

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ИНСТИТУТ ХИМИИ  
Кафедра органической и экологической химии

РЕКОМЕНДОВАНОК ЗАЩИТЕ  
В ГЭК И ПРОВЕРЕНО НА ОБЪЕМ  
ЗАИМСТВОВАНИЯ  
Заведующий кафедрой

 к.т.н., доцент Шигабаева Г. Н.  
18 июля 2018 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(магистерская диссертация)

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МАЛЫХ ОЗЁР  
АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЯНАО И ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ К  
АНТРОПОГЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ  
04.03.01 Химия

Магистерская программа «04.04.01 Химия: Химия нефти и экологическая  
безопасность»

Выполнила работу  
Студентка 2 курса  
очной формы обучения



Черноиванова  
Екатерина  
Викторовна

Научный руководитель  
д.х.н., профессор



Кремлева  
Татьяна  
Анатольевна

Рецензент  
к.г.н., доцент, директор  
Института наук о Земле ФГАОУ  
ВО «ТюмГУ»



Хоршавин  
Виталий  
Юрьевич

г.Тюмень, 2018

## Реферат

Целью данной работы стало проведение комплексного анализа химического состава вод озёр, имеющих различное происхождение: старичные, термокарстовые, болотные и бывшие карьеры, оценка интенсивности антропогенного воздействия на водоёмы, а также их способности к самовосстановлению. В соответствии с целью были поставлены задачи, которые касались: обзора литературы по экологическим проблемам арктической зоны Западной Сибири, по особенностям климатических условий, по источникам загрязняющих веществ на этой территории; определение ионного состава и интегральных характеристик водной среды малых озёр; определение содержания тяжёлых металлов в пробах вод; оценка современного экологического состояния малых озёр.

В ходе работы в отобранных пробах определяли ионный состав методом ионной хроматографии, рН, удельную электропроводность, цветность воды, содержание различных форм углерода методом элементного анализа, общего железа методом фотометрии и тяжёлых металлов методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

В результате работы проведены гидрохимические исследования разных по происхождению малых озёр Надымского района. На основании полученных данных дана общая характеристика ионного состава, кислотности, минерализации, проведено обобщение данных по микроэлементному составу озёр. Сделана оценка экологического состояния исследуемых озёр Надымского района.

Ключевые слова: малые озёра Западной Сибири, антропогенное воздействие, химический состав, минерализация, устойчивость, экологическое состояние.

## Оглавление

Реферат.....	2
Введение.....	4
1. Литературный обзор.....	5
1.1. Природно-климатическая характеристика территории Ямало- Ненецкого автономного округа.....	5
1.2. Источники загрязнения арктической зоны Западной Сибири.....	10
1.3. Общая характеристика малых озёр Ямало-Ненецкого автономного округа.....	13
1.4. Оценка экологического состояния вод.....	19
2. Экспериментальная часть.....	23
2.2.1. Средства измерений.....	23
2.1. Отбор проб и определение химического состава вод.....	23
2.2. Средства измерения и вспомогательные устройства и реактивы.....	24
2.3. Определение ионного состава.....	24
2.3.1. Определение ионного состава методом ионной хроматографии.....	24
2.3.2. Определение содержания гидрокарбонат-ионов методом потенциометрического титрования.....	25
2.4. Определение рН, электропроводности и цветности водной среды.....	27
2.5. Определение содержания органических форм углерода.....	29
2.6. Фотометрическое определение общего железа.....	31
2.7. Определение концентраций металлов методом атомно-абсорбционной спектрометрии.....	31
3. Обсуждение результатов.....	34
3.1. Общая характеристика малых озёр Надымского района.....	34
3.2. Содержание главных ионов и интегральные характеристики вод озер.....	39

3.3. Микроэлементный состав вод озер.....	46
3.3.1. Содержание типоморфных элементов.....	46
3.3.2. Содержание эссенциальных элементов.....	52
3.3.3. Содержание токсичных элементов.....	53
3.4. Оценка индекса загрязненности вод.....	56
Выводы.....	63
Список использованной литературы.....	65
Приложение.....	73

## Введение

В последние годы особое внимание уделяется освоению территории Крайнего Севера и арктических регионов. Это связано с ресурсным потенциалом и транспортным значением Севера и Арктики. Водоёмы данной территории представляют большой интерес с точки зрения геохимических исследований. Необходимо отметить существующую здесь экологическую уязвимость из-за низких температур, ограниченную способность вод к самоочищению.

Изучение экологического состояния водных экосистем необходимо для своевременного выявления высоких уровней загрязнения, оценки и прогнозирования развития ситуации в дальнейшем. Чувствительным индикатором интенсивности техногенной нагрузки являются озера. Оценка уровня загрязнения поверхностных вод озёр позволяет получить данные о текущем состоянии экосистемы в процессе хозяйственной деятельности.

Таким образом, целью данной работы стало проведение комплексного анализа химического состава вод озёр, имеющих различное происхождение: старичные, термокарстовые, болотные и бывшие карьеры, оценка интенсивности антропогенного воздействия на водные экосистемы, а также их способности к самовосстановлению.

В связи с этим были поставлены следующие задачи:

1. Обзор литературы по экологическим проблемам арктической зоны Западной Сибири, по особенностям климатических условий, по источникам загрязняющих веществ на этой территории;

2. Определение ионного состава, интегральных характеристик водной среды (рН, УЭП, цветность) малых озёр Надымского района (ЯНАО);
3. Определение содержания тяжёлых металлов (Cd, Pd, Cr, Zn, Ni, Mn, Bi, Al, Cu) в пробах вод;
4. Оценка современного состояния водных экосистем Надымского района на основе анализа литературных источников и экспериментальных данных и степени загрязнённости водоемов и их устойчивости к антропогенному воздействию.

## **1. Литературный обзор**

### **1.1. Природно-климатическая характеристика территории Ямало-Ненецкого автономного округа**

Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО) находится в северной части Западно-Сибирской низменной равнины, территория которой представляет собой сильно заболоченную тундру. Однообразие поверхности прерывается моренными холмами, грядами и многочисленными речными долинами. В границы округа входят восточные склоны Полярного Урала. Вдоль южной границы ЯНАО распространяются Сибирские Увалы [1].

ЯНАО граничит с Ненецким автономным округом Архангельской области на северо-западе, с Республикой Коми – на западе, с Ханты-Мансийским автономным округом – на юге, с Таймырским округом Красноярского края на востоке, омывается водами Карского моря с севера, в результате чего образованы полуострова Ямал, Гыданский, Тазовский.

Северная граница ЯНАО – это государственная граница Российской Федерации (рис.1.1).

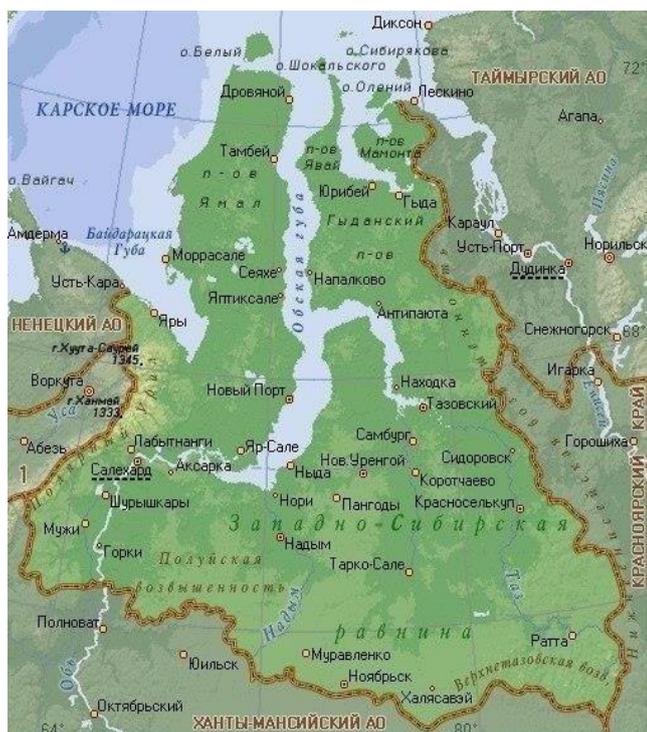


Рис.1.1. Географическое положение Ямало-Ненецкого автономного округа.

По площади (769, 3 тыс. км<sup>2</sup>) округ находится на втором месте среди других административных округов Севера России, что составляет 4,4% территории страны и 52,3% территории Тюменской области. Из этой площади 631 тыс. км<sup>2</sup> приходится на сушу, остальная – водная поверхность. Протяженность территории с юга на север составляет 1150 км, а с запада на восток – 1130 км [2]. Географические координаты Ямало-Ненецкого автономного округа: крайняя северная точка– 73°30' с.ш., 75°46' в.д. (остров Вилькицкого); крайняя южная точка – 62°11' с.ш., 84°26' в.д. (Красноселькупский район); крайняя восточная точка – 57°48' с.ш., 67°48' в.д.; крайняя западная точка – 65°43' с.ш., 62°00' в.д. (Шурышкарский район).

Основная часть равнины характеризуется незначительными абсолютными отметками с самым большим понижением высот в центральной области, где находятся долины крупных рек – Надыма,

Пура и Таза. Эти плоские заболоченные понижения соответствуют Надымской, Пурской и Тазовской низменностям [3].

Территория Ямало-Ненецкого округа отличается сильной заболоченностью. Практически на всей поверхности, включающей междуречья, надпойменные террасы и поймы, находится огромное число озерных впадин различных по генезису. Плоский рельеф территории, интенсивное увлажнение, присутствие пород с невысокими

фильтрационными свойствами, близкое к поверхности залегание грунтовых вод и слабый их дренаж – все это создало благоприятные условия для широкого развития в пределах озерно-аллювиальных равнин процессов заболачивания и образования озер. Климат во многом определяет и гидрологический режим этих озер.

ЯНАО располагается в зоне многолетней мерзлоты. Сплошные мерзлые породы расположены примерно до широты Северного полярного круга и наблюдаются в зоне тундры. Лишь под озерами и руслами крупных рек сформированы талики. Южнее находятся территории с прерывистым типом распространения мерзлоты.

В уральской части округа вследствие тектонических движений образовались котловины тектонического происхождения. Внутриболотные озера образуются на плоских равнинах в местах интенсивного заболачивания. В результате деятельности моря образовались равнины, расположенные на нескольких высотных уровнях. Они отображают разные периоды развития морского Полярного бассейна, когда море наступало на сушу в результате трансгрессии или напротив – отступало в результате регрессии из-за тектонических движений или колебаний уровня моря. Таким

образом, образовывались озера морского происхождения. В южной части территории преобладают флювиальные процессы, вследствие встречаются преимущественно котловины речного происхождения. В результате деятельности древних ледников и талых ледниковых вод на участках суши, прилегающих к краю ледников, или внутри самих ледников образовались ледниковые озера [3]. На территории округа наибольшее распространение имеют термокарстовые котловины, образовавшиеся в результате протаивания многолетнемерзлых пород и последующей просадки грунта.

Ямало-Ненецкий автономный округ занимает в основном три климатических пояса – арктический, субарктический и умеренный. Климат округа характеризуется суровой долгой зимой с продолжительным залеганием снежного покрова, короткими переходными периодами, кратковременным холодным летом, поздней весной и ранними осенними заморозками. Суровые климатические условия территории округа способствуют развитию многолетней мерзлоты.

Среднегодовая температура воздуха отрицательная, на Крайнем Севере она достигает  $-10^{\circ}\text{C}$ . Минимальные температуры зимой опускаются до  $-59^{\circ}\text{C}$ . Летом, в июле, могут повышаться на всей территории до  $30^{\circ}\text{C}$ . В сентябре положительные среднемесячные температуры сохраняются и изменяются от  $2^{\circ}\text{C}$  на Крайнем Севере до  $6^{\circ}\text{C}$  на юге. В третьей декаде сентября – начале октября наблюдается осенний переход температуры через  $0^{\circ}\text{C}$ . Средняя продолжительность безморозного периода в Заполярье составляет 50-65 дней, в отдельные годы сокращается до 30; на остальной территории – 70-90 дней.

Атмосферное увлажнение обусловлено западным и юго-западным переносами воздушных масс атлантического происхождения и поступающих с севера арктических воздушных масс. Наименьшие годовые суммы осадков наблюдаются на островах и на побережье – около 300 мм из-за малого влагосодержания арктических воздушных масс, к югу суммы осадков увеличиваются и в Заполярье составляют 350 – 400 мм, в районе Приполярного Урала – более 700 мм. К югу от полярного круга суммы осадков 400 – 450 мм. Наибольшее количество осадков 450 – 500 мм отмечается в средней и верхней частях бассейнов рек Пур и Таз, что связано с траекториями перемещения западных и южных циклонов.

Обильное увлажнение и слабая обеспеченность теплоэнергетическими ресурсами способствуют широкому развитию рек. Самой большой рекой, протекающей в западной части территории, является Обь. Другими крупными реками округа являются Надым, Пур, Таз. На территории полуостровов Ямал и Гыданский крупные реки – это Щучья (Пыряха), Юрибей (Гыданский), Юрибей (Ямальский), Муртыяха, Танама, Мессояха и др.

Жидкая вода в подземных горизонтах может находиться только вблизи поверхности земли в зоне сезонного протаивания (0,2-3,5 м). Здесь расположены надмерзлотные воды. В долинах рек, под озерами, в местах накопления мощного снежного покрова среди многолетнемерзлых пород находятся талые грунтовые толщи. Они являются источниками питания рек и озер. По мере движения к северу в Ямало-Гыданской области вероятность таликов уменьшается. В зимний период ресурсы речного стока на

территории Ямало-Гыданского района равны нулю, так как реки перемерзают до дна.

Элементы гидрографической сети играют большую роль в формировании и режиме озер. Во время высокого притока вод в озера, происходит увеличение их уровня. Т.е. режим других водных объектов подземные воды в большей степени обуславливают сезонные колебания. Течение в озёрах формируется за счёт впадающих в них рек, способствуя тем самым перемешиванию вод и переформированию дна и берегов их котловин. Питание поверхностных вод Западной Сибири преимущественно снеговое, отчасти дождевое и болотно-грунтовое. Таким образом, половодье связано с таянием снегов и пик его приходится на июнь. В областях распространения многолетнемерзлых грунтов грунтовое питание имеет подчиненное значение. В лесной зоне, кроме того, сток из окружающих болот и лесов в большой степени влияет на гидрохимический состав озерных вод. Общее распределение элементов водного баланса озёр находится во многом под влиянием от зональных особенностей, в первую очередь испарения и наличия поверхностного или подземного стоков.

Экосистемы Крайнего Севера характеризуются высокой уязвимостью и длительностью восстановления после их изменения вследствие хозяйственной или другой деятельности, а также формированием вторичных природных комплексов с трансформированными биоразнообразием и структурой. Причина увеличения геодинамического потенциала и снижения устойчивости природно-территориальных комплексов к антропогенным нарушениям – это развитие в естественном состоянии опасных

геологических процессов и явлений в криолитозоне (морозобойное растрескивание, термокарст, пучение, солифлюкция, термоабразия, заболачивание, термоэрозия). В подобных условиях уже малые антропогенные нагрузки на природную среду могут привести к развитию необратимой деградации геосистем. В связи с высокой миграционной способностью химических соединений в условиях переувлажнения и незначительной скоростью деструкции загрязняющих веществ низка ассимиляционная ёмкость природно-территориальных комплексов в отношении загрязнителей. При низких температурах замедляются процессы разрушения углеводородных связей и снижается самоочищающая способность природной среды.

## **1.2. Источники загрязнения арктической зоны Западной Сибири**

Значительную долю хозяйственного освоения территории округа составляет развитие нефтегазового комплекса, добыча полезных ископаемых, оленеводство, рыболовство, а также использование водных путей. Ямало-Ненецкий автономный округ, в первую очередь, известен крупнейшими залежами имеющихся здесь полезных ископаемых. В основном в западной части округа сосредоточены месторождения хромовых, железных, свинцовых, молибденовых руд, редких металлов, золота и неметаллических полезных ископаемых. В связи с их добычей возможны отходы, которые могут стать причиной серьезного загрязнения грунтовых и поверхностных вод, и, как следствие, изменения термического и химического режима водоемов. Для добычи требуется огромное количество воды, чтобы отделять ценные металлы или минералы от

песка или горной породы. Это становится причиной изменения водного баланса территории в целом и озер, в частности.

Ямало-Ненецкий автономный округ является одним из основных нефтегазодобывающих регионов страны. Государственным балансом насчитывается более ста тридцати месторождений нефти, разведанные извлекаемые запасы по которым составляют почти пятнадцать процентов всех нефтяных запасов страны. Разрабатывается более тридцати месторождений, добыча в год составляет около девяти процентов от всей добычи нефти в Российской Федерации. Высокую оценку дают и прогнозируемым ресурсам нефти. Велика роль округа в запасах и добыче природного газа. Уникальные по запасам газа месторождения – Уренгойское, Ямбургское и Медвежье. Всего извлечено более одиннадцати трлн куб.м природного газа.

Однако бурное развитие нефтегазодобывающего комплекса имеет и негативные последствия. При бурении эксплуатационных скважин происходит уничтожение растительного покрова на близко расположенных к буровым площадкам участках, загрязнение почв строительными материалами, бытовыми стоками, буровым раствором, химическими реагентами, горюче-смазочными материалами. В поверхностные воды вместе с буровым раствором и шламом выбуренных пород попадает большое количество химических реагентов: разжижители, термостабилизаторы, эмульгаторы, кислоты, ПАВ, органические растворители, ингибиторы отложений солей и коррозии. Создание площадок установок комплексной подготовки газа внутри промысловых и межпромысловых коммуникаций сопровождается нарушением

почвенно-растительного покрова, изменением механического состава грунтов, их температурного режима и влажности. Вместе с нефтью извлекаются высокоминерализованные пластовые воды, часть из которых накапливается в ближайших водоемах, вследствие чего затем происходят значительные изменения общего химического состава вод. Кроме того, под действием даже небольших количеств сырой нефти уменьшается разнообразие флоры, более всего чувствительны к нефти мхи и лишайники. Нефтяные ароматические углеводороды вызывают хронический токсикоз. К агрессивным токсикантам относятся бензол, ксилол и толуол. Каждый этап освоения месторождений характеризуется различными формами антропогенного влияния [4, 5]. Преимущественную роль при освоении месторождений имеют ландшафтно-деструкционные воздействия, на стадии эксплуатации на первом плане – эмиссионные [6].

Особого внимания заслуживает проблема сжигания попутного газа. Факельные установки представляют собой не просто неотъемлемую часть нефтеперерабатывающих и химических заводов, но и являются источниками интенсивного многолетнего загрязнения атмосферы на широких территориях. При их эксплуатации в атмосферу попадают: сажа, предельные углеводороды (алканы), фенолы, оксид углерода, оксиды азота и серы, сероводород, тяжелые металлы (ванадий и никель) и другие вещества [7, 8, 9].

Загрязнение водоемов осложняется из-за подкисления вод в результате

выпадения кислых атмосферных осадков, образуются которые в результате вымывания из атмосферы оксидов азота и серы, образующихся после сжигания топлива (факела – попутный, природный газ; мазут; азотосодержащие компоненты топлива) и других видов антропогенного влияния. Вследствие фотохимического окисления оксид азота переходит в диоксид азота. Воды с высоким содержанием гумусовых веществ обогащены органическими кислотами, которые, в свою очередь, способны усиливать антропогенное закисление вод [10]. Повышенная кислотность водоемов имеет крайне негативные последствия, такие как выщелачивание тяжелых металлов, изменение ионного состава природных вод, снижение буферной способности водоемов [11, 12, 13, 14].

Источниками загрязнения поверхностных и грунтовых вод промышленными и хозяйственно-бытовыми стоками являются площадки размещения очистных сооружений из-за возможных утечек из технологических коммуникаций. Очистные сооружения оказывают на грунты растепляющее действие. Большое влияние на экологическую обстановку округа оказывают объекты жилищно-коммунального хозяйства, которые по степени загрязнения уступают лишь топливно-энергетическому комплексу. При разложении бытовых отходов в воды попадает большое количество сульфатов и хлора, увеличивается содержание азотных и сернистых соединений, меняется рН воды (от 8,2 до 4,2), увеличивается минерализация, изменяется ионный состав вод.

Ведущей отраслью сельского хозяйства Ямало-Ненецкого

автономного округа является оленеводство. При выпасе оленей, происходит вытаптывание растительности и почвы, что ведет к подтаиванию мерзлоты и в дальнейшем к просадке почвы и образованию термокарстовой котловины. Кроме того большое влияние на процесс зарастания озер оказывает вынос биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий, животноводческих ферм, расположенных на водосборах озер. Почвенный покров на водосборах, находящийся под естественными угодьями и сельскохозяйственными полями имеет более высокую водопроницаемость, чем почвы, на которых идет интенсивный выпас скота или сельхозработы. Поэтому, поверхностный сток наряду с просачиванием в значительной степени определяет вынос органических и биогенных веществ с водосборов в акваторию озер.

Рыбная отрасль также одна из важнейших областей агропромышленного комплекса ЯНАО, представляющая собой полный технологический комплекс: от добычи рыбы и ее транспортировки до переработки и сбыта готовой деликатесной продукции. Общий рыбохозяйственный фонд округа составляет 64 тысяч км<sup>2</sup>, который включает шельфовые воды южного побережья Карского моря с врезающимися в континент заливами; реки, впадающие в эти заливы; озера, соединенные протоками. В водах территории Ямало-Ненецкого автономного округа обитает 33 вида рыб, из них 25 промысловые (нельма, муксун, пелядь, чир, ряпушка, сиг и др.). Ежегодно производится свыше 7 тыс. т. рыбы, включая ценные сиговые породы [15]. При улове рыбы уменьшается видовой состав озера, что может привести к интенсивному процессу эвтрофирования озер. Также при рыболовстве на лодках, катерах

возможнозагрязнение озера моторным маслом и т.д., что приводит к изменению видового состава растительности и организмов.

Таким образом, при антропогенном воздействии нарушается как состояние геологической среды, приводящее к образованию новых озерных котловин, так естественное равновесие между биотическими и абиотическими элементами экосистемы, что приводит к заилению и зарастанию озер. В водной массе озера увеличивается количество фитопланктона, значительно ухудшающего качество озерной воды, в результате теряется их значение как источников чистой воды. В естественных условиях гидробионты обеспечивают сбалансированность биологического круговорота и самоочищение экосистемы.

### **1.3. Общая характеристика малых озёр Ямало-Ненецкого автономного округа**

Озера – неотъемлемая часть ландшафтов Ямало-Ненецкого автономного округа. В особенности большое число их в центральной части Ямала, в бассейне реки Пур и в долинах других рек. Озера различны по размерам, форме и происхождению. Большинство их достигает глубины не более 1,0 -1,5 м. На левобережье Оби озёра ЯНАО делятся на горные и равнинные с небольшими площадями, но со значительными глубинами и запасами пресной воды. Равнинные озера, расположенные на левом и правом берегах Оби являются ледникового, термокарстового, пойменного, прибрежно-лагунного генезиса. Большая часть равнинных озёр невелики, и площадь их зеркала 1 – 5 км<sup>2</sup>. Только в поймах рек встречаются озера-соры, площадь которых может составлять несколько десятков квадратных километров. В

Пур-Тазовском районе озёра распространены повсеместно, однако наибольшее их количество сосредоточено в бассейне Пура и на Пур-Тазовском междуречье.

В Ямальском и Гыданском районах насчитывается более 60 тысяч озёр. Больше всего мелководных и небольших по размерам водоемов, площадь которых не превышает 1 км<sup>2</sup>. Крупных озёр с площадью зеркала более 100 км<sup>2</sup> мало. Преобладающее число озёр на Ямале, где условия дренажа менее благоприятны в сравнении с Гыданским полуостровом. На Гыданском полуострове озёр меньше, но есть крупные озёра, в особенности на северо-востоке в бассейне р. Гыда. Вдоль берега Карского моря и его губ развиты лагунные озёра.

По периоду происхождения в ЯНАО существуют как древние озёра, появившиеся в начале послеледниковой эпохи, так и молодые озёра, которые образовались намного позже и формируются и по настоящее время. Ни в распределении озёр относительно речной сети, ни по размерам водоемов не наблюдается какой-либо единой закономерности. Озёра здесь встречаются в разных частях междуречного пространства: как в районе водоразделов, так и в непосредственной близости к речным долинам.

На территории ЯНАО формируются различные типы озерных котловин, которые можно обозначить как термокарстовые, вторичные (внутриболотные); гидрогенные (водно-эрозионно-аккумулятивные, речные) и ледниковые.

На данной территории существует большое число термокарстовых озёр, как древних (реликтовые), так и современных (развивающиеся). Более всего распространены реликтовые термокарстовые котловины, которые, заполненные в

основном торфом и следовательно отличающиеся плохо сохранившимися морфологическими признаками. Озера небольших размеров, расположившиеся в виде цепочек на плоских водоразделах, занимают погребенные под торфом понижения, возникшие в средне голоценовое время. Генезис термокарстовых котловин во многом обусловлен процессами, развивающимися при деградации многолетней мерзлоты [17].

Форма котловин термокарстовых озер разнообразна. Недавно возникшее озеро имеет, как правило, неправильную форму с сильно изрезанной береговой линией, изобилующей мысами, заливами. Далее воздействие воды на обрывистые торфяные берега влечёт увеличение озерной котловины за счет соединения отдельных заливов или близко расположенных озерков в один водоем. Таким образом котловина озера становится округлой формы.

Термокарстовые озёра располагаются обычно группами. Размеры их котловин различны, но чаще всего не более нескольких сотен метров в поперечнике, лишь иногда достигая 2 – 3 км. Термокарстовые озера отличаются незначительными глубинами с плоскими днищами, низкими, иногда обрывистыми торфяными берегами. Из-за высокого содержания органических веществ часто вода таких озер темная, и они бедны растительностью и рыбой. Озерные котловины термокарстового генезиса отличаются отсутствием комплекса террас. Многие озёра в настоящее время почти наполовину заполнены мощными илистыми отложениями, а с берегов они зарастают и заболачиваются.

Среди реликтовых термокарстовых котловин встречаются озера с реи вторфяных массивах. Эти заболоченные

деградирующие озера образуются на местопущенного рекой озера. Значительная часть их приурочена к ландшафту озерно-аллювиальных равнин. Превышение окружающей поверхности над днищами бывших озер невелико, в среднем 0,5 – 0,8 м, редко 1 – 2 м [18].

На территории Ямало-Ненецкого автономного округа наиболее широко распространены вторичные (внутриболотные) озера биогенного происхождения, образование которых происходит за счёт неравномерного нарастания торфяной залежи и процессов вторичного разрушения поверхностных торфяников. Торфяно-болотные озера - это мелкие (1 – 2 м) водоемы разных размеров, разбросанные среди верховых болот в бассейнах рек. Большое количество крупных и малых внутриболотных озер вместе с озерками болотных микроландшафтов образуют обширные болотно-озерные системы. В результате эрозийных процессов внутриболотные озера могут обладать неустойчивыми очертаниями береговой линии, что часто влечёт за собой слияние в один водоем соседних озер и озерков болотных микроландшафтов [19].

В речных долинах распространены гидрогенные (водно-эрозионно-аккумулятивные, речные) озера, образование которых связано с деятельностью рек. Это пойменные озера – старицы и многие озера на надпойменных террасах [20].

Озёра ледникового происхождения образуются на территории округа в связи с деятельностью древних ледников. В зависимости от характера деятельности ледника эти озера разделяют на эрозионные, в формировании котловин которых преобладает эрозионная деятельность ледника и аккумулятивные, возникшие

среди моренных отложений. Таких озер много на территориях древнего оледенения [21].

Из-за пограничного расположения в пределах криолитной зоны озёрно-болотные экосистемы наиболее чувствительны к изменениям климата, и, как следствие, являются уникальными природными индикаторами климатических изменений. Так, озера Надымского района можно считать индикаторами региональных, климатических и глобальных изменений окружающей среды. Малые озера – озера, площадь водной поверхности которых лежит в интервале 1,1-10,1 км<sup>2</sup>. Их химический состав (при отсутствии локальных источников загрязнения) более наглядно отражает зональную и региональную специфику условий формирования, а также те глобальные антропогенные процессы, которые происходят в последнее время в поверхностных водах суши [19, 22, 23].

Химический состав вод малых озер зоны северной тайги отличается низкой минерализацией, обусловленной преимущественно атмосферным питанием и геологическими особенностями ландшафта, низким содержанием основных ионов. По данным исследований сотрудников НЦИА, воды малых озер Надымского района отличаются низкой минерализацией и являются ультрапресными. Среди главных ионов в водах озер преобладающим является гидрокарбонат-ион. Характерно низкое содержание хлорид- и сульфат-ионов, катионов калия и натрия в поверхностных водах.

Электропроводность природных вод зависит, в большей степени, от концентрации сильных электролитов и температуры. В озёрах данной территории удельная электропроводность низкая, что

говорит о малой суммарной концентрации главных ионов в поверхностных водах.

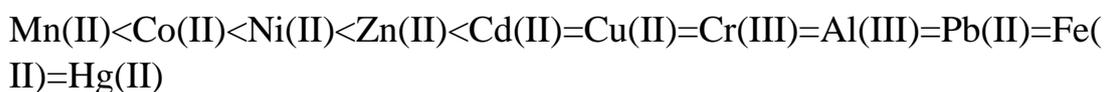
Величина рН— это одна из важнейших характеристик качества вод, так как влияет на развитие и жизнедеятельность организмов в водоёмах, а также миграционную способность многих элементов. Вода озёр данного региона относится к слабокислым водам и не соответствует в полной мере требованиям качества для водных объектов рыбохозяйственного значения.

Концентрация растворенного кислорода в воде показывает, насколько интенсивно происходят биологические процессы в водоёме и уровень загрязнения активно окисляющимися веществами. Уменьшение концентрации растворенного кислорода до двух мг/л вызывает многочисленную гибель водных организмов. Значения биологического потребления кислорода не превышают ПДК<sub>рбх</sub>.

Высокая окисляемость поверхностных вод озёр данного региона по данным значений химического потребления кислорода, связана со значительным количеством гумусовых веществ, поступающих из болот и торфяников. В среднем, химическое потребление кислорода для водоемов по результатам экологического мониторинга почти в три раза превышает рекомендуемые величины.

Из соединений азота следует выделить его аммонийную форму, так как его высокое содержание характерно для водных объектов Западной Сибири в связи с низкой скоростью разложения органических веществ. Нефтяные углеводороды в поверхностных водах малых озёр не превышают фоновых значений.

Несмотря на малое содержание, микроэлементы могут оказывать существенное влияние на процессы почвообразования, активно в них участвовать и затем мигрировать в водоемы. По способности ионов металлов образовывать комплексы с гумусовыми веществами выделяют, так своего рода, «ряды активности металлов», составленные на основании изучения определённых экспериментальных данных, построении модельных систем и математических расчётов. По мнению Е.В. Веницианова и Ж.Н. Кудряшовой [25], исходя из экспериментальных данных, ряд выглядит следующим образом:



. В работе Т.И. Моисеенко, И.В. Родюшкина [26] изучены степени связывания ионов металлов с гумусовыми веществами вод и выявлен данный ряд:



В силу специфики процессов формирования водных объектов на территории Российской Федерации повсеместно распространены цветные воды с высоким содержанием гумусовых веществ [25]. Для микроэлементного состава данных вод наблюдаются повышенные концентрации железа, алюминия, марганца вследствие гумификации водосборов. Нормативы качества вод в России по металлам не берут во внимание региональные и локальные характеристики химического состава вод, но прямые определения форм нахождения металлов в природных водах – это очень сложная и трудоёмкая задача [26]. Исследование процессов комплексообразования в каждом отдельном природном объекте – тяжёлая проблема, требующая большого экспериментального изучения. Однако по

наличие или отсутствию корреляции содержания металла и органических форм углерода можно косвенно доказать связывание его ионов в комплексы с растворённым органическим веществом.

Таким образом, характеризуя загрязнения поверхностных вод исследуемых водных объектов, следует выделить низкие показатели рН, превышение предельно допустимых концентраций по химическому потреблению кислорода более чем в два раза, превышение предельно допустимых концентраций по железу в два раза, по меди, цинку и аммонийному азоту. Индекс загрязнения воды указывает на «умеренное загрязнение».

#### **1.4. Оценка экологического состояния вод**

Необходимой частью мониторинга водных экосистем является оценка их состояния с этапами выбора показателей и их измерение. Под состоянием водной экосистемы подразумевается её характеристика по совокупности качественных и количественных биогенных, абиогенных и антропогенных показателей применительно к видам водопользования. Нормы качества воды – это установленные значения показателей качества воды для конкретных видов водопользования. [27].

Наиболее часто используются два основных способа оценки качества вод– гидробиологический (дает непосредственную оценку состояния биогидроценозов) и гидрохимический, который дает единичную (сопоставление данных по химическому составу с существующими нормативами), косвенную (объединение характеристик) и комплексную оценку (коэффициенты, индексы и классификации загрязненности поверхностных вод). Гидрохимические показатели могут быть натуральными

(ингредиенты и показатели химического состава вод, определяемые аналитически) и относительными расчетными (показатели, получаемые расчетным путем)[28, 29, 30].

Загрязнение водного объекта преимущественно можно оценить, устанавливая кратность и (или) повторяемость превышения измеренного (фактического) содержания отдельных элементов и веществ к их предельно допустимой концентрации (ПДК). Экспериментально в настоящее время обосновываются два вида ПДК: ПДК хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК<sub>в</sub>) и ПДК для рыбохозяйственных целей (ПДК<sub>рбх</sub>). По рыбохозяйственному критерию оценивается пригодность воды для обитания и развития промысловых рыб и водных организмов. Лимитирующий признак вредности оценивается наиболее низкой безвредной концентрацией вещества в воде. Для расчета предельно допустимой концентрации рыбохозяйственного водопользования необходимо учитывать пять лимитирующих признаков вредности (ЛПВ): органолептический, санитарный; токсикологический; рыбохозяйственный; санитарно-токсикологический [31, 32]. Вода является безвредной, если ее загрязненность не превышает одной дозы, математически можно это выглядит следующим образом:

$$\sum_{i=1}^z C_i / ПДК_i \leq 1, \quad (1.1)$$

где  $C_i$  – концентрация веществ в воде водоема, фактическая или расчетная, мг/л;  $ПДК_i$  – предельно-допустимая концентрация того же

вещества, мг/л;  $z$  – общее число веществ одного ЛПВ, присутствующих в воде водоема [27].

Наиболее известные показатели:

- коэффициент загрязненности КЗ ( $\alpha$ -показатель КЗ – наиболее простой, учитывает отклонения от ПДК по отдельным ингредиентам и  $\beta$ -показатель КЗ учитывает одновременное присутствие в воде нескольких веществ с одинаковым ЛПВ);
- показатель химического загрязнения воды (ПХЗ-10) – идет расчет по 10 химическим соединениям, максимально превышающим ПДК, с использованием формулы суммирования воздействий;
- комбинаторный индекс загрязненности вод (КИЗВ) – метод интегральной оценки качества воды, который применяется для оценки современного состояния вод, и кроме того для установления динамики качества воды в пространстве и времени, расчет ведётся по всей совокупности присутствующих загрязняющих веществ и частоты их обнаружения;
- удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) – комплексный относительный показатель степени загрязненности поверхностных вод, безразмерная величина, рассчитанная по самым распространенным загрязняющим веществам, которая оценивает долю загрязняющего эффекта каждого компонента при их одновременном присутствии;
- индекс загрязнения воды (ИЗВ) – гидрохимический показатель, аддитивный коэффициент, часто используемый благодаря быстрой и простоте расчетов, чтобы установить изменчивость качества воды во времени – средняя доля

превышения ПДК по строго лимитированному числу индивидуальных ингредиентов:

$$ИЗВ = \frac{\sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{ПДК_i}}{6} \quad (1.2)$$

где  $C$  – относительная (нормированная) среднегодовая концентрация ПДК компонента; 6 – количество показателей (ингредиентов), берущихся для расчета;  $ПДК_i$  – установленная величина норматива по шести показателям для соответствующего типа водного объекта;

$\square$  индекс загрязнения воды с поправкой на водность (ИЗВ\*) рассчитывается путем умножения коэффициента водности (К) на рассчитанный ИЗВ:

$$ИЗВ_* = ИЗВ * K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ПДК} \frac{Q_{факт}}{Q_{ср.мн.}}, \quad (1.3)$$

где  $C_i$  – фактическая концентрация i-го ингредиента;  $ПДК_i$  – предельнодопустимая концентрация ингредиента, соответствующая назначению водного объекта;  $Q_{факт}$  – фактический расход воды ( $м^3/с$ );  $Q_{ср.мн.}$  – среднегодовой расход воды ( $м^3/с$ ); n – количество ингредиентов, по которым осуществлялся расчет [27, 31].

Чтобы рассчитать ИЗВ для всей выборки компонентов, необходимо рассчитать отношения фактических концентраций к ПДК, затем полученный список сортируют, расчет необходимо вести по шести показателям с наибольшими значениями приведенных концентраций, независимо от того, превышения ПДК. В

зависимости от величины ИЗВ участка водных объектов подразделяют на классы (табл. 1.1.), при этом существует требование, что ИЗВ сравниваются лишь для водных объектов одной биогеохимической провинции и сходного типа, для одного и того же водотока (по течению, во времени), а также с учетом фактической водности текущего года. Данные табл. 1.1 в дальнейшем будут использованы для оценки качества вод исследуемых озер Надымского района.

Таблица 1.1.  
Классы качества вод в зависимости от значения ИЗВ [27]

Воды	Значения ИЗВ	Классы качества вод
Очень чистые	менее или равно 0,2	I
Чистые	Более 0,2–1,0	II
Умеренно загрязненные	1,0–2,0	III
Загрязненные	2,0–4,0	IV
Грязные	4,0–6,0	V
Очень грязные	6,0–10,0	VI
Чрезвычайно грязные	>10,0	VII

Неоспоримые плюсы данного индекса заключаются в быстроте и простоте расчетов. Таким образом, этот показатель стал одним из самых распространенных показателей качества воды. Использование его приоритетно для установления изменчивости качества воды во времени.

В настоящее время нельзя выделить единый, общепринятый метод комплексной оценки загрязненности поверхностных вод, в частности озер. На практике применяют показатель, более других соответствующий поставленным исследовательским задачам, информативен в нужной области и дает наиболее адекватную оценку степени загрязненности воды рассматриваемого водного объекта, с учетом региональных особенностей. В мировой практике принято

оценивать как степень загрязнения природных вод, так и их потенциальную устойчивость (уязвимость к антропогенному воздействию).

## **2. Экспериментальная часть**

### **2.2.1. Средства измерений**

Система капиллярного электрофореза "Капель" с положительной полярностью высокого напряжения, внутренний диаметр капилляра 75 мкм, эффективная длина капилляра 50 см, общая длина капилляра 60 см ТУ 4215-023-20506233-98;

рН-метр/иономер/АНИОН 4100 (измерительный электрод – стеклянный, электрод сравнения – хлорид серебряный); кондуктометр/АНИОН 4100 (платиновые электроды); спектрофотометр КФК–2; элементный анализатор vario TOC, Elementar; атомно-абсорбционный спектрометр «ContrAA 700», AnalyticJena.

### **2.1. Отбор проб и определение химического состава вод** В отобранных пробах определяли:

- ионный состав методом ионообменной хроматографии с использованием ионного хроматографа «Dionex ICS 2100»;
- содержание гидрокарбонат-ионов методом потенциометрического титрования;
- интегральные характеристики: рН, удельную

электропроводность, цветность воды спектрофотометрическим методом;

- цветность воды спектрофотометрическим методом;
- общий углерод ( $C_{\text{общ}}$ ), органический углерод ( $C_{\text{орг}}$ ), неорганический углерод ( $C_{\text{мин}}$ ) – элементный анализ с использованием прибора vario TOC, Elementar;
- содержание общего железа методом фотометрии;
- концентрацию тяжёлых металлов методом атомноабсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией

(«ContrAA700», AnalyticJena).

## **2.2. Средства измерения и вспомогательные устройства и реактивы**

### **2.3. Определение ионного состава**

#### **2.3.1. Определение ионного состава методом ионной хроматографии**

Определение катионов проводится на основе МВИ 223.0192/01.00258/2010 «Методика измерений массовых концентраций ионов лития, натрия, аммония, калия, магния, кальция, стронция и бария в питьевых, природных, минеральных, бутилированных, водопроводных, сточных и технологических водах и водных вытяжках методом ионной хроматографии».

Определение анионов выполняется на основе ПНД Ф 14.2:4.176-2000 «Количественный химический анализ вод. Методика определения содержания анионов (хлорид-, сульфат-, нитрат-, бромид- и йодид-ионов) в природных и питьевых водах методом

ионной хроматографии» с использованием ионного хроматографа «Dionex ICS 2100».

Измерения концентраций анионов выполняют методом ионной хроматографии с использованием кондуктометрического детектора. Принципиально хроматографического определения состоит в том, что многокомпонентная смесь ионов разделяется на колонках, заполненных сорбентами, в структуре которых содержатся ионогенные группы, специфичные по отношению к катионам и анионам. Для выделения полезного сигнала на высоком электрохимическом фоне в методике применена подавительная колонка. Градуировка ионохроматографической системы осуществляется с помощью ГСО растворов соответствующих ионов.

Предметный алгоритм состоит в том, что содержание каждого компонента в анализируемой пробе определяют путем сравнения высоты (площади) пика аниона, содержащегося в градуировочном растворе с высотой (площадью) пика соответствующего аниона в анализируемой смеси и идентификацией по временам удерживания каждого аниона.

Диапазоны измерения массовых концентраций нитрат-, нитрит-, сульфат-, фосфат-, фторид- и хлорид-ионов значения показателя точности, повторяемости измерений приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1.

Диапазоны измерения массовых концентраций, значения показателя точности, повторяемости измерений

Наименование катиона	Диапазон измерения	Показатель повторяемости (среднеквадратическое отклонение)	Показатель точности (границы погрешности при вероятности)
----------------------	--------------------	--	---

		повторяемости) $\sigma_r, \%$	$P = 0,95) \pm \Delta, \%$
Нитрит-ионы	От 0,500 до 1000	10	15
Нитрат-ионы	От 1,60 до 1000	10	15
Хлорид-ионы	От 0,200 до 1000	10	15
Фторид-ионы	От 0,100 до 5,00	10	15
Сульфат-ионы	От 1,00 до 1000	10	15
Фосфат-ионы	От 1,00 до 1000	10	15

### 2.3.2. Определение содержания гидрокарбонат-ионов методом потенциометрического титрования

Определение содержания гидрокарбонат-ионов проведено потенциометрическим титрованием на основе ПНД Ф14.2.99-97 «Методика выполнения измерений массовой концентрации гидрокарбонатов в пробах природных вод титриметрическим методом».

Метод основан на взаимодействии гидрокарбонатных ионов с сильной кислотой с образованием слабой угольной кислоты, распадающейся в растворе на  $H_2O$  и свободный  $CO_2$ . Пробу титруют раствором соляной кислоты до рН 4,5 с индикацией точки эквивалентности при помощи рНметра.

Настоящая методика обеспечивает получение результатов анализа с погрешностью, не превышающей значений, приведённых в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Диапазон измерений, значения показателей точности, повторяемости, воспроизводимости, правильности

Диапазон измерений массовой концентрации гидрокарбонатов, мг/дм <sup>3</sup>	Показатель точности (границы относительной погрешности при вероятности P = 0,95), ±□, %	Показатель повторяемости, S <sub>r</sub> , %	Показатель воспроизводимости, S <sub>r</sub> , %	Показатель правильности (границы относительной систематической погрешности при вероятности P = 0,95), □±с, %
от 10,0 до 20,0 вкл.	25	6	8	19
св. 20,0 до 50,0	21	4	6	17
Диапазон измерений массовой концентрации гидрокарбонатов, мг/дм <sup>3</sup>	Показатель точности (границы относительной погрешности при вероятности P = 0,95), ±□, %	Показатель повторяемости, S <sub>r</sub> , %	Показатель воспроизводимости, S <sub>r</sub> , %	Показатель правильности (границы относительной систематической погрешности при вероятности P = 0,95), □±с, %
вкл.				
св. 50,0 до 500 вкл.	11	2	4	8

*Выполнение измерений.* В стакан вместимостью 150 см<sup>3</sup> отбирают пипеткой объем анализируемой воды в соответствии с табл. 2. Если требуемая аликвота меньше 100 см<sup>3</sup>, необходимо довести объем пробы до 100 см<sup>3</sup> свободной от СО<sub>2</sub> дистиллированной водой. Стакан с пробой ставят на магнитную мешалку, опуская в раствор перемешивающий элемент и электроды и титруют при перемешивании раствором соляной кислоты 0,05 или 0,02 моль/дм<sup>3</sup> эквивалента из микробюретки до рН 4,5.

Если при повторном титровании разница между параллельными титрованиями не более 0,02 см<sup>3</sup> за результат принимают среднее значение объема раствора соляной кислоты. В

обратном случае повторяют титрование до получения допустимого расхождения результатов.

Таблица 2.3

Рекомендуемые объемы проб воды и концентрации раствора соляной кислоты в зависимости от концентрации гидрокарбонатов

Концентрация гидрокарбонатов, мг/дм <sup>3</sup>	< 50	50 - 200	200 - 400	> 400
Рекомендуемый объем пробы, см <sup>3</sup>	100	100	50	25
Концентрация титранта, моль/дм <sup>3</sup> эквивалента	0,02	0,05	0,05	0,05

Массовую концентрацию гидрокарбонатов в анализируемой пробе воды  $X$ , мг/дм<sup>3</sup>, находят по формуле (2.1):

(2.1)

где  $C_k$  - концентрация раствора соляной кислоты, моль/дм<sup>3</sup> эквивалента;

$V_k$  - объём раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование

(вариант 1) или добавленный в пробу (вариант 2), см<sup>3</sup>;

$C_b$  - концентрация раствора буры, моль/дм<sup>3</sup> эквивалента;

$V_b$  - объём раствора буры, израсходованный на титрование, см<sup>3</sup>;  $V$  - объём анализируемой пробы воды,

взятый для определения, см<sup>3</sup>; 61,02 - молярная масса эквивалента  $\text{HCO}_3$ , г/моль.

#### 2.4. Определение рН, электропроводности и цветности водной среды

Определение рН и электропроводности проводилось на основе РД 52.24.495-2005 «Водородный показатель и удельная электрическая проводимость вод.», определение цветности

проводилось на основе ГОСТ Р52769 - 2007 «Вода. Методы определения цветности».

*Измерение рН.* Электроды промывают дистиллированной водой, фильтровальной бумагой убирают остатки воды, затем опускают в анализируемую пробу, включают электромешалку и через минуту снимают приборные показания. Ещё через минуту повторяют измерения. За величину рН принимают среднее значение из двух параллельных результатов, разность между которыми не должна превышать предела повторяемости  $\tau$  (0,06 ед. рН).

*Измерение электропроводности.* Датчик промывают дистиллированной водой, затем два раза анализируемой пробой воды и проводят измерение удельной электрической проводимости в соответствии с инструкцией по эксплуатации применяемого кондуктометра и ячейки. Для каждой пробы измерения повторяют не менее двух раз.

При соблюдении всех регламентируемых методикой условий проведения измерений характеристики погрешности результата измерения с вероятностью 0,95 не должны превышать значений, приведенных в таблице

2.4.

Таблица 2.4.

Диапазон измерений, значения характеристик погрешности и ее составляющих

Диапазон измерения	Показатель повторяемости, $\sigma_r$	Показатель воспроизводимости, $\sigma_R$	Показатель точности ( $P = 0,95$ ) $\sigma_P$
Водородный показатель, ед. рН:			
от 4 до 10 включ.	0,02	0,05	0,1
Удельная электрическая проводимость $\nu$ , мкСм/см:			

От 5 до 200 включ.	$0,02 \cdot v$	$0,05 \cdot v$	$0,10 \cdot v$
Св. 200 до 10000 включ.	$0,01 \cdot v$	$0,02 \cdot v$	$0,05 \cdot v$

Значения показателя точности методики используют при оформлении результатов измерений, выдаваемых лабораторией.

*Определение цветности.* Цветность воды определяется сравнением с растворами заранее приготовленной шкалы цветности и выражается в градусах цветности этой шкалы.

Растворы хром-кобальтовой шкалы цветности готовят следующим образом: в мерные колбы вместимостью  $100 \text{ см}^3$  вносят Государственный стандартный образец цветности водных растворов объемом, значения которого приведены в таблице 2.5, и доводят до метки раствором серной кислоты.

Та

блица 2.5. В градусах цветности хром-кобальтовой шкалы

Номинальное значение цветности водных растворов	Шкала цветности										
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70
Объем аликвоты ГСО цветности водных растворов, $\text{см}^3$	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14

Растворы шкалы цветности хранят в закрытой емкости в темном месте при температуре от  $2^\circ\text{C}$  до  $8^\circ\text{C}$ . Срок хранения растворов - не более 3 месяцев.

Для установления градуировочной характеристики измеряют оптическую плотность при длине волны  $380 \text{ нм}$  в оптических кюветах толщиной поглощающего слоя 5 или 10 см относительно дистиллированной воды

(холостая проба).

Пробу анализируемой воды фильтруют через мембранный фильтр.

*Выполнение измерений.* Проводят измерение оптической плотности проб анализируемой воды при длине волны 380 нм для хром-кобальтовой шкалы цветности, в тех же кюветах, которые использовали при построении градуировочного графика относительно дистиллированной воды.

Если цветность анализируемой воды составляет более 70 градусов цветности, исходную пробу воды разбавляют дистиллированной водой и регистрируют объем исходной пробы до разбавления  $V_n$  (см<sup>3</sup>) и объем разбавленной пробы воды  $V_p$  (см<sup>3</sup>).

Градусы цветности рассчитывают по

формуле

$$(2.2): y =$$

$$KDF_p(2.2)$$

где  $K$  - коэффициент градуировочной характеристики;

$D$  - значение оптической плотности;

$F_p$  - коэффициент разбавления, если пробу анализируемой воды разбавляли. Если разбавление пробы анализируемой воды не проводилось, то  $F_p$  принимают равным 1.

## **2.5. Определение содержания органических форм углерода**

Общий органический углерод (Total organic carbon, TOC) – количество углерода, входящего в состав органических соединений, часто используется как неспецифический показатель качества воды или ее чистоты.

Общий связанный азот (ТН<sub>б</sub>) характеризует содержание в воде соединений азота, причём входящих как в состав неорганических веществ, так и органических соединений. Характеризует качество воды, почв, свойства растений,

*Принцип анализа.*

Анализируемая проба инжeksiруется в печь прибора, где происходит окисление соединений углерода, находящихся в пробе воды, при температуре 850°C в присутствии кислородсодержащего газа (синтетического воздуха) и Pt-катализатора до диоксида углерода CO<sub>2</sub>. Количество, выделившегося диоксида углерода, определяется с помощью детектора инфракрасного излучения.

В режиме анализа ТС образец инжeksiруется прямо в трубку сжигания.

В режиме анализа ТИС/ТС, сначала в барботёр инжeksiруется кислота (1% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), затем образец, содержащийся в образце ТИС освобождается в виде CO<sub>2</sub> и определяется на ИК-детекторе. Вторая аликвота образца инжeksiруется прямо в трубку сжигания и производится определение ТС.

ТОС вычисляется по разности ТС-ТИС.

Устанавливали градуировочные характеристики, анализируя четыре градуировочных раствора в порядке возрастания массовых концентраций общего и неорганического углерода. Коэффициенты аппроксимации для всех калибровочных зависимостей R<sup>2</sup>=0,99. Метрологические характеристики методики приводятся в таблице 2.6.

Таблица 2.6

## Метрологические характеристики методики определения углерода

Диапазон измеряемой массовой концентрации общего органического углерода, мг/л	Показатель точности $\pm\Delta, \%$
От 1 до 5	28
От 5 до 50	20
От 50 до 250	14
От 250 до 1000	8

### 2.6. Фотометрическое определение общего железа

Определение проведено на основе ПНД Ф 14.1:2:4.50-96 «Методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом».

*Выполнение измерений.* Измерение массовой концентрации общего железа можно проводить, используя способность ионов железа образовывать окрашенные комплексы с различными веществами, такими как сульфосалициловая кислота, орто-фенатролин, 2,2-дипиридил. Объем пробы воды для измерения массовой концентрации железа должен быть не менее 200 см<sup>3</sup>.

Если в обработке пробы нет необходимости, то к отобранному объему (100 см<sup>3</sup> и менее) добавляют 0,5 см<sup>3</sup> концентрированной азотной кислоты и упаривают раствор до 1/3 объема.

Полученный раствор, с концентрацией от 0,1 до 10,0 мг/дм<sup>3</sup>, помещают в мерную колбу на 100 см<sup>3</sup>, добавляют 2 см<sup>3</sup> раствора хлорида аммония, приливают 2,0 см<sup>3</sup> сульфосалициловой кислоты и нейтрализуют раствором аммиака до желтой окраски. Доводят до отметки дистиллированной водой. Тщательно перемешивают и оставляют на 5 мин до полного развития окраски. Оптическую

плотность полученного раствора измеряют при длине волны  $\lambda=425$  нм, в кювете с длиной поглощающего слоя 50 или 10 мм по холостому раствору, проведенного таким же способом содержания железа общего.

Содержание железа рассчитывают по формуле (2.3):

$$(2.3)$$

где  $X$  – содержание железа, мг/дм<sup>3</sup>;  $C$  – концентрация железа, найденная по градуировочному графику, мг/дм<sup>3</sup>; 100 – объем, до которого разбавлена проба, см<sup>3</sup>;  $V$ –объем пробы, см<sup>3</sup>.

## **2.7. Определение концентраций металлов методом атомноабсорбционной спектрометрии**

Определение проводится на основе ПНД Ф 14.1:2:4.134 – 98 «Методика выполнения измерения массовых концентраций металлов (кадмия, меди, свинца, никеля, хрома, кобальта, железа, марганца, цинка, титана, алюминия) в пробах питьевой, природной и сточной воды атомно-абсорбционным (ААС) методом с электротермической атомизацией».

Данная методика выполнения измерений (МВИ) распространяется на питьевые, природные и сточные воды и предназначена для определения массовой концентрации металлов методом атомной абсорбции с электротермической атомизацией в графитовой печи (АА-ЭТ) в следующих диапазонах:

Кадмий	От 0,1 до 10,0	мкг/дм <sup>3</sup>
Медь	От 1,0 до 50,0	мкг/дм <sup>3</sup>
Свинец	От 1,0 до 50,0	мкг/дм <sup>3</sup>
Никель	От 1,0 до 50,0	мкг/дм <sup>3</sup>
Хром	От 1,0 до 50,0	мкг/дм <sup>3</sup>
Кобальт	От 1,0 до 50,0	мкг/дм <sup>3</sup>
Железо	От 10,0 до 100,0	мкг/дм <sup>3</sup>

Марганец	От 1,0 до 50,0	мкг/дм <sup>3</sup>
Цинк	От 1,0 до 50,0	мкг/дм <sup>3</sup>
Алюминий	От 10,0 до 100,0	мкг/дм <sup>3</sup>

Если определяемые концентрации превышают верхний предел, указанный в МВИ, пробу следует разбавить бидистиллированной водой. Для устранения мешающего влияния хлоридов и сульфатов при определении свинца к 100 см<sup>3</sup> пробы и градуировочных растворов добавляют по 10 см<sup>3</sup> раствора нитрата лантана. При концентрации ионов кальция выше 200 мг/дм<sup>3</sup> в анализируемые градуировочные растворы при определении хрома вводят нитрат кальция. Наличие мешающего влияния матрицы анализируемых проб устраняется методом разбавления совместного с методом добавок. Методика выполнения измерений с доверительной вероятностью P=0,95 обеспечивает получение результатов анализа с погрешностью, не превышающей значений, приведенных в таблице 2.7.

Таблица 2.7.

Метрологические характеристики погрешности результатов измерений

Наименование элементов	Диапазон определения концентраций, мкг/дм <sup>3</sup>	Относительная погрешность измерения %, ± δ не более		Норматив (оперативного) контроля воспроизводимости, D
		Питьевая и природная вода	Сточная вода	
Кадмий	От 0,1 до 1,0	36	36	30
	Св. 1,0 до 10	18	18	25
Медь	От 1 до 50	18	18	14
Кобальт	От 1 до 5 Св.	30	50	39
	5 до 50	13	30	17
Никель	От 1 до 5 Св.	26	26	28
	5 до 50	20	20	17
Свинец	От 1 до 5 Св.	31	32	42
	5 до 50	13	17	17
Хром	От 1 до 5	22	28	31
	Св. 5 до 50	18	26	14

Железо	От 10 до 100	25	26	17
Цинк	От 1 до 50	25	32	33
Марганец	От 1 до 50	18	14	17
Алюминий	От 10 до 100	50	22	19

Для анализа использован атомно-абсорбционный спектрофотометр «ContrAA700», определения проведены в режиме электротермической атомизации.

*Выполнение измерений.* Проба воды, свободная от заметных глазом взвешенных частиц, анализируется без предварительной пробоподготовки. Измерение величины атомного поглощения анализируемой пробы осуществляется в соответствии с режимами измерения и анализа. Одновременно проводится измерение величины атомного поглощения холостой пробы.

При электротермической атомизации испарение и атомизация пробы происходит в графитовой трубке (графитовой печи), нагреваемой электрическим током до температур 1500 – 3000 °С (в зависимости от свойств определяемого элемента). По полученным величинам атомного поглощения проб анализируемой воды и холостых проб определяют значение атомного поглощения соответствующего элемента, на основании значения которого по градуировочному графику определяют значение массовой концентрации определяемого элемента в пробе воды  $X$ , мкг/дм<sup>3</sup>.

### 3. Глава изъята автором



## Список использованной литературы<sup>1</sup>

1. В. А. Бешенцев, Ю. К. Иванов, О. Г. Бешенцева . Экология подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа/ Ин-т геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН. - Екатеринбург, 2005. - 165 с.
2. Бакулин В.В., Козин В.В. География Тюменской области/Учебное пособие.- Сред.-Урал. кн. из-во , 1996.- 240 с.
3. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа/ гл. ред. С. И. Ларин. – Омск: Омская картографическая фабрика, 2004. - 303 с.
4. Кукушкин, С. Ю. Индикаторы антропогенной нагрузки на природно-территориальные комплексы при освоении нефтегазоконденсатных месторождений севера Западной Сибири: дис. ...к-да геогр.наук: 25.00.36. – СПб., 2016. – 200 с.
5. Солнцева, Н. П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов / Н. П. Солнцева. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 С.
6. Агбалян Е. В. Оценка устойчивости озерных экосистем Ямало-Ненецкого автономного округа к кислотным выпадениям / Е. В. Агбалян, В. Ю. Хорошавин, Е. В. Шинкарук// Вестник ТюмГУ. Экология и природопользование. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 45-54.
7. Кремлева, Т. А. Геохимические факторы устойчивости водных систем к антропогенным нагрузкам: автореф. дис. ... д-ра. хим. наук: 25.00.09. – М., 2015. – 42 с.
8. Валеева, Э. И. Роль водно-болотных угодий в устойчивом развитии севера Западной Сибири / Э. И. Валеева, Д. В. Московченко. – Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2001. – 229 с.

9. Сорокина, Н. В. Антропогенные изменения северо-таежных экосистем Западной Сибири (на примере Надымского района): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. – Тюмень: СибНИИНП, 2003. – 33 с.

10. Моисеенко, Т. И. Влияние природных и антропогенных факторов на процессы закисления вод в гумидных регионах / Т. И. Моисеенко, Н. А.

Гашкина, М. И. Дину, В. Ю. Хорошавин, Т. А. Кремлева // Геохимия. – М.: ФГУП Наука. – 2017. – №1. – С. 43-58.

11. Васильев, А. А. Экологические технологии нефтедобывающих компаний Западной Сибири / А. А. Васильев, Н. И Матвеев, В. Б. Лукиных // ЭКиП: Экология и промышленность России, 2004. – №5. – С. 16-17.

12. Голдовская, Л.Ф. Химия окружающей среды / Л.Ф. Голдовская. – М.: Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 295 с.

13. Хаджиев, С. Н. Микроэлементы в нефтях и продуктах их переработки / С. Н. Хаджиев, М. Я. Шпирт. – М.: Наука, 2012. – 222 с.

14. Ripo, M. E. Release of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> from small wetlands lakes in Western Siberia / M. E. Ripo, J. T. Huttunen, A.V. Naumov // Tellus, 2007. – Vol. 59 B. – P. 788-796.

15. Официальный сайт Ямало-Ненецкого автономного округа

[Электронный ресурс]– Режим доступа:

[http://pravitelstvo.yanao.ru/economics/agro\\_industrial\\_complex/](http://pravitelstvo.yanao.ru/economics/agro_industrial_complex/).

16. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим./ Под ред. К.Е. Иванов - Ленинград: Гидрометеиздат, 1976. - 447 с.

17. Земцов А.А. Геоморфология Западно-Сибирской равнины. (Северная и центральная части). Томск: Изд-во ТГУ, 1976.-344 с

18. Тагунова Л. Н. Этапы зарастания спущенных озер (хасыреев) в связи с мерзлотно- геологическими условиями. – Ускоренные методы инженерно – геокрил. изучения нефтегазоносных районов Западной Сибири на основе ландшафтной индикации. Тр. Всесоюз. НИИ гидрогеологии и инж. геологии, вып. 62, М.: 1973, с. 114- 123.

19. Иванов К.Е. Эрозионные явления на болотах и их роль в формировании озерно- болотных ландшафтов Западной Сибири. – Тр. ГГИ, Л.: 1969, вып. 157, с. 78-97.
20. Западная Сибирь / Под ред. Г. Д. Рихтера. – Москва; Изд-во Академия наук СССР, 1963. – 492 с.
21. Богословский Б. Б. Озероведение./-Москва: Изд-во МГУ,1960.- 336 с.
22. Гашкина, Н. А. Пространственно-временная изменчивость химического состава вод малых озер в современных условиях изменения окружающей среды: дис. ... д-ра. геогр. наук: 25.00.27. – М., 2014. – 207 с.
23. Моисеенко, Т. И. Методы исследования химического состава вод малых озер с целью выявления региональных особенностей его формирования / Т. И. Моисеенко, Л. П. Паничева, С. И. Ларин, О. А. Пологрудова, Л. А. Волкова // Вестник ТюмГУ. – 2010. – № 7. – С. 175-190.
24. Е.В. Веницианов, Ж.Н. Кудряшова//Водные ресурсы. 1980. №2. С80-91.
25. Т.И. Моисеенко, И.В. Родюшкин. Формирование качества поверхностных вод и донных отложений в условиях антропогенных нагрузок на водосборы с арктического бассейна. Апатиты: Изд. Кольск. науч. центр, 1996. 345с.
26. Моисеенко Т.И. Закисление вод: Факторы, механизмы и экологические последствия. М.: Наука, 2006. 261 с.; Моисеенко Т.И. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. М.: Наука, 2006. 261 с.
27. Гагарина, О. В. Оценка и нормирование качества природных вод:

критерии, методы, существующие проблемы: Учебно-методическое пособие / О. В. Гагарина. – Ижевск: Удмуртский университет, 2012. – 199 с.

28. ГОСТ 27065-86 (СТ СЭВ 5184-85) Качество вод. Термины и определения; введ. 1987-01-01; переизд. ноябрь, 2003. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 11 с.

29. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям от 03.12.2002. – Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2002. – 24 с.

30. Моисеенко, Т. Качество сибирских вод / Т. Моисеенко, А. Шалабодов, С. Гашев // Наука в России. – 2012. – № 4. – С. 13-20.

31. Никаноров, А. М. Научные основы мониторинга качества вод / А. М. Никаноров. – СПб: Гидрометеоиздат, 2005. – 575 с.

32. Молчанова Я. П. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы / Я.П. Молчанова, Е. А. Заика, В. Н. Виниченко // под ред. Т.В. Гусевой. – М.: Форум-Инфра-М, 2011. – 190 с.

33. Хохлова Л. Г. Гидрохимическая изученность поверхностных вод Большеземельской тундры. Возобновляемые ресурсы водоёмов Большеземельской тундры. Сыктывкар, КНЦ УрО РАН, с.5-14, 2002.

34. Ниценко А. А. Природа болот и методы их исследования/ Ниценко А. А. М: Наука, 1967. – 299с.

35. Черняев, А. М. Мир болот: учебное пособие / под ред. проф. доктора технологических наук А. М. Черняева. – Екб.: Банк культурной информации, 2001. – 176 с.

36. Костомаров, В. М. Историко-культурные изыскания по земельным участкам, предоставляемым под объект: «Радиобашня отдельно стоящая»: ОТЧЕТ о НИР / В. М. Костомаров. – Тюмень, 2015. – 57 с.
37. Научный центр изучения Арктики [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://www.arctic89.ru/>.
38. Ямало-Ненецкий автономный округ. Администрация муниципального образования. Надымский район. [Электронный ресурс] / Администрация муниципального образования. Надымский район. Природа. – Режим доступа: <http://nadymregion.ru/nadym-raion/nature/>.
39. Загрязнение тяжелыми металлами: содержание и предельнодопустимые концентрации в воде [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.net-bolezniam.ru/publ/1-1-0-12>.
40. Пурмаль А.П. Антропогенная токсикация планеты. Часть 1. Московский физико-технический университет. Долгопрудный Московской обл. – 1998г. – с.44-45.
41. Комов В. Причины и последствия антропогенного закисления озёр. Курс лекций. Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Учебно-научный центр.
42. Папина Т.С. Эколого-аналитическое исследование распределения тяжелых металлов в водных экосистемах Бассейна р. Обь. Дис. д-ра хим. наук. – М.: РГБ, 2005. 257 с.
43. Исидоров В.А. Введение в химическую экологию токсикологию. Учебное пособие. Санкт-Петербург. Химиздат – 1999г. – с.84-85.
44. Справочник по применению средних региональных значений содержания контролируемых компонентов на мониторинговых полигонах при

оценке состояния и уровня загрязнения окружающей среды на территории ЯНАО, Братск, 2014.

45. Ермилов О.М. Воздействие объектов газовой промышленности на северные экосистемы и экологическая стабильность геотехнических комплексов в криолитозоне/ О.М. Ермилов, Г.И. Грива, В.И. Москвин. – Новосибирск: Изд-во РАН, 2002. – 148 с.

46. Моисеенко Т.И. Закисление вод: факторы, механизмы и экологические последствия. – М.: Наука, 2003. – 278 с.

47. Моисеенко Т.И., Калабин Г.В., Хорошавин В.Ю. Закисление водосборов арктических регионов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2012. – № 2. – С. 49–58.

48. Сорокина Н.В. Антропогенные изменения северо-таёжных экосистем Западной Сибири (на примере Надымского района): автореферат дис... канд. биол. наук. – Тюмень, 2003. – 25с.

49. Хорошавин В.Ю., Ефименко М.Г. Исследование естественных процессов формирования химического состава поверхностных вод с целью оценки критических антропогенных нагрузок и устойчивости водных экосистем таёжной зоны Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. – 2014. – № 12. – С. 33–34.

50. Ludzack F. I., Ingram W. M., Ettinger M. B. Characteristics of a stream 367. composed of oil refinery and activated sludge effluents // Sewage Industr. Wastes. 1957. № 29. P. 1177–1189.

51. Shiklomanov I.A., Skakalsky B.G. Studying water, sediment and contaminant runoff of Siberian River //Proceedings of the Workshop on Arctic Contamination, Intagency Arctic Research Policy Committee, May 2-7 1993,

Anchorage, Alaska. Arctic Research of the United States. – 1994. – Vol.8. – P.295306.

52. Rahn K. A. and McCalTrey R. J. (1980) On the organic and transport of the winter Arctic aerosol.

53. Rovinsky, F., Pastuchov, B., Bouyvolov, Y., Burtseva, L. (1995). Present-day state of background pollution of the natural environment in the Russian Arctic in the region of the Ust-Lena Reserve. ScienceTotalEnvironmen, 160/161. Pp. 193-199.

54. Zhulidov, A. V., Headley, J. V., Robarts R. D., Nikanorov, A. M., Ischenko, A. A., Champ, M. A. (1997). Concentrations of Cd, Pb, Zn and Cu in pristine wealands of the Russian Arctic. MarinePollutionBulletin, 35. Pp. 242-251.

55. Батоян В.В. К исследованию самоочищения поверхностных вод от за21. грязнения нефтью // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука, 1981. С. 128–133.

56. Бабушкин А. Г. Гидрохимический мониторинг поверхностных вод Ханты-15. Мансийского автономного округа–Югры / А. Г. Бабушкин, Д. В. Московченко, С. В. Пикунов. Новосибирск: Наука, 2007. 152 с.

57. Алекин О.А. Основы гидрохимии Л.: Гидрометеиздат, 1970. С. 17-28.

58. Васильев В.П. Аналитическая химия: В 2кн.: кН.1 – 4-е изд., стереотип. – М.: Дрофа,2004. – 368с.

59. Васильев В.П. Аналитическая химия: В 2кн.: кн.2 – 4-е изд., стереотип. – М.: Дрофа,2004. – 384с.

60. Вершинин В.И. Аналитическая химия – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 448 с.

61. Катанаева В.Г., Ларина Н.С., Ермакова Н.А. Аналитическая химия. Методические указания к лабораторным работам по молекулярной спектроскопии для студентов химического факультета. Тюмень. Тюменский Государственный университет, 2004г. - 3 - 42 с.

62. Катанаева В.Г., Ларина Н.С., Ермакова Н.А. Аналитическая химия. Методические указания к лабораторным работам по атомной спектроскопии для студентов химического факультета. Тюмень. Тюменский Государственный университет, 2004г. - 62-65 с.

