с.
64. Забоева И.В., Казаков В.Г. Почвы // Атлас Республики Коми. М.: Изд-во «Дизайн. Информация. Картография», 2001. С. 44-45.
65. Зверева О.С. Кормовые ресурсы. Планктон // Рыбные богатства Коми АССР и пути их освоения. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1955. С. 20-22.
66. Зверева О.С., Гецен М.В., Изъюрова В.К. Система реликтовых озёр в Большеземельской тундре // Докл. АН СССР, 1964. Т. 155. № 3. С. 677-679.
67. Зеленые, красные и бурые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР / К.Л. Виноградова, М.М. Голлербах, Л.М. Зауер и др. Л.: Наука, 1980. Вып. 13. 248 с.
68. Зимонина Н.М. Водоросли техногенных ландшафтов на Крайнем Севере // Возобновимые ресурсы водоемов Большеземельской тундры. Тр. Коми научного центра УрО РАН. № 169. 2002. С. 25-32.
69. Игошина К.Н. Растительность Урала // Растительность СССР и зарубежных стран. Геоботаника. М.-Л.: Наука, 1964. Сер. 3. Вып. 16. С. 83-231.
70. Израэль Ю.А. Экология и контроль за состоянием природной среды. М.: Гидрометеиздат, 1984. 559 с.
71. Казак А.С. Оценка воздействия эмиссий магистральных газопроводов на экологическое состояние окружающей среды. Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Москва, 2002. 27 с.
72. Казак А.С., Самсонов Р.О. Решение задач системного анализа для минимизации геоэкологических рисков на сложных магистральных газопроводах // Нефтегазовое дело

(электронный журнал). 2007. 10 с. / Электронный ресурс: <http://www.ogbus.ru> Дата сохранения: 12.12.2014.

73. Какунов Н.Б. Климат и геологическая среда: особенности и изменения под влиянием освоения // Тематический сборник «Эколого-экономические и социальные проблемы Воркутинского промышленного района (поиск путей решения и обеспечения стабильности)» / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды РК, ГУ «Республиканский экологический центр по изучению и охране восточноевропейских тундр» при Минприроды РК, Администрация МО «Город Воркута», Комитет природных ресурсов по РК. Воркута-Сыктывкар, 2000. С. 7-13.

74. Кеммерих А.О. Гидрография Северного, Приполярного и Полярного Урала. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 137 с.

75. Кеммерих А.О. Полярный Урал. М.: Физкультура и спорт, 1966 // Электронный ресурс: <http://hibaratxt.narod.ru/sprav/polarural/index.html> Дата сохранения: 09.11.2014

76. Киселева С.С., Братошеская В.В. Эколого-техногенные особенности антропогенного воздействия на водные биоресурсы керченского пролива при прокладке газопровода/ /Вестник научно-технического творчества молодежи Кубанского ГАУ. 2017. №1. С.103-105.

77. Кичигин А.Н., Поляков М.М. Северо-Европейский газопровод: влияние на окружающую среду. Проблемы развития территории. 2005; 2(29). С. 48-54.

78. Комулайнен С.Ф., Круглова А.Н., Барышев И.А. Структура и функционирование сообществ водных организмов в реках южного (Поморского) побережья Белого моря. Тр. Карельского научного центра РАН. 2012. Вып. № 2. Т. 1. С. 110-127.

79. Кондратьева Н.В., Коваленко О.В. Краткий определитель видов токсичных синезеленых водорослей. Киев: Наукова думка, 1975. 80 с.

80. Косинская Е.К. Десмидиевые водоросли // Флора споровых растений СССР. М., 1960. Т. 5, вып. 1. 707 с.

81. Косинская Е.К. Конъюгаты, или сцеплянки (1). Мезотениевые и гонатозиговые водоросли // Флора споровых растений СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1952. Т. 2. 164 с.

82. Кофман В.Я. Загрязнение воды нитратами, фторидами и соединениями мышьяка // Вода и водные проблемы / Электронный ресурс: <http://www.kofman.info/>. Дата сохранения: 12.12.2014.

83. Кремлева Т.А., Бронникова Л.С. Количественная оценка сорбционной способности донных отложений на примере сорбции ионов меди // Вестник Тюменского государственного университета. 2010. № 7. С. 191-196.

84. Кремлева Т.А., Моисеенко Т.И., Хорошавин В.Ю., Шавнин А.А. Геохимические особенности природных вод Западной Сибири: микроэлементный состав // Вестник Тюменского государственного университета. 2012. № 12. С. 80-89.
85. Кукк Э.Г. Альгофлора Полярного Урала и окрестностей Сивой Маски // Биологические основы использования природы Севера. Сыктывкар, 1970. С. 262-265.
86. Ларина Н.С., Ларин С.И., Беспоместных С.Г. К вопросу о методах оценки качества вод // Вестник Тюменского государственного университета. 200. № 7. С. 218-228.
87. Лаугасте Р.А., Порк М.И. Изменение видового состава фитопланктона и первичной продукции // Антропогенное воздействие на малые озёра. Л.: Наука, 1980. С. 46-54.
88. Лосева Э.И., Стенина А.С., Марченко-Вагапова Т.И. Кадастр ископаемых и современных диатомовых водорослей Европейского Северо-Востока. Сыктывкар: Геопринт, 2004. 156 с.
89. Лукницкая А.Ф. Пресноводные зеленые водоросли (Chlorophyta, Zygnematorphyceae) в экосистемах особо охраняемых природных территорий северо-запада России // Новости систематики низших растений. СПб., 2005. Т. 39. С. 44-51.
90. Матвиенко А.М. Золотистые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Сов. наука, 1954. Вып. 3. 188 с.
91. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М., 1975. 239 с.
92. Методические рекомендации по определению и обоснованию технологических потерь природного газа при транспортировке магистральным трубопроводным транспортом (утв. Министерством энергетики РФ 09.07.2012) // Электронный ресурс: Справочная правовая система Гарант / <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70118374/#ixzz3PP2GapJy> Дата сохранения: 20.01.2015.
93. Милановский Е.Е. Геология СССР. М.: Изд-во МГУ, 1989. Ч. 2. 271 с.
94. Миронова Н.Я. Летний температурный режим озер Кольского полуострова // Накопление вещества в озерах. М.: Наука, 1964. С. 47-58.
95. Миронова Н.Я., Покровская Т.Н. Лимнологическая характеристика некоторых озер Полярного Урала // Накопление вещества в озерах. М.: Наука, 1964. С. 102-133.
96. Миронова Н.Я., Россолимо Л.Л. Озерное накопление продуктов ледниковой эрозии на Полярном Урале // Накопление вещества в озерах. М.: Наука, 1964. С. 148-163.
97. Митенко Г.В., Снакин В.В. Анализ устойчивости природных территориальных комплексов на примере стран Европы // Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России». 2009. № 1. С. 3-12.

98. Митина Н.Н., Телитченко Л.А. Некоторые вопросы управления качеством природных вод в условиях перехода к устойчивому развитию // Вода: химия и экология. 2011. № 7. С. 2-10.
99. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты. М.: Наука, 2009. 400 с.
100. Моисеенко Т.И., Гашев С.Н., Селюков А.Г., Жигилева О.Н., Алешина О.А. Биологические методы оценки качества вод: Часть 1. Биоиндикация // Вестник Тюменского государственного университета. 2010б. № 7. С. 20-40.
101. Моисеенко Т.И., Гашев С.Н., Шалабодов А.Д. Качество вод и устойчивость экосистем: теоретические и прикладные аспекты исследований // Вестник Тюменского государственного университета. 2012. № 12. С. 6-16.
102. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды. М.: Наука, 2010. 276 с.
103. Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Гашкина Н.А. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. М.: Наука, 2006. 261 с.
104. Моисеенко Т.И., Паничева Л.П., Гашкина Н.А., Кремлева Т.А., Пологрудова О.А. Метод расчета критических нагрузок выпадения кислот на водосборы // Вестник Тюменского государственного университета. 2011б. № 5. С. 20-29.
105. Моисеенко Т.И., Паничева Л.П., Дину М.И., Кремлева Т.А., Фефилов Н.Н. Инактивация токсичных металлов в водах суши гумусовыми веществами // Вестник Тюменского государственного университета. 2011а. № 5. С. 6-19.
106. Моисеенко Т.И., Соромотин А.В., Шалабодов А.Д. Качество вод и методология нормирования загрязнения // Вестник Тюменского государственного университета. 2010а. № 7. С. 5-19.
107. Моисеенко Т.И., Шаров А.Н. Трансформация водных экосистем больших озер при изменении антропогенной нагрузки // Вестник Тюменского государственного университета. 2010 № 7. С. 51-57.
108. Мошкова Н.А., Голлербах М.М. Зеленые водоросли. Класс улотриксковые // Определитель пресноводных водорослей СССР. Л.: Наука, 1987. Вып. 10(1). 360 с.
109. Николаевский В.С. Биомониторинг, его значение и роль в системе экологического мониторинга и охране окружающей среды // Методологические и философские проблемы биологии. Новосибирск: Наука, 1981. С. 341-354.
110. Никулина В.Н. Фитопланктон // Биологическая продуктивность северных озер. 1. Озера Кривое и Круглое. Тр. Зоол. ин-та. Т. LVI. Л.: Наука, 1975. С. 42-54.

111. Новаковский А.Б. Возможности и принципы работы программного модуля «GRAPHS» // Автоматизация научных исследований. Сыктывкар, 2004. 28 с. (Коми научный центр УрО РАН; вып. 27).

112. Новаковский А.Б. Взаимодействие Excel и статистического пакета R для обработки данных в экологии // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН, 2016. № 3. С. 26 -33.

113. Новичкова-Иванова Л.Н., Сдобникова Н.В. Современные направления и методы фитоценологического изучения почвенных водорослей тундры // Споровые растения тундровых биогеоценозов / Тр. Коми филиала АН СССР. № 49. Сыктывкар, 1982. С. 15-21.

114. Об утверждении Методических указаний по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части организации и проведения наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов: приказ Минприроды России от 24.02.2014 № 112 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. № 39. 29.09.2014 (Зарегистрировано в Минюсте России 18.07.2014 № 33149, начало действия документа – 10.10.2014).

115. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: приказ Росрыболовства от 18.01.2010 № 20 (Зарегистрировано в Минюсте РФ 09.02.2010 № 16326) // Электронный ресурс: Справочная правовая система КонсультантПлюс / www.consultant.ru Дата сохранения: 13.12.2014.

116. Обедков А.П. Республика Коми. Сыктывкар, 1995. 79 с.

117. Оберман Н.Г., Шеслер И.Г., Рубцов А.И. Экогеология Республики Коми и восточной части Ненецкого Автономного округа. Сыктывкар: ПрологПлюс, 2004. 256 с.

118. Одум Ю. Экология. Т. 1. М.: Мир, 1986. 328 с.

119. Олексива И.Т. Гидроэкологическая токсикология и биоиндикация загрязнения: теория, методы, практика применения / под ред. И.Т. Олексива, Л.П Брагинского. Львов: Свет, 1995. 285 с.

120. Особенности структуры экосистем озер Крайнего Севера (на примере озер Большеземельской тундры). СПб.: Наука, 1994. 260 с.

121. Оценка состояния и устойчивости экосистем / В.В. Снакин, В.Е. Мельниченко, Р.О. Бутовский, Л.И. Воронцова, Н.П. Васильева, А.Л. Ресин, И.О. Алябина, С.С. Барина, Л.Н. Ербанова, Н.И. Кочетова, П.П. Кречетов, Г.А. Ломакина, Л.В. Моргун, М.В. Головина, Г.С. Барабанова. М.: ВНИИприрода, 1992. 127 с.

122. Паламарь-Мордвинцева Г.М. Зеленые водоросли. Класс Конъюгаты. Класс Десмидиевые // Определитель пресноводных водорослей СССР. Л.: Наука, 1982. Вып. 11. 620 с.

123. Патова Е.Н. Cyanophyta в водоемах и почвах восточноевропейских тундр // Ботанический журнал. 2004. Т. 89. № 9. С. 1403-1419.

124. Патова Е.Н. Почвенные азотфиксирующие водоросли в фитоценозах Большеземельской тундры / Сер. препр. «Научные доклады». Вып. 343. Сыктывкар: КНЦ УрО РАН, 1994. 20 с.

125. Патова Е.Н. Цианопрокариоты, вызывающие «цветение» воды в Харбейских озерах Большеземельской тундры // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2014. № 7(3). С. 282-290.

126. Патова Е.Н., Гецен М.В. Азотфиксирующие синезеленые водоросли наземных фитоценозов Воркутинской тундры // Индикационная роль споровых растений Воркутинской тундры в условиях антропогенного воздействия / Деп. в ВИНТИ 31.10.1991. № 4169-B91. Сыктывкар, 1991. С. 136-158.

127. Патова Е.Н., Гецен М.В., Сивков М.Д. *Nostoc commune* (Cyanophyta) в тундрах российского сектора Арктики // Ботан. журн., 2000. Т.85. № 1. С. 71-80.

128. Патова Е.Н., Демина И.В. Водоросли водоемов Полярного Урала, не подверженных антропогенному воздействию // Биология внутренних вод. 2008. № 1. С. 58-67.

129. Патова Е.Н., Демина И.В. Водоросли предгорных и горных водоемов Полярного Урала // Биоразнообразие растительного покрова Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана: Матер. всерос. конф. Сыктывкар, 2006. С. 79-81.

130. Патова Е.Н., Кулюгина Е.Е., Елсаков В.В., Стенина А.С., Лоскутова О.А., Сивков М.Д., Тикушева Л.Н. Влияние строительства газопровода «Бованенково-Ухта» на прилегающие экосистемы Большеземельской тундры и Полярного Урала // Освоение Севера и проблемы природовосстановления: Докл. IX Всерос. науч. конф. (27-29 мая 2014 г., г. Сыктывкар, Республика Коми, Россия). Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2014б. С. 68-75.

131. Патова Е.Н., Кулюгина Е.Е., Стенина А.С., Лоскутова О.А., Тикушева Л.Н., Елсаков В.В. Изменение природных комплексов Большеземельской тундры и Полярного Урала в результате воздействия линейных сооружений газопровода «Бованенково-Ухта» // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2016. № 3(27). С. 54-60.

132. Патова Е.Н., Новаковская И.В. Разнообразие почвенных водорослей и цианопрокариот в наземных сообществах Полярного и Приполярного Урала // Теоретическая и прикладная экология. № 1. 2014. С. 32-34.

133. Патова Е.Н., Стенина А.С., Елсаков В.В., Кулюгина Е.Е., Сивков М.Д. Экологические последствия строительства газопровода «Бованенково-Ухта» в бассейне реки Кары (Большеземельская тундра и Полярный Урал) // Арктика: академическая наука и университеты. Роль университетов в реализации арктической стратегии России: Матер. Межрегион. науч.-практ. конф. (10-12 окт. 2013, Ухта). Сыктывкар, 2014а. С. 92-95.
134. Патова Е.Н., Тикушева Л.Н., Стенина А.С. Оценка качества вод бассейна реки Силова-Яха (Большеземельская тундра) на основе анализа гидрохимических и альгологических данных // Вода: химия и экология. 2015. № 4. С. 14-20.
135. Патова Е.Н. Разнообразие Cyanophyta водоемов бассейна реки Малый Паток (Приполярный Урал, Национальный парк «Югыд Ва») // Новости систематики низших растений. Т. 39. С-Пб: Ботанический институт им. В.Л. Комарова, 2005 / Электронный ресурс: https://www.binran.ru/files/journals/NSNR/2005_39/NSNR_2005_39_Patova.pdf Дата сохранения: 24.09.2019.
136. Патова Е.Н. Цианопрокариотическое «цветение» водоемов восточноевропейских тундр (флористические и функциональные аспекты) // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 3. С. 4-10.
137. Перминова Г.Н., Кабиров Р.Р., Киприянов В.М. Водоросли как продуценты тундровых биогеоценозов // Споры растений тундровых биогеоценозов / Тр. Коми филиала АН СССР. № 49. Сыктывкар, 1982. С. 81-94.
138. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.
139. Петросян В.С. Глобальное загрязнение окружающей среды ртутью и ее соединениями // Россия в окружающем мире: 2006 (аналитический ежегодник). М.: МНЭПУ, Авант, 2007. С. 149-163.
140. Покровская Т.Н. Фотосинтез фитопланктона в озерах Полярного Урала // Накопление вещества в озерах. М.: Наука, 1964. С. 134-147.
141. Попова Т.Г. Эвгленовые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Советская наука, 1955. Вып. 7. 282 с.
142. Попова Т.Г., Сафонова Т.А. Эвгленовые водоросли // Флора споровых растений СССР. Л.: Наука, 1976. Т. IX. Вып. 2. 288 с.
143. Посттехногенные экосистемы Севера / Отв. ред. И.Б. Арчегова, Л.П. Капелькина. СПб.: Наука, 2002. 159 с.
144. Природная среда тундры в условиях открытой разработки угля (на примере Юньягинского месторождения) / Под общ. ред. М.В. Гецен. Сыктывкар, 2005. 246 с.
145. Природные условия и естественные ресурсы СССР. Урал и Приуралье. М.: 1968. 462 с.

146. Продуктивность озер восточной части Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1976. 147 с.
147. Прошкина-Лавренко А.И. Диатомовые водоросли – показатели солености воды // Диатомовый сборник. Л.: Изд-во ЛГУ, 1953. С.186-205.
148. Пшенин В.Н. Актуальные вопросы оценки загрязнения почвенного покрова вблизи автомагистралей // Тр. Всероссийского научно-практического семинара «Экологизация автомобильного транспорта», МАНЭБ. СПб. 2003. С. 83-88.
149. Растительный покров и растительные ресурсы Полярного Урала / Л.М. Морозова, М.А. Магомедова, С.Н. Эктова и др. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2006. 796 с.
150. Ребристая О.В. Флора востока Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1977. 334 с.
151. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 640 с.
152. Рижинашвили А.Л. Показатели содержания органических веществ и компоненты их карбонатной системы в природных водах в условиях интенсивного антропогенного воздействия // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 4. 2008. Вып. 4. С. 90-101.
153. Россолимо Л.Л. Антропогенное эвтрофирование водоемов // Общая экология. Биогеоценология. Гидробиология. Т. 2 / Итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР. М., 1975. С.8-60.
154. Россолимо Л.Л. Основы типизации озер и лимнологического районирования // Накопление вещества в озерах. М.: Наука, 1964. С. 5-46.
155. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. В.А. Абакумова. Л., 1983. 239 с.
156. Румянцев В.А., Драбкова В.Г., Измайлова А.В. Озёра европейской части России. СПб.: ЛЕМА, 2015. 392 с.
157. Рундина Л.А. Зигнемовые водоросли России (Chlorophyta: Zygnematomphyceae, Zygnematales). СПб.: Наука, 1998. 351 с.
158. Самсонов Р.О. Системный анализ геоэкологических рисков в газовой промышленности Российской Федерации. Автореф. дис. на соискание уч. степ. доктора техн. наук. Тула, 2007. 40 с.
159. Самсонов Р.О., Башкин В.Н., Казак А.С., Горлов Д.В., Припутина И.В. Оценка экологического риска в зонах воздействия магистральных газопроводов // Электронный ресурс: Проблемы анализа риска. 2006. № 3 / http://www.dex.ru/riskjournal/2006/2006_3_3/238-249.pdf Дата сохранения: 20.01.2015.
160. Самсонов Р.О., Башкин В.Н., Припутина И.В., Казак А.С. Оценка устойчивости природных экосистем в районах воздействия магистрального газопровода Ямал–Центр // География и природные ресурсы. 2007. № 4. С. 33-37.
161. Саут Р., Уиттик А. Основы альгология: Пер. с англ. М.: Изд-во Мир, 1990. 597 с.

162. Сафонова Т.А. Эвгленовые водоросли (Euglenozoa) в водоемах Севера СССР // Споровые растения тундровых биогеоценозов / Тр. Коми филиала АН СССР. № 49. Сыктывкар, 1982. С. 22-31.
163. Снакин В.В., Хрисанов В.Р., Мельченко В.Е. Устойчивость природных территориальных комплексов – базовая компонента устойчивого развития страны // Экологическая парадигма: выбор России в III тысячелетии: «Научные труды МНЭПУ». Вып. 2. Серия «Материалы конференций». М.: Изд-во МНЭПУ, 1998. С. 78-91.
164. Снитько Л.В. Экология и сукцессии фитопланктона озер Южного Урала. Миасс: ИГЗ УрО РАН, 2009. 376 с.
165. Соколов А.А. Гидрография СССР. Л.: Гидрометеиздат. 1952. 288 с. Электронный ресурс: <http://abratsev.narod.ru/biblio/sokolov/p1ch14.html>. Дата сохранения: 20.01.2017.
166. Состояние природной среды Большеземельской тундры на территории Воркутинского промузла / М.В. Гецен, А.С. Стенина, Л.Г. Хохлова и др. // Народное хозяйство Республики Коми, 1994. Т. 3. № 1. С. 68-75.
167. Споровые растения тундровых биогеоценозов. Сыктывкар: Ротапринт Коми филиала АН СССР, 1982. 113 с.
168. Стенин В.Н. Особенности диатомовой флоры современных ледниковых озер Полярного Урала // Биол. науки. 1972. № 5. С. 66-73.
169. Стенина А.С. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) в озерах востока Большеземельской тундры. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2009. 176 с.
170. Стенина А.С. Диатомовые водоросли в водоемах на территории Воркутинского промышленного комплекса // Влияние антропогенных факторов на флору и растительность Севера / Тр. Коми научного центра УрО АН СССР. № 108. Сыктывкар, 1990. С. 90-99.
171. Стенина А.С. Диатомовые водоросли водоемов на территории Воркутинского промышленного комплекса // Природные экосистемы и антропогенный пресс. М., 1985. С. 41-53.
172. Стенина А.С. Диатомовые водоросли тундровых водоемов в зоне влияния нефтеразведочных буровых (Архангельская область) // Некоторые подходы к организации экологического мониторинга в условиях Севера / Тр. Коми НЦ УрО РАН. № 147. Сыктывкар, 1996. С. 111-124.
173. Стенина А.С. Первые сведения о пресноводной флоре диатомовых водорослей бассейна реки Кары (Полярный Урал) // Споровые растения Крайнего Севера России / Тр. Коми научного центра УрО РАН. Вып. 135. Сыктывкар, 1993. С. 12-25.
174. Стенина А.С. Пресноводные диатомовые водоросли (Bacillariophyta) в бассейне реки Море-Ю (Большеземельская тундра, Ненецкий автономный округ) // Новости

систематики низших растений. Сб. статей. СПб.-М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2010. Т. 44. С. 90-104.

175. Стенина А.С. Структура диатомовых комплексов в бассейне реки Силова-Яха (восток Большеземельской тундры) // Международное совещание «Проблемы изучения и сохранения растительного мира Восточной Фенноскандии», посвященное 100-летию со дня рождения М.Л. Раменской. Тезисы докладов. Апатиты, Мурманская область, 15–19 июня 2015. Апатиты, 2015. С. 85-86.

176. Стенина А.С., Гецен М.В. Диатомовые водоросли в планктоне тундровых Харбейских озер // Ботанический журнал. 1975. Т.60. № 6. С. 1178-1183.

177. Стенина А.С., Коюшева Т.А. Диатомовые водоросли бентоса оз. Амбарты // Споровые растения тундровых биогеоценозов / Тр. Коми филиала АН СССР. № 49. Сыктывкар, 1982. С. 39-53.

178. Стенина А.С., Патова Е.Н. Фитопланктон в водоемах дельты р. Печора и прилегающих территорий // Известия Коми НЦ УрО РАН. Выпуск 4. Сыктывкар, 2010. С. 28-35.

179. Стенина А.С., Хохлова Л.Г. Экологические последствия влияния нефтеразведки на водные экосистемы тундры // Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия: Тез. докл. Всерос. совещ. и выезд. науч. сессии отдел. океанологии, физики, атмосферы и географии РАН (Апатиты, 22-25 июня 1998). Апатиты, 1998. С. 35-36.

180. Структурно-функциональная организация фитоценозов на Крайнем Севере / Под ред. М.В. Гецен, С.К. Назарова. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 1994. 152 с.

181. Тентюков М.П. Геохимия ландшафтов равнинных тундр (на примере Ямала и Большеземельской тундры). Сыктывкар, 2010. 260 с.

182. Тикушева Л.Н. Оценка качества вод на основе анализа индикаторных таксонов и экологических групп водорослей в условиях Полярного Урала и Большеземельской тундры // Актуальные проблемы биологии и экологии: XXI Всерос. молодеж. науч. конф., 22-26 апреля 2013 г., Сыктывкар, Республика Коми, Россия: материалы докл.; редкол.: С.В. Дёгтева (отв. ред.). Сыктывкар, 2013.

183. Тикушева Л.Н. Оценка состояния водных объектов бассейна реки Силовыха с использованием метода альгоиндикации // Актуальные проблемы биологии и экологии: XXI Всерос. молодеж. науч. конф. (посвящ. 70-летию А.И. Таскаева), 7-11 апреля 2014 г., Сыктывкар, Республика Коми, Россия: материалы докл. / Институт биологии Коми НЦ УрО РАН; редкол.: С.В. Дёгтева (отв. ред.). Сыктывкар, 2014. С. 85-89.

184. Тикушева Л.Н., Патова Е.Н. Использование водорослей для оценки качества водной среды проектируемой особо охраняемой природной территории в районе

Большеземельской тундры // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге. Сборник материалов докладов III Междунар. науч. конф., 24-29 августа 2014 года / Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина. Ярославль: Филигрань, 2014. С. 238-239.

185. Тикушева Л.Н., Патова Е.Н. Оценка состояния водных объектов Большеземельской тундры в районе создания особо охраняемой природной территории Республики Коми (бассейн реки Силова-Яха) // Современное состояние и перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий европейского Севера и Урала: материалы докладов Всерос. науч.-практ. конф. (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 23-27 ноября 2015 г.) / ред. С.В. Дегтева, Л.Я. Огородова, И.Н. Стерлягова. Сыктывкар: ИБ КомиНЦ УрО РАН, 2015а. С. 89-95.

186. Тикушева Л.Н., Патова Е.Н. Первые сведения о водорослях водных объектов бассейна реки Силова-Яха (Большеземельская тундра) // Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана: Доклады II Всероссийской научной конференции (Сыктывкар, 3-7 июня 2013 г.). Сыктывкар: Институт биологии КомиНЦ УрО РАН, 2013. С. 228-236.

187. Тикушева Л.Н., Патова Е.Н. Содержание ртути в воде и донных отложениях водоёмов Полярного Урала и прилегающей части Большеземельской тундры в условиях воздействия магистрального газопровода // В сборнике: Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Сборник трудов Второго международного симпозиума (Новосибирск, 21-25 сентября 2015 г.). Новосибирск: Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения РАН, 2015б. С. 336-340.

188. Тикушева Л.Н., Стенина А.С., Патова Е.Н. Изменение водных экосистем под влиянием строительства и эксплуатации газопровода «Бованенково-Ухта» (бассейн реки Кара, Полярный Урал и Большеземельская тундра) // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2015. № 2(22). С. 25-30.

189. Торопов Г.В., Бешенцев В.А. Особенности формирования химического состава вод на территории Уренгойского нефтегазодобывающего региона (на примере Уренгойского НГКМ) // Вестник Тюменского государственного университета. 2013. № 4. С. 115-124.

190. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озёрного фитопланктона. Л.: Наука, 1990. 182 с.

191. Фахрутдинов Р.М., Каюгин А.А., Черкашина Л.В. Связывание свинца, кадмия, меди гуминовыми кислотами донных отложений // Вестник Тюменского государственного университета. 2010. № 7. С. 196-202.

192. Федорова Е.И. Характеристика железорудных вод Кольского полуострова // Накопление вещества в озерах. М.: Наука, 1964. С. 59-77.

193. Флора и фауна водоемов Европейского Севера (на примере озер Большеземельской тундры). Л.: Наука, 1978. 192 с.
194. Хантимер И.С. Сельскохозяйственное освоение тундры. Л.: Наука, 1974. 227 с.
195. Хохлова Л.Г. Гидрохимическая изученность поверхностных вод Большеземельской тундры // Возобновимые ресурсы водоемов Большеземельской тундры. Тр. Коми научного центра УрО РАН. № 169. 2002. С. 5-14.
196. Хохлова Л.Г. Гидрохимическая характеристика водных объектов побережья Баренцева моря // Некоторые подходы к организации экологического мониторинга в районах разведки, добычи и трансформации нефти и газа. Тр. Коми научного центра УрО РАН. № 147. 1996. С. 98-110.
197. Хохлова Л.Г. Ретроспективный анализ химического состава воды озер Большеземельской тундры (Большой Харбей и Головка) // Изв. Коми научного центра УрО РАН. Вып. 1 (17). Сыктывкар, 2014. С. 19-264.
198. Хохлова Л.Г., Фефилова Е.Б. Гидрохимическая характеристика временных водоемов на водосборе Харбейских озер (Большеземельская тундра) // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2014. № 7(3). С. 267-281.
199. Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. Киев, 1990. 208 с.
200. Чекрыжева Т.А., Комулайнен С.Ф. Альгофлора озер и рек Республики Карелия [Россия] // Альгология. 2010. Т. 20, № 3. С. 319-333.
201. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
202. Шмидт В.М. Сравнительные методы в сравнительной флористике. Л.: Изд-во ЛГУ, 1980. 176 с.
203. Штина Э.А. Азотфиксация у синезеленых водорослей (обзор) // Экология и физиология синезеленых водорослей. М.-Л.: Наука, 1965. С. 160-177.
204. Штина Э.А. Почвенные водоросли Крайнего Севера и значение их изучения для оценки антропогенных изменений тундровых биогеоценозов // Споровые растения тундровых биогеоценозов / Тр. Коми филиала АН СССР. № 49. Сыктывкар, 1982. С. 81-94.
205. Экологические основы управления продуктивностью агрофитоценозов Восточноевропейской тундры / Арчегова И.Б., Котелина Н.С. и др. Л.: Наука, 1991. 152 с.
206. Юрцев Б.А. Общая концепция биологического разнообразия: типы и уровни // Проблемы изучения и сохранения биологического разнообразия. Фрунзе: Илим, 1990. С. 155-156.
207. Юрцев Б.А. Флора как природная система // Бюлл. МО-ИП. Отд. биол. 1982. № 87 (4). С. 3-22.

208. Юрцев Б.А., Толмачев А.И., Ребристая О.В. Флористическое ограничение и разделение Арктики // Арктическая флористическая область. Л., 1978. С. 9-104.
209. Якушко О.Ф. Типизация естественных и трансформированных малых озер. СПб.: Наука, 1994. С. 66-67.
210. Євтушенко М.Ю., Хижняк М.І. Екологічний стан водойм рибогосподарського призначення // Біологічний вестник Мельтопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького. 2013. № 3(3). С. 222-237 / Електронний ресурс: <http://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskoe-sostoyanie-vodoemov-rybohozyaystvennogo-paznacheniya>. Дата збереження: 22.03.2016.
211. Кондратьева Н.В. Синьозелені водорості – Cyanophyta // Визначник прісноводних водоростей УРСР. Київ: Наукова думка, 1968. Вип. 1, ч.2. 523 с.
212. Коршиков О.А. Підклас протококові (Protococcineae) // Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Київ: Наукова думка, 1953. 439 с.
213. Матвієнко О.М. Золотисті водорості – Chrysophyta // Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Київ: Наукова думка, 1965. Вип. 3, ч. 1. 368 с.
214. Матвиенко О.М., Догадина Т.В. Жовтозелені водорості – Xanthophyta // Визначник прісноводних водоростей УРСР. Київ: Наукова думка, 1978. Вип. 10. 512 с.
215. Паламарь-Мордвинцева Г.М. Кон'югати – Conjugatophyceae. Десмідієві – Desmidiaceae // Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Київ: Наукова думка, 1986. Вип. 2, ч. 2. 320 с.
216. Юнгер В.П., Мошкова Н.О. Едогонієві водорості (Oedogoniales) // Визначник прісноводних водоростей України. Київ, 1993. Вип. VII. 412 с.
217. Anagnostidis K., Komárek J. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 1 – Introduction // Arch. Hydrobiol., 1985. Vol. 71, № 3 (Algological studies 38-39). P. 291-302.
218. Anagnostidis K., Komárek J. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3 – Oscillatoriales // Arch. Hydrobiol., 1988. Suppl. 80, H. 1-4. (Algological studies 50-53). P. 327-472.
219. Anagnostidis K., Komárek J. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 5 – Stigonematales // Arch. Hydrobiol., 1990. Suppl. 86. (Algological studies 59). P. 1-73.
220. Analysis of the anthropogenic changes in the tundra vegetation around Vorkuta with remote sensing methods / Т. Виртанен, К. Миккола, Е. Патова, А. Никула (Т. Virtanen, K. Mikkola, E. Patova, A. Nikula) // Город в Заполярье и окружающая среда: Тр. III Междунар. конф. (Воркута, 2-6 сент. 2003). Сыктывкар, 2003. С. 322-328.

221. Bauer D.E., Conforti V., Ruiz L. Gomez N., An in situ test to explore the responses of *Scenedesmus acutus* and *Lepocinclis acus* as indicators of the changes in water quality in lowland streams // *Ecotoxicology and environmental safety*, 2012. V. 77. P. 71-78.
222. Benthic algae in high altitude streams of the Alps – a neglected component of the aquatic biota / E. Rott, M. Cantonati, L. Füreder, P. Pfister // *Hidrobiol.*, 2006. Vol. 562. P. 195-216.
223. Broderick M.A., Durning B. Environmental impact assessment and environmental management plans: an example of an integrated process from the UK // *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2006. V. 17. №89. P. 15-24.
224. Chavhan Arvind. Taxonomy of the green filamentous algae of the family Chaetophoraceae (order Chaetophorales) in Thane District, Maharashtra, India. *The International Journal of Life Sciences (IJLSCI)*, 2016, Vol. 4 (2): 247-255 // Электронный ресурс: <http://oaji.net/articles/2016/736-1471173595.pdf> Дата сохранения: 27.09.2017.
225. Coesel P. *De Dosmidiaceeën van Nederland. Fam. Closteriaceae*. Utrecht: Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, 1983. III, Deel 2. 50 p.
226. Coesel P. *De Dosmidiaceeën van Nederland. Fam. Desmidiaceae (1)*. Utrecht: Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, 1985. III, Deel 3. 70 p.
227. Coesel P. *De Dosmidiaceeën van Nederland. Fam. Desmidiaceae (3)*. Utrecht: Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, 1994. III, Deel 5. 56 p.
228. Coesel P. *De Dosmidiaceeën van Nederland. Fam. Desmidiaceae (4)*. Utrecht: Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, 1997. III, Deel 6. 94 p.
229. Coesel P. *De Dosmidiaceeën van Nederland. Fam. Mesotaeniaceae, Gonatozygaceae, Peniaceae*. Utrecht: Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, 1982. III, Deel 1. 32 p.
230. Croasdale H., Flint E.A. Freshwater algae, Chlorophyta, desmids: with ecological comments on their habitats // *Flora of New Zealand*. Wellington: Gov. Print., 1986. Vol. I. 132 p.
231. Croasdale H., Flint E.A. Freshwater algae, Chlorophyta, desmids: with ecological comments on their habitats // *Flora of New Zealand*. Christchurch: DSIR, Botany Division, 1988. Vol. II. 147 p.
232. Croasdale H., Flint E.A., Racine M.M. Freshwater algae, Chlorophyta, desmids: with ecological comments on their habitats. *Staurodesmus, Staurostrum and the Filamentous desmids* // *Flora of New Zealand*. Lincoln, N.Z.: Manaaki Whenua Press, 1994. Vol. III. 218 p.
233. Eloranta P. Ecological studies on the ecology on the genus *Dinobryon* in Finnish lakes // *Suppl. to Nova Hedwigia*, 1989. Bd. 95. P. 99-109.
234. Ettl H. *Xanthophyceae* // *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Jena, 1978. Teil 1. 530 p.
235. Gerrath J. Some observations on Polymorphism in populations of certain *Xanthidium* taxa // *Nova Hedwigia*, 1986. Bd. 56. P. 143-158.

236. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2020. Электронный ресурс: [http:// www.algaebase.org](http://www.algaebase.org); searched on 20 February 2020.
237. Handke K. Beobachtungen uber die Variationsbreite einiger Desmidiaceen (Befunde an Freilandmaterialien) // Nova Hedwigia, 1986. Bd. 56. P. 167-188.
238. Hindák F. Biologické Práce. Studies on the Chlorococcal algae (Chlorophyceae). Bratislava: VEDA. Publishing House of the Slovak Academy of Sciences, 1990. 225 p.
239. Hosmani S.P. Fresh Water Algae as Indicators of Water Quality. Universal Journal of Environmental Research & Technology. 2013. V. 1. № 3(4). P. 473-482.
240. Jafari N.G., Gunale V.R. Hydrobiological study of algae of an urban freshwater river // J. of Applied Sciences and Environmental Management, 2006. V. 10(2). P. 153-158.
241. Jankovská V., Komárek J. Indicative value of *Pediastrum* and other coccal green algae in palaeoecology // Folia Geobotanica, 2000. V. 35(1). P. 59-82.
242. Jens C., Hansen A. et al. Exposure of Arctic Populations to Methylmercury from Consumption of Marine Food: An Updated Risk-Benefit Assessment // International Journal of Circumpolar Health. 64:2. 2005. P. 121-136.
243. John D.M., Whitton B.A., Brook A.J. The freshwater algal flora of the British Isles. An Identification guide to freshwater and terrestrial algae. Cambridge University Press, 2002. 704 p.
244. Jörgensen E.G. The adaption of plankton algae. II. Aspects of the temperature adaptation of *Skeletonema costatum*. Phisiol. plant., 1968. Vol. 21, fasc. 2. P. 423-427.
245. Kelly M.G., Whitton B.A. Biological monitoring of eutrophication in rivers // Hydrobiologia, 1998. V. 384(1-3). P.55-67.
246. Komárek J. Cyanoprokaryota 3. Nostocales, Stigonematales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Berlin. Bd.19(3). 2013. 1130 pp.
247. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota I. Chroococcales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19 (1). Jena et al., 1998. 643 p.
248. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota I. Oscillatoriales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19 (2). München, 2005. 643 p.
249. Komárek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 2 – Chroococcales // Arch. Hydrobiol., 1986. Suppl. 73, H. 2. (Algological Studies 43). P. 157-226.
250. Komárek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4 – Nostocales // Arch. Hydrobiol., 1989. Suppl. 82, H. 3. (Algological Studies 56). P. 247 - 345.
251. Komárek J., Fott B. Chlorophyceae: Chlorococcales // Das Phytoplankton des Süßwassersflora. Stuttgart, 1983. Teil 7, vol. 1. 1044 p.

252. Krause W. Charales (Charophyceae) // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 18. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1997. P. 148-150.
253. Laurier P. et al., Critical Review of Mercury Fates and Contamination in the Arctic Tundra Ecosystem // Science of the Total Environment. 400, 2008. P. 173-211.
254. Lenzenweger R. Desmidiaceenflora von Österreich // Bibl. phycologica. Teil 1. Bd. 101. Berlin-Stuttgart, 1996. 162 p.
255. Lenzenweger R. Desmidiaceenflora von Österreich // Bibl. phycologica. Teil 2. Bd. 102. Berlin-Stuttgart, 1997. 216 p.
256. Lenzenweger R. Desmidiaceenflora von Österreich // Bibl. phycologica. Teil 3. Bd. 104. Berlin-Stuttgart, 1999. 218 p.
257. Lenzenweger R. Desmidiaceenflora von Österreich // Bibl. phycologica. Teil 4. Bd. 111. Berlin-Stuttgart, 2003. 87 p.
258. Lévesque L.M., Dubé M.G. Review of the effects of in-stream pipeline crossing construction on aquatic ecosystems and examination of Canadian methodologies for impact assessment // Environmental Monitoring and Assessment. 2007. V. 132. P. 395–409.
259. Li L., Zheng B., Liu L. Biomonitoring and bioindicators used for river ecosystems: definitions, approaches and trends // Procedia environmental sciences, 2010. V. 2. P. 1510-1524.
260. Limnology of tundra ponds, Barrow, Alaska / Edited by John E. Hobbie. Strautsburg, Pa.: Dowden, Hutchinson & Ross, 1980. 514 p.
261. MacArthur, Robert H.; Wilson, Edward O. The Theory of Island Biogeography. Reprint edition of 1967. Princeton University Press, 2001. 224 p.
262. McCormick P.V., Cairns J. Algae as indicators of environmental change // J. of applied phycology, 1994. V. 6(5-6). P. 509-526.
263. Meriläinen I. The diatom flora and the hydrogen ion concentration of the water // Ann. bot. fenn., 1967. Vol. 4. P. 51-58.
264. Meylan S., Behra R., Sigg L. Influence of metal speciation in natural freshwater on bioaccumulation of copper and zinc in periphyton: a microcosm study // Environmental science & technology. 2004. V. 1, № 38 (11). P. 3104-11.
265. Mohammed M., Markert B. Toxicity of heavy metals on *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) de Brébisson in Batch Cultures // Environmental Science and Pollution Research. 2006. V.1. № 13 (2). P. 98-104.
266. Moore J.W. Some factors influencing the diversity and species composition of benthic invertebrate communities in twenty arctic and subarctic lakes. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, 1978. V. 63(6). P. 757-771.
267. Mrozińska T. Chlorophyta IV. Oedogoniophyceae: Oedogoniales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart; New York: Fischer, 1985. Bd. 14. 624 p.

268. Patova E.N. Representatives of the order Stigonematales Geitl. in the soils of the East-European tundras // *Algae in terrestrial ecosystems: Abs. Intern. Conf (Kaniv Nature Reserve, Kaniv, Ukraine, 27-30 sept. 2005)*. Kaniv, 2005. P. 56.
269. Patova E.N., Demina I.V. Algae in Antropogenically Unaaffected Water Bodies of the Polar Urals // *Inland Water Biology*. 2008. Vol. 1. № 1. P. 54-63.
270. Perona, E., Bonilla, I. and Mateo, P. Epilithic cyanobacterial communities and water quality: an alternative tool for monitoring eutrophication in the Alberche River (Spain). *Journal of Applied Phycology*, 10(2), pp.183-191. 1998.
271. Phadnis Samruddha, Iyer Ganesh. Taxonomy of the green filamentous algae of the family Chaetophoraceae (order Chaetophorales) in Thane District, Maharashtra, India // *Int. J. of Life Sciences*, 2016. Vol. 4 (2). P. 247-255.
272. Pienitz R., Douglas M.S., Smol J.P., Hamilton P.B. Algal indicators of environmental change in Arctic and Antarctic lakes and ponds. In: *Long-term environmental change in arctic and antarctic lakes*. Dordrecht: Springer, 2004. P. 117-157.
273. Pienitz R., Douglas M.S.V., Smol J.P. (eds). *Algal indicators of Environmental Change in Arctic and Antarctic Lakes and Ponds // Long-term Environmental Change in Arctic and Antarctic Lakes*. Springer. Netherlands, 2004. S. 117-157.
274. Ponomarev V., Loskutova O. Diversity of zoobenthos and fish communities of lakes in the Kara Sea basin // *Verh. Intern. Verain. Limnol.*, 2006. Vol. 29. part 4. P. 1715-1718.
275. Popovský J., Pfiester L.A. *Dinophyceae (Dinoflagellida) // Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Vena, Stuttgart: Fischer, 1990. Bd. 6. 272 p.
276. Reavie E.D., Jicha T.M., Angradi T.R., Bolgrien D.W., Hill B.H., *Algal assemblages for large river monitoring: comparison among biovolume, absolute and relative abundance metrics // Ecological Indicators*, 2010. V. 10(2). P. 167-177.
277. Reynolds C.S. *The ecology of freshwater phytoplankton // Cambridge Universit. Press*. 1984. 384 p.
278. Skuja H. Grundzüge der algenflora und algenvegetation der Fjelgegenden um Abisko on Schwedisch-Lappland // *Nowa acta Regiae soc. sci. Uppsala*, 1964. Ser. 4. Vol. 18. № 3. P. 1-465.
279. Skuja H. Taxonomische und biologische Studien über das phytoplankton Schwedischer binnengewässer // *Nowa acta Regiae soc. sci. Uppsala*, 1956. Ser. 4. Vol. 16. № 3. P. 1-404.
280. Solak C.N., Àcs, É. Water quality monitoring in European and Turkish rivers using diatoms // *Turkish J. of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2011. V. 11(2). P. 329-337.
281. Steemann N.E., Jörgensen E.G. The adaption of plankton algae. I. General part. *Physiol. plant.*, 1968a. Vol. 21, fasc. 2. P. 401-413.
282. Steemann N.E., Jörgensen E.G. The adaption of plankton algae. III. With special consigeration of the importance in nature. *Physiol. plant.*, 1968b. Vol. 21, fasc. 3. P. 647-654.

283. Steffen A. et al. A Synthesis of Atmospheric Mercury Depletion Event Chemistry in the Atmosphere and Snow // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2008 / Электронный ресурс: <http://www.atmos-chem-phys.org/8/1445/2008/acp-8-1445-2008.pdf> Дата сохранения: 20.01.2015.
284. Universal Biological Indexer and Organizer // Электронный ресурс: портал / <http://www.ubio.org/>
285. Vilchek G. Environmental Impact of Oil and Gas Development. The Physical Geography of Northern Eurasia. 2002. 463 p.
286. Warner N.R., Christie C.A., Jackson R.B., Vengosh A. Impacts of shale gas wastewater disposal on water quality in western Pennsylvania // *Environmental science & technology*. 2013. V.15. № 47 (20). P.11849-11857.
287. Wei H.J., Hu B., Zhu S.P. Preliminary Analysis on Influence of Oil-Gas Pipeline Project on Eco-environment and Protection of Soil and Water Conservation // *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*. 2010. V.11. P. 157-165.
288. West W., West G. S. & Carten N. *British Desmidiaceae*. London, 1923. Vol. 3. 300 p.
289. Willén E. Dominance patterns of planktonic algae in Swedish forest lakes // *Hydrobiol.*, 2003. Vol. 502. P. 315-324.
290. Wołowski K., Hindák F. *Atlas of Euglenophytes*. Bratislava: VEDA. Publishing House of the Slovak Academy of Sciences, 2005. 136 p. Potapova M., Charles D.F. Choice of substrate in algae-based water-quality assessment // *J. of the North American Benthological Society*, 2005. V. 24. № 2. P. 415-427.
291. Xiao J., Wang Y.F., Shi P., Yang L., Chen L.D. Potential effects of large linear pipeline construction on soil and vegetation in ecologically fragile regions // *Environmental monitoring and assessment*. 2014. V. 1. № 186 (11). P. 8037-8048.
292. Yu, X. F., Wang, G. P., Zou, Y. C., Wang, Q., Zhao, H. M., & Lu, X. G. (2010). Effects of pipeline construction on wetland ecosystems: Russia–China oil pipeline project (Mohe-Daqing section). *Ambio*, 39, 447–450.

Список иллюстративного материала

№ пп	Название	Номер страницы
1	Таблица 1.2.1. Диагностические признаки альгоценозов чистых водных объектов Большеземельской тундры и в условиях разных видов загрязнений	22
2	Таблица 2.1.1. Климатические особенности районов исследований	31
3	Таблица 3.1.1. Методики измерений, средства измерений, использованные для химического анализа проб воды и донных отложений	46
4	Рисунок 4.1.1. Экологический ряд озёр ледникового происхождения относительно расположения в рельефе и по наличию загрязнения	53
5	Рисунок 4.1.2. Сравнение обследованных озёр термокарстового происхождения	53
6	Рисунок 4.2.1. Соотношение электропроводности и основных ионов	57
7	Рисунок 4.2.2. Парное сравнения рек и озёр (верхние два рисунка), басс. рек Кара и Силова-Яха (нижние четыре рисунка) по ряду гидрохимических показателей с использованием непараметрического рангового критерия Манна-Уитни	58
8	Рисунок 4.2.3. Парное сравнение гидрохимических показателей для фоновых и антропогенно трансформированных водоемов с использованием непараметрического рангового критерия Манна-Уитни	59
9	Рисунок 4.2.4. Показатели содержания органических веществ и рН	60
10	Рисунок 4.2.5. Соотношение содержания стронция в природной поверхностной воде обследованных водотоков и водоёмов	62
11	Рисунок 4.2.6. Диаграмма, отображающая сходное распределение меди и никеля в пробах природной поверхностной воды	62
12	Рисунок 4.2.7. Соотношение содержания марганца и цинка в пробах природной поверхностной воды	63
13	Рисунок 4.2.8. Соотношение концентрации железа в пробах природной поверхностной воды	63
14	Рисунок 4.3.1. Многократное превышение содержания цинка и меди в донных отложениях импактных участков рек Нярма и Б. Лядгей	72
15	Таблица 4.3.1. Содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов в воде и донных отложениях исследованных водных объектов	75
16	Рисунок 5.1.1. Зависимость Виллиса для альгофлоры водных объектов бассейна р. Кара	79
17	Таблица 5.1.1. Представленность отделов по числу семейств и родов водорослей в альгоценозах обследованных водных объектов (за исключением диатомовых)	80
18	Рисунок 5.1.2. Таксономическая структура альгоценозов водных объектов в обследованном районе	80

19	Рисунок 5.1.3. Непараметрический ранговый критерий Манна-Уитни для <i>Suaporokaryota</i> по числу видов для озёр и рек исследованного района	81
20	Таблица 5.1.2. Ведущие роды в водорослевых сообществах обследованных водных объектов (за исключением диатомовых)	82
21	Таблица 5.1.3. Ведущие семейства в водорослевых сообществах обследованных водных объектов (за исключением диатомовых)	82
22	Таблица 5.1.4. Систематическая структура альгофлор водных объектов бассейна реки Кара (за исключением диатомовых)	83
23	Рисунок 5.1.4. Дендрограмма сходства видового состава альгоценозов обследованных водных объектов (без учета диатомовых) на основе качественного коэффициента Сьеренсена-Чекановского (K_{sc}) с использованием минимального расстояния	84
24	Рисунок 5.1.5. Дендрит сходства видового состава альгоценозов обследованных водных объектов (без учета диатомовых) на основе качественного коэффициента Сьеренсена-Чекановского (K_{sc})	84
25	Таблица 5.1.5. Доминантные комплексы видов для обследованных водных объектов бассейна р. Кара	85
26	Рисунок 5.1.6. Соотношение географических групп водорослей	88
27	Рисунок 5.1.7. Соотношение водорослей обследованных водных объектов бассейна р. Кара по ареалу распространения	89
28	Рисунок 5.1.8. Структура альгоценозов по соотношению экологических групп водорослей (за исключением диатомовых) по показателю сапробности	90
29	Рисунок 5.1.9. Соотношение водорослей обследованных водных объектов бассейна р. Кара по показателю галобности	90
30	Рисунок 5.1.10. Соотношение водорослей обследованных водных объектов бассейна р. Кара по приуроченности к местообитанию	91
31	Рисунок 5.1.11. NMS-ординация водных объектов по видовому разнообразию водорослей с учетом гидрохимических показателей	93
32	Таблица 5.2.1. Распределение значений индексов разнообразия водорослей для исследованных водотоков и озёр	95
33	Рисунок 5.3.1. Звёздчатые диаграммы – таксономическая структура альгофлор (часть 1)	99
34	Рисунок 5.3.2. Звёздчатые диаграммы – таксономическая структура альгофлор (часть 2)	100
35	Рисунок 5.3.3. Звёздчатые диаграммы – таксономическая структура альгофлор (часть 3)	101
36	Рисунок 5.3.4. ССА ординация сообществ водорослей в ограничивающих факторах (предикторы - химические показатели вод исследованных водоемов).	102
37	Рисунок 5.3.5. Графическое представление коэффициента	103

	корреляции Пирсона для таксономического разнообразия водорослей и гидрохимических показателей исследованных водоёмов	
38	Рисунок 5.3.6. Трансформация водных экосистем в зоне влияния газопровода	106
39	Таблица 5.4.1. Водоросли-индикаторы для водных объектов Большеземельской тундры и Полярного Урала	107
40	Рисунок 5.4.4. Звёздчатые диаграммы – экологическая структура альгофлор по индикаторам сапробности (часть 1)	118
41	Рисунок 5.4.5 Звёздчатые диаграммы – экологическая структура альгофлор по индикаторам сапробности (часть 2)	119
42	Рисунок 5.4.6. Звёздчатые диаграммы – экологическая структура альгофлор по индикаторам сапробности (часть 3)	120
43	Таблица 5.5.1. Программа экологического мониторинга состояния водных объектов в зоне влияния магистрального газопровода «Бованенково-Ухта» (в районе Большеземельской тундры и Полярного Урала) с использованием альгоиндикации и данных химического анализа	131

Карты-схемы местоположения района исследований

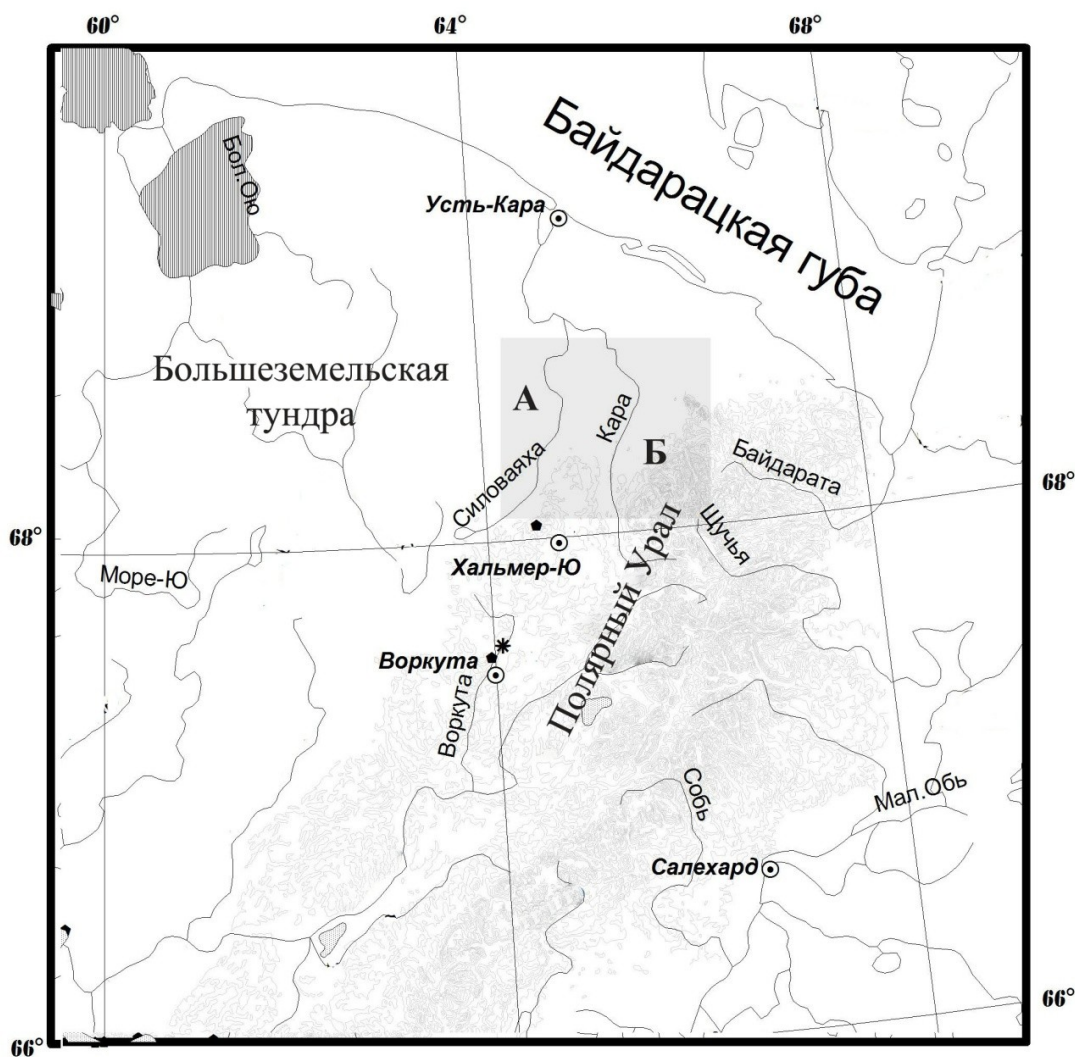


Рисунок 1. Карта-схема районов исследований.

Условные обозначения: Место отбора проб: А – р. Силова-Яха, её приток р. Хальмерью, озёра Хальмерты, Круглое, Тройное, без названия – № 3, № 4, № 5 (фоновый район); Б – р. Кара и её притоки – реки Б. Лядгей, Нярма, озёра Б. Манясейто, Коматы, без названия № 1 (в зоне воздействия трассы газопровода).

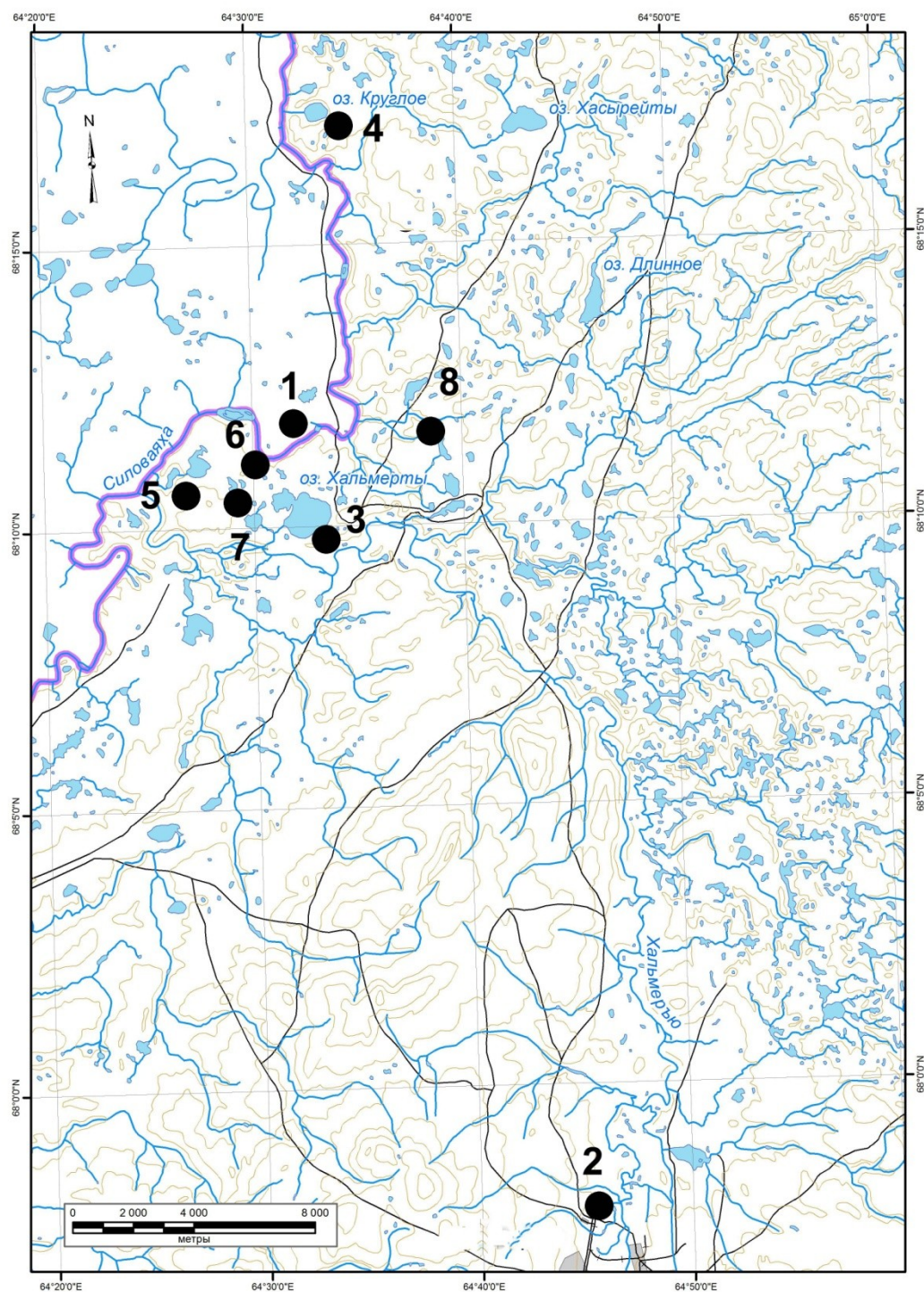


Рисунок 2. Карта-схема исследований мест отбора проб в водных объектах в бассейне реки Силова-Яха: 1 – р. Силова-Яха, 2 – р. Хальмерью, 3 – оз. Хальмерты, 4 – оз. Круглое, 5 – оз. Тройное, 6 – оз. № 3, 7 – оз. № 4, 8 – оз. № 5.



Коматы, 14 – оз. № 1.

Описание обследованных водных объектов в местах отбора проб воды, донных отложений и альгологического материала

1. Река Силова-Яха (Силовая)



Фото Е.Н. Патовой: слева – пороги, перекаты, справа – равнинная часть р. Силова-Яха.

Большеземельская тундра, правый приток р. Кара.

Координаты обследованного участка: 68°11' с.ш., 64°32' в.д.

Описание водного объекта в месте отбора проб: река обследована в среднем течении, пологой равнинной части, местами с перекатами. Условно чистый участок. По берегам каменистые бичевники, заросли осоки, ив и ерника. Дно каменистое, с нитями водорослей, местами поросшее осокой или водными мхами. Вода прозрачная, в глубоких участках зеленовато-голубая, без запаха.

Физико-химические параметры в момент отбора проб (20.07.2012): перекат – pH=6.95; $T_{\text{воды}}=17,6^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 146 мкСм/см; плёс – pH=6.97; $T_{\text{воды}}=17,8^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 156 мкСм/см.

2. Река Хальмерью



Фото Е.Н. Патовой

Большеземельская тундра, правый приток р. Силова-Яха.

Координаты обследованного участка: 67°56' с.ш., 64°46' в.д.

Описание водного объекта в месте отбора проб: среднее течение, пологая равнинная часть, местами с перекатами. Условно чистый участок. Берег пологий, местами заросший осокой и ивами. Дно каменистое, с нитями водорослей. Измеренная глубина – до 3 м, средняя 0.5-1.0 м. Вода прозрачная без запаха.

Физико-химические параметры в момент отбора проб (19.07.2012): $pH=6.86$; $T_{\text{воды}}=18,0^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 166 мкСм/см.

3. Озеро Хальмерты (Хальмерто)



Фото Е.Н. Патовой

Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха. Через протоку соединяется с р. Хальмерью.

Координаты обследованного участка: $68^{\circ}10'18''$ с.ш., $64^{\circ}32'18''$ в.д.

Описание водного объекта в месте отбора проб: крупное озеро ледникового происхождения. Условно чистый участок. Берег пологий, каменистый, местами заросший мхами, ивами и осокой. Дно каменистое, с нитями водорослей (местами песчаный или илистый грунт). Измеренная глубина – до 15 м, средняя 3 м. Вода прозрачная без запаха.

Физико-химические параметры в момент отбора проб (26.07.2012): $pH=7.33$; $T_{\text{воды}}=15,0^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 57 мкСм/см.

4. Озеро Круглое



Фото Е.Н. Патовой

Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха.

Координаты обследованного участка: $68^{\circ}17'$ с.ш., $64^{\circ}31'$ в.д.

Описание водного объекта в месте отбора проб: термокарстовое озеро размером до 500 м в диаметре. Условно чистый участок. Берег пологий, заболоченный с моховыми и осоковыми зарослями. Дно песчаное, местами илистое с зарослями арктофилы. Измеренная глубина – до 0.5 м. В озере наблюдали «цветение» воды. Вода коричневая, мало прозрачная, без запаха.

Физико-химические параметры в момент отбора проб (22.07.2012): $pH=7.9$; $T_{\text{воды}}=19,4^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 50 мкСм/см.

5. Озеро Тройное



Фото Е.Н. Патовой

Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха.

Координаты обследованного участка: 68°11' с.ш., 64°27' в.д.

Описание водного объекта в месте отбора проб: термокарстовое сточное озеро, до 300-500 м в диаметре. Условно чистый участок. Берега извилистый с зарослями осоки, хвоща, зеленых мхов. Дно каменистое, местами сильно заиленное. Вода прозрачная, без запаха. Измеренная глубина – 0.5 м.

Физико-химические параметры в момент отбора проб (26.07.2012): рН=8.5; $T_{\text{воды}} = 18,4^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 51 мкСм/см.

6. Озеро без названия № 3

Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха.

Координаты обследованного участка: 68°11' с.ш., 64°30' в.д., высота над ур. моря 179 м.

Описание водного объекта в месте отбора проб: небольшой термокарстовый проточный водоем, до 300-500 м в диаметре. Условно чистый участок. Берега пологие, есть обрыв и заболоченные участки. Прибрежно-водная растительность образована зарослями ивы и ерника, осокой, злаковыми, мхами. Дно илистое, местами каменисто-песчаное. Вода непрозрачная, коричневая, без запаха. Измеренная глубина – 1.5 м. В озере наблюдали «цветение» воды.

Физико-химические параметры в момент отбора проб (22.07.2012): рН=7.26; $T_{\text{воды}} = 20,6^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 71 мкСм/см.

7. Озеро без названия № 4

Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха.

Координаты обследованного участка: 68°10' с.ш., 64°29' в.д., высота над ур. моря 180 м.

Описание водного объекта в месте отбора проб: термокарстовое гумифицированное озеро, до 400-500 м в диаметре. Проточное, расположено в понижении рельефа между торфянистыми буграми. Берега местами обрывистые, заросшие осокой. Дно топкое, илистое, местами песчаное или торфянистое. Максимальная измеренная глубина 3 м, средняя – 1-1.5 м. Вода коричневая, без запаха.

Физико-химические параметры в момент отбора проб (22.07.2012): рН=7.07; $T_{\text{воды}} = 22,0^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 48 мкСм/см.

8. Озеро без названия № 5

Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха.

Координаты обследованного участка: 68°10' с.ш., 64°34' в.д., 177 м над ур. м.

Описание водного объекта в месте отбора проб: термокарстовое гумифицированное озеро, от 250 до 400 м в диаметре. Берега местами обрывистые, заросшие осокой. Дно топкое, илистое. Средняя глубина 1-1.5 м. Вода коричневая, без запаха.

Физико-химические параметры в момент отбора проб (22.07.2012): $\text{pH}=7,09$; $T_{\text{воды}}=20,1^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 76 мкСм/см .

9. Река Кара



Фото Е.Н. Патовой: слева – общий вид реки, мост автомобильной дороги вдоль второй нитки магистрального газопровода «Ямал-Центр» на участке «Бованенково-Ухта», справа – грунт, нити водоросли *Tetraspora cylindrica* (доминант в р. Кара и других обследованных реках).

Западный склон Полярного Урала.

Координаты обследованного участка: $68^{\circ}07'12.4''$ с.ш., $65^{\circ}19'17.8''$ в.д. (по течению ниже моста, импактный участок); $68^{\circ}07'08.5''$ с.ш., $65^{\circ}19'21.7''$ в.д. (выше моста, фоновый участок).

Описание водного объекта в месте отбора проб: река обследована в среднем течении, пологой равнинной части, в 500 м выше и ниже по течению от моста вдоль газопровода. По берегам – галечные отмели. Дно каменистое, песчано-гравийное, с нитями водорослей, местами поросшее осокой или водными мхами. Вода прозрачная без запаха. Глубина в прибрежной части – до 0.5 м.

Магистральный газопровод проложен по руслу реки вдоль дороги.

Физико-химические параметры в момент отбора проб (26.07.2012): ниже моста – $\text{pH}=6.4$; $T_{\text{воды}}=22.5^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 85 мкСм/см ; выше моста – $\text{pH}=6.35$; $T_{\text{воды}}=22.5^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 82 мкСм/см .

10. Река Нярма (Нярма-Яха)



Фото Е.Н. Патовой

Западный склон Полярного Урала, правый приток р. Кара.

Координаты обследованного участка: $68^{\circ}28'34.1''$ с.ш., $66^{\circ}06'19.0''$ в.д. (в точке пересечения реки автомобильной дорогой вдоль газопровода «Бованенково – Ухта»).

Описание водного объекта в месте отбора проб: река обследована в среднем течении, пологой равнинной части, в 500 м выше и ниже по течению от моста вдоль газопровода. По берегам – песчано-галечные отмели. Дно каменистое, каменистое, песчано-гравийное. Вода прозрачная без запаха. Глубина в прибрежной части – до 0.5 м.

Магистральный газопровод проложен по руслу реки вдоль дороги.

Физико-химические параметры в момент отбора проб (26.07.2012): ниже моста – $\text{pH}=5.62$; $T_{\text{воды}}=19.6^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 68 мкСм/см; соленость 35 ppm; выше моста – $\text{pH}=5.62$; $T_{\text{воды}}=19.6^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 68 мкСм/см; соленость 35 ppm.

11. Река Б. Лядгей (Лядгей-Яха, Б. Лядгей-Яха, Лядхей-Яха)



Фото Е.Н. Патовой: слева – участок ниже моста по течению (импактный), мост автомобильной дороги вдоль второй нитки магистрального газопровода «Ямал-Центр» на участке «Бованенково-Ухта»; справа – участок выше по течению (фоновый).

Западный склон Полярного Урала, правый приток р. Кара.

Координаты обследованного участка: $68^{\circ}17'19.1''$ с.ш., $65^{\circ}41'17.8''$ в.д. (по течению ниже моста); $68^{\circ}17'20.7''$ с.ш., $65^{\circ}41'28.8''$ в.д. (выше моста).

Описание водного объекта в месте отбора проб: река обследована в среднем течении, пологой части, в 500 м выше и ниже по течению от моста вдоль газопровода. Левый берег сформирован выходами скальных пород, высокий, обрывистый, правый берег – пологий, песчано-гравийный. Дно каменистое, заиленное. Вода прозрачная без запаха. Глубина в прибрежной части – до 0.5 м.

Магистральный газопровод проложен по руслу реки вдоль дороги.

Физико-химические параметры в момент отбора проб (26.07.2012): ниже моста – $\text{pH}=5.8$; $T_{\text{воды}}=18.2^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 78 мкСм/см; выше моста – $\text{pH}=5.61$; $T_{\text{воды}}=18.1^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 75 мкСм/см.

12. Озеро Б. Манясейто

Западный склон Полярного Урала, бассейн р. Кара.

Координаты обследованного участка: $68^{\circ}28'$ с.ш., $66^{\circ}21'$ в.д., 160 м над ур. моря.

Описание водного объекта в месте отбора проб: крупное межгорное озеро ледникового происхождения, с глубиной до 40 м, расположено через гору Большой Манясей на расстоянии около 8 км от газопровода и автомобильной дороги. Взято в качестве фонового. Берег пологий, заросший мхами, ивами и осокой, разнотравьем (лютик, арктофила), местами обрывистый, сформирован выходами скальных пород, каменистый. Дно каменистое (местами песчаный или илистый грунт). Измеренная глубина – до 40 м, средняя 3-5 м. Вода прозрачная без запаха.

Физико-химические параметры в момент отбора проб (04.08.2011-12.08.2011): pH=5.53-5.58; $T_{\text{воды}}=15-21.5^{\circ}\text{C}$; электропроводность 20-40 мкСм/см.



Фото Е.Н. Патовой.

13. Озеро Коматы



Фото Е.Н. Патовой: слева – общий вид оз. Коматы, справа – плёнка водорослей на дне озера.

Западный склон Полярного Урала, бассейн р. Кара.

Координаты обследованного участка: 68°08' с.ш., 65°21' в.д., 90 м над ур. моря.

Описание водного объекта в месте отбора проб: крупное озеро ледникового происхождения, с глубиной до 4 м (средняя – 2 м). Соединено протокой с р. Кара в её верхнем течении. По берегам – заросли ивы, а в прибрежье – осоки и хвоща, грунт песчано-илистый. Наблюдается обильное развитие макрофитов (арктофила, рдесты, уруть, ряска, сабельник), на дне распространены моховые и водорослевые обрастания. Длина озера – 2.5 км, ширина – 0.8 км. Грунты в основном песчаные. Вода бесцветная, без запаха.

Расположено в непосредственной близости от магистрального газопровода и грунтовой дороги (на расстоянии 20 м).

Физико-химические параметры в момент отбора проб (26.07.2012): pH=6.12; $T_{\text{воды}}=26.5^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 67 мкСм/см.

14. Озеро без названия № 1



Фото Е.Н. Патовой

Западный склон Полярного Урала, бассейн р. Кара.

Координаты обследованного участка: 68°01' с.ш., 65°11' в.д., 90 м над ур. моря.

Описание водного объекта в месте отбора проб: термокарстовое гумифицированное озеро. Берега пологие, местами обрывистые, в зарослях ивы и ерника, в прибрежной части – осоки. Грунты в основном песчаные. Донные отложения представлены наилком с запахом нефти. Длина озера – 150 м, ширина – 50 м. Вода коричневая, с запахом нефтепродуктов.

Находится рядом с компрессорной станцией газопровода «Бованенково-Ухта» (на расстоянии 100 м от нее), в него осуществляется сброс сточных вод.

Физико-химические параметры в момент отбора проб (26.07.2012): pH=6.86; $T_{\text{воды}}=28.1^{\circ}\text{C}$ в прибрежной части; электропроводность 118 мкСм/см.

Приложение 3

Список проб альгологического материала

№ п/п	Номер пробы и дата отбора	Место отбора пробы	Примечание (экологическая группа по местообитанию, признаки «цветения» воды, количественные пробы)
1	Проба № 7, 04.08.2011	Полярный Урал, бассейн р. Кара, оз. Манясейто, станция 1	Планктон. <u>Количественная проба</u> 50 л – 1 л
2	Проба № 8, 04.08.2011	Полярный Урал, бассейн р. Кара, оз. Манясейто, станция 2, на поверхности	Нейстон
3	Проба № 9, 06.08.2011	Полярный Урал, бассейн р. Кара, оз. Манясейто, станция 2, на глубине 9 м	Фитобентос
4	Проба № 27, 07.08.2011	Полярный Урал, бассейн р. Кара, оз. Манясейто, станция 5, на поверхности	Нейстон. <u>Количественная проба</u> 50 л – 1 л
5	Проба № 31, 09.08.2011	Полярный Урал, бассейн р. Кара, оз. Манясейто (большое-1), на камнях	Эпилитон (смыв с камней)
6	Проба № 32, 09.08.2011	Полярный Урал, бассейн р. Кара, оз. Манясейто (большое-1), на камнях (коричневые)	Эпилитон (смыв с камней)
7	Проба № 33, 09.08.2011	Полярный Урал, бассейн р. Кара, оз. Манясейто (большое-1), заросли осоки	Эпифитон, эпилитон (смыв с камней и осоки)
8	Проба № 34, 09.08.2011	Полярный Урал, бассейн р. Кара, оз. Манясейто (большое-1), со дна (нитчатые водоросли)	Фитобентос
9	Проба № 35, 09.08.2011	Полярный Урал, бассейн р. Кара, оз. Манясейто (большое-1), смыв с лютика	Эпифитон (смыв с лютика)
10	Проба № 36, 09.08.2011	Полярный Урал, бассейн р. Кара, оз. Манясейто (большое-1), заросли арктофилы	Эпифитон (смыв с арктофилы)
11	Проба № 50, 10.08.2011	Полярный Урал, бассейн р. Кара, оз. Манясейто, станция 2	Планктон
12	Проба № 51, 10.08.2011	Полярный Урал, бассейн р. Кара, оз. Манясейто, станция 2, на поверхности	Нейстон
13	Проба № 52, 10.08.2011	Полярный Урал, бассейн р. Кара, оз. Манясейто, станция 2, на глубине	Планктон
14	Проба № 53, 10.08.2011	Полярный Урал, бассейн р. Кара, оз. Манясейто, станция 2, на глубине 20 м	Планктон
15	Проба № 54, 12.08.2011	Полярный Урал, бассейн р. Кара, оз. Манясейто, станция 2, на	Планктон

		глубине 10 м	
16	Проба № 55, 12.08.2011	Полярный Урал, бассейн р. Кара, оз. Манясейто, станция 2, на поверхности	Нейстон
17	Проба № 1, 20.07.2012	Большеземельская тундра, р. Силова-Яха, нити в заводи	Метафитон
18	Проба № 2, 20.07.2012	Большеземельская тундра, р. Силова-Яха, пережат (нитчатки)	Метафитон
19	Проба № 3, 20.07.2012	Большеземельская тундра, р. Силова-Яха, пережат, камни (<i>Nostoc</i> sp.)	Эпилитон (смыв с камней)
20	Проба № 4, 20.07.2012	Большеземельская тундра, р. Силова-Яха, пережат (черные пятна, корки, <i>Rivularia</i> sp.)	Эпилитон (смыв с камней)
21	Проба № 5, 19.07.2012	Большеземельская тундра, р. Хальмерью, на камнях, рядом с заброшенной шахтой	Эпилитон (смыв с камней)
22	Проба № 5/1, 19.07.2012	Большеземельская тундра, р. Хальмерью, на камнях, рядом с заброшенной шахтой	Эпилитон (смыв с камней)
23	Проба № 15, 21.07.2012	Большеземельская тундра, р. Силова-Яха, на камнях (нитчатки и <i>Nostoc</i> sp.)	Эпилитон (смыв с камней)
24	Проба № 18, 21.07.2012	Большеземельская тундра, р. Силова-Яха, отжим водных мхов	Эпифитон (отжим водных мхов)
25	Проба № 19, 22.07.2012	Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха, оз. Тройное, заросли осоки	Эпифитон (смыв с осоки)
26	Проба № 20, 22.07.2012	Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха, оз. Тройное	Планктон. Наблюдалось «цветение» воды
27	Проба № 21, 22.07.2012	Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха, оз. Тройное	Планктон, центр озера. <u>Количественная проба</u> 50 л – 14 мл
28	Проба № 23, 22.07.2012	Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха, озеро № 4, заросли осоки	Эпифитон (смыв с осоки)
29	Проба № 24, 22.07.2012	Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха, оз. № 3	Планктон, около берега. <u>Количественная</u> <u>проба</u> 50 л – 32 мл
30	Проба № 28, 24.07.2012	Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха, оз. Круглое, планктон	Планктон. Наблюдалось «цветение» воды. <u>Количественная проба</u> 50 л – 26 мл
31	Проба № 30, 22.07.2012	Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха, оз. Круглое, заросли арктофилы	Эпифитон (смыв с арктофилы)
32	Проба № 31, 22.07.2012	Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха, оз. Круглое	Планктон

33	Проба № 33, 26.07.2012	Большеземельская тундра, оз. Хальмерты, на камнях	Эпилитон (смыв с камней)
34	Проба № 33/1, 26.07.2012	Большеземельская тундра, оз. Хальмерты, камни	Эпилитон (смыв с камней)
35	Проба № 5/1, 19.07.2012	Большеземельская тундра, оз. Хальмерты, на камнях, зеленые нити	Эпилитон (смыв с камней)
36	Проба № 34, 26.07.2012	Большеземельская тундра, оз. Хальмерты	Планктон
37	Проба б/н, 26.07.2012	Большеземельская тундра, оз. Хальмерты (нитчатые водоросли, <i>Nostoc</i> sp.)	Метафитон
38	Проба № 38, 26.07.2012	Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха, оз. Тройное	Планктон. <u>Количественная проба</u> 50 л – 27,5 мл
39	Проба № 39, 27.07.2012	Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха, оз. Тройное, смыв с осоки	Эпифитон (смыв с осоки).
40	Проба № 34, 26.07.2013	Большеземельская тундра, р. Нярма, выше моста, камни	Эпилитон (смыв с камней)
41	Проба № 35, 26.07.2013	Большеземельская тундра, р. Нярма, ниже моста, камни	Эпилитон (смыв с камней)
42	Проба № 36, 26.07.2013	Полярный Урал, р. Б. Лядгей, ниже моста, камни	Эпилитон (смыв с камней)
43	Проба № 37, 26.07.2013	Полярный Урал, р. Б. Лядгей, выше моста, камни	Эпилитон (смыв с камней)
44	Проба № 38, 26.07.2013	Большеземельская тундра, р. Кара, ниже моста, камни	Эпилитон (смыв с камней)
45	Проба № 39, 26.07.2013	Большеземельская тундра, р. Кара, выше моста, камни	Эпилитон (смыв с камней)
46	Проба № 40, 26.07.2013	Полярный Урал, оз. Коматы	Планктон. <u>Количественная проба</u> 50 л – 1 л
47	Проба № 41, 26.07.2013	Полярный Урал, оз. Коматы, камни	Эпилитон (смыв с камней)
48	Проба № 42, 26.07.2013	Полярный Урал, оз. Коматы, смыв с водных растений (осока и сабельник)	Эпифитон (смыв с осоки и сабельника)
49	Проба № 43, 26.07.2013	Полярный Урал, термокарстовое озеро у дороги (№ 1), планктон	Планктон. <u>Количественная проба</u> 50 л – 1 л
50	Проба № 44, 26.07.2013	Полярный Урал, термокарстовое озеро у дороги (№ 1), со дна	Фитобентос
51	Проба № 45, 26.07.2013	Полярный Урал, термокарстовое озеро у дороги (№ 1), со дна и растений	Фитобентос и эпифитон
52	Проба № 35, 22.07.2012	Большеземельская тундра, бассейн р. Силова-Яха, оз. № 5	Планктон, около берега. <u>Количественная</u> <u>проба</u> 50 л – 32 мл

Данные количественного химического анализа для проб природной поверхностной воды и донных отложений, результаты статистической обработки

Таблица 1. Данные количественного химического анализа для проб природной поверхностной воды

Водные объекты	pH ($\pm\Delta$)	α ($\rho \pm \Delta$), мксм/см	ВВ ($\rho \pm \Delta$), мг/дм ³	РВ ($\rho \pm \Delta$), мг/дм ³	Цветность (X $\pm\Delta$), градусы	Мутность (X $\pm$ U), ЕМФ	Жесткость (C $\pm\Delta$), ммоль/дм ³	ПО (C $\pm\Delta$), мгО ₂ /л	ХПК($\rho \pm U$), мг/дм ³	NH ₄ ⁺ ($\rho \pm \Delta$), мг/дм ³	NO ₃ ⁻ ($\rho \pm \Delta$), мг/дм ³	NO ₂ ⁻ ($\rho \pm \Delta$), мг/дм ³	СГ ($\rho \pm \Delta$), мг/дм ³	SO ₄ ²⁻ ($\rho \pm \Delta$), мг/дм ³
Б. Манясейто, поверхность	6,77 $\pm$ 0,10	41 $\pm$ 4	<5	40 $\pm$ 4	16 $\pm$ 2	1,9 $\pm$ 0,4	0,31 $\pm$ 0,05	н/а	7,7 $\pm$ 2,3	<0,026	<0,044	<0,033	0,83 $\pm$ 0,22	2,5 $\pm$ 0,8
Б. Манясейто, глубина 20 м	6,96 $\pm$ 0,10	42 $\pm$ 4	<5	40 $\pm$ 4	18 $\pm$ 2	2,4 $\pm$ 0,5	0,30 $\pm$ 0,05	н/а	7,7 $\pm$ 2,3	<0,026	<0,044	<0,033	0,95 $\pm$ 0,23	2,6 $\pm$ 0,8
Нярма, фон	8,96 $\pm$ 0,10	86 $\pm$ 9	<5	70 $\pm$ 7	12 $\pm$ 2	1,9 $\pm$ 0,4	0,60 $\pm$ 0,06	н/а	7,2 $\pm$ 2,1	<0,026	<0,044	<0,033	0,54 $\pm$ 0,20	6,3 $\pm$ 0,9
Нярма, импакт	8,89 $\pm$ 0,10	78 $\pm$ 8	<5	80 $\pm$ 7	13 $\pm$ 2	1,9 $\pm$ 0,4	0,61 $\pm$ 0,06	н/а	6,9 $\pm$ 2,1	<0,026	<0,044	<0,033	0,56 $\pm$ 0,21	6,5 $\pm$ 0,9
Б. Лядгей, фон	8,56 $\pm$ 0,10	90 $\pm$ 9	<5	80 $\pm$ 7	12 $\pm$ 2	1,9 $\pm$ 0,4	0,70 $\pm$ 0,06	н/а	7,5 $\pm$ 2,2	<0,026	<0,044	<0,033	0,49 $\pm$ 0,20	4,0 $\pm$ 0,8
Б. Лядгей, импакт	8,30 $\pm$ 0,10	88 $\pm$ 9	<5	60 $\pm$ 7	12 $\pm$ 2	2,4 $\pm$ 0,5	0,69 $\pm$ 0,06	н/а	6,6 $\pm$ 2,0	<0,026	<0,044	<0,033	<0,50	3,4 $\pm$ 0,8
Коматы, поверхность	8,88 $\pm$ 0,10	86 $\pm$ 9	<5	80 $\pm$ 7	37 $\pm$ 4	2,3 $\pm$ 0,5	0,70 $\pm$ 0,06	н/а	23 $\pm$ 7	<0,026	<0,044	<0,033	0,62 $\pm$ 0,21	3,6 $\pm$ 0,8
Кара, фон	8,84 $\pm$ 0,10	88 $\pm$ 9	<5	90 $\pm$ 7	13 $\pm$ 2	2,0 $\pm$ 0,4	0,66 $\pm$ 0,06	н/а	7,7 $\pm$ 2,3	<0,026	<0,044	<0,033	<0,50	4,6 $\pm$ 0,8
Кара, импакт	8,81 $\pm$ 0,10	84 $\pm$ 8	<5	80 $\pm$ 7	12 $\pm$ 2	2,0 $\pm$ 0,4	0,62 $\pm$ 0,06	н/а	н/а	<0,026	<0,044	<0,033	<0,50	4,3 $\pm$ 0,8
оз. №1, поверхность	8,74 $\pm$ 0,10	140 $\pm$ 14	<5	120 $\pm$ 8	34 $\pm$ 4	2,2 $\pm$ 0,4	0,99 $\pm$ 0,08	н/а	н/а	<0,026	<0,044	<0,033	0,62 $\pm$ 0,21	10,4 $\pm$ 1,3
Хальмерью	6,86 $\pm$ 0,10	166 $\pm$ 17	н/а	н/а	7 $\pm$ 2	н/а	н/а	1,27 $\pm$ 0,25	3,14*	0,027 $\pm$ 0,010	0,015*	н/а	0,7*	5,7 $\pm$ 0,8
оз. № 3	7,17 $\pm$ 0,10	71 $\pm$ 7	н/а	н/а	31 $\pm$ 4	н/а	н/а	7,3 $\pm$ 0,7	21 $\pm$ 6	0,030 $\pm$ 0,010	0,011*	н/а	0,8*	1,9*
Силова-Яха, перекат	6,95 $\pm$ 0,10	146 $\pm$ 15	н/а	н/а	12 $\pm$ 2	н/а	н/а	2,77 $\pm$ 0,28	8,8 $\pm$ 2,6	0,019*	н/о	н/а	0,7*	6,5 $\pm$ 0,9
Силова-Яха, плес	6,97 $\pm$ 0,10	156 $\pm$ 16	н/а	н/а	11 $\pm$ 2	н/а	н/а	3,2 $\pm$ 0,3	14 $\pm$ 4	0,027 $\pm$ 0,010	н/о	н/а	0,9*	6,7 $\pm$ 0,9
Круглое	7,29 $\pm$ 0,10	50 $\pm$ 5	н/а	н/а	19 $\pm$ 2	н/а	н/а	4,2 $\pm$ 0,4	20 $\pm$ 6	0,44 $\pm$ 0,10	0,012*	н/а	1,2*	1,8*
Хальмерты	7,33 $\pm$ 0,10	57 $\pm$ 6	н/а	н/а	7 $\pm$ 2	н/а	н/а	1,41 $\pm$ 0,28	7,9 $\pm$ 2,3	0,027 $\pm$ 0,010	н/о	н/а	0,7*	1,6*
Тройное	7,27 $\pm$ 0,10	51 $\pm$ 5	н/а	н/а	53 $\pm$ 5	н/а	н/а	7,2 $\pm$ 0,7	31 $\pm$ 9	1,04 $\pm$ 0,06	0,82 $\pm$ 0,22	н/а	1,1*	1,6*
оз. № 4	7,32 $\pm$ 0,10	48 $\pm$ 5	н/а	н/а	37 $\pm$ 4	н/а	н/а	7,8 $\pm$ 0,8	40 $\pm$ 12	0,042 $\pm$ 0,010	0,005*	н/а	1,2*	1,3*

Данные количественного химического анализа для проб природной поверхностной воды

(Продолжение)

Водный объект	HCO_3^- ($\rho \pm \Delta$), мг/дм ³	IC ($\rho \pm \Delta$), мг/дм ³	DOC ($\rho \pm \Delta$), мг/дм ³	$N_{\text{общ}}(\rho \pm \Delta)$, мг/дм ³	$P_{\text{общ}}(\rho \pm U)$, мг/дм ³	Ca ($\rho \pm U$), мг/дм ³	Mg ($\rho \pm U$), мг/дм ³	Na($\rho \pm U$), мг/дм ³	K($\rho \pm U$), мг/дм ³	Fe($\rho \pm U$), мг/дм ³	Mn ($\rho \pm U$), мкг/дм ³	Zn ($\rho \pm U$), мкг/дм ³	Cu ($\rho \pm U$), мкг/дм ³
Б. Манясейто, поверхность	15,5±2,4	3,2±0,4	1,63±0,20	0,097±0,018	<0,010	5,2±0,8	0,57±0,09	0,82±0,20	0,19±0,05	0,0108±0,0026	3,2±1,0	<2,5	<1,0
Б. Манясейто, глубина 20 м	18,0±2,4	3,6±0,4	1,59±0,19	0,119±0,021	<0,010	5,1±0,8	0,59±0,09	0,87±0,21	0,23±0,05	0,062±0,015	4,2±1,3	<2,5	2,1±0,9
Нярма, фон	34,2±2,5	5,8±0,7	0,80±0,10	0,078±0,014	<0,010	10,4±1,7	0,92±0,14	1,40±0,21	0,21±0,05	0,028±0,007	5,4±1,7	<2,5	<1,0
Нярма, импакт	32,4±2,5	5,8±0,7	1,07±0,13	0,073±0,013	<0,010	10,6±1,7	0,94±0,14	1,49±0,22	0,22±0,05	0,018±0,004	4,0±1,3	<2,5	<1,0
Б. Лядгей, фон	36,9±2,5	7,5±0,9	1,11±0,13	0,082±0,015	<0,010	12,1±1,9	1,10±0,16	1,74±0,26	0,24±0,06	0,0108±0,0026	1,7±0,5	<2,5	<1,0
Б. Лядгей, импакт	41,2±2,5	7,9±0,9	1,21±0,15	0,083±0,015	<0,010	12,4±2,0	0,86±0,13	1,17±0,17	0,19±0,05	0,020±0,005	6,2±2,0	<2,5	<1,0
Коматы, поверхность	44,1±2,5	7,1±0,8	6,7±0,8	0,33±0,06	0,016±0,007	11,0±1,8	1,79±0,27	1,04±0,16	0,34±0,08	0,057±0,014	17±5	<2,5	<1,0
Кара, фон	42,8±2,5	7,5±0,9	1,11±0,13	0,083±0,015	0,013±0,006	11,0±1,8	1,35±0,20	1,16±0,17	0,22±0,05	0,020±0,005	3,1±1,0	<2,5	<1,0
Кара, импакт	45,0±2,5	7,2±0,9	1,01±0,12	0,078±0,014	0,012±0,005	10,4±1,7	1,24±0,19	1,08±0,16	0,21±0,05	0,014±0,003	2,6±0,8	<2,5	<1,0
оз. №1, поверхность	56,4±2,6	9,1±1,1	6,1±0,7	0,41±0,07	0,020±0,009	15,5±2,5	2,5±0,4	1,88±0,28	0,25±0,06	0,17±0,04	20±6	<2,5	1,7±0,7
Хальмерью	125.5±2.9	н/а	н/а	0.08*	0.010*	28±4	4.5±0.7	3.9±0.6	0.51±0.12	0,002*	0.61*	0.76*	1.8±0.8
Оз. № 3	52.5±2.6	н/а	н/а	0.65±0.12	0.010*	12.4±2.0	2.4±0.4	1.77±0.27	0.44±0.11	0,006*	1.1±0.4	н/о	0.31*
Силова-Яха, перекат	112.1±2.9	н/а	н/а	0.21*	0.009*	28±4	4.2±0.6	3.2±0.5	0.59±0.14	0,001*	0.75*	0.22*	0.22*
Силова-Яха, плес	121.9±2.9	н/а	н/а	0.22*	0.011*	28±5	4.3±0.6	3.4±0.5	0.60±0.14	0,002*	2.5±0.8	1.93*	1.7±0.7
Круглое	25.0±2.4	н/а	н/а	0.88±0.16	0.014*	4.6±0.7	1.31±0.20	1.67±0.25	0.75±0.18	0,011*	2.3±0.7	1.01*	1.0±0.4
Хальмерты	36.8±2.5	н/а	н/а	0.25*	0.008*	9.2±1.5	1.26±0.19	0.92±0.22	0.37±0.09	н/о	1.3±0.4	1.89*	1.0±0.4
Тройное	30.7±2.5	н/а	н/а	1.61±0.29	0.072±0.023	6.4±1.0	1.30±0.19	1.15±0.17	0.37±0.09	0,014*	2.1±0.7	3.10*	1.8±0.7
Оз. № 4	27.9±2.4	н/а	н/а	0.65±0.12	0.12±0.04	6.6±1.1	1.33±0.20	1.17±0.18	0.58±0.14	0,009*	13±4	1.67*	1.8±0.8

Данные количественного химического анализа для проб природной поверхностной воды

(Продолжение)

Водные объекты	АПАВ($\rho \pm \Delta$), мг/дм ³	Фенол($\rho \pm \Delta$), мкг/дм ³	Полициклические ароматические углеводороды, нг/дм ³															
			нафталин	аценафтен	флуорен	фенантрен	антрацен	флуорантен	пирен	бенз[а]антрацен	хризен	бенз[b]-флуорантен	бенз[k]-флуорантен	бенз[a]пирен	дибенз[a,h]-антрацен	бенз[ghi]-перилен	индено-[1,2,3-cd]пирен	сумма ПАУ
Б. Манясейто, поверхность	н/а	<0,50	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а
Б. Манясейто, глубина 20 м	н/а	<0,50	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а
Нярма, фон	<0,025	<0,50	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Нярма, импакт	<0,025	<0,50	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Б. Лядгей, фон	<0,025	<0,50	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Б. Лядгей, импакт	<0,025	<0,50	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Коматы, поверхность	<0,025	<0,50	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Кара, фон	н/а	<0,50	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а	н/а
Кара, импакт	<0,025	<0,50	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
оз. №1, поверхность	<0,025	<0,50	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0

Примечание: $\pm \Delta$ – границы интервала абсолютной погрешности при $P=0.95$;
 $\pm U$ – расширенная неопределенность, вычисленная с применением коэффициента охвата $k = 2$;
н/а – не анализировали;
н/о – компонент не определен;
* – результат измерения меньше нижней границы диапазона определяемого содержания, $x < x_{\min}$;
НП – нефтепродукты;
ПАУ – полиароматические углеводороды.

Таблица 2. Данные количественного химического анализа для проб донных отложений

Водный объект	Cu (w±Δ), мг/кг	Pb(w±Δ), мг/кг	Cd(w±Δ), мг/кг	Zn(w±Δ), мг/кг	Ni(w±Δ), мг/кг	Co(w±Δ), мг/кг	Cr(w±Δ), мг/кг	As(w±Δ), мг/кг	Hg(w±Δ), мкг/кг	НП(w±Δ), мг/кг	БП(w±Δ), мкг/кг
Манясейто, 4 м	5,1±1,0	3,8±1,0	0,31±0,16	29±6	12±4	3,9±1,6	11,8±2,4	3,0±1,5	20±9	<5,0	<5,0
Нярма, фон	8,1±1,6	3,5±0,9	0,53±0,26	34±7	14±5	6,7±2,7	16±3	4,7±2,4	23±10	7±3	<5,0
Нярма, импакт	250±50	47±12	0,9±0,4	1800±400	31±11	10±4	40±8	9±4	52±23	29±12	<5,0
Б. Лядгей, фон	6,5±1,3	2,0±0,5	0,46±0,23	40±8	14±5	6,9±2,8	19±4	3,7±1,8	10±5	5,1±2,0	<5,0
Б. Лядгей, импакт	19±4	5,3±1,3	0,54±0,27	190±40	16±6	8±3	22±4	4,5±2,2	13±6	14±6	<5,0
Кара, фон	5,1±1,0	2,1±0,5	0,38±0,19	28±6	14±5	6,1±2,4	13,5±2,7	3,9±2,0	11±5	7±3	<5,0
Кара, импакт	8,3±1,7	1,8±0,5	0,6±0,3	43±9	22±8	9±4	19±4	4,8±2,4	9±4	5,8±2,3	<5,0
Коматы	4,2±0,8	1,2±0,3	0,21±0,10	25±5	11±4	5,2±2,1	12,5±2,5	1,7±0,8	6,0±2,7	6,3±2,5	<5,0
оз. №1	12,0±2,4	5,6±1,4	1,3±0,6	33±7	21±7	6,1±2,4	16±3	14±7	46±21	27±11	<5,0

Примечание: ±Δ – границы интервала абсолютной погрешности при P=0.95.

Таблица 3. Сравнение всех химических показателей водоемов по нарушенности и типу с использованием непараметрического критерия Манна-Уитни

Показатель	Фон - Антропоген		Река - Озеро	
	W	p	W	p
pH	449	0,007	210	0,032
Цветность	305	0,930	580	<0,001
Cl -	139	0,001	565	<0,001
N _{общ}	188	0,019	636	<0,001
P-PO ₄ ³⁻	491	0,000	258	0,214
K	218	0,076	447	0,020
Zn	158	0,001	423	0,037
Pb	185	0,007	427	0,028
Co	466	0,001	202	0,010
XПК	233	0,139	594	<0,001
мкСм/см	471	0,002	102	<0,001
HCO ³⁻	485	0,001	204	0,024
SO ₄ ²⁻	482	0,001	108	<0,001
P _{общ}	330	0,695	508	<0,001
Ca	471	0,002	163	0,002
Mg	368	0,266	378	0,312
Na	354	0,395	202	0,022
Fe	477	0,001	334	0,850
Mn	461	0,004	378	0,312
Cu	262	0,328	447	0,013
Cd	382	0,106	198	0,005
Ni	247	0,199	450	0,011
Sr	471	0,002	156	0,001

Примечание: W – значение критерия Манна-Уитни, p – уровень значимости. Значимые различия (p<0.05) выделены жирным шрифтом.

**Систематический список видов водорослей,
обнаруженных в обследованных водных объектах бассейна реки Кара (за исключением диатомовых)**

№ пп	Таксон	оз. Манасейто	оз. № 1	оз. Коматы	р. Кара, ниже моста	р. Кара, выше моста	р. Б. Лядгей, ниже моста	р. Б. Лядгей, выше моста	р. Нярма, ниже моста	р. Нярма, выше моста	р. Силоваяха	р. Хальмерью	оз. Тройное	оз. № 5	оз. № 3	оз. Круглое	оз. № 4	оз. Хальмерты	География	Ареал	Экология	Температура	Реофильность	Сапробность	Галобность	РН-приуроченность
Условный номер водного объекта																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	Цyanoprokaryota																									
1	<i>Anabaena aequalis</i> Borge			2			2				2								Б	Е	-		-	о-β	-	-
2	<i>Anabaena cylindrospora</i> Tschernov					5													К	ГА	-	-	-	-	-	-
3	<i>Anabaena hieronymii</i> Lemmermann					5													-	-	-	-	-	-	-	-
4	<i>Anabaena inaequalis</i> Bornet & Flahault					5													АБ, К	-	Р	-	-	β-о	-	-
5	<i>Anabaena oscillarioides</i> Bory ex Bornet et Flahault <i>f. oscillarioides</i>			5			2	4		2			2						К	К	Р-В, S	-	-	β	-	-
6	<i>Anabaena subcylindrica</i> Borge										2					2			-	-	-	-	-	-	-	-
7	<i>Anabaena sp.</i>	2	2			2					3								-	-	-	-	-	-	-	-
8	<i>Anabaena sp.</i>	2	2																-	-	-	-	-	-	-	-
9	<i>Aphanizomenon flosaquae</i> (L.) Ralfs ex Bornet et Flahault <i>f. flos-aquae</i>			2															К	К	Р	-	-	β	hl	-

продолжение																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
10	<i>Aphanocapsa grevillei</i> (Berkeley) Rabenhorst			1															К	ГА	P, B, S	te m p	-	o- β	hb	acf
11	<i>Aphanothece stagnina</i> (Sprengel) A. Braun		1																К	К	P-B	-	-	β- a	hl	ind
12	<i>Calothrix parietina</i> Thuret ex Bornet et Flahault					1			1									1	A, K	БП	B, S	-	st- str	o	-	-
13	<i>Chroococcus cohaerens</i> (Brébisson) Nägeli					1													АБМ, К	БП, К	B, S	-	-	-	hb	-
14	<i>Coelosphaerium kuetzingianum</i> Nägeli	1											1						К	К	P	-	-	β- o	i	-
15	<i>Dichothrix orsiniana</i> Bornet et Flahault																	1	-	-	-	-	-	-	-	-
16	<i>Dichothrix ramenskii</i> Elenkin																	1	-	-	-	-	-	-	-	-
17	<i>Dolichospermum lemmermannii</i> (Richter) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek			6							2		6	2	4	6	5	2	Б	К	P	-	-	β	i	-
18	<i>Dolichospermum affine</i> (Lemmermann) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek			3							2					2			К	-	P	-	-	β	-	-
19	<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek														2	2			К	К	P	-	-	l	i	-
20	<i>Dolichospermum flosaquae</i> (Brébisson ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	3									2	2	6		4	4	5	3	К	К	P	-	st	β	i	-
21	<i>Dolichospermum macrosporum</i> (Klebhan) Wacklin et al.															2			К	-	-	-	-	-	-	-
22	<i>Dolichospermum</i> sp. (черн.)			2											2	2			-	-	-	-	-	-	-	-

продолжение																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
23	<i>Fischerella muscicola</i> (Thuret) Gomont														1		1									
24	<i>Gloeocapsa alpina</i> (Nägeli) in Rabenhorst												1						АМ	ЦП ГА	S	-	-	-	-	-
25	<i>Gloeotrichia echinulata</i> Richter	1											1						АБ	БП	P- B, Ep	-	-	o- β	-	-
26	<i>Gloeotrichia natans</i> Rabenhorst ex Bornet et Flahault			1															К	К	B	-	-	β- o	i	ind
27	<i>Gomphosphaeria aponina</i> Kützing	3	1										1						К	-	P-B	-	st- str	o	-	-
28	<i>Gomphosphaeria cordiformis</i> (Wille) Hansgirg												1						К	-	P	-	-	β	i	-
29	<i>Cartusia fontana</i> (Hansgirg) Mai, J.R.Johansen & Pietrasiak										1								-	-	-	-	-	-	-	-
30	<i>Jaaginema subtilissimum</i> (Kützing ex Forti) Anagnostidis & Komárek	1	1									1						1	К	-	-	-	-	a	-	-
31	<i>Leptolyngbya</i> sp.						1				3		1						-	-	-	-	-	-	-	-
32	<i>Limnothrix planctonica</i> (Wołoszyńska) Meffert	1											3	1					К	-	P	-	-	o- β	i	-
33	<i>Merismopedia elegans</i> A.Braun ex Kützing	1																	К	-	P-B	-	-	β- o	-	-
34	<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Nägeli										1								К	К	P-B	-	-	o- a	i	ind
35	<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann										1		1						К	К	P-B	-	-	β- a	hl	

продолжение																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
36	<i>Microcystis flosaquae</i> (Wittrock) Kirchner												5						К	-	Р	-	-	о-а	-	-
37	<i>Microcystis densa</i> (Hassall) Elenkin	1																	К	-	Р	-	-	о-β	-	-
38	<i>Microcystis pulverea</i> (Wood) Forti in De Toni												1						К	-	Р-В, S	-	-	о-β	-	-
39	<i>Microcystis sp.</i>	1																	-	-	-	-	-	-	-	-
40	<i>Cyanosarcina chroococcoides</i> (Geitler) Kovácsik (син. <i>Myxosarcina chroococcoides</i> Geitler)	1																	Б	-	-	-	-	-		
41	<i>Nodularia harveyana</i> (Thwaites) Thuret ex Bornet et Flahault										1								К	К	В, S	-	-	о	-	-
42	<i>Nostoc caeruleum</i> Lyngbye ex Bornet et Flahault	1		5	6	4	2	6			5	1						4	АБ, К	ЦП, К	В	-	-	β	і	-
43	<i>Nostoc ellipsosporum</i> Rabenhorst ex Bornet et Flahault		3																К	К	-	-	-	-	-	-
44	<i>Nostoc linckia</i> (Roth) Bornet ex Bornet et Flahault										3								К	-	Р-В, S	-	-	о-а	-	-
45	<i>Nostoc paludosum</i> Kützing ex Bornet et Flahault		6	6							3		1			1		4	К	К	Р-В, S	-	st	-	-	-
46	<i>Nostoc parmelioides</i> Kützing ex Bornet et Flahault										5								-	-	-	-	-	-	-	-
47	<i>Nostoc pruniforme</i> C.Agardh ex Bornet et Flahault		3																К	К	Р-В, S	-	st	о-β	-	-
48	<i>Nostoc sp.</i>	1									1								-	-	-	-	-	-		
49	<i>Potamolinea aerugineocaerulea</i> (Gomont) M.D.Martins & L.H.Z.Branco (син. <i>Phormidium aerugineo-coeruleum</i> (Gomont) Anagnostidis et Komárek)										1								К	-	Р-В, S	-	st-str	-	-	-

продолжение																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
50	<i>Microcoleus autumnalis</i> (Gomont) Strunecky, Komárek & J.R.Johansen (син. <i>Phormidium autumnale</i> Gomont)		1		4														К	К	B, S	-	st-str	β	-	-
51	<i>Phormidium favosum</i> Gomont ex Gomont								1	1									К	ГА, ПТ	В	-	str	β	-	-
52	<i>Microcoleus fonticola</i> (Kirchner ex Gomont) Strunecky, Komárek & J.R.Johansen (син. <i>Phormidium fonticola</i> Kützing)							1											-	-	-	-	-	x-o	-	-
53	<i>Phormidium schroeteri</i> (Hansgirg) Anagnostidis					1													АБ	-	-	-	-	-	-	-
54	<i>Phormidium sp.</i>	1																	-	-	-	-	-	-	-	-
55	<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterb	1									2							1	К	ГА, ПТ	P-B	-	st	β-p	-	-
56	<i>Pseudanabaena limnetica</i> (Lemmermann) Komárek	1																	К	К	P-B	-	-	β-o	-	-
57	<i>Rivularia beccariana</i> (De-Notaris) Bornet et Flahault										2								К	-	-	-	-	-	-	-
58	<i>Rivularia borealis</i> P.G. Richter																	4	К	ГА	В	-	-	β	-	-
59	<i>Rivularia haematites</i> C.Agardh ex Bornet et Flahault										2								К	К	В	-	-	o-a	-	-
60	<i>Snowella lacustris</i> (Chodat) Komárek et Hindák										4		5			3	1		К	-	-	-	-	β	-	-
61	<i>Snowella rosea</i> (J.W.Snow) Elenkin															1			-	-	P	-	-	-	i	-
62	<i>Stigonema mamilosum</i> C.Agardh ex Bornet & Flahault										1								-	-	Ep	-	-	-	-	-
63	<i>Tolypothrix lanata</i> Wartmann ex Bornet et Flahault																	1	АМ	ЕА	-	-	-	o	-	-
64	<i>Tolypothrix saviczii</i> Kossinskaja																	1	АБ	Е	-	-	-	-	-	-

продолжение																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
65	<i>Tolypothrix tenuis</i> Kützing ex Bornet et Flahault		3	4							1					1		1	АБ	БП, К	В, S	-	st	x-β	i	-
66	<i>Woronichinia compacta</i> (Lemmermann) Komárek et Hindák										2		1						АМ	ЕА	Р	-	-	β	i	-
Rhodophyta																										
67	<i>Audouinella chalybaea</i> (Roth) Bory					1			5		1								К	-	В, Ep	-	str	x-o	-	alf
68	<i>Chantransia</i> sp.								2		3								К	-	В, Ep	-	st-str	x-o	-	alf
69	<i>Batrachospermum gelatinosum</i> (Linnaeus) De Candolle																	1	-	-	-	-	-	-	-	-
70	<i>Lemanea borealis</i> Atkinson										3							5	АБ	-	-	-	-	-	-	-
Dinophyta																										
71	<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin																	5	К	-	Р	-	st-str	o	-	-
72	<i>Peridinium</i> sp.															1			-	-	-	-	-	-	-	-
Euglenozoa																										
73	<i>Euglena</i> sp.			1															-	-	-	-	-	-	-	-
74	<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg		5	1															К	-	В	et er m	st-str	β	i	4, 4-8, 4
75	<i>Trachelomonas</i> sp.			1															-	-	-	-	-	-		
Ochrophyta																										
76	<i>Dinobryon cylindricum</i> O.E.Imhof	4																	-	-	Р	-	-	o-β	-	-
77	<i>Dinobryon cylindricum</i> var. <i>palustre</i> Lemmermann	3																	К	-	Р	-	-	-	-	-

продолжение																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
78	<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	6																	K	-	P	-	st-str	o-a	-	-	
79	<i>Dinobryon spirale</i> Iwanoff			1															K	-	P-B	-	-	o	-	-	
80	<i>Dinobryon sp.</i>	1																	-	-	-	-	-	-	-	-	
81	<i>Hydrurus foetidus</i> (Villars) Trevisan	1						1			1								K	-	-	-	-	-	-	-	
82	<i>Mallomonas sp.</i>	1																	-	-	-	-	-	-	-	-	
83	<i>Tribonema minus</i> (Wille) Hazen	6									1	1	1						K	-	-	-	-	-	-	-	
84	<i>Tribonema viride</i> Pascher										3								K	-	P-B	-	-	o	i	-	
85	<i>Tribonema vulgare</i> Pascher	3										1							АБ	-	-	-	-	-	-	-	
86	<i>Tribonema sp.</i>												5						-	-	-	-	-	-	-	-	
	Chlorophyta																										
87	<i>Ankistrodesmus cf. arcuatus</i> Korshikov												1						K	-	P	-		β	-	-	
88	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs												1				1		K	-	-	-	st-str	β	-	-	
89	<i>Ankyra cf. ancora</i> (G.M.Smith) Fott												4						-	ГА	P	-	-	β	-	-	
90	<i>Bulbochaete nana</i> Wittrock ex Hirn												4				1		K	-	P-B	-	-	o	-	-	
91	<i>Bulbochaete sp.</i>		2										2			6		3	-	-	B	-	-	-	-	-	
92	<i>Chaetophoropsis elegans</i> (Roth) B.Wen Liu, Qian Xiong, X.Dong Liu, Z.Yu Hu & G.Xiang Liu (син. <i>Chaetophora elegans</i> (Roth) C.Agardh			3		2				6	2	2					2	2	2	K	-	B	-	-	β-o	-	-
93	<i>Chaetophora tuberculosa</i> (Roth) C.Agardh											6							-	-	-	-	-	-	-	-	
94	<i>Chlorococcum sp.</i>												3						-	-	-	-	-	-	-	-	
95	<i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris		1									1		1				1	K	-	P	-	st-str	β	-	-	

продолжение																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
96	<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli		1	3							3		1						К	-	P-B	-	st-str	β	i	ind
97	<i>Coenochloris pyrenoidosa</i> Korshikov		1																К	-	P	-	-	-	hl	-
98	<i>Coenococcus planctonicus</i> Korshikov	1				1													-	ГА	P	-	-	-	-	-
99	<i>Radiococcus polycoccus</i> (Korshikov) Kostikov, Darienko, Lukesová & L.Hoffmann (син. <i>Coenococcus polycoccus</i> (Korshikov) Hindák					1										1			-	E	-	-	-	-	-	-
100	<i>Coenocystis subcylindrica</i> Korshikov												1						Б	-	P	-	-	-	-	-
101	<i>Crucigenia fenestrata</i> (Schmidle) Schmidle										1								-	ГА, К	P-B	-	st-str	β	-	-
102	<i>Mucidosphaerium pulchellum</i> (H.C.Wood) C.Bock, Proschold & Krienitz (син. <i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood)	3	1								1		1						К	-	P-B	-	st-str	β	i	ind
103	<i>Hindakia tetrachotoma</i> (Printz) C.Bock, Pröschold & Krienitz (син. <i>Dictyosphaerium tetrachotomum</i> Printz)												1						К	-	-	-	-	-	-	-
104	<i>Eudorina</i> sp.															1			-	-	-	-	-	-	-	-
105	<i>Monoraphidium litorale</i> Hindák				1	1	4				3		1				1		К	-	P-B	-	st-str	β	-	-
106	<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová in Fott	1	1	1															К	-	P-B	-	st-str	β	-	-
107	<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová					1	1				3							1	К	-	P-B	-	st-str	β	-	-
108	<i>Monoraphidium komarkovae</i> Nygaard					1													-	ГА	P-B	-	st	-	-	-
109	<i>Monoraphidium minutum</i> (Nägeli) Komárková-Legnerová					1													К	-	P-B	-	st-str	β-a	-	-

продолжение																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
110	<i>Monoraphidium tortile</i> (West & G.S.West) Komárková-Legnerová	3									1					3			K	-	-	-	-	-	-	-	
111	<i>Oedogonium sp.</i>	1	1									1	1			1	1		-	-	B	-	-	-	-	-	
112	<i>Pandorina morum</i> (O.F.Müller) Bory de Saint-Vincent in Lamouroux			1															K	-	P	-	st	ß	i	-	
113	<i>Pediastrum biradiatum</i> (Meyen) E.Hegewald		1								1								-	-	P	-	-	-	-	-	
114	<i>Pediastrum boryanum</i> (Turpin) E.Hegewald	3	5		1	1	1				3		3			3		1	K	-	P-B	-	st-str	o-a	i	ind	
115	<i>Pediastrum boryanum</i> var. <i>longicorne</i> (Reinsch) Tsarenko		3								1		3						K	-	P-B	-	st-str	-	-	-	
116	<i>Pediastrum duplex</i> Meyen		1	1						1	1		3			3	1		K	-	P	-	st-str	o-a	i	ind	
117	<i>Monactinus simplex</i> (Meyen) Corda (син. <i>Pediastrum simplex</i> Meyen)																		K	-	P-B	-	st-str	o-ß	-	-	
118	<i>Pseudocharacium acuminatum</i> Korshikov												4						K	-	Ep	-	-	-	i	-	
119	<i>Pseudosphaerocystis lacustris</i> (Lemmermann) Nováková												1			1			K	-	-	-	-	-	-	-	
120	<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat												1						K	ГА	P-B	-	st-str	o-ß	-	-	
121	<i>Acutodesmus acutiformis</i> (Schröder) Tsarenko & D.M.John (син. <i>Scenedesmus acutiformis</i> Schröder)	1	3		1	1	5			1						1			K	-	P-B	-	st-str	o-a	-	-	
122	<i>Tetradesmus obliquus</i> (Turpin) M.J.Wynne (син. <i>Scenedesmus acutus</i> Meyen)		3										4						K	-	P-B	-	st-str	ß	i	-	

продолжение																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
123	<i>Desmodesmus armatus</i> (Chodat) Е.Н.Хегевальд (син. <i>Scenedesmus armatus</i> (R.Chodat) R.Chodat)		1																К	-	P-B	-	st-str	о-а	-	-
124	<i>Desmodesmus communis</i> (Е.Хегевальд) Е.Хегевальд (син. <i>Scenedesmus communis</i> Е.Хегевальд)		1																К	-	P-B	-	st-str	β	-	-
125	<i>Desmodesmus denticulatus</i> (Lagerheim) S.S.An, T.Friedl & Е.Хегевальд (син. <i>Scenedesmus denticulatus</i> Lagerheim)										1								К	-	P-B	-	st-str	β	і	-
126	<i>Desmodesmus dispar</i> (Brébisson) Е.Хегевальд (син. <i>Scenedesmus dispar</i> Brébisson)		1															1	-	ГА	P-B	-	st-str	о-β	-	-
127	<i>Scenedesmus ellipticus</i> Corda	1	1						1		1		3				1		К	-	P-B, S	-	st-str	о-β	-	-
128	<i>Desmodesmus granulatus</i> (West & G.S.West) Tsarenko (син. <i>Scenedesmus granulatus</i> West & G.S.West)																1		К	К	P-B, S	-	-	а-β	-	-
129	<i>Scenedesmus helveticus</i> Chodat		1																-	-	-	-	-	о-а	-	-
130	<i>Desmodesmus lefevrei</i> (Deflandre) S.S.An, T.Friedl & Е.Н.Хегевальд (син. <i>Scenedesmus lefevrei</i> Deflandre)					1													К	-	P-B	-	-	β	-	-
131	<i>Desmodesmus microspina</i> (Chodat) Tsarenko (син. <i>Scenedesmus microspina</i> Chodat)		1																К	-	-	-	-	-	-	-
132	<i>Tetradesmus obliquus</i> (Turpin) М.Ж.Уинне (син. <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turpin) Kützing)															1			К	-	P-B, S	-	st	β-p	-	-
133	<i>Scenedesmus papillosum</i> Pankow		1																-	-	-	-	-	-	-	-

продолжение																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
134	<i>Scenedesmus communis</i> E.Hegewald (син. <i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson)		4			1	5			1	4		1						K	-	P	-	-	ß	i	in d	
135	<i>Scenedesmus sp.</i>								1										-	-	-	-	-	-	-	-	
136	<i>Messastrum gracile</i> (Reinsch) T.S.Garcia (син. <i>Selenastrum gracile</i> Reinsch)					1	1				3		3			1	1		K	-	P-B	-	st- str	o- a	-	-	
137	<i>Sphaerocystis planctonica</i> (Korshikov) Bourrelly in Fott	1										1							K	-	P	-	-	-	-	-	
138	<i>Stigeoclonium amoenum</i> Kützing										1								K	-	-	-	-	-	-	-	
139	<i>Stigeoclonium tenue</i> (C.Agardh) Kützing			1															K	-	B	-	st- str	ß- p	-	-	
140	<i>Tetraspora cylindrica</i> (Wahlenberg) C.Agardh		1		1	1	1	5	1	1									-	-	P	-	-	o	-	-	
141	<i>Pseudosphaerocystis lacustris</i> (Lemmermann) Nováková (син. <i>Tetraspora lacustris</i> Lemmermann)												1			1			K	-	P	-	-	-	-	-	
142	<i>Ulothrix tenerrima</i> (Kützing) Kützing							5											K	-	B	-	-	o- a	i	-	
143	<i>Ulothrix zonata</i> (F.Weber & Mohr) Kützing	5			5		1			5		4						1	K	-	P-B	-	st- str	o- a	i	-	
	Streptophyta																										
144	<i>Closterium acerosum</i> Ehrenberg ex Ralfs					1					1					1			K	-	P-B	-	st- str	a- ß	i	> 7, in d	
145	<i>Closterium ehrenbergii</i> Meneghini ex Ralfs				1						3								K	-	P-B	-	st- str	o- a	hb	in d	
146	<i>Closterium leibleinii</i> Kützing ex Ralfs			3	1					4	3		3				1	1	K	-	P-B	-	st- str	a- ß	-	-	

продолжение																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
147	<i>Closterium moniliferum</i> Ehrenberg ex Ralfs										1								K	-	P-B	-	st-str	β	i	-
148	<i>Closterium parvulum</i> Nägeli												3			1	1		K	-	P-B	-	-	β	-	-
149	<i>Closterium peracerosum [elegans] f. incolorato-glabra</i> Woronichin										1								-	ΓA, E	P-B	-	st-str	β	-	-
150	<i>Closterium regulare</i> Brébisson		1																-	-	P-B	-	-	-	-	-
151	<i>Closterium tumidulum</i> F.Gay	1		1		1	1			1									K	-	P-B	-	-	-	-	ac f
152	<i>Closterium tumidum</i> L.N.Johnson										4								-	-	P-B	-	-	-	-	-
153	<i>Cosmarium botrytis</i> Meneghini ex Ralfs	3	3	4							3					4	5		-	-	P	-	st-str	β	i	-
154	<i>Cosmarium clepsydra</i> Nordstedt	1														1	1		K	-	-	-	-	-	-	-
155	<i>Cosmarium baileyi</i> Wolle (син. <i>Cosmarium depressum</i> (Nägeli) P.Lundell)										1		1			1	1		K	-	P	-	st	-	-	-
156	<i>Cosmarium formosulum</i> Hoff	1	3	1	4	1	1				3	1	4			1	5	1	K	-	-	-	-	o-a	-	-
157	<i>Cosmarium furcatospermum</i> West & G.S.West	3																	K	-	-	-	-	-	-	-
158	<i>Cosmarium laeve</i> Rabenhorst	1									1					1			K	-	B	-	st-str	o-a	-	-
159	<i>Cosmarium lundellii</i> Delponte															1			K	-	-	-	-	-	-	-
160	<i>Cosmarium margaritifерum</i> Meneghini ex Ralfs																1		K	K	B	-	-	-	-	-
161	<i>Cosmarium meneghinii</i> Brébisson ex Ralfs					4				1									K	-	-	-	-	-	-	-
162	<i>Cosmarium nitidulum</i> De Notaris															1			K	-	-	-	-	-	-	-
163	<i>Cosmarium obtusatum</i> (Schmidle) Schmidle	1																	K	-	P	-	-	o	-	-
164	<i>Cosmarium pseudoholmii</i> O. Borge	1																	K	-	P	-	-	-	-	-

продолжение																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
165	<i>Cosmarium pseudonitidulum</i> Nordstedt												1						K	-	-	-	-	-	-	-
166	<i>Cosmarium quadratum</i> Ralfs			1															K	-	B	-	-	o-x	hb	-
167	<i>Cosmarium reniforme</i> (Ralfs) W.Archer	5	1								3		3				1	1	K	-	P-B	-	st-str	o	hb	-
168	<i>Cosmarium sexnotatum</i> Gutwinski																1		-	-	-	-	-	-	-	-
169	<i>Cosmarium subcostatum</i> Nordstedt	5											1						K	-	P-B	-	-	-	-	-
170	<i>Cosmarium subprotumidum</i> Nordstedt	5																	K	-	P-B	-	st-str	-	-	-
171	<i>Cosmarium subtumidum</i> Nordstedt			1															K	-	-	-	-	-	-	-
172	<i>Cosmarium tenue</i> W.Archer	1										1							K	-	-	-	-	-	-	-
173	<i>Cosmarium tinctum</i> Ralfs	1																	K	-	-	-	-	-	-	-
174	<i>Cosmarium tumidum</i> P.M.Lundell																	3	K	-	-	-	-	-	-	-
175	<i>Cosmarium turpinii</i> Brébisson	3	1								1		4			1	1		K	-	-	-	-	o-x	i	ind
176	<i>Cosmarium undulatum</i> Corda ex Ralfs	1											1						K	-	P-B	-	-	-	-	-
177	<i>Staurostrum botrophilum</i> Wolle (снн. <i>Cosmoastrum botrophilum</i> (Wolle) Palamar-Mordvintseva)	1																	Б	-	-	-	-	-	-	-
178	<i>Staurostrum muticum</i> Brébisson ex Ralfs (снн. <i>Cosmoastrum muticum</i> (Brébisson) Palamar-Mordvintseva ex Petlovany)	5														1			K	-	B	-	-	-	-	-
179	<i>Staurostrum punctulatum</i> Brébisson (снн. <i>Cosmoastrum punctulatum</i> (Brébisson) Palamar-Mordvintseva)	1																	K	-	P-B	-	st-str	-	-	-
180	<i>Cosmarium</i> sp.	1																	-	-	-	-	-	-	-	-
181	<i>Euastrum bidentatum</i> Nägeli															3			K	-	P-B	-	-	o	-	-
182	<i>Euastrum elegans</i> Ralfs	4									1		1						K	-	P-B	-	-	x-β	-	-

продолжение																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
183	<i>Euastrum verrucosum</i> Ehrenberg ex Ralfs												1						K	-	P	-	-	-	-	-
184	<i>Mougeotia</i> sp.	3			1	4					1						1		-	-	B	-	-	-	-	-
185	<i>Spirogyra gracilis</i> Kützing					1						5							K	-	B	-	-	-	-	-
186	<i>Spirogyra decimina</i> var. <i>juergensii</i> (Kützing) Petlovany (син. <i>Spirogyra juergensii</i> Kützing)				1							1							K	-	B	-	-	-	-	-
187	<i>Spirogyra weberi</i> Kützing					5													K	-	B	-	-	-	-	-
188	<i>Spirogyra</i> sp. 1	3	3	3	1	1					3		1				1	1	-	-	B	-	-	-	-	-
189	<i>Spirogyra</i> sp. 2											5							-	-	B	-	-	-	-	-
190	<i>Spondylosium planum</i> (Wolle) West & G.S.West															3			AM	-	P	-	-	o-a	-	-
191	<i>Staurastrum anatinum</i> Cooke & Wills												1			1			AM	-	P	-	-	-	-	-
192	<i>Staurastrum avicula</i> Brébisson in Ralfs	1																	K	-	-	-	-	-	-	-
193	<i>Staurastrum boreale</i> West & G.S.West	1											1						AB	-	-	-	-	-	-	-
194	<i>Staurastrum controversum</i> Brébisson in Ralfs	1																	K	-	-	-	-	o	-	-
195	<i>Staurastrum gracile</i> Ralfs ex Ralfs	4									1		3				1		K	-	P	-	st	o-β	-	-
196	<i>Staurastrum longipes</i> (Nordstedt) Teiling	1																	K	-	P	-	st	o-β	-	-
197	<i>Staurastrum margaritaceum</i> Meneghini ex Ralfs	1	1	1															K	-	-	-	-	-	-	-
198	<i>Staurastrum pelagicum</i> West & G.S.West										1		1						AM, K	-	-	-	-	-	-	-
199	<i>Staurastrum petsamoëense</i> Yarnefelt	1																	-	-	-	-	-	-	-	-

продолжение																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
200	<i>Staurostrum punctulatum</i> Brébisson in Ralfs		1	1							1	4					1		-	-	-	-	-	о- β	-	-
201	<i>Staurodesmus crassus</i> (West & G.S.West) M.-B.Florin			1															АБ	-	-	-	-	-	-	-
202	<i>Staurostrum pachyrhynchum</i> Nordstedt				1	1	1			1	1		1			1			К	-	-	-	-	-	-	-
203	<i>Staurodesmus spetsbergensis</i> (Nordstedt) Teiling										1		3			3	1		АМ	-	-	-	-	-	hb	-
204	<i>Tolypella canadensis</i> T.Sawa																	1	АМ	-	-	-	-	-	-	-
205	<i>Xanthidium antilopaeum</i> (Brébisson) Kützing	1		1									1			1			К	-	Р	-	-	о- х	i	-
206	<i>Zygnema sp.</i>				1	1						1							-	-	В	-	-	х- β	-	-

Условные обозначения:

Географическая приуроченность (сюда же включена экологические группы арктобореальномонтанных и арктомонтанных видов):

К – космополит; А – арктический; АБ - аркто-бореальный; АБМ – арктобореальномонтанный; АМ – арктомонтанный; Б – бореальный.

Ареал:

К – космополитный; ЦП – циркумполярный; БП – биполярный; Е – европейский; ЕА – евразийский; ПТ – палеотропический; ГА - голарктический.

Иллюстративные материалы

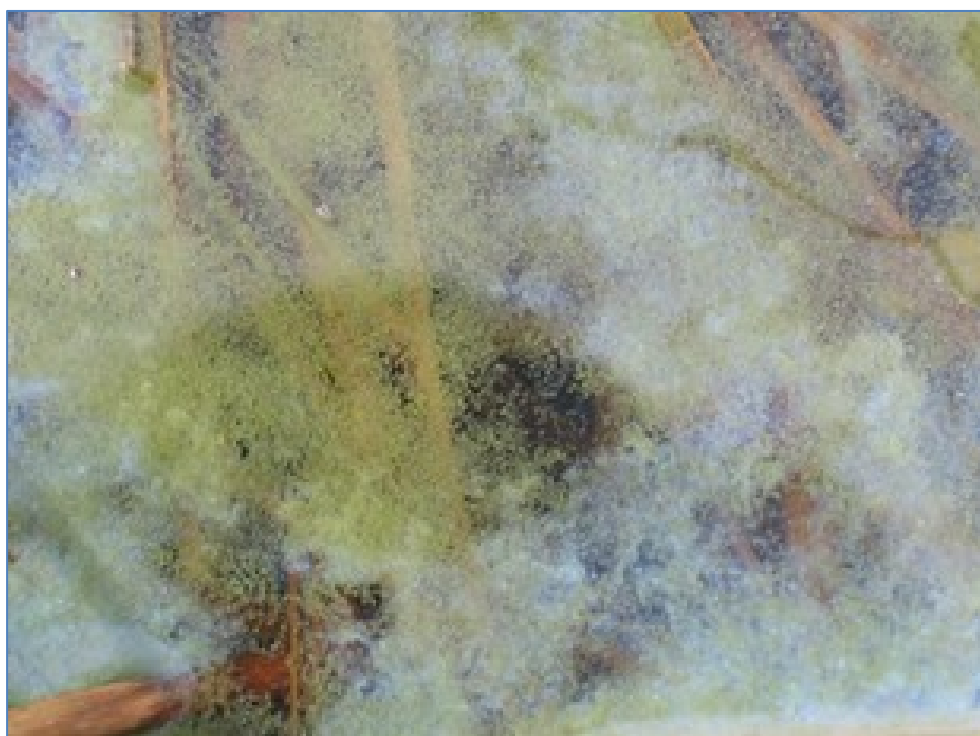
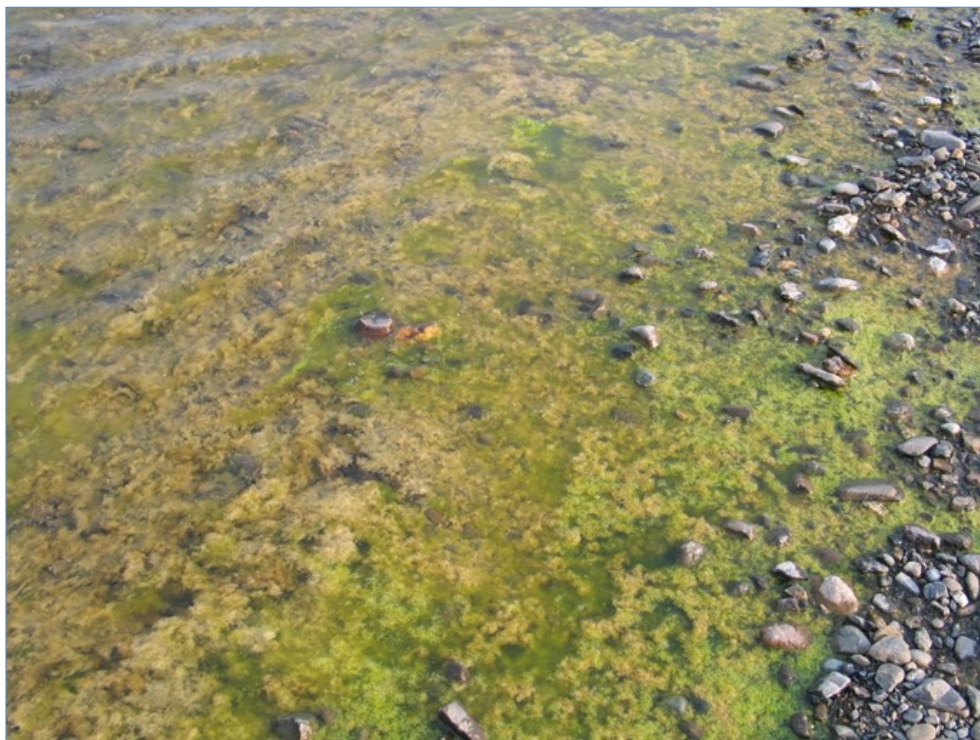


Рисунок 1. «Цветение» водорослей в оз. Тройное (фото Е.Н. Патовой).

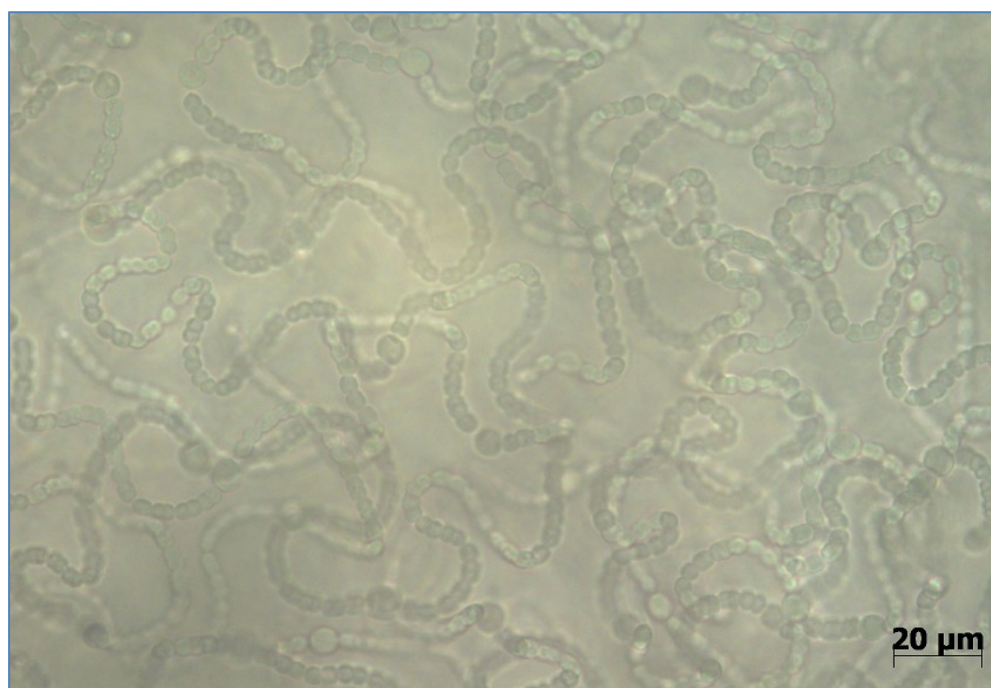


Рисунок 2. Цианопрокариота *Nostoc caeruleum* в обрастаниях камней (фото Е.Н. Патовой).

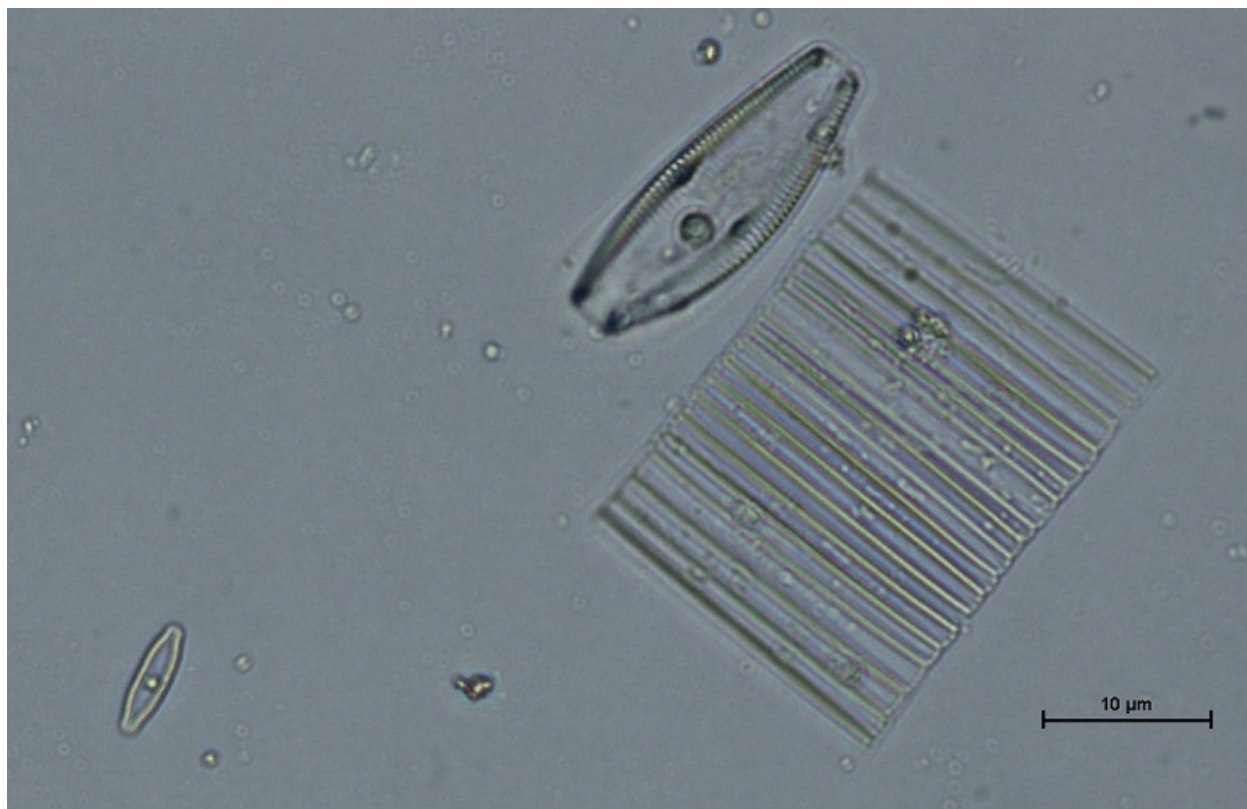


Рисунок 3. Разнообразие фитопланктона, представленное водорослями из отдела Bacillariophyta (р. Б. Лядгей, выше моста, смыл с камней, проба 37).

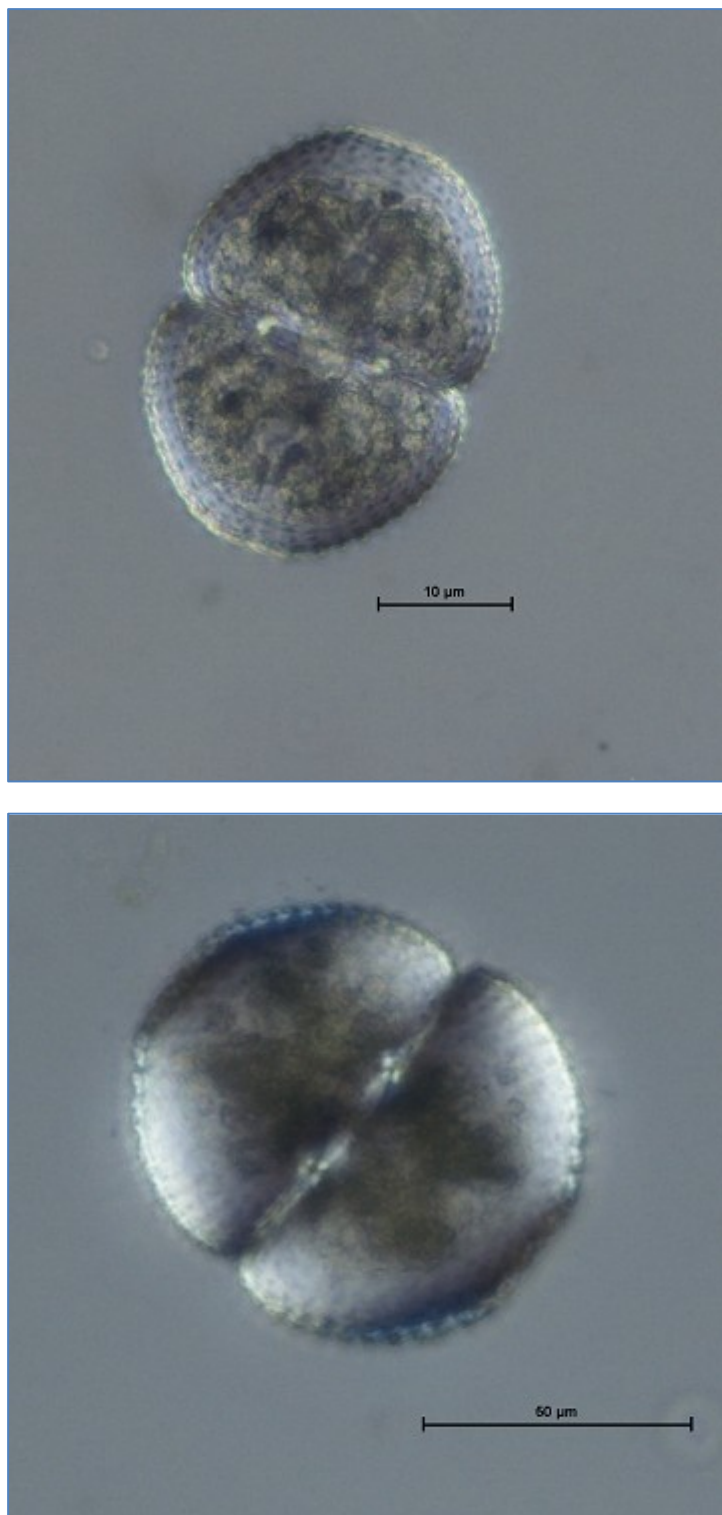


Рисунок 4. Десмидиевая водоросль *Cosmarium reniforme* – показатель чистоты вод, является доминантом по численности в горном оз. Б. Манясейто.

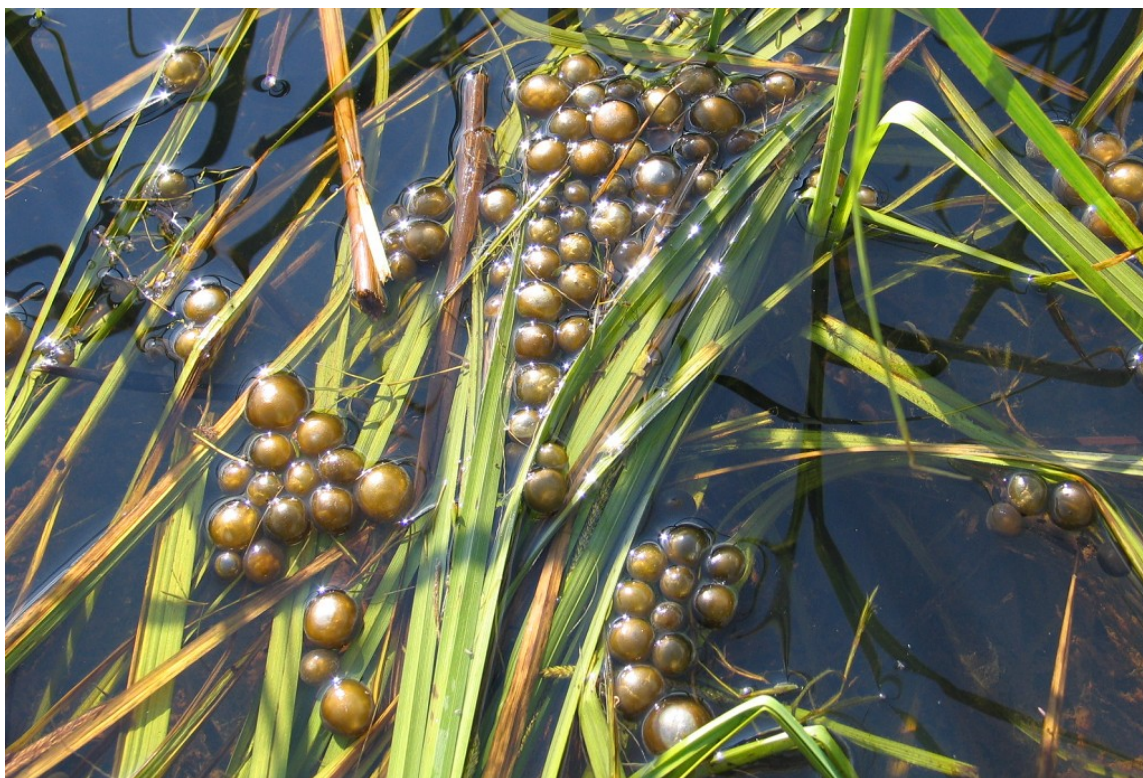


Рисунок 5. *Nostoc pruniforme* – редкий вид, нами отмечен в термокарстовом озере № 1, находящемся рядом с компрессорной станцией газопровода (фото Е.Н. Патовой)

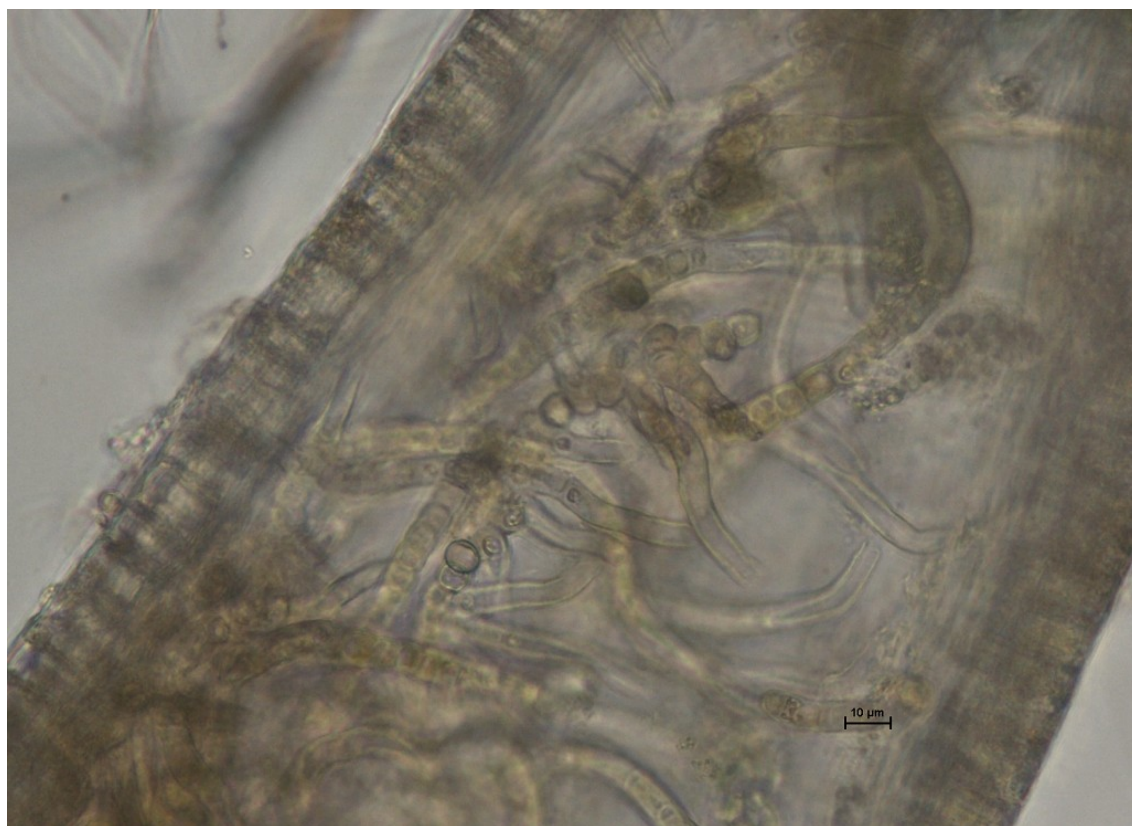


Рисунок 6. *Fischerella muscicola* (озеро № 4, бассейн р. Силова-Яха, проба 23, смыв с осоки).



Рисунок 7. *Stigonema tamilosum* – редкий вид (фото Е.Н. Патовой).



Рисунок 8. Золотистая водоросль *Hydrurus foetidus* (фото Е.Н. Патовой) – отмечен в массе в водотоках с чистой водой.

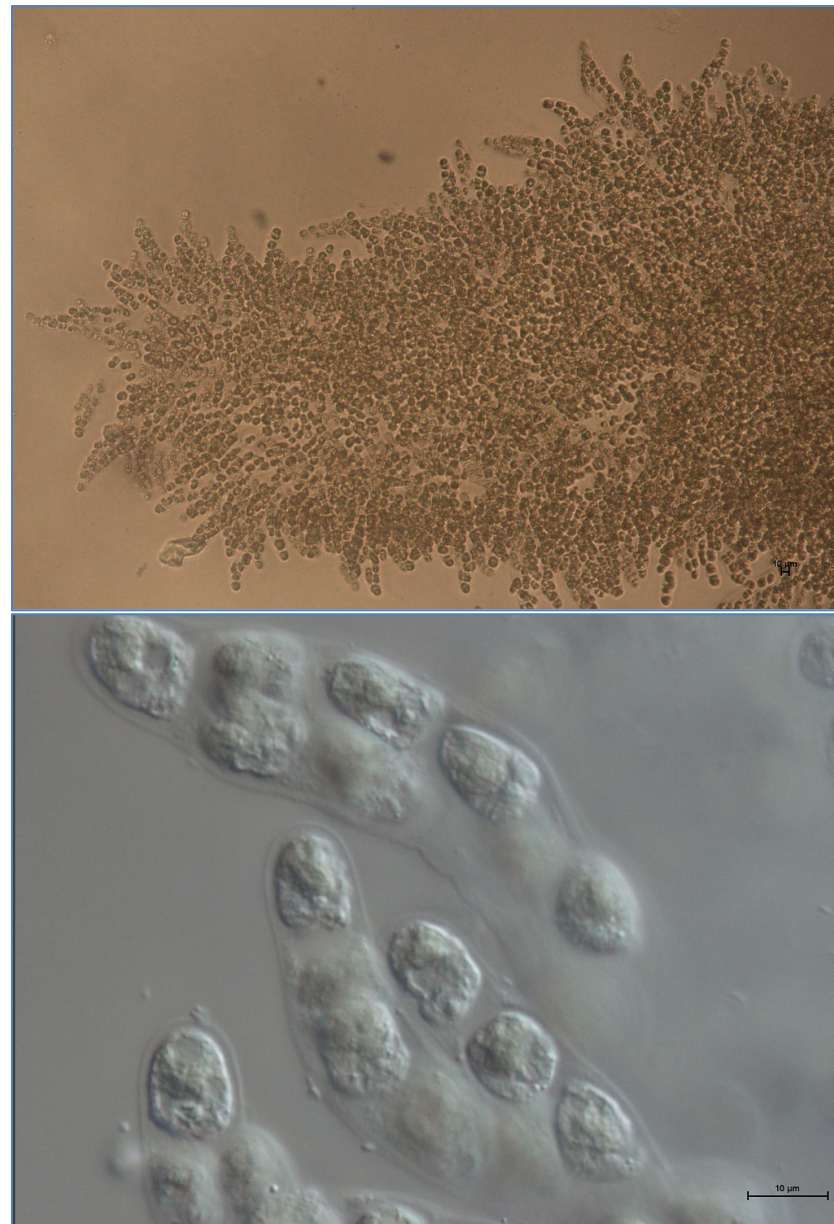




Рисунок 9. Красная водоросль *Lemanea borealis* в водоёме (фото Е.Н. Патовой)

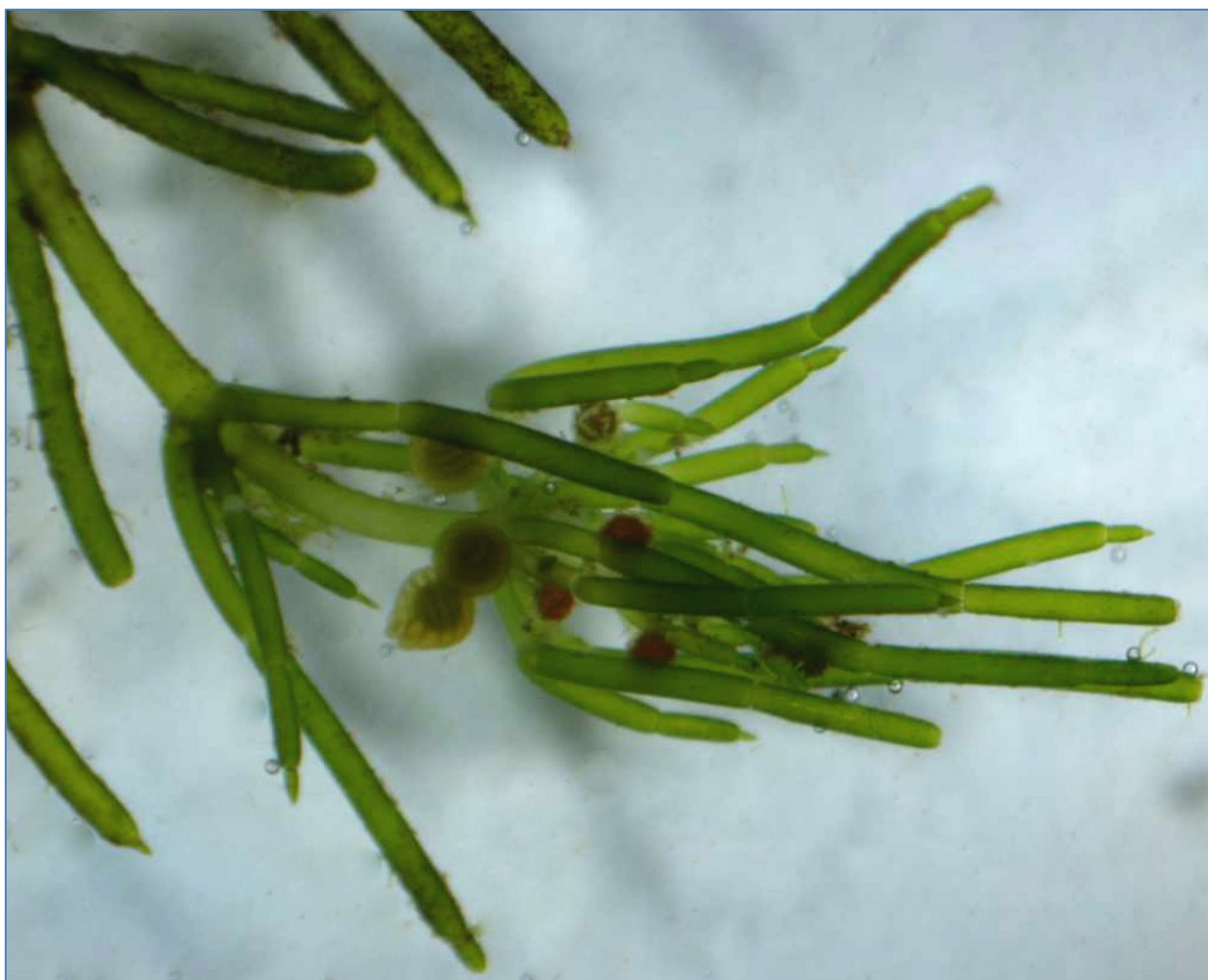


Рисунок 10. Редкая харовая водоросль *Tolypella canadensis* (фото Anders Langangen)

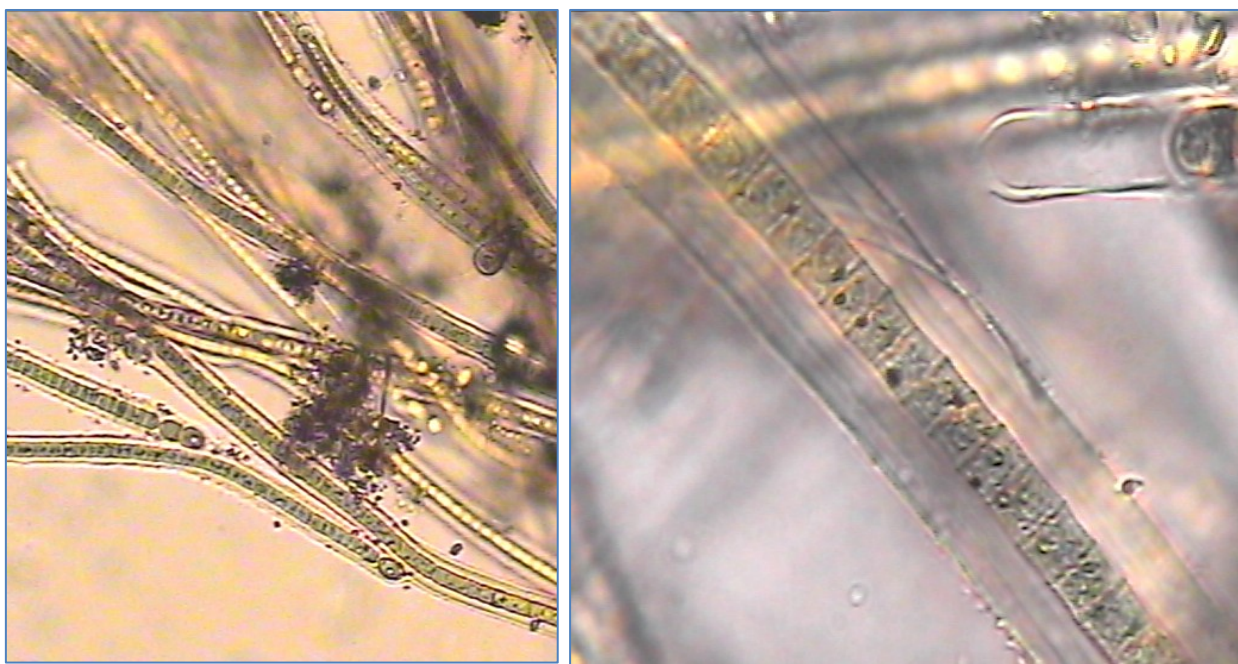


Рисунок 11. Редкий вид – *Tolypothrix saviczii* (Суанопрокарыота) в оз. Хальмерты (фото Е.Н. Патовой)

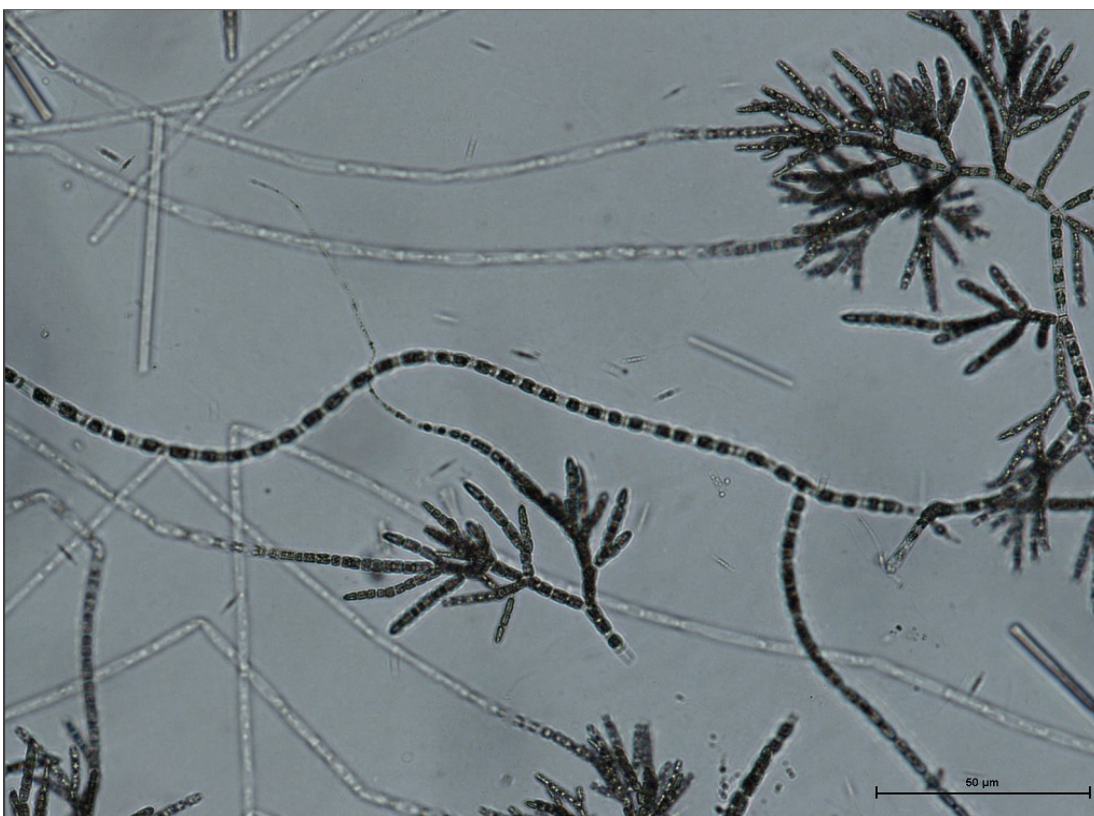


Рисунок 12. *Chaetophora tuberculosa* (Roth) C. Agardh (верхнее фото (Е.Н. Патовой) – проба № 5, р. Хальмерью; нижнее – проба № 50, руч. Безымянный, Полярный Урал).

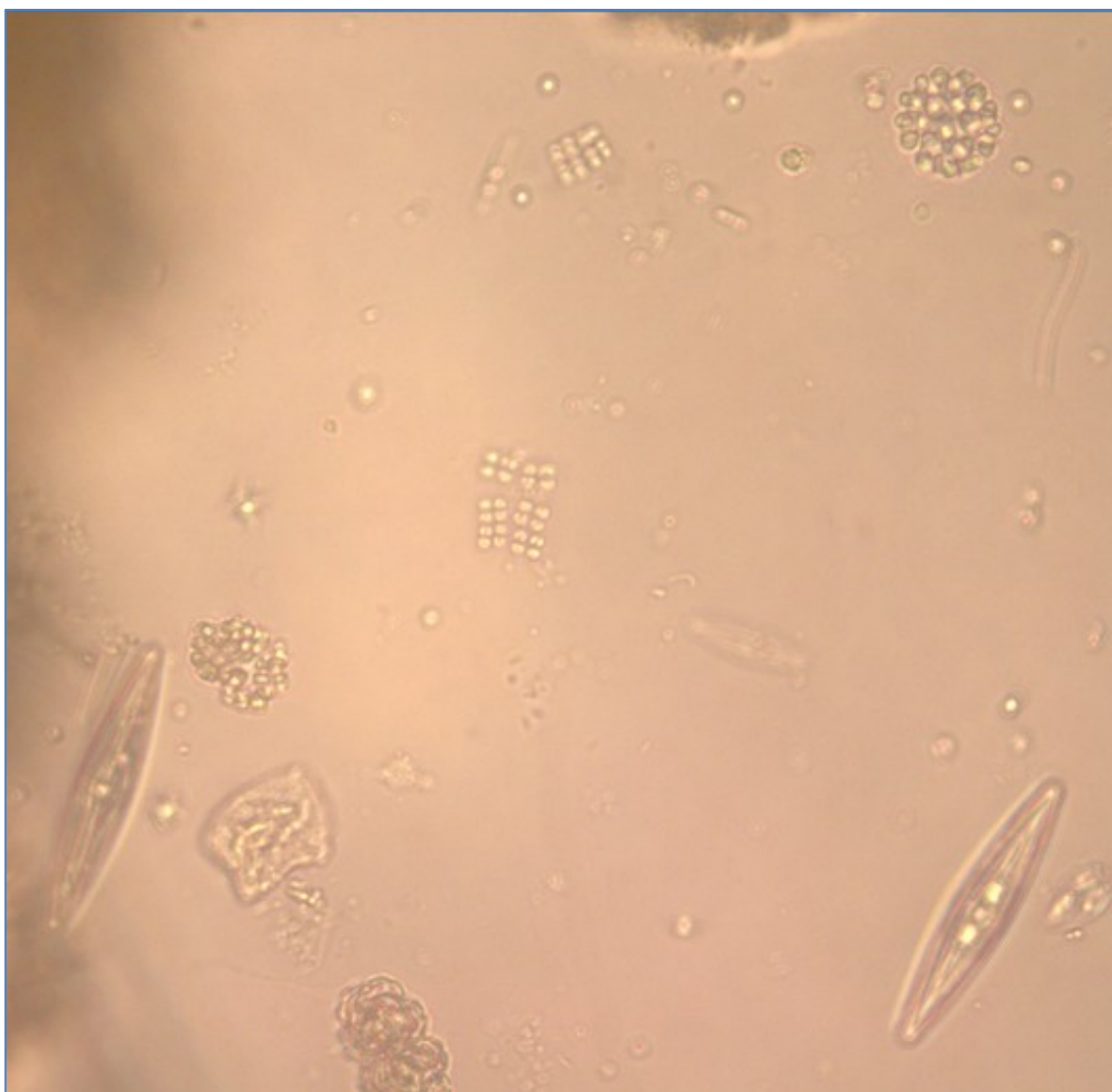


Рисунок 13. Развитие мелкоклеточных видов отделов Cyanoprokaryota (*Snowella lacustris*, *Microcystis flos-aquae*, *Gloeocapsa alpina*), Streptophyta (*Cosmarium* sp.), Bacillariophyta (оз. Тройное, проба № 39).

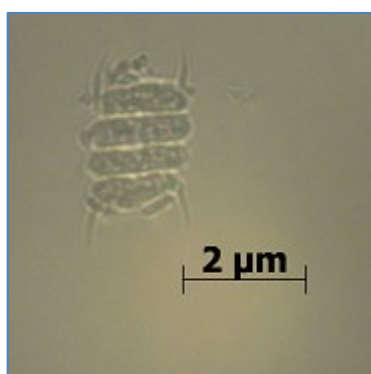


Рисунок 14. *Scenedesmus quadricauda* (фото Е.Н. Патовой) – вид с высокой встречаемостью, наблюдается образование его мелких форм в условиях токсического воздействия объектов магистрального газопровода.

Приложение 7

**Результаты статистического анализа связи гидрохимических показателей и
таксономического разнообразия водорослей**

Таблица 1. Значимость различий гидрохимических показателей и таксономического состава водорослей исследованных водоемов в зависимости от типа водоемов, принадлежности к бассейну рек и наличия антропогенного воздействия на основе непараметрического рангового критерия Манна-Уитни

Показатель	Анализируемые группы водоемов					
	по типу водоема (река, озеро)		по принадлежности к бассейну (р. Кара, р. Силовояха)		по наличию антропогенного воздействия (есть, нет)	
	w	p	w	p	w	p
pH	20,5	0,244	56,0	0,010	42,5	0,189
мкСм _{см}	8,5	0,016	40,0	0,396	45,0	0,115
Цветность	56,5	0,011	31,5	1,000	27,5	0,827
ХПК	46,5	0,006	11,0	0,096	8,0	0,103
HCO ³⁻	19,0	0,195	31,0	1,000	46,0	0,093
Cl	56,5	0,011	3,0	0,003	13,5	0,081
SO ₄ ²⁻	9,0	0,018	49,0	0,072	46,0	0,092
N _{общ}	63,0	0,001	10,0	0,026	16,0	0,142
P _{общ}	50,5	0,055	18,0	0,162	29,5	1,000
PO ₄ ³⁻	23,5	0,399	63,0	0,001	46,5	0,082
Ca	15,0	0,082	34,5	0,791	45,0	0,115
Mg	38,0	0,574	13,0	0,055	33,0	0,792
Na	20,5	0,248	21,5	0,314	33,5	0,745
K	45,5	0,171	0,0	0,001	19,5	0,277
Fe	30,5	0,916	59,5	0,003	44,5	0,127
Mn	35,0	0,798	53,0	0,023	43,0	0,181
Zn	38,0	0,215	0,0	0,000	14,0	0,097
Cu	45,5	0,143	3,5	0,002	24,5	0,560
Cd	19,0	0,131	31,5	1,000	37,5	0,383
Pb	23,0	0,287	0,0	0,002	14,0	0,462
Ni	46,0	0,130	3,0	0,002	23,0	0,451
Co	13,0	0,101	45,0	0,001	35,0	0,062
Sr	14,5	0,073	34,0	0,832	45,0	0,114
Всего видов	46,5	0,335	32,0	0,736	28,5	0,687
Cyanoprokaryota	55,0	0,073	25,0	0,308	20,5	0,224
Rhodophyta	25,5	0,196	34,5	0,897	30,0	0,735
Dinophyta	44,0	0,197	27,0	0,143	27,0	0,323
Euglenozoa	44,0	0,198	44,0	0,198	44,0	0,060
Ochrophyta	35,0	0,955	33,0	0,778	30,0	0,768
Chlorophyta	42,0	0,595	36,0	1,000	29,5	0,762
Streptophyta	47,5	0,287	30,0	0,594	25,5	0,479

Примечание: w - это значение критерия Манна-Уитни, p - уровень значимости.

Уровень значимости p<0.1

Уровень значимости p<0.05

Уровень значимости <0.01

Таблица 2. Коэффициент корреляции Пирсона (K_{Pr})
между таксономическим разнообразием водорослей и гидрохимическими показателями исследованных водоёмов

	Всего ви- дов	Цуаноп rokarуo ta	Rhodop hyta	Dino phyta	Euglen ozoa	Ochrop hyta	Chloro phyta	Strepto phyta	pH	Цвет.	Cl ⁻	N _{общ}	P-PO ₄ ³⁻	K	Zn	Pb	Co	XПК
Всего видов		0,91*	0,26	0,11	0,1	0,64*	0,81*	0,92*	-0,48	0,33	0,53*	0,41	-0,33	0,29	0,52*	-0,1	-0,13	0,29
Цуанопrokarуota	0,000		0,45	0,23	0,14	0,58*	0,65*	0,77*	-0,51*	0,2	0,46	0,32	-0,4	0,32	0,54*	-0,18	-0,28	0,17
Rhodophyta	0,308	0,073		0,04	-0,16	0,07	0,14	0,09	-0,06	-0,35	-0,02	-0,24	-0,14	0,15	0,22	-0,2	-0,21	-0,23
Dinophyta	0,679	0,381	0,884		-0,12	-0,19	0,01	0,1	-0,28	-0,21	0,33	0,2	-0,41	0,46	0,31	0*	-0,39	-0,02
Euglenozoa	0,704	0,600	0,547	0,653		-0,04	0,06	0,04	0,36	0,4	-0,09	0	0,35	-0,08	-0,25	-0,19	0,26	0,22
Ochrophyta	0,006	0,015	0,787	0,476	0,876		0,21	0,74*	-0,52*	-0,04	0,24	-0,06	-0,22	-0,07	0,06	-0,18	0,1	-0,14
Chlorophyta	0,000	0,005	0,597	0,962	0,825	0,423		0,63*	-0,16	0,49	0,38	0,55*	-0,07	0,18	0,5	-0,13	-0,01	0,4
Streptophyta	0,000	0,000	0,725	0,710	0,887	0,001	0,007		-0,55*	0,26	0,57*	0,33	-0,4	0,31	0,4	0,06	-0,11	0,33
pH	0,059	0,044	0,828	0,290	0,168	0,038	0,559	0,028		-0,08	-0,72*	-0,38	0,89*	-0,64*	-0,66*	-0,55	0,73*	-0,25
Цветность	0,219	0,459	0,184	0,431	0,123	0,887	0,052	0,334	0,774		0,51*	0,81*	-0,14	0,16	0,42	0,55	-0,25	0,88*
Cl ⁻	0,036	0,076	0,954	0,207	0,739	0,375	0,145	0,021	0,002	0,044		0,72*	-0,77*	0,78*	0,71*	0,79*	-0,71*	0,73*
N _{общ}	0,116	0,220	0,377	0,466	0,992	0,827	0,026	0,208	0,145	0,000	0,002		-0,51*	0,46	0,74*	0,82*	-0,46	0,77*
P-PO ₄ ³⁻	0,209	0,130	0,610	0,120	0,190	0,421	0,784	0,127	0,000	0,614	0,000	0,046		-0,78*	-0,82*	-0,76*	0,89*	-0,45
K	0,278	0,233	0,589	0,075	0,782	0,794	0,499	0,246	0,008	0,544	0,000	0,071	0,000		0,59*	0,84*	-0,87*	0,5
Zn	0,049	0,039	0,429	0,268	0,378	0,834	0,056	0,136	0,008	0,118	0,003	0,002	0,000	0,020		0,97*	-0,83*	0,58*
Pb	0,749	0,573	0,524	0,000	0,552	0,582	0,687	0,859	0,061	0,067	0,002	0,001	0,004	0,001	0,000		-0,98*	0,83*
Co	0,654	0,328	0,462	0,167	0,376	0,745	0,973	0,704	0,003	0,389	0,005	0,101	0,000	0,000	0,001	0,000		-0,58*
XПК	0,312	0,565	0,434	0,938	0,445	0,623	0,152	0,252	0,388	0,000	0,003	0,001	0,109	0,067	0,036	0,003	0,049	

Примечания: верхняя диагональ таблицы – K_{Pr} - коэффициент корреляции Пирсона, нижняя диагональ - уровень значимости (p). Знаком * - отмечены значимые коэффициенты корреляции при $p < 0,05$.