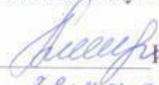


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ НАУК О ЗЕМЛЕ  
Кафедра социально-экономической географии и природопользования

РЕКОМЕНДОВАНО К ЗАЩИТЕ  
В ГЭК И ПРОВЕРЕНО НА ОБЪЕМ  
ЗАИМСТВОВАНИЯ

И.о. заведующей кафедрой

 к.г.н., доцент  
И.Д. Ахмедова  
28.04.2018 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(магистерская диссертация)

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ОЗЕРНЫХ СИСТЕМ  
КРИОЛИТОЗОНЫ ПРИ ТЕХНОГЕННЫХ НАРУШЕНИЯХ В НАДЫМСКОМ  
РАЙОНЕ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

05.04.06 Экология и природопользование

Магистерская программа «Геоэкология нефтегазодобывающих регионов»

Выполнила работу  
студентка 2 курса  
очной формы обучения



Иванок  
Таисия  
Васильевна

Научный руководитель  
к.г.н., доцент



Ивачёв  
Игорь  
Владимирович

Научный консультант  
к.г.-м.н., ст.н.с., ТюмНЦ СО РАН



Устинова  
Елена  
Валерьевна

Рецензент  
Старший научный сотрудник  
ИКЗ ТюмНЦ СО РАН,  
к.г.-м.н.



Опокина  
Ольга  
Леонидовна

## АННОТАЦИЯ

Одна из наиболее актуальных экологических проблем нефтегазодобывающих регионов- загрязнение окружающей природной среды. Природные воды- чрезвычайно важный компонент ландшафтных комплексов. Антропогенное и техническое загрязнение приводит к нарушению природной сбалансированности, изменению состава и природных химических циклов поверхностных вод. Индикаторная роль данных о химическом составе природных вод, основанная на зависимости от техногенного воздействия и содержания ряда веществ-загрязнителей, делает природные воды важнейшим элементом комплексных программ экологического и социального направления.

Вода является также важнейшим ресурсным фактором, имеющим огромное значение в развитии производительных сил общества. Использование воды, как для бытовых нужд населения, так и в производственных циклах делает водные ресурсы определяющим компонентом устойчивого развития. При этом вода должна соответствовать принятым стандартам качества, и ее химический состав в значительной степени свидетельствует о ее потенциальной пригодности к использованию. В целях определения пригодности воды для какого-либо вида водопотребления и водопользования в данной работе была произведена оценка качества вод озер, типичных для данного региона. Рассчитан индекс загрязнения вещества, позволяющий отнести воды озер к определенному классу качества вод. Рассмотрены факторы формирования химического состава вод и выделены элементы не удовлетворяющие экологическим нормам.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА.....	6
1.1 Физико-географическая характеристика района .....	6
1.2 Характеристика озер Ямало-Ненецкого автономного округа.....	8
1.3 Факторы формирования химического состава поверхностных вод округа.....	11
Выводы к главе: .....	15
ГЛАВА 2 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОД .....	16
2.1 Характеристика оценки качества и степени загрязненности воды.....	16
2.2 Полевые методы исследования .....	20
2.3 Лабораторные методы исследования.....	25
Выводы к главе: .....	42
ГЛАВА 3 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ОЗЕР НАДЫМСКОГО РАЙОНА .....	43
3.1 Обоснование выбора объектов исследования.....	43
3.2 Анализ качества вод озер Надымского района.....	44
Вывод к главе: .....	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	61
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....	62
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	66
ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	67
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	68
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	71
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	72

## СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- АЭС - Атомно-эмиссионный анализ
- ВКР - выпускная квалификационная работа
- ГОСТ - государственный общероссийский стандарт
- ИЗВ - индекс загрязнения воды
- МВИ - методика выполнений измерений
- ПДК - предельно допустимая концентрация
- ПНД Ф - природоохранные нормативные документы федеративные
- ПО - предел обнаружения
- РД - руководящий документ
- РФ - Российская Федерация
- ТМ – тяжелые металлы
- ЭМА - электрохимический метод анализа
- ЯНАО - Ямало-Ненецкий автономный округ
- ICP-MS –Inductively coupled plasma mass-spectrometry (масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой)

## ВВЕДЕНИЕ

Озера являются удобными объектами для изучения закономерностей геологической истории и формирования современного облика земной поверхности, особенностей естественного и техногенного гео- и гидрохимического фона территорий. Наиболее информативными для выявления как региональных, так и глобальных изменений окружающей среды являются малые озера. Химический состав вод малых озер при отсутствии локального загрязнения более детально отражает зональную и региональную специфику условий его формирования [23].

**Актуальность:** В последнее время, в связи с возросшим промышленным освоением Надымского района становится актуальным вопрос исследования чувствительности природных компонентов на техногенную нагрузку. Исследование экологического состояния водных экосистем необходимо для своевременного выявления высоких уровней загрязнения, оценки и прогнозирования развития ситуации в дальнейшем. Озера являются чувствительным индикатором интенсивности техногенной нагрузки.

**Цель:** провести экологическую оценку качества вод озер в Надымском районе Ямало-Ненецкого АО.

**Задачи:**

1. Изучить гидрохимическую характеристику озер ЯНАО;
2. Рассмотреть методику оценки качества вод;
3. Выполнить оценку качества вод исследуемых озер.

**Объектом исследования** являются озера Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа.

**Предметом исследования** выступает качество вод озер Надымского района ЯНАО.

**Методика исследования:** в работе использовались такие универсальные методы исследования, как анализ, синтез, классификация, обобщение, сравнение, наблюдение, измерение, картографический и математический методы.

**Практическая значимость:** результаты работы могут быть применены для определения возможности использования водных ресурсов озер Надымского района в производстве и потреблении.

Научная новизна:

Впервые для данных озер Надымского района, изучен широкий комплекс химических элементов в сопряженных компонентах окружающей среды, дано сравнение с фоновыми значениями.

Положения, выносимые на защиту:

1. Воды озер Надымского района не соответствуют экологическим нормам по следующим компонентам: железо, медь, никель, растворенный кислород (для термокарстовых озер).

2. Привнос элементов меди и никеля осуществляется из атмосферы, путем выпадения атмосферных осадков.

3. Город Надым оказывает негативное воздействие на формирование химического состава воды.

Структура работы: данная работа состоит из введения, 3 глав, заключения, списка литературы, 5 приложений.

# ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

## 1.1 Физико-географическая характеристика района

### Географическое положение

Город Надым расположен в северной части Западно-Сибирской равнины, в лесотундровой равнинной широтно-зональной области, в Северо-Надым-Пуровской провинции.

Лесотундровая зона протягивается вдоль Полярного круга полосой от 50 до 150 км в поперечнике.

Поверхность этой подзоны пологоволнистая и пологоувалистая, в различной степени залесена. Редкостойные леса, представленные, в основном, лиственницей и многоствольной березой, занимают около 60% территории подзоны. В подлеске преобладают кустарники (ольховник, карликовая береза, полярная ива). Безлесны лишь центральные части междуречий, занятые плоскими и заболоченными тундровыми ландшафтами [9].

Город Надым полностью расположен в пределах тундрового ландшафта. Поверхность кочковатая, заболоченная, имеющая слабый уклон в западном направлении. Растительные сообщества представлены различными мхами, лишайниками, злаковыми и кустарничком, в основном, багульником [9].

### Климатические особенности

Для территории г. Надыма характерен континентальный климат с суровой продолжительной зимой и коротким умеренно теплым летом. Среднегодовая температура воздуха минус 4,9 °С (здесь и далее значения климатических характеристик приняты по метеостанции «Надым»). Формирование климата этого района происходит под влиянием западной циркуляции воздушных масс, влияния Северного ледовитого океана и континента. Здесь наблюдается быстрая смена циклонов и антициклонов, что способствует большой изменчивости погоды. В любой сезон года возможны резкие колебания температуры воздуха не только от месяца к месяцу, но и от суток к суткам и даже в течение суток [20].

### Гидрогеологические условия

На гидрогеологические условия исследуемой территории оказывают влияние наличие речной системы долин реки Надым, большое количество мелких ручьев и множество озер различных по площади, нередко располагающихся группами.

Подземные воды на исследуемом участке, благодаря избыточному атмосферному увлажнению, получили широкое распространение. Их пространственная изменчивость определяется локальными геологическими условиями [6].

Питание осуществляется за счет атмосферных осадков, поверхностных вод, а также за счет таяния льда в грунтах сезонно-талого слоя.

Характерной особенностью исследуемого района является практически сплошное распространение многолетнемерзлых пород, которые служат региональным водоупором для первого от поверхности водоносного горизонта. В зависимости от глубины залегания кровли мерзлых грунтов выделяются следующие типы подземных вод: надмерзлотные воды слоя сезонного оттаивания и надмерзлотные воды несквозных таликов радиационно-теплого и гидрогенного типов [6].

#### Геологическое строение

Вдоль долины реки Надым одновременно с морской аккумуляцией шло формирование III озерно-аллювиальной равнины. Особенностью равнины является аккумулятивно-цокольное строение. Цоколем служат среднеплейстоценовые салехардские морские отложения ( $pmQ_{II}^{2-4}$ ), на которых формируются верхнеплейстоценовые озерно-аллювиальные отложения зырянской свиты [33].

Эти отложения представлены песками, содержащими включения гравия, гальки, а также прослой и линзы супесей и суглинков. Мощность отложений составляет 10 - 15 м. Аллювиальные отложения поймы Надыма представлены песками с прослоями суглинков и супесей на месте стариц. Мощность отложений от первых метров до 15 - 18 м. Озерные отложения залегают с поверхности или подстилают биогенные отложения и приурочены к тыловым частям пойм крупных рек и участкам тектонических опусканий. Мощность озерных отложений, сложенных песчано-глинистыми породами, составляет 2-8 м [33].

Аллювиальные отложения ( $aQ_{III}^3$ ,  $aQ_{III}^4$ ,  $aQ_{IV}$ ) залегают повсеместно с поверхности в пределах долин р.Надым и ее притоков. Они соответственно слагают вторую и первую надпойменные террасы и пойму.

Литологический состав аллювиальных отложений однороден, представлен преимущественно песками с редкими прослоями глин и суглинков. Пески мелко-, средне-, реже крупнозернистые, хорошо отсортированные, горизонтально - и косослоистые кварцевого и полевошпатного состава. Мощность их в пределах террас изменяется от 10 до 20 м [33].

Небольшими фрагментами с поверхности развиты озерные отложения. Они представлены переслаиванием глинистых тонкозернистых песков и супесей с волнистой слоистостью. Мощность около 10 м. Озерные (старичные) отложения представлены

супесями и органическими илами горизонтально-волнистой слоистости. Мощность их около 10 м.

Болотные отложения ( $bQ_{IV}$ ) имеют широкое развитие в пределах поймы, первой и второй надпойменных террас, они заполняют пониженные участки. Эти отложения представлены торфом слабо разложившимся темно-коричневого цвета. Мощность их изменяется от 0,5 до 6 м.

В центральной части озерно-аллювиальной равнины также широко распространены современные биогенные отложения, представленные торфом мощностью до 5 м [33].

#### Геокриологические условия

По карте распространения многолетнемерзлых пород масштаба 1:4000000 (атлас Тюменской области, вып. II; 1976г.) территория г. Надым относится к подзоне преимущественно высокотемпературных мерзлых пород массивно-островного распространения, характеризующийся наличием как талых, так и многолетнемерзлых пород [28].

Талые грунты (сквозные талики) развиты в центральной части г. Надыма, где составляют около 60-65% всей площади. Они приурочены к хорошо дренируемым песчаным грунтам I надпойменной и пойменным террасам реки Надым. Температура на подошве слоя годовых колебаний изменяется в пределах от +4 до 0 С. Глубина распространения годовых колебаний температур 3,23-19,4 метра. Среднегодовая температура грунта от плюс 0,1 до плюс 3,2 С.

По мере удаления от центральной части города к окраинам, талые грунты сменяются переходной зоной, характеризующейся островным развитием многолетнемерзлых грунтов и наличием многочисленных перелетков. Данная зона узкой полосой, расширяясь на север, опоясывает центр города со всех сторон. Здесь наблюдаются как сквозные талики с приуроченными к ним многочисленными водоемами старичного происхождения, так и несквозные талики - термокарстовыми озерами и мачажинно-озерковыми болотными комплексами без постоянного водостока [28].

### 1.2 Характеристика озер Ямало-Ненецкого автономного округа

Озера являются неотъемлемой частью ландшафтов Ямало-Ненецкого автономного округа. Озера весьма разнообразны по размерам, форме и генезису. Особенно много их в центральной части полуострова Ямал, бассейне Пура, в долинах рек. Большинство озер мелкие, глубиной не более 1,0-1,5 м [15].

Озера левобережья Оби разделяются на горные и равнинные. Озера горной части представлены, в основном, небольшими водоемами с площадью зеркала от нескольких

Более крупные озера расположены в самой северной части территории. Несмотря на небольшие площади, многие горные озера имеют значительную глубину и запасы пресной воды [15].

Годовой ход уровней многих озер имеет значительные колебания, которые могут достигать 2,0— 2,5 м. Вода в озерах пресная, с очень низким содержанием солей (8-70 мг/л), очень прозрачная, с зеленоватым оттенком.

Наиболее крупными озерами горной части является Большое Щучье (площадь 11,7 км<sup>2</sup>, наибольшая глубина 136 м), Малое Щучье (4 км<sup>2</sup>, глубина 33 м), Большое Хадата-Юган- Лор (26 км<sup>2</sup>, глубина 10-15 м), Малое Хадата-Юган-Лор (1,83 км<sup>2</sup>, глубина 4 м), Манси (0,21 км<sup>2</sup>, глубина до 38 м) и др. Самым большим, глубоким и красивым является оз. Большое Щучье, расположенное на высоте 189,5 м. Оно занимает впадину, образованную тектоническим разломом. Озеро имеет удлиненную форму. Длина его 12,7 км, ширина 1,35 км. Берега высокие, обрывистые, слабо изрезаны и практически не имеют полуостровов и заливов. Озеро питается водой двенадцати ручьев. Прозрачность воды достигает 8 м [15].

Равнинные озера левобережья и правобережья Оби по происхождению являются ледниковыми, термокарстовыми, пойменными, прибрежно-лагунными. Большая часть равнинных озер представляет собой небольшие водоемы с площадью зеркала 1—5 км<sup>2</sup>. Лишь в поймах рек встречаются озера-соры площадью несколько десятков квадратных километров. Вода в озерах пресная, обычно темного цвета, с большим содержанием гумуса. В озерах хорошо развита донная и прибрежная растительность. К крупнейшим равнинным озерам относятся Шурышкарский сор (площадь 220 км<sup>2</sup>), Питлярский сор (100 км<sup>2</sup>), оз. Воргато (55 км<sup>2</sup>), Войкарский сор. Соры являются прекрасным местом нагула рыб (сырок, муксун) [15].

Озера Пур-Тазовского района распространены повсеместно, но особенно высокая их концентрация отмечается в бассейне Пура и на Пур- Тазовском междуречье. Наиболее значительными являются озера Кожерель-Ту (Чертово озеро), Ча- сельское, Сенмута, Пякуто, Нумто. В бассейне Пура имеется 86230 озер. Они составляет 9% площади водосбора Пура. В основном озера относятся к внутриболотному типу. Они имеют небольшие размеры и малые глубины. Преобладают озера округлой формы диаметром 100—600 м. Берега торфяные, обрывистые, высотой 0,4-0,6 м. Дно ровное, в большинстве случаев торфяное. Озера, как правило, не заросшие. В среднем, глубина озер лежит в пределах 1,5 м, максимальная может достигать 3 м [15].

Ямало-Гыданский район изобилует озерами, которых насчитывается более 60 тысяч. Преобладают мелководные и небольшие по размерам водоемы, площадь их водного зеркала не превышает 1 км<sup>2</sup>. Крупных озер с площадью зеркала более 100 км<sup>2</sup> немного. Больше всего озер на Ямале, где условия дренажа менее благоприятны по сравнению с Гыданским полуостровом. Известный географ Б. М. Житков, путешествуя по Ямалу в 1908 году, писал: «...озера так многочисленны, что, стоя на какой-нибудь возвышенности, видишь едва ли не больше воды, чем земли». В средней части Ямала расположены озера группы Нейто: Нейто (Западное, Центральное, Восточное), Ямбуто (в бассейне реки Сёяха), Ямбуто (в бассейне р. Мордыяха), Ясавейто, Пеунто, Яунето и др. На юге Ямала находится скопление озер: Юдэто, Ярото 1-е, Ярото 2-е, Тэтанто и др. На Гыданском полуострове озер меньше. Однако встречаются крупные озера, особенно на северо-востоке в бассейне р. Гыда: Ямбуто (Гыданское), Паримтобето, Хосейнто, Яррото (Гыданское) и др. Вдоль берега Карского моря и его губ развиты лагунные озера [15].

Гидрохимический состав термокарстовых озерных вод Надымского района в целом изучен недостаточно [Орехов, 2010; Манасыпов и др., 2012; Е.В. Агбалян, Е.В. Шинкарук, 2015; Агбалян и др., 2015]. В приведенных работах содержатся материалы по десяти озерам северной тайги региона. Наиболее полное обследование (22 малых озера в северотаежной подзоне Ямало-Ненецкого АО) было выполнено в рамках реализации НИР № 11.G34.31.0036 «Качество вод в условиях антропогенных нагрузок и изменения климата в регионах Западной Сибири», результаты которой изложены в ряде публикаций [Кремлева и др., 2012; Гашкина и др., 2012; Паничева и др., 2015 и др.]. Компиляция физико-химических характеристик озерных вод приведена в таблице 1.1 [34].

Таблица 1.1- Физико-химические характеристики озер северной тайги ЯНАО.

Авторы	n	pH, ед. pH	Удельная электропроводность, мкСм/см
Орехов, 2010	4	4,45-6,40	до 10
Манасыпов и др., 2012	4	4,43 - 5,05	7,30-12,20
Кремлева и др., 2012	22	4,94 - 6,90	6,7-59,8
Агбалян, Шинкарук, 2015	2	4,9-5,7	13,4-16,5

Источник: Соромотин А.В. Морфометрические...2017

В статье «Гидрохимические показатели природных вод малых озер бассейна реки Надым» [3] Агбалян Е.В., Шинкарук Е.В. изучают химический состав поверхностных вод малых озер в зоне северной тайги Западно-Сибирской равнины. Делают следующий вывод: химический состав поверхностных вод исследуемых озер формируется под

воздействием, как природных факторов, так и источников техногенного воздействия. Вода исследованных водных объектов относится к 3 классу качества - «умеренно загрязненная». Экологическое состояние обследованных озер характеризовалось превышением фоновых уровней по следующим показателям: окисляемость, ион-аммония, цинк, медь - и низкими значениями водородного показателя. Буферная емкость обследованных озер низкая, и риск закисления вод повышен, что свидетельствует о невысоком потенциале поверхностных вод к нейтрализации кислотных выпадений, которые связаны не только с локальным и, прежде всего, с глобальным атмосферным переносом загрязняющих веществ.

В справочнике[36], разработанном по заданию Департамента природно-ресурсного регулирования, лесных отношений и развития нефтегазового комплекса Ямало-Ненецкого автономного округа в рамках выполнения в 2014 г. научно-исследовательских работ по теме: «Осуществление экологического мониторинга Ямало-Ненецкого автономного округа» приведены средние региональные значения содержания контролируемых компонентов в поверхностных водах при оценке состояния и уровня загрязнения окружающей среды на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (прил. А).

### 1.3 Факторы формирования химического состава поверхностных вод округа

Химический состав вод формируется под действием физико-химических и биохимических процессов, приводящих к равновесию между водой, породами, газами и живым веществом. Особенности гидрохимического режима в северных районах Западной Сибири определяются комплексом физико-географических факторов, характеризующих этот регион. Факторы, влияющие на формирование химического состава поверхностных вод, можно условно поделить на следующие группы [8].

1. Физико-географические (рельеф, климат, особенности гидрографической сети и гидрологического режима, почв и ландшафтов дренируемой территории).
2. Геологические (литолого-минералогический состав пород, геологическая структура, геоморфология).
3. Физико-химические (химические свойства элементов, кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия, растворимость солей, катионный обмен и др.).
4. Биологические (влияние живых организмов на протекание химических процессов).
5. Антропогенные и техногенные (влияние человека и его производственной деятельности).

## Природные факторы

Основные особенности формирования поверхностного стока и режима водных объектов определяются климатическими условиями, в частности соотношением тепла и влаги [7]. По данным многолетних наблюдений, воды крупных рек таежной зоны Западной Сибири относятся к гидрокарбонатному типу с малой минерализацией. Преобладание среди анионов  $\text{HCO}_3^-$  обусловлено поступлением в воды и растворением в них продукта минерализации растительных остатков-  $\text{CO}_2^-$ . То же касается основного катиона вод  $\text{Ca}^{2+}$ . Малая минерализация является следствием преобладания атмосферного питания и высокой заболоченности водосборных бассейнов [7].

Для рек со значительным преобладанием снегового питания характерны пониженная минерализация и крайне малая жесткость. Средняя минерализация атмосферных осадков Уральского региона составляет в фоновых условиях 23,7 мг/л, в районах промышленного влияния она возрастает за счет техногенных выпадений до 56,2 мг/л [Черняева и др., 1978]. Для Тюменской области показатели минерализации талых снеговых вод меняются в незначительных пределах — от 20 до 30 мг/л [Дорожукова, 2004]. Учитывая, что снеговое питание преобладает, малая минерализация речных вод Югры в значительной степени обусловлена низкой минерализацией талых снеговых вод [7].

Талые снеговые воды имеют слабокислую и кислую реакцию, в окрестностях населенных пунктов увеличение атмосферных выпадений вызывает сдвиг реакции до нейтральной и слабощелочной [7].

Для химического состава талых снеговых вод территории таежной зоны Западной Сибири характерно преобладание гидрокарбонат-иона среди анионов и кальция в составе катионов. В условиях антропогенного воздействия макрокомпонентный состав атмосферных осадков претерпевает изменения. Основным загрязнителем является сульфат-ион, что характерно для районов, подверженных переносу серосодержащих веществ. Особенно велико содержание сульфат-иона в районе влияния крупных населенных пунктов. Антропогенное воздействие на состав снеговых вод проявляется в значительном увеличении минерализации, средние величины которой составляют 36-64 мг/л. Соотношения между основными ионами свидетельствуют об отсутствии крупных промышленных источников загрязнения. Для населенных пунктов района также характерно значительное увеличение содержания биогенных веществ в снеге, в первую очередь соединений азота. Средняя концентрация ионов аммония составляет 0,22—1,15 мг/л, что многократно превышает фоновый уровень. В районе эксплуатируемых

месторождений и крупных населенных пунктов также увеличивается содержание тяжелых металлов в снеге [7].

Несмотря на доминирование атмосферных источников формирования поверхностного стока, состав речных вод значительно отличается от состава атмосферных осадков, поскольку на него оказывает сильное влияние ряд других факторов.

Один из основоположников отечественной гидрохимии О.А. Алекин, сопоставив средний состав атмосферных осадков со средним составом речных вод, пришел к выводу, что минеральные соли, выносимые осадками в речной сток, в среднем для европейской территории России составляют 32 % от солевого содержания. Остальная часть ионного стока формируется в почвенно-грунтовой толще. Для Западной Сибири подобные подсчеты проведены С.Л. Шварцевым и др. Согласно полученным результатам, доля биогенной составляющей в формировании химического состава подземных вод Западной Сибири — около 60%, доля атмосферной — 14%. Таким образом, важнейшим фактором формирования химического состава поверхностных вод является характер почв, растительности и покровных отложений[7].

Атмосферные воды, пройдя через верхний почвенный слой, обогащаются азотом. Общее содержание азота в лизиметрических водах водораздельно-таежной геосистемы Обь-Иртышья составляет 0,7—3,1 (в среднем 1,6) мг/л [Нечаева, 1994]. Приведенные данные свидетельствуют о повышенной биогенности вод равнинно-таежного ландшафта Западной Сибири[7].

В целом за счет роли живого вещества в воду поступает более половины всего объема элементов, что свидетельствует о важнейшей роли ландшафтных условий в процессе формирования вод. Ведущим фактором, определяющим химические свойства ландшафтов, при этом выступает растительность. Растительные остатки, разлагаясь в почвах, поставляют в воду углекислый газ (в почвенном воздухе его в десятки раз больше, чем в атмосферном), который, растворяясь, дает анион  $\text{НСО}_3^-$ . Преобладание в водах  $\text{Ca}^{2+}$  объясняется тем, что при разложении растительных остатков он в наибольшем количестве поступает в воды [7].

Таким образом, справедлив вывод о том, что большая часть вещества, растворенного в речных водах, предварительно прошла через круговорот в системе растительность — почва[16]. Поэтому целесообразно кратко рассмотреть ландшафтные условия, в значительной степени определяющие химические свойства природных вод, и описать типичные для ландшафтов Югры процессы миграции, аккумуляции и трансформации химических элементов и соединений[7].

Характерные особенности химического состава болотных вод проявляются в высокой кислотности, большом количестве органического вещества, низком содержании растворенного кислорода. На заболоченных водосборах формируются воды с малой минерализацией, высокой окисляемостью и цветностью. Гуминовые вещества, образующиеся в результате сложных биохимических процессов при разложении отмерших растений, вымываются из органической массы торфов, лесной подстилки, извлекаются из почв и придают воде коричневый оттенок.

Кислая реакция среды и большое содержание органических веществ определяют высокую подвижность многих микроэлементов в болотных водах. Благодаря болотам и органическому веществу почв в водоносных горизонтах формируется преимущественно кислая восстановительная обстановка, благоприятная для миграции железа и марганца [Смоленцев Ю.К., Смоленцев К.Ю., 1989]. В водах преобладают комплексные соединения  $Fe^{3+}$  с фульвокислотами. Процесс комплексообразования приводит к резкому усилению миграционной способности  $Fe^{3+}$  даже в кислородсодержащих подземных водах [Смоленцев, Трофимова, 1997].

В верховых болотах показатели относительного участия железа в процессе биогенной миграции в 10 раз, а в водной миграции — почти в 50 раз выше, чем в лесах [Нечаева, 1985]. Отчетливо прослеживается относительное накопление в болотных водах практически всех элементов, за исключением кальция, магния и стронция. Накопление в болотных водах элементов группы железа (марганца, цинка, меди, ванадия, хрома, титана), а также свинца, никеля, кобальта и особенно алюминия — показатели неблагоприятной биогеохимической обстановки в лесо-болотных ландшафтах и в целом в таежном Западно-Сибирском регионе [Нечаева, 1985].

Необходимо отметить, что подземные воды Западно-Сибирского бассейна, так же как и поверхностные, отличаются высокими концентрациями железа и марганца. Содержание железа в пресных подземных водах достигает 55 ПДК, а марганца — 7 мг/л [Смоленцев, Трофимова, 1997]. Это является ярким свидетельством единства химического состава поверхностных и подземных вод верхних водоносных горизонтов, представляющих собой взаимосвязанный гидрогеохимический комплекс.

Обогащение поверхностных вод органическими кислотами характерно и для лесных геосистем. На залесенных водосборах поверхностно-склоновые воды выщелачивают из лесной подстилки и верхнего горизонта почв продукты разложения растительных и животных остатков и обогащаются органическими веществами гумусового происхождения, что проявляется в повышении цветности воды, снижении pH,

ослаблении выраженности гидрокарбонатного характера воды, который связан с относительным повышением содержания сульфат-иона [7].

#### Выводы к главе:

В первой главе работы нами были рассмотрены физико-географические особенности Надымского района. Характерной особенностью исследуемого района является практически сплошное распространение многолетнемерзлых пород, которые служат региональным водоупором для первого от поверхности водоносного горизонта. Территория г. Надым относится к подзоне преимущественно высокотемпературных мерзлых пород массивно-островного распространения, характеризующийся наличием как талых, так и многолетнемерзлых пород.

В северотаежной зоне Ямало-Ненецкого АО большинство изученных озер по происхождению являются термокарстовыми. По гидрохимическому составу преобладают озера гидрокарбонатно-кальциевые и гидрокарбонатно-натриевые. Для поверхностных вод ЯНАО характерно повышенная концентрация железа, обусловленная главным образом природными факторами.

В данной главе дан обзор природных и техногенных условий формирования качества поверхностных вод Ямало-Ненецкого автономного округа. Кратко суммируя основные природные закономерности формирования химического состава поверхностных вод ЯНАО, следует отметить следующее:

- объекты исследования расположены в таежной зоне Западной Сибири со свойственным ей преобладанием в составе поверхностных вод гидрокарбонатов и ионов кальция;
- кислая реакция среды в болотных водах обуславливает высокую миграционную подвижность многих химических элементов (в частности, Fe и Mn);
- большое значение питания талыми снеговыми водами обуславливает низкую минерализацию озер.

## ГЛАВА 2 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОД

### 2.1 Характеристика оценки качества и степени загрязненности воды

Критериями оценки качества (quality criterion) является любая совокупность количественных показателей, характеризующих свойства изучаемых объектов и используемых для их классифицирования или ранжирования.

Оценка качества пресноводных водоемов осуществляется по трем основным аспектам, включающим следующие комплексы показателей [14]:

- факторы, связанные с физико-географическим и гидрологическим описанием водоема, как целостного природного или водохозяйственного объекта;
- контролируемые показатели состава и свойств водной среды, дающие формализованную оценку качества воды и ее соответствия действующим нормативам;
- совокупность критериев, оценивающих специфику структурно-функциональной организации сообществ гидробионтов и динамику развития водных биоценозов.

Согласно ГОСТ 17.1.1.01-77, качество воды - характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее для конкретных видов водопользования.

Нормы качества воды – установленные значения показателей качества воды для конкретных видов водопользования [14].

Во введенном в действие с 2004 г. Руководящем документе (РД) 52.24.643-2002 производится довольно условное разделение понятий «оценка качества поверхностных вод» и «оценка степени загрязненности поверхностных вод».

Так, «оценка качества поверхностных вод – это установление в той или иной форме, через ту или иную систему показателей соответствия качества поверхностных вод требованиям водопользования».

«Оценка степени загрязненности поверхностных вод - это установление в той или иной форме, через ту или иную систему показателей, характеризующих состав и свойства поверхностных вод, отличия от их нормативных значений, свидетельствующих о пригодности воды для водопользования» (РД 52.24.643-2002).

Термины «комплексная оценка степени загрязненности» и «комплексная оценка качества поверхностных вод», приведенные в РД 52.24.643-2002, как можно увидеть ниже, имеют единую суть.

Комплексная оценка степени загрязненности, качества поверхностных вод - представление о степени загрязненности воды либо ее качестве, однозначно отражающее в той или иной форме, через ту или иную систему показателей всю, либо определенным образом ограниченную, совокупность характеристик состава и свойств воды относительно базисных количественных характеристик, чаще нормативов, для определенного вида водопользования или водопотребления [14].

Одним из важных понятий при нормировании качества воды является понятие «вредного вещества». В специальной литературе принято называть вредными все вещества, воздействие которых на биологические системы может привести к отрицательным последствиям, как в результате однократного действия, «так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений» [ГОСТ 12.1.007-76].

Для вредных веществ приняты предельно допустимые концентрации (ПДК), под которыми подразумевается такая максимальная концентрация вещества, которая оставляет воду при неограниченно долгом ее использовании такой же безвредной, как и при полном отсутствии этого вещества [14].

В зависимости от того, к какому типу водопользования относится водный объект (или каков его водохозяйственный индекс), при нормировании качества воды используют два вида ПДК:

1. Предельно допустимая концентрация в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДКВ) — это максимальная концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье последующих поколений, и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования [32]. Этот вид ПДК в литературных источниках последних лет для краткости написания упоминают как гигиенический норматив;

2. Предельно допустимая концентрация в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей - (ПДК<sub>вр</sub> или ПДК<sub>рх</sub>) — это концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых [32]. Эту ПДК в настоящее время все чаще называют эколого-рыбохозяйственным нормативом, предполагая ее установление на системном биологическом уровне.

В настоящее время для упрощенной оценки степени загрязненности воды наибольшее распространение получили средние, экстремальные, относительные величины, а также показатели изменчивости.

Средняя арифметическая - самый распространенный вид средней (простая величина). Она используется, когда расчет осуществляется по несгруппированным статистическим данным, где нужно получить среднее слагаемое. Средняя арифметическая (или среднее арифметическое) - это такое среднее значение признака, при получении которого сохраняется неизменным общий объем признака в совокупности [14].

Кроме средних значений содержания загрязняющей примеси распространенным статистическим показателем, как указывалось выше, является его экстремальная величина, а именно - максимальное содержание  $S_{max}$  и минимальное значение  $S_{min}$ .

Для оценки загрязненности воды используются и относительные величины. Наиболее распространенными из них являются кратность превышения ПДК и повторяемость случаев превышения ПДК.

Одним из наиболее распространенных комплексных показателей качества воды является гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ).

ИЗВ был установлен Госкомгидрометом СССР в 1986 году и относится к категории показателей, наиболее часто используемых для оценки качества водных объектов. Рассчитывается по формуле:

$$\text{ИЗВ} = \sum C_i / \text{ПДК}_i / n \quad (1)$$

где  $C_i$  — концентрация  $i$ -го компонента (в ряде случаев — значение параметра); и — число показателей, используемых для расчета индекса;  $\text{ПДК}_i$  — ПДК водоемов рыбохозяйственного значения [14].

Для расчета индекса загрязнения вод для всего множества нормируемых компонентов, включая водородный показатель рН, биологическое потребление кислорода БПК<sub>5</sub> и содержание растворенного кислорода, находят отношения  $C_i / \text{ПДК}_i$  фактических концентраций к ПДК и полученный список сортируют. ИЗВ рассчитывают строго по шести показателям, имеющим наибольшие значения приведенных концентраций, независимо от того превышают они ПДК или нет.

В число компонентов, по которым велся расчет, включены, в соответствии с методикой, обязательные значения (рН, O<sub>2</sub>) и вещества, в наибольшей степени превышающие ПДК. Таковыми, после предварительных подсчетов, оказались железо, медь, никель.

Нормирование концентрации растворенного кислорода: его содержание в пробе не должно быть ниже 4 мг/дм<sup>3</sup>. Для каждого диапазона концентраций растворенного кислорода устанавливаются специальные значения слагаемых  $C_i / \text{ПДК}_i$  — норма приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1- Норма растворенного кислорода, учитываемая при расчете ИЗВ.

Для растворенного кислорода при содержании, мг/л	Величина мг О <sub>2</sub> /л, принимается за норматив
свыше 6	6
менее 6 до 5	12
менее 5 до 4	20
менее 4 до 3	30
менее 3 до 2	40
менее 2 до 1	50
менее 1 до 0	60

Источник: Гагарина О.В...2012

Степень превышения концентрации растворенного кислорода над ПДК рассчитывается по формуле:

$$\frac{\text{норма(по табл. 3.1)}}{\text{содержание растворенного кислорода (по анализу воды)}} \quad (2)$$

Для водородного показателя рН действующие нормативы для воды водоемов различного назначения регламентируют диапазон допустимых значений в интервале от 6,5 до 8,5, поэтому для каждого сверхнормативного значения рН, выходящего за границы этого диапазона, устанавливаются специальные значения слагаемых  $C_i / ПДК_i$  (табл.2.2).

Таблица 2.2 - Норма водородного показателя, учитываемая при расчете ИЗВ.

Значения рН ниже диапазона нормы (< 6.5)	Значения рН выше диапазона нормы (> 8.5)	Значение слагаемого $C_i / ПДК_i$
Менее 6.5 до 6	Свыше 8.5 до 9	2
Менее 3 до 5	Свыше 9 до 9.5	5
Менее 5	Свыше 9.5	20

Источник: Гагарина О.В...2012

В зависимости от величины ИЗВ водные объекты подразделяют на классы (табл.2.3).

Таблица 2.3- Классы качества вод в зависимости от значения индекса загрязнения воды

Воды	Значения ИЗВ	Классы качества вод
Очень чистые	до 0,2	I
Чистые	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

Источник: Гагарина О.В...2012

## 2.2 Полевые методы исследования

Время отбора проб: август.

Оборудование и материалы:

- НМ DIGITAL PH-200 (ВЛАГОЗАЩИТНЫЙ PH МЕТР);
- НМ DIGITAL ORP - 200 (ОВП МЕТР / REDOX ТЕСТЕР ВЛАГОЗАЩИТНЫЙ);
- НМ DIGITAL COM-100 (КОНДУКТОМЕТР, СОЛЕМЕР, ТЕРМОМЕТР);
- Система пробоотборная СП-2;
- Автоматический батиметрический комплекс, собранный на базе радиоуправляемой модели корабля, на которую дополнительно установлен эхолот Garmin EchoMAP 42CV и модуль управления Pixhawk MicroPix PX4;
- лодка надувная (1 шт.);
- полиэтиленовая бутылка вместимостью 1,5 л (2-4 шт.);
- пробирка для анализа на содержание микроэлементов (ICP- MS) вместимостью 20 см<sup>3</sup> (1-2 шт.);
- стаканчик вместимостью 100 см<sup>3</sup> (2 шт.);
- фильтровальная бумага;
- дистиллированная вода;
- ведомость отбора проб;
- карандаш простой (2 шт.);
- велосипедный насос или автокомпрессор (1 шт.);
- полиэтиленовые пакеты или емкости (1-2 шт.);
- скотч.

### Методика работ

**Отбор проб.** Отбор проб воды проводится с учетом общепринятых требований (ГОСТ Р 51592-2000 Вода. Общие требования к отбору проб [2])

**Точки отбора.** Если озеро небольшое и неглубокое, пробу отбирают на стое из озера или в центральной части (с лодки) с глубины 0.3-0.5 м (на глубину руки). В глубоком озере (до 7 м) пробы отбираются с поверхности и с глубины 0,5 м от дна. При глубине 15 м и более пробы отбираются с трех горизонтов — поверхность, средний слой и придонный [18].

При отборе проб с определенной глубины используются специальные пробоотборные устройства различных конструкций. Основной их частью является цилиндрический сосуд (пластмассовый, металлический), открытый с обеих сторон и

снабженный плотно прилегающими крышками, закрывающимися при помощи пружины фиксированными спусковыми устройствами. Последние приводятся в действие при помощи вспомогательного тросика или посредством удара груза, опускаемого по подвесному тросику. Сосуд с крышками, зафиксированными в открытом положении, погружают в воду до требуемой глубины. После достижения требуемой глубины при помощи спускового устройства закрывают крышки и сосуд поднимают на поверхность. Пробу выливают в бутылку через выпускной кран [18].

Для изучения озер отбирались пробы воды при помощи СП-2 (рис.2.1). СП-2 - система пробоотборная для отбора проб природных и сточных вод с целью определения в них содержания нефтепродуктов, солей и прочих загрязняющих веществ, а также может быть использована для отбора микроорганизмов в воде [18].



Рисунок 2.1- Система пробоотборная-2

(источник: <https://biolight.ru/product/0000970>)

Пробоотборная система с установленной бутылкой из темного стекла опускается в водоем без посыльного груза. По мере опускания пробоотборной системы всплывает внешний поплавок и перекрывает отверстия снаружи корпуса, препятствуя поступлению воды в камеру корпуса, а следовательно и в бутылку. При достижении требуемой глубины, по тросу посылается груз, который перемещает поплавок в нижнее положение, открывая отверстия в корпусе. После заполнения водой бутылки и камеры в корпусе (приблизительно через 30 секунд от посылки груза) всплывает клапан, находящийся внутри

корпуса, и перекрывает отверстия в корпусе изнутри. Система с отобранной пробой поднимается на поверхность. Бутылка извлекается из пробоотборной системы[18].

Пробы воды отбирались на каждом из озер в двух положениях: 0,5м. от поверхности и 0,5м от дна. Отбор проб с каждого озера производился: в пластиковые бутылки объемом 1,5л. В количестве 2шт., 1 пробирка для анализа на содержание микроэлементов (ICP-МС).

При отборе проб воды бутылки ополаскиваются дважды водой озера и полностью наполняются до крышки, чтобы воздух в них практически отсутствовал. Каждая бутылка имеет этикетку (Табл.2.4).

Таблица 2.4- Этикетка для пробы воды.

Пробы воды	
Водный объект	
Место отбора	
Образец№	
Тип пробоотборника	
Дата отбора	
Пробу отобрал	

Источник: Комплексная гидрохимия... 2011

Во время отбора все данные заносятся в ведомость отбора проб воды (Табл.2.5) с указанием шифра бутылки, даты и времени отбора пробы, места отбора пробы (водоема и точки), глубины отбора, сведений о консервации.

Таблица 2.5- Ведомость отбора проб воды

№ бутылки	№ точки	Дата	Место отбора и координаты точки отбора	Глубина отбора	Условия отбора	Консервация

Источник: Комплексная гидрохимия... 2011

#### Определение физико-химических свойств и консервация проб вод в полевых условиях

Параллельно с отбором проб в лабораторию, проводились измерения некоторых показателей воды при помощи профессиональных приборов: HM DIGITAL PH-200 (ВЛАГОЗАЩИТНЫЙ PH МЕТР); HM DIGITAL ORP - 200 (ОВП МЕТР / REDOX ТЕСТЕР ВЛАГОЗАЩИТНЫЙ); HM DIGITAL COM-100 КОНДУКТОМЕТР, СОЛЕМЕР, ТЕРМОМЕТР (рис. 2.2).



Рисунок 2.2- Набор профессиональных приборов: HM DIGITAL PH-200, HM DIGITAL ORP – 200, HM DIGITAL COM-100 (источник: <https://аква-лаб.рф/>)

HM DIGITAL PH-200- рН-метр модели PH-200 это легкий и удобный прибор для анализа электрохимического состава растворов. Прибор рН метр PH-200 предназначен для измерения уровня кислотности воды (концентрации свободных ионов водорода, водородный показатель) и температуры. DIGITAL COM-100 -измерение электропроводности (EC), жесткости (TDS) и температуры. HM DIGITAL ORP – 200- Данный измеритель позволяет в течение буквально пары минут измерить ОВ потенциал различных жидкостей.

Величина водородного показателя (рН) является одним из важнейших показателей качества вод и характеризует состояние кислотно-основного равновесия воды. От величины рН зависят развитие и жизнедеятельность водной биоты, формы миграции различных элементов, агрессивное действие воды на вмещающие породы, металлы, бетон [18].

На величину рН поверхностных вод влияют состояние карбонатного равновесия, интенсивность процессов фотосинтеза и распада органических веществ, содержание гумусовых веществ.

Удельная электрическая проводимость (удельная электропроводность, УЭП) — количественная характеристика способности воды проводить электрический ток. В большинстве случаев УЭП поверхностных вод суши является приблизительной характеристикой концентрации в воде неорганических электролитов — катионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,

$\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и анионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . Присутствие других ионов обычно мало сказывается на величине УЭП, так как эти ионы редко встречаются в воде в значительных количествах. Водородные и гидроксильные ионы в диапазоне их обычных концентраций в поверхностных водах суши на удельную электропроводность практически не влияют. Столь же мало влияние и растворенных газов [18].

Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) является мерой химической активности элементов или их соединений в обратимых химических процессах, связанных с изменением заряда ионов в воде.

Измерение pH и Eh воды осуществляется потенциометрическим методом, а УЭП — кондуктометрическим методом с помощью соответствующих приборов—pH-метров (иономеров) и кондуктометров. Современные приборы (иономеры-кондуктометры) комплектуются датчиками на все три показателя и позволяют проводить их измерение практически одновременно [18].

При измерении pH, Eh и УЭП электроды или датчик тщательно ополаскивают дистиллированной водой, удаляют остатки воды, промокая их фильтровальной бумагой, опускают в анализируемую пробу и через 1-3 мин. (после установления постоянного значения) записывают показания прибора. Для каждой пробы проводится не менее двух параллельных определений [18].

Отбор и консервация проб осуществлялись согласно ГОСТ Р 51592-2000, который распространяется на любые типы вод и устанавливает общие требования к отбору, транспортированию и подготовке к хранению проб воды, предназначенной для определения показателей ее состава и свойств. В ходе отбора проб велась ведомость, краткая характеристика отбора проб приведена в таблице 2.6.

Таблица 2.6- Краткие сведения отбора проб воды

Место отбора	Дата отбора	Объем пробы, литры	Количество проб	Объем пробы, литры	Количество проб
Дальнее	04.08.2017	1,5	2	0,05	1
Вытянутое	23.08.2017	1,5	2	0,05	1
Надымское	17.08.2017	1,5	2	0,05	1
Осадки	12.08.2017	1,5	2	-	-

Источник: составлено автором

Общий перечень обязательных показателей, определяемых в отобранных пробах, и методы их определения: водородный показатель (pH), окислительно-восстановительный потенциал — потенциометрический метод; удельная электропроводность— кондуктометрический метод.

Следующим этапом были батиметрические измерения озера для дальнейшего построения 3D-модели озерных котловин и рельефа дна. Измерения глубин на рассматриваемых озерах проводились с помощью автоматического батиметрического комплекса (рис. 2.3). Комплекс собран на базе радиоуправляемой модели корабля, на которую был дополнительно установлен эхолот Garmin EchoMAP 42CV и модуль управления Pixhawk MicroPix PX4, аналогичный модулям для беспилотных летательных систем. Управление комплексом может осуществляться как в ручном режиме с помощью пульта, так и в полностью автономном режиме, при этом аппарат движется по заданному заранее маршруту движения. Измерения глубин осуществлялись на скорости 4-8 м/с, аппарат также может выходить на режим глиссирования (8-15 м/с), однако в данном случае увеличение скорости приводит к уменьшению точности данных и плотности измерений.



Рисунок 2.3- Прибор батиметрических измерений (фото автора)

Для исследуемых озер количество измерения глубин составляло от 230 до 3550 точек, в зависимости от размеров озера, маршрут движения аппарата представлял собой концентрическую спираль с расстоянием между витками 5-7 метров, такой способ обеспечил наиболее оптимальное соотношение плотности точек и скорости проведения измерений.

### 2.3 Лабораторные методы исследования

Природные воды весьма разнообразны по своему составу. Все воды планеты представляют собой растворы разного состава и различной концентрации. Среди растворенных в воде веществ можно выделить несколько групп: главные ионы; биогенные элементы, из которых состоят организмы; растворимые в воде газы, углеводороды и

инертные газы; микроэлементы; органические вещества. Химический состав пресных и соленых поверхностных вод сильно варьирует и зависит от самых разных причин. Для определения содержания различных по природе растворенных в воде веществ можно использовать различные методы химического анализа (Резников и др., Лурье, Зарубина и др.). Выбор определяемых компонентов и метода анализа определяется в первую очередь целями исследований. Немаловажными являются требования к пределам обнаружения, погрешностям используемых методов, их доступности, а также стоимости оборудования[19].

Определение элементного состава озерных вод проводили в Аналитическом сертификационном испытательном центре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН. Содержание Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Nb, Ru, Rh, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th и U в пробах определяли атомно-эмиссионным (iCAP-6500, Thermo Scientific, США) и масс-спектральными методами анализа (X-7, Thermo Elemental, США).

Перед проведением анализа к пробам добавляли по 0,2 мл концентрированной HNO<sub>3</sub> (*Nitric acid 65% Suprapur, Merck*), интенсивно встряхивали 5 мин и оставляли на 12 час. Для анализа использовано по 5 мл каждого образца.

Определение элементного состава вод проводили по методике НСАМ №520-АЭС/МС “Определение элементного состава природных, питьевых, сточных и морских вод атомно-эмиссионными и масс-спектральными методами с индуктивно связанной плазмой” (*Свидетельство о метрологической аттестации методики №520-01.00115-2013-2017 от 27 марта 2017*).

#### Атомно-эмиссионный анализ (ИСП-АЭС)

Содержание Li, B, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba в образце определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (iCAP-6500, Thermo Scientific, США). Определение проводили при следующих параметрах работы спектрометра:

выходная мощность генератора	1200 Вт;
отраженная мощность	<5 Вт;
тип распылителя	концентрический
расход плазмообразующего потока Ar	13 л/мин;
расход вспомогательного потока Ar	0.8 л/мин;
расход потока Ar в распылителе	0.8 л/мин;

расход анализируемого образца

1.5 мл/мин;

Определение содержания элементов в водных растворах проводили количественным методом с использованием эталонных растворов содержащих 0.5 и 10 мг/л исследуемых элементов. Содержание элементов в пробах рассчитывали с использованием программного обеспечения спектрометра. Предел обнаружения (ПО) рассчитывали как:

$$ПО = C_i + 3*s \quad (3)$$

где:  $C_i$  - среднее значение содержания элемента  $i$  при измерениях деионизованной воды;

$s$  - стандартное отклонение для элемента  $i$  при измерениях деионизованной воды.

Относительное стандартное отклонение для всех элементов не превышало 0.2 при измерении содержания этих элементов до  $5*ПО$  и не превышало 0.1 при измерении содержания  $>5*ПО$ .

#### Масс-спектральный анализ (ИСП-МС)

Содержание Li, Be, B, Al, P, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Nb, Ru, Rh, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th и U в образце определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (X-7, *Thermo Elemental*, США).

Определение проводили при следующих параметрах работы X-7:

выходная мощность генератора	1250 Вт;
распылитель	концентрический PolyCon;
распылительная камера	кварцевая охлаждаемая (3°C);
расход плазмообразующего потока Ar	13 л/мин;
расход вспомогательного потока Ar	0.9 л/мин;
расход потока Ar в распылителе	0.89 л/мин;
расход анализируемого образца	0.8 мл/мин;
разрешение	0.8M.

Основные параметры процедуры измерения масс-спектров приведены ниже:

режим работы детектора	двойной (счет импульсов и аналоговый);		
режим сканирования:	Обзорный (Survey Scan) и по точкам (Peak Jumping).		
Установки обзорного сканирования (Survey Scan)	Установки измерения по точкам (Peak Jumping):		
Число проходов	5;	Sweeps	25;
Dwell Time	0.6 мс;	Dwell Time	10 мс;
Channels Per Mass	10;	Channels Per Mass	1;
Acquisition Duration	6 сек.	Acquisition Duration	34 сек.

Определение элементов в образцах проводили количественным методом с использованием эталонных растворов содержащих от 1 до 500 мкг/л определяемых элементов. Для увеличения точности определения элементов использовали внутренний стандарт – барий и стронций. Содержание этих элементов в пробах предварительно было определено атомно-эмиссионным методом.

Обработку масс-спектров и расчеты содержания элементов в пробах проводили с использованием программного обеспечения масс-спектрометра. Содержание Li, B, Ti, Cr, Ni, Cu, Zn, Ge, Se, Br, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Ba, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb, Hf, W, Re, Os, Ir, Pt, Hg, Tl и Pb в образце рассчитывали как среднее значение, измеренное по их изотопам. Предел обнаружения (ПО) рассчитывали как:

$$\text{ПО} = C_i + 3*s \quad (4)$$

где:  $C_i$  - среднее значение содержания изотопа  $i$  при измерениях деионизованной воды;

$s$  - стандартное отклонение для изотопа  $i$  при измерениях деионизованной воды.

Для элементов с несколькими изотопами, в дальнейших расчетах использовали величину ПО для наиболее распространенного изотопа.

Относительное стандартное отклонение для всех элементов не превышало 0.3 при измерении содержания этих элементов до  $5*ПО$  и не превышало 0.15 при измерении содержания  $>5*ПО$ .

#### Контроль правильности проведения анализа

Для проверки правильности проведения анализа использовали стандартный образец питьевой воды “Trace Metals in Drinking Water” производства High-Purity Standards (США).

Также для проверки правильности проведения анализа проводили сравнение результатов атомно-эмиссионного и масс-спектрального определения Li, Al, Mn, Cu, Zn, Sr и Ba. Во всех случаях расхождения в содержаниях этих элементов, определенных двумя методами, не превышала допустимых погрешностей методов.

Анализ воды на ионный состав и основные компоненты проводился на кафедре Органической и экологической химии института Химии Тюменского Государственного Университета.

Методы химического анализа проб воды приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7- Методы химического анализа проб поверхностной воды.

Определяемый показатель	Метод анализа	Объем пробы, см <sup>3</sup>
1	2	3
Водородный показатель (рН), ед. рН	Потенциометрия	50
Удельная электропроводность (УЭП), мкСм/см	Кондуктометрия	50
Окислительно-восстановительный потенциал (Еh), мВ	Потенциометрия	50
Основные ионы минерализации (кальций (Ca <sup>2+</sup> ), магний (Mg <sup>2+</sup> ), натрий (Na <sup>+</sup> ), калий (K <sup>+</sup> ), аммоний-ион (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), хлорид-ион (Cl <sup>-</sup> ), сульфат-ион (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), нитрат-ион (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), нитрит-ион (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ))	Ионная хроматография	50
Железо общее	Фотометрия	250

Источник: Комплексное..., 2012

#### Электрохимические методы анализа

Электрохимические методы анализа (ЭМА) основаны на исследовании процессов, протекающих на поверхности электрода или в приэлектродном пространстве[19].

Аналитическим сигналом служит электрический параметр (потенциал, сила тока, сопротивление и др.), функционально связанный с концентрацией определяемого компонента раствора и поддающийся правильному измерению.

Существенное внимание уделяется электрохимическим ячейкам и датчикам аналитического сигнала (электродным системам, различным электрохимическим сенсорам), именно эти первичные электрохимические преобразователи определяют аналитические возможности любого метода. В настоящее время не представляют проблемы самая совершенная и быстрая обработка сигнала от датчика, расчет статистических характеристик как исходного сигнала, так и результатов всего анализа в целом. Именно поэтому важно получить достоверный исходный сигнал, чтобы прокалибровать его в единицах концентрации[19].

Выделяют следующие ЭМА:

- вольтамперметрические — voltammetry,  $I \neq 0; E = f(t)$
- потенциметрические — potentiometry,  $(I = 0)$ ;
- амперметрические — amperometry  $(I \neq 0; E = \text{const})$ ;
- хронопотенциметрические,  $E = f(t) | I = \text{const}$ ;
- импедансные, или кондуктометрические — измерения, использующие наложение переменного напряжения малой амплитуды. Наиболее часто применяется

потенциметрический метод для

определения рН и проведения потенциметрического титрования,

кондуктометрический метод для определения удельной электропроводности, ионометрия с использованием ионоселективных электродов, вольтамперметрические методы анализа[19].

Определение рН и удельной электропроводности  
(на основе РД 52.24.495-2005, ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97)

Произведение концентраций водородных и гидроксильных ионов в химически чистой воде является постоянной величиной, равной  $10^{-14}$  при  $25^{\circ}\text{C}$ . Оно остается неизменным в присутствии веществ, диссоциирующих на ионы водорода и гидроксид-ионы. В чистой воде концентрации этих ионов равны  $10^{-7}$  моль/л, что соответствует нейтральному состоянию раствора. В кислых растворах концентрация ионов водорода больше  $10^{-7}$ , а в щелочных — меньше  $10^{-7}$ .

Для удобства, выражая содержание в воде ионов водорода, используют величину обратного десятичного логарифма, которую называют водородным показателем и обозначают рН.

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}, \text{pH} = -\lg[\text{H}^+] \quad (2)$$

Величина рН — один из важнейших показателей качества вод, характеризующий состояние в них кислотно-основного равновесия. От величины рН зависят развитие и жизнедеятельность водных растений, устойчивость различных форм миграции элементов, агрессивное действие воды на вмещающие породы. Величина рН также влияет на процессы превращения различных форм биогенных элементов, изменяет токсичность загрязняющих веществ. На величину рН поверхностных вод влияют состояние карбонатного равновесия, интенсивность процессов фотосинтеза и распада органических веществ, содержание гумусовых веществ[19].

Значение рН в природных водах обычно варьирует в пределах 0,5-8,5, в атмосферных осадках 4,6-6,1, в болотах 5,5-6,0, в морских водах 7,9-8,3.

В соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водоемов у пунктов питьевого водопользования, воды водных объектов в зонах рекреации, а также воды водоемов рыбохозяйственного назначения, величина рН не должна выходить за пределы интервала значений 6,5-8,5.

Удельная электрическая проводимость (электропроводность) — численная характеристика способности воды проводить электрический ток. В чисто физическом смысле это величина, обратная электрическому сопротивлению воды при  $25^{\circ}\text{C}$ , находящейся между двумя электродами с поверхностью  $1 \text{ см}^2$ , расстояние между которыми равно 1 см. Единица измерения удельной электропроводности (УЭП) — См/см (Сименс на 1 см). Для воды в качестве единицы намерения используют мкСм/см [19].

Природные воды представляют в основном смешанные растворы сильных электролитов. Минеральную часть воды составляют ионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . Этими ионами и обуславливается электропроводность природных вод. Присутствие других ионов, например  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , не сильно влияет на электропроводность, если эти ионы не содержатся в воде в значительных количествах (например, ниже сброса производственных или хозяйственно-бытовых сточных вод). По значениям электропроводности природной воды можно приближенно судить о минерализации воды с помощью предварительно установленных зависимостей.

Минерализация природных вод, определяющая их удельную электропроводность, изменяется в широких пределах. Большинство рек имеет минерализацию от нескольких десятков миллиграммов в литре до нескольких сотен. Их удельная электропроводность варьирует от 30 мкСм/см до 1500 мкСм/см. Минерализация подземных вод и соленых озер изменяется в интервале от 40-50 мг/дм<sup>3</sup> до 650 г/кг (плотность в этом случае уже значительно отличается от единицы). Удельная электропроводность атмосферных осадков (с минерализацией от 3 до 60 мг/дм<sup>3</sup>) составляет величины 20-120 мкСм/см.

Измерение рН воды осуществляют потенциометрическим, а электропроводности — кондуктометрическим методом с помощью соответствующих приборов — рН-метров и кондуктометров[19].

Данная методика измерения величины рН в диапазоне 4-10 единиц и удельной электрической проводимости в диапазоне 5-10 000 мкСм/см применяется для исследования поверхностных вод суши. В соответствии с вышеуказанными нормативными документами (НД) показатель точности при измерении рН в диапазоне 4-10 составляет 0,1 ед. рН. Для измерения удельной электрической проводимости показатель точности в диапазоне измерений от 5 до 200 мкСм/см — 10%, св.200 до 10 000 мкСм/см — 5%.

При измерении рН используется система, состоящая из стеклянного электрода, потенциал которого определяется активностью (концентрацией) водородных ионов, и вспомогательного электрода сравнения с известным потенциалом. Электродная система при погружении в пробу измеряет ЭДС, связанную с активностью ионов водорода уравнением Нернста[19].

Электропроводность воды зависит от температуры. Поэтому для исключения данной погрешности измерение проводят в термостатируемой пробе или с использованием автоматического термокомпенсатора. В противном случае в результаты вносят соответствующие поправки.

Оборудование и материалы[19]:

- Дистиллированная вода, свободная от  $\text{CO}_2$ . 1,5 дм<sup>3</sup> дистиллированной воды кипятят 20 мин, быстро охлаждают и закрывают колбу пробкой. Используют в день приготовления.
- Хлорид калия, насыщенный раствор. 60 г хлорида калия растворяют в 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды при 50-60°C и охлаждают раствор до комнатной температуры. Используют для заполнения вспомогательного (хлорсеребряного) электрода.
- Образцовые буферные растворы из стандарт-титров. Образцовые буферные растворы, имеющие значения рН 3,56; 4,01; 6,86; 9,18, при 25°C готовят в соответствии с инструкцией по применению стандарт-титров.
- Градуировочный раствор КСl, 0,1 моль/дм<sup>3</sup>. 3,7280 г хлорида калия, предварительно высушенного до постоянной массы при 105°C, количественно переносят в мерную колбу вместимостью 500 см<sup>3</sup> и доводят объем раствора до метки свежеприготовленной бидистиллированной водой.
- Градуировочный раствор КСl, 0,01 моль/дм<sup>3</sup>. Отбирают 25 см<sup>3</sup> раствора КСl с концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, переносят в мерную колбу вместимостью 250 см<sup>3</sup> и доводят объем раствора до метки свежеприготовленной бидистиллированной водой. Градуировочные растворы хранят в плотно закрытых полиэтиленовых сосудах не более 6 мес. Удельные электропроводности градуировочных растворов КСl с концентрацией 0,1 и 0,01 моль/дм<sup>3</sup> при 25°C составляют соответственно 12890 и 1412 мкСм/см.
- Иономер с комплектом электродов.
- Кондуктометр.

#### Выполнение измерений

Подготовку рН-метра (иономера), измерительного стеклянного и вспомогательного электродов, кондуктометра, ячейки (датчика) к работе и их градуировку осуществляют в соответствии с инструкцией по эксплуатации приборов и паспортами на электроды. Для измерения электропроводности поверхностных вод суши в большинстве случаев пригодны ячейки, константы которых находятся в пределах **0,8-** 1,5. Для измерения электропроводности вод с очень низкой минерализацией следует использовать ячейки с константой 0,1 и выше, с высокой минерализацией — до  $K=10$ .

*Измерение рН.* Электроды ополаскивают дистиллированной водой, удаляют остатки воды фильтровальной бумагой, опускают в анализируемую пробу, включают мешалку и через 1 мин снимают показания прибора. Повторяют измерения через 1 мин. За величину рН принимают среднее арифметическое значение двух результатов, разность между которыми не превышает предела повторяемости  $\gamma$  (0,06 ед. рН).

*Измерение электропроводности.* Измерительную ячейку (датчик) ополаскивают дистиллированной водой, затем дважды анализируемой пробой воды и выполняют измерение удельной электрической проводимости в соответствии с инструкцией по эксплуатации используемого кондуктометра и ячейки. Если в приборе нет термокомпенсатора, ячейку с пробой воды выдерживают 10 мин. В термостате при 25°C или измеряют действительную температуру пробы и вводят температурную поправку в результат измерения удельной электрической проводимости. Для каждой пробы проводят не менее двух параллельных измерений.

При измерении удельной электрической проводимости вод, загрязненных склонными к адсорбции органическими соединениями (жиры, масла, синтетические поверхностно-активные вещества и т. П.), после каждого измерения электроды должны быть промыты органическим растворителем (ацетоном, хлороформом, спиртом) и дистиллированной водой[19].

Если проводят измерение удельной электрической проводимости окрашенных вод, содержащих значительные количества гумусовых веществ, целесообразно использовать гладкие платиновые (а не платинированные) электроды[19].

#### Фотометрический метод анализа

Фотометрия — совокупность методов молекулярно-абсорбционного спектрального анализа, основанных на избирательном поглощении электромагнитного излучения в видимой, ИК и УФ областях молекулами определяемого компонента или его соединения с подходящим реагентом. Концентрацию определяемого компонента устанавливают по закону Бугера-Ламберта-Бера. Фотометрический метод включает визуальную фотометрию, спектрофотометрию и фотоколориметрию. Последняя отличается от спектрофотометрии тем, что поглощение света измеряют главным образом в видимой области спектра, реже — в ближних УФ и ИК областях (т. Е. в интервале длин волн от ~ 315 до ~ 980 нм), а также тем, что для выделения нужного участка спектра (шириной 10-100 нм) используют не монохроматоры, а узкополосные светофильтры[19].

Фотометрическое определение общего железа (на основе ПНД Ф 14.1:2:4.50-96)

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

Оборудование и материалы[19]

- Фотометр или спектрофотометр любого типа, позволяющий измерять

оптическую плотность при длине волны  $\lambda=425$  и  $\lambda=500$  нм.

- Весы аналитические 2 класса точности по ГОСТ 24104-2001.
- Весы технические лабораторные 4 класса точности по ГОСТ 24104-2001 с пределом взвешивания 200 г.
- Государственный стандартный образец состава водных растворов ионов железа (III) с концентрацией 1 мг/см<sup>3</sup>.
- Колбы мерные не ниже 2 класса точности по ГОСТ 1770-74 вместимостью 25 см<sup>3</sup>, 50 см<sup>3</sup>, 100 см<sup>3</sup>, 250 см<sup>3</sup>.
- Пипетки градуированные не ниже 2 класса точности по ГОСТ 29227-91 вместимостью 1 см<sup>3</sup>, 2 см<sup>3</sup>, 5 см<sup>3</sup>, 10 см<sup>3</sup>.
- Пипетки с одной меткой не ниже 2 класса точности по ГОСТ 29227-91 вместимостью 5 см<sup>3</sup>, 10 см<sup>3</sup>, 25 см<sup>3</sup>.
- Колбы конические или стаканы полипропиленовые вместимостью 50 см<sup>3</sup>.
- Колба коническая или плоскодонная с притертой пробкой по ГОСТ 25336-82 вместимостью 250 см<sup>3</sup>.
- Воронки лабораторные полипропиленовые или стеклянные по ГОСТ 25336-82 диаметром 56 мм и 75 мм;
- Фильтры бумажные обеззоленные «красная лента» и «белая лента» по ТУ 6-09-1678-86.
- Раствор аммиака (1:1), смешивают равные части концентрированного аммиака и дистиллированной воды.
- Раствор сульфосалициловой кислоты, 20%: 20 г сульфосалициловой кислоты переносят в стакан, растворяют в 80 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.
- Раствор хлорида аммония: 107 г хлорида аммония NH<sub>4</sub>Cl помещают в мерную колбу вместимостью 1000 см<sup>3</sup>, растворяют в дистиллированной воде и доводят до метки дистиллированной водой. Хранят в не более 1 нед.

#### Выполнение измерений

1. *Определение железа общего (2+.3+)*. Если в обработке пробы нет необходимости, то к обратному 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[19].

2. *Определение железа (3+)*. Определение можно проводить только в тех случаях, когда пробу обрабатывали с целью разрушения органических компонентов и не кипятили, т.к. при этом железо (2+) окисляется до железа (3+). Пробу объемом 80,0 см<sup>3</sup> и менее, в зависимости от концентрации, помещают в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup>, нейтрализуют раствором аммиака или соляной кислоты до рН 3-5 по индикаторной бумаге, прибавляют 2 см<sup>3</sup> сульфосалициловой кислоты, доводят до метки дистиллированной водой. Тщательно перемешивают и оставляют на 5 мин. До полного развития окраски. Оптическую плотность полученного раствора измеряют при длине волны  $\lambda =500$  нм в кювете с длиной поглощающего слоя 10 или 50 мм по холостому раствору, проведенному таким же способом с дистиллированной водой. По калибровочному графику находят содержание железа общего.

Содержание железа рассчитывают по формуле:

$$X=C*100/V \quad (3)$$

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>.

Определение концентраций металлов методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией (на основе ПНД Ф 14.1:2:4.134 - 98)

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
Медь	От 1,0 до 50,0	мкг
Свинец	От 1,0 до 50,0	мкг
Никель	От 1,0 до 50,0	мкг
Хром	От 1,0 до 50,0	мкг
Кобальт	От 1,0 до 50,0	мкг
Железо	От 10,0 до 100,0	мкг
Марган	От 1,0 до 50,0	мкг
Цинк	От 1,0 до 50,0	мкг
Алюми	От 10,0 до 100,0	мкг

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 кг/дм<sup>3</sup> в анализируемые градуировочные растворы при определении хрома вводят нитрат кальция (1 см<sup>3</sup> 8% раствора нитрата кальция см<sup>3</sup> пробы). 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 2.8.

Таблица 2.8- 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 Св. 1,0 до 10	36	36	30
		18	18	25
Медь	От 1 до 50	18	18	14
Кобальт	От 1 до 5 Св. 5 до 50	30	50	39
		13	30	17
Никель	От 1 до 5 Св. 5 до 50	26	26	28
		20	20	17
Свинец	От 1 до 5 Св. 5 до 50	31	32	42
		13	17	17
Хром	От 1 до 5 Св. 5 до 50	22	28	31
		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

Источник: Комплексное..., 2012

Для анализа используется атомно-абсорбционный спектрофотометр с электротермической атомизацией типа МГА. Квант-ZЭТА или любой другой с метрологическими и техническими характеристиками не хуже указанных.

Приготовление реактивов[19]:

1. Азотная кислота, 1,0 моль/дм<sup>3</sup>. Мерным цилиндром вместимостью 100 см<sup>3</sup> отмеряют 66 см<sup>3</sup> концентрированной азотной кислоты плотностью 1,41 г/см<sup>3</sup> и переносят в мерную колбу вместимостью 1 дм<sup>3</sup>, в которую предварительно помещают 20 см<sup>3</sup> бидистиллированной воды, и доводят раствор бидистиллированной водой до метки. Тщательно перемешивают. Срок хранения раствора 6 месяцев.

2. Азотная кислота, 0,2 моль/дм<sup>3</sup>. Мерным цилиндром вместимостью 250 см<sup>3</sup> отмеряют 200 см<sup>3</sup> азотной кислоты с молярной концентрацией 1 моль/дм<sup>3</sup> и помещают в

мерную колбу вместимостью 1 дм<sup>3</sup>. Разбавляют бидистиллированной водой и доводят до метки. Тщательно перемешивают. Срок хранения раствора 3 мес.

3. Азотная кислота, 1:1. В мерную колбу вместимостью 1 дм<sup>3</sup> помещают небольшое количество (~20 см<sup>3</sup>) бидистиллированной воды, затем мерным цилиндром приливают 500 см<sup>3</sup> концентрированной азотной кислоты. После охлаждения раствора до температуры окружающего воздуха объем в колбе доводят до метки бидистиллированной водой. Тщательно перемешивают. Срок хранения раствора 1 мес.

4. Нитрат лантана, с массовой концентрацией 50 г/дм<sup>3</sup>. 58,64 г оксида лантана растворяют в 100 см<sup>3</sup> концентрированной азотной кислоты в мерной колбе вместимостью 1000 см<sup>3</sup> и доводят объем раствора до метки бидистиллированной водой. Срок хранения раствора 1 мес.

5. Основные градуировочные растворы металлов. Основные градуировочные растворы металлов готовят из соответствующего государственного стандартного образца водных растворов ионов металлов в соответствии с инструкцией по их применению. Аликвоту ГСО (1,0 или 10,0 см<sup>3</sup> в зависимости от концентрации ГСО) помещают в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup> и доводят до метки раствором азотной кислоты с молярной концентрацией до 0,2 моль/ дм<sup>3</sup>. Тщательно перемешивают. 1 см основного градуировочного раствора содержит 10 мкг соответствующего металла. Срок хранения основного градуировочного раствора не более 3 мес.

6. Рабочие градуировочные растворы, металлов. Рабочие градуировочные растворы металлов готовят разбавлением соответствующих основных градуировочных растворов:

6.1. Приготовление рабочего градуировочного раствора «А» с массовой концентрацией соответствующего металла 1000 мкг/дм<sup>3</sup>. 10 см<sup>3</sup> основного градуировочного раствора помещают в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup> и разбавляют раствором азотной кислоты с молярной концентрацией 0,2 моль/дм<sup>3</sup>, доводя объем содержимого колбы до метки. Тщательно перемешивают 1 см<sup>3</sup> рабочего градуировочного раствора содержит 1 мкг соответствующего металла. Срок хранения растворов — не более 1 месяца

2. Приготовление рабочего градуировочного раствора «Б» с массовой концентрацией соответствующего металла 100 мкг/дм<sup>3</sup> на см<sup>3</sup> рабочего градуировочного раствора «А» помещают в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup> и разбавляют раствором азотной кислоты с молярной концентрацией 0,2 моль/дм<sup>3</sup>, доводя объем содержимого колбы до метки. Тщательно перемешивают. 1 см<sup>3</sup> рабочего градуировочного раствора содержит 0,1 мкг соответствующего металла. Срок хранения раствора — не более 1 мес.

6.3. Приготовление рабочего градуировочного раствора «В» с массовой

концентрацией соответствующего металла 10 мкг/дм<sup>3</sup> 10 см<sup>3</sup> рабочего градуировочного раствора «Б» помещают в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup> и разбавляют раствором азотной кислоты с молярной концентрацией 0,2 моль/дм<sup>3</sup>, доводя объем содержимого колбы до метки. Тщательно перемешивают. 1 см<sup>3</sup> рабочего градуировочного раствора содержит 0,01 мкг соответствующего металла (табл.2.9). Срок хранения раствора — не более 1 дня.

Таблица 2.9- Приготовление градуировочных растворов

Металл	Массовая концентрация металлов в рабочем градуировочном растворе, мкг/дм <sup>3</sup>	Объем отбираемой аликвоты рабочего градуировочного раствора, см <sup>3</sup>	Объем мерной колбы, используемой для приготовления градуировочных растворов, см <sup>3</sup>	Массовая концентрация металла в приготавливаемых градуировочных растворах, мкг/дм <sup>3</sup>
Кадмий	10	1,0	100	0,1
		5,0	100	0,5
	100	1,0	100	1,0
		2,5	500	5,0
			500	10,0
Медь, свинец, никель, хром, кобальт, марганец, цинк	100	1,0	100	1,0
		2,0	100	2,0
		5,0	100	5,0
	1000	1,0	100	10,0
		5,0	100	50,0
		10,0	100	100
Железо, алюминий	1000	1,0	100	10,0
		3,0	100	30,0
		5,0	100	50,0
		10,0	100	100

Источник: Комплексное..., 2012

Градуировочные растворы. Градуировочные растворы готовят из соответствующих рабочих градуировочных растворов непосредственно перед началом измерений и используют в течение одного рабочего дня. Для приготовления градуировочных растворов в мерные колбы отбирают в соответствии с требованиями таблицы 3 аликвоты рабочих градуировочных растворов соответствующих элементов, добавляют до метки раствор азотной кислоты с молярной концентрацией 0,2 моль/дм<sup>3</sup> и тщательно перемешивают. Одновременно готовят холостую пробу. В качестве холостой пробы применяют: 1) бидистиллированную воду — в случае, если анализируются пробы питьевой и природной воды, которые не подвергались предварительному консервированию; 2) раствор азотной кислоты с молярной концентрацией 0,2 моль/ дм<sup>3</sup>, приготовленный по п. 2. — в случае, если анализируются пробы сточных вод, а также

пробы питьевой и природной воды, которые были предварительно законсервированы.

#### Выполнение измерений

Анализ проб питьевой и природной воды. Проба воды, свободная от заметных глазом взвешенных частиц, анализируется без предварительной пробоподготовки (Ермаченко и др.). Измерение величины атомного поглощения анализируемой пробы осуществляется в соответствии с режимами измерения и анализа. Одновременно проводится измерение величины атомного поглощения холостой пробы[19].

#### Хроматографические методы

Определение основных ионов минерализации методом ионной хроматографии. Методом ионной хроматографии определяют концентрации основных ионов минерализации.

Перед проведением анализа образца проводится калибровка ионохроматографической системы с использованием растворов стандартов. Идентификацию и количественное определение ионов в образце осуществляют с данными, полученными от стандартов известного состава. Система для сбора и обработки данных — компьютерное программное обеспечение, записывает и обрабатывает хроматограмму (диаграмму зависимости сигнала детектора от времени). Хроматографическое программное обеспечение пересчитывает данные каждого пика на хроматограмме в концентрацию образца и выдает распечатку результатов.

Ионохроматографическая система ICS-1100 и ICS-2100 производства компании Dionex предназначена для определения ионов с применением кондуктометрического детектирования с использованием и без использования подавления фоновой электропроводности элюента. Ионохроматографическая система состоит из насоса высокого давления для подачи раствора элюента, узла ввода пробы, защитной и разделительной аналитической колонки, подавителя фоновой электропроводности, кондуктометрической ячейки и системы для сбора и обработки данных.

#### Определение общего углерода (TOC) и общего азота (TNb)

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 (TNb) характеризует содержание в воде соединений азота, причем входящих как в состав неорганических веществ, так и органических соединений. Характеризует качество воды, почв, свойства растений.

#### Принцип анализа

Компоненты пробы предварительно окисляются до простейших неорганических оксидов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}$ ) и далее их концентрации измеряются на соответствующих детекторах

(Табл. 2.10)

Таблица 2.10- Аналитические характеристики прибора vario TOC, cude

Аналитические характеристики прибора	Комментарии
Метод анализа	Элементарный анализ TIC, TC, TOC, NPOC, POC, DOC. Существует дополнительная возможность определения TN <sub>b</sub> . Каталитическое высокотемпературное окисление образца, ИК детектирование.
Детектор	C: ND1R N:(опционально) EC, NDIR или CLD
Sample volume	50-2.000 мкл
Working range	0-60.000 мг/л C
Разрешение/стандартное отклонение	TOC/ NPOC/ TC/ TIC 1% at >5мг/л
Время анализа (параметры определяются в зависимости от режима работы, объема образцов и их состава)	3-15 мин. в зависимости от режима анализа
Калибровка	Линейная, опционально по одной точке или нескольких точкам, либо полностью автоматическая, либо определяемая пользователем
Сожжение образца	Каталитическое сожжение при 850°C (режим жидкостей) Каталитическое сожжение при 950°C (режим анализа твердых образцов) Определение TIC с фосфорной кислотой (1%)
Хранение и вывод данных	Данные сохраняются на жестком диске, CD, дискете. Возможна передача в LIMS. Данные выводятся на монитор и принтер.

Источник: Комплексное..., 2012

Процессы в приборе во время измерения (табл. 2.11, 2.12, 2.13).

Таблица 2.11- Ввод образца в дифференциальном режиме (метод TIC/TC) и начало измерения

Шаг	Описание
1	2
1	Кислота для выделения TIC впрыскивается в барботер
2	ИК-детектор осуществляет установку нулевой линии измеряемого сигнала
3	В это время измерительная система промывается соответствующим образцом Многоходовой кран проходит две различные позиции Забор образца Вывод сбросов
4	Далее шприц-дозатор наполняется соответствующим объемом для инъекции
5	ИК-детектор определяет базовую линию

Продолжение таблицы 2.11

1	2
6	Многоходовой кран устанавливается на 4-ую позицию — инъекцию образца в трубку сжигания
7	Происходит падение давления, и доза образца впрыскивается в барботер
8	Многоходовой кран устанавливается на 3-ю позицию — инъекцию образца в трубку сжигания
9	Происходит падение давления в системе, и доза образца впрыскивается в трубку сжигания

Источник: Комплексное..., 2012

Таблица 2.12- Сжигание веществ и подготовка реакционной газовой смеси

Шаг	Процесс	
1	2	
1	Атмосфера в трубке сжигания обогащена кислородом из синтетического воздуха (O <sub>2</sub> ). Органически связанный углерод в образце окисляется до продукта газовой реакционной смеси в форме CO <sub>2</sub> .	
2	В режиме анализа жидкостей... Трубка сжигания заполнена Pt-катализатором, который поддерживает реакцию с кислородом	В режиме анализа твердых образцов... Трубка сжигания заполнена оксидом меди, который обеспечивает полное окисление сжигания образцов
3	Газ-носитель переносит продукты сжигания в блок разделения, где имеют место следующие процессы: Летучие соединения галогенов связываются серебряной ватой. Содержащаяся вода, отделяется холодильником-конденсатором и системой осушки измеряемого газа, в том числе с помощью абсорбционной трубки, заполненной перхлоратом магния. Соответствующие параметры подлежат измерению.	

Источник: Комплексное..., 2012

Таблица 2.13- Измерения при разных режимах анализа

TIC/TC	Сначала в барботер инжектируются кислота (1% H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ). затем образец. Содержащийся в образце TIC освобождается в виде CO <sub>2</sub> и переносится газом-носителем. Выделившийся из образца TIC CO <sub>2</sub> определяется на детекторе. Вторая аликвота образца инжектируется прямо в трубку сжигания и последующее определение TC. TOC определяется по разности TC - TIC.
TNb	Образец определяется одновременно инъекцией в трубку сжигания.

Источник: Комплексное..., 2012

Лабораторный анализ проб воды проводился согласно нормативно-методическим документам: ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97, РД 52.24.495-2005, ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000, ПНД Ф 14.1:2:4.50-96, ПНД Ф 14.1:2:4.134 – 98, РД.52.24.493-95, ПНД Ф 14.1:2.112-97, ПНД Ф

14.1:2:4.154-99, ПНД Ф 14.2:4.176-2000, ПНД Ф 14.1;2.101-97, ГОСТ Р 52991-2008, ГОСТ 17.1.5.03-81.

#### Выводы к главе:

В данной главе рассмотрены методика оценки качества вод озер, а также методы полевых и камеральных работ наиболее подходящие для достижения поставленной цели.

Для интегральной (суммарной) оценки качества вод выбран формализованный показатель общей загрязненности – индекс загрязнения воды (ИЗВ). ИЗВ принадлежит к группе данных, более часто применяемых с целью оценки свойства водных объектов. Данный показатель считается стандартным аддитивным коэффициентом и подразумевает собою посредственную долю превышения ПДК в соответствии с четко лимитированному количеству индивидуальных ингредиентов.

Полевые исследования включали в себя: отбор проб воды для лабораторного анализа, измерение глубин и проведение экспресс-анализа основных показателей воды (рН, минерализация, удельная электропроводность, окислительно-восстановительный потенциал, температура).

Лабораторные работы проводились следующими методами анализа вод: потенциометрия, кондуктометрия, ионная хроматография, фотометрия, атомно-абсорбционная спектроскопия с электротермической атомизацией проб, элементный анализ.

## ГЛАВА 3 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ОЗЕР НАДЫМСКОГО РАЙОНА

### 3.1 Обоснование выбора объектов исследования

Район исследования расположен в центральной части Западно-Сибирской низменности в подзоне северной тайги с островным распространением многолетнемерзлых пород. Равнинность и особенности климата обуславливают высокую заозеренность и заболоченность.

В пределах Западной Сибири широкое развитие имеют малые водосборы, питание которых в основном определяется атмосферными осадками, выпадающими на зеркало в виде дождя и снега, поверхностного и подземного (грунтового) притока с водосбора. В районах распространения многолетнемерзлых грунтов, грунтовое питание имеет подчиненное значение. В лесной зоне кроме этого на гидрохимический состав озерных вод оказывает значительное влияние сток с окружающих болот и лесов.

Наиболее хорошо изучена в морфометрическом и гидрохимическом отношении южная и средняя части Западной Сибири. Северные районы в этом отношении изучены заметно слабее.

Озера были выбраны по следующим схожим принципам: 1) схожий тип питания-бессточные, преимущественно атмосферное питание, 2) максимальная транспортная доступность (преимущественно автомобильным транспортом), 3) наиболее типичные для данного региона озера термокарстового и пойменного происхождения.

Таким образом, объектами данных исследований в августе 2017 года являлись три наиболее типичных для данных территорий бессточных озера, расположенных в зоне северной тайги в Надымском районе Ямало-Ненецкого АО.

Выбранные, как объект исследования, озера не имеют названий, поэтому, для удобства исследования, мы дали им условные названия. Озеро №1- Дальнее, Озеро №2- Вытянутое, Озеро №3- Надымское. Озера Дальнее и Надымское ранее не исследовались. Озеро Вытянутое летом 2016г. было исследовано сотрудниками Института Криосферы Земли СО РАН А.С.Якимовым и Т.М. Ивановой, что в дальнейшем позволит сравнить полученные данные в ходе исследования в 2016 и 2017гг. для выявления закономерностей и возможных изменений гидрохимического состава и гидрологического режима.

Географические координаты озер: Дальнее 65°35'02.25"N 73° 5'46.27"E; Вытянутое 65°21'57.33"N 72°55'58.29"E; Надымское 65°30'51.52"N 72°29'16.93"E (рис.3.1)

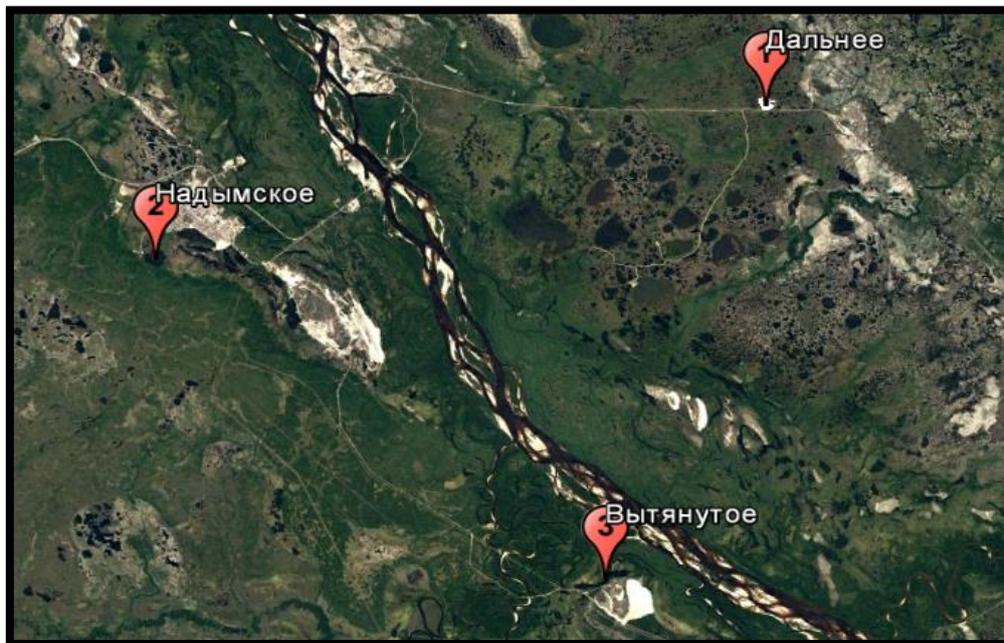


Рисунок 3.1- Космоснимок расположения озер Дальнее, Надымское, Вытянутое  
(источник: <https://earth.google.com/web/>)

### 3.2 Анализ качества вод озер Надымского района

Оценке качества водоемов посвящено большое количество работ. Она осуществляется по трем направлениям, включающим следующие комплексы показателей:

- Факторы, связанные с физико-географическим и гидрологическим описанием водоема, как целостного объекта;
- Контролируемые показатели состава и свойств водной среды, дающие формализованную оценку качества воды и ее соответствия действующим нормативам;
- Совокупность критериев, оценивающих специфику структурно-функциональной организации сообществ гидробионтов и динамику развития водных биоценозов.

Общая минерализация и главные ионы

Краткая характеристика озер

Озеро «Дальнее»

Географические координаты: 65°35'02.25"N 73° 5'46.27"E.

Озеро расположено в центральной части Западно-Сибирской низменности в подзоне северной тайги.

Южный берег озера примыкает к антропогенному линейному объекту - автомобильной дороге. За счет этого южный берег озера укреплен околodорожной отсыпкой. Остальные берега имеют заболоченный характер с характерной растительностью: ива, голубика, морошка, клюква, зеленый мох.

По происхождению озеро термокарстовое.

Значения рН в точке отбора пробы поверхностных и придонных вод равняется 7,91 и 7,92, что соответствует слабощелочным водам. По всей вероятности, процессы закисления не характерны для озер региона. Достоверных различий в значениях рН поверхностных и придонных вод не отмечено.

Низкие значения удельной электропроводности (12,7 мкСм/см, что соответствует уровню атмосферных осадков вне промышленных районов) косвенно свидетельствуют об отсутствии прямого контакта с четвертичными морскими глинистыми отложениями, обуславливающими высокую общую минерализацию природных вод и, как следствие, высокие значения УЭП. Достоверных различий в значениях УЭП поверхностных и придонных вод также не отмечено.

#### Озеро «Вытянутое»

Географические координаты: 65°21'57.33"N 72°55'58.29"E

Озеро расположено в центральной части Западно-Сибирской низменности в подзоне северной тайги в 30км. от г. Надым. По происхождению озеро пойменное.

Озеро имеет вытянутую форму протяженностью чуть больше 1км. Из-за большой протяженности озера берега не имеют одного характера, южный берег озера имеет большую протяженность заболоченного характера представленного растительностью: ива, голубика, морошка, клюква, зеленый мох. Также южный и северный берег озера представлены березово-сосновым древостоем.

Вблизи озера расположен Противотуберкулезный диспансер.

Значения рН в точке №1 отбора пробы поверхностных и придонных вод равняется 7,07 и 6,62, в точке №2 соответственно 7,1 и 7,09, что соответствует нейтральным водам.

#### Озеро «Надымское»

Географические координаты: 65°30'51.52"N 72°29'16.93"E.

Озеро расположено в центральной части Западно-Сибирской низменности в подзоне северной тайги в непосредственной близости с г. Надым. По происхождению озеро термокарстовое.

Значения рН в точке отбора пробы поверхностных и придонных вод равняется 7,7 и 7,75, что соответствует слабощелочным водам. Низкие значения удельной электропроводности. Достоверных различий в значениях УЭП поверхностных и придонных вод также не отмечено.

Измерения глубин на рассматриваемых озерах проводились с помощью автоматического батиметрического комплекса. Для исследуемых озер количество измерения глубин составляло от 230 до 3550 точек, в зависимости от размеров озера,

маршрут движения аппарата представлял собой концентрическую спираль с расстоянием между витками 5-7 метров, такой способ обеспечил наиболее оптимальное соотношение плотности точек и скорости проведения измерений. Измерение глубин осуществлялось в полевых условиях, остальные морфометрические данные были получены в ходе работ с программными сервисами Google Earth и Google Maps. Данные по морфометрическим измерениям представлены в таблице 3.1. На фоне данных, полученных при измерении глубин, построены батиметрические карты озер (прил. Б, В, Г).

Таблица 3.1 - Морфометрические характеристики исследуемых озер.

Название	Географические координаты	Максимальные линейные размеры, м	Максимальная глубина, м	Площадь, км <sup>2</sup>
Дальнее	65°35'02.25"N 73° 5'46.27"E	длина – 720, ширина - 473	1,0	0,36
Надымское	65°30'51.52"N 72°29'16.93"E	длина – 1008, ширина - 952	1,9	0,68
Вытянутое	65°21'57.33"N 72°55'58.29"E	длина – 2991, ширина - 316	2,7	0,75

Источник: составлено автором

Замеры температур поверхностных и придонных вод не выявили достоверных различий (наблюдается тенденция снижения температуры придонных вод на самом глубоком озере «Старица») что согласуется с данными П.Т. Орехова [2010].

Результаты измерений физико-химических свойств вод озер Надымского района представлены в приложении Д. Значения рН изменяются в диапазоне 6,62-7,92, что соответствует нейтральным и слабощелочным водам. По всей вероятности, процессы закисления не характерны для озер региона. Достоверных различий в значениях рН поверхностных и придонных вод не отмечено.

#### Общая минерализация и главные ионы

В первой половине XX в. большинство работ было посвящено вопросам изучения роли физико-географических факторов в формировании химического состава вод. На их основе был построен ряд классификаций природных вод, среди которых наиболее распространенными являются классификации по величине и составу минеральных растворимых веществ, разработанные С.А. Щукаревым, Г.А. Максимовичем, В.А. Сулиным, О.А. Алекиным. Принцип построения классификации Щукарева - преобладание одного или нескольких главных катионов ( $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K$ ) и трех главных анионов ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ).

Согласно данной классификации исследуемые озера относятся к классу сульфатно-кальциевых. По общей минерализации класс относится к группе: А – менее 1,5 г/л.

Данные по процент-эквивалентам основных ионов представлены в таблице 3.2, а также рисунок 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2- Химический состав исследуемых озерных вод Надымского района

Наименование озера	Гидрохимическая формула	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>
Вытянутое	$\frac{SO_4\ 55\ Cl\ 27\ HCO_3\ 18}{Ca\ 56\ Mg\ 20\ Na\ 16\ K\ 8}$	186
Дальнее	$\frac{SO_4\ 67\ HCO_3\ 23\ Cl\ 10}{Ca\ 57\ Na\ 22\ Mg\ 17\ K\ 4}$	208
Надымское	$\frac{SO_4\ 48\ HCO_3\ 42\ Cl\ 10}{Ca\ 53\ Na\ 22\ Mg\ 18\ K\ 7}$	413
Осадки	$\frac{SO_4\ 80\ Cl\ 20}{Ca\ 61\ K\ 17\ Mg\ 15\ Na\ 7}$	101

Источник: составлено автором.

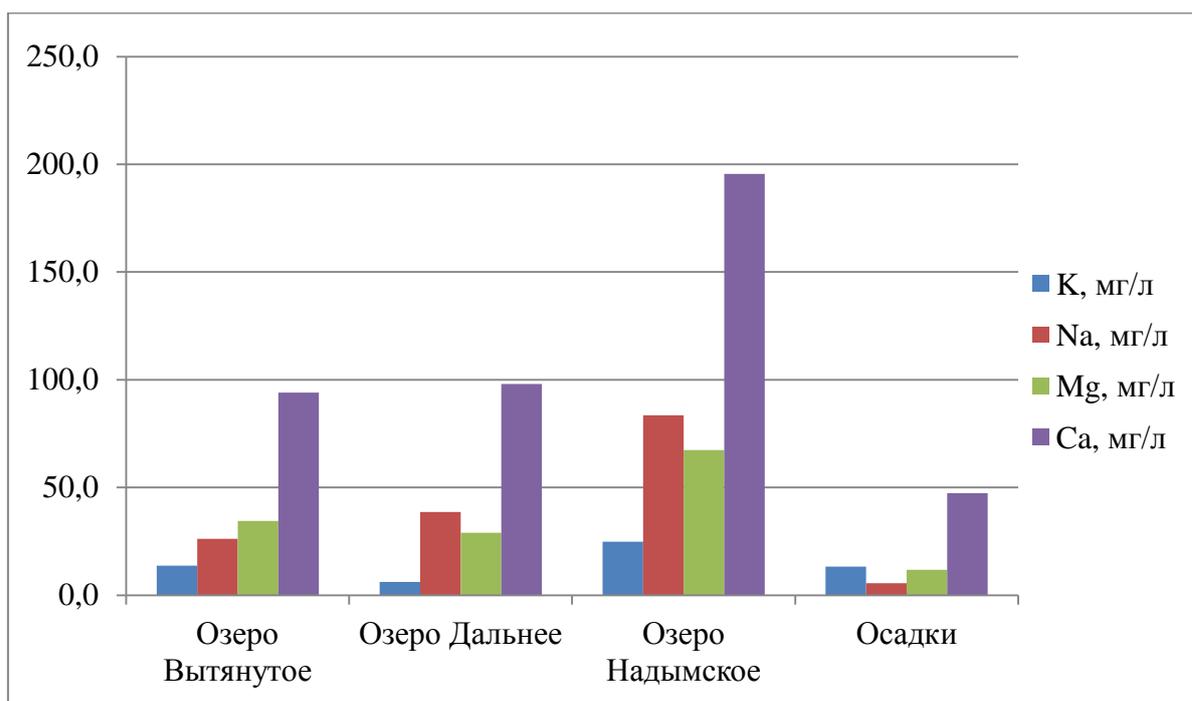


Рис.3.2- Катионный состав вод (составлено автором)

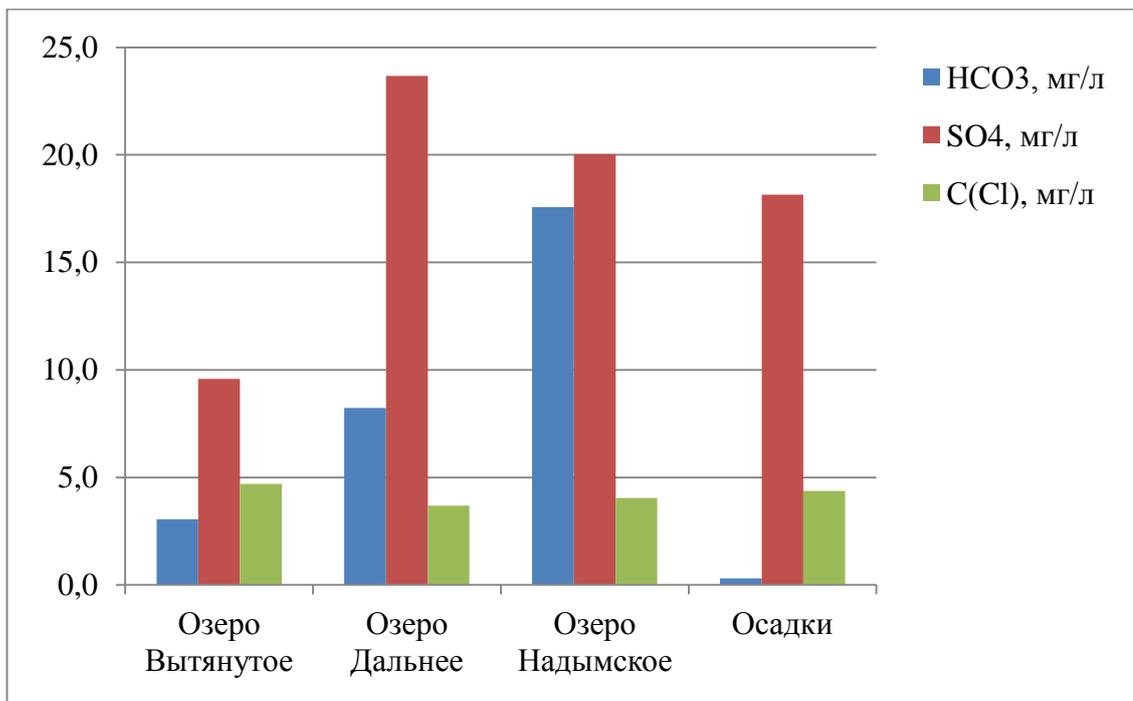


Рис.3.3- Анионный состав вод (составлено автором)

Согласно ГОСТ 17403 – 72 природные воды по степени минерализации относятся к пресным- от 0 до 1 г/кг (рис.3.4). В свою очередь пресные воды подразделяются следующим образом: воды малой минерализации – до 200 мг/дм<sup>3</sup>; воды средней минерализации – от 200 до 500 мг/ дм<sup>3</sup>; воды повышенной минерализации – от 500 до 1000 мг/дм<sup>3</sup>. Таким образом, озеро Вытянутое относится к водам малой минерализации; озера Надымское и Дальнее- воды средней минерализации. Наибольший показатель минерализации отмечается у озера Надымское.

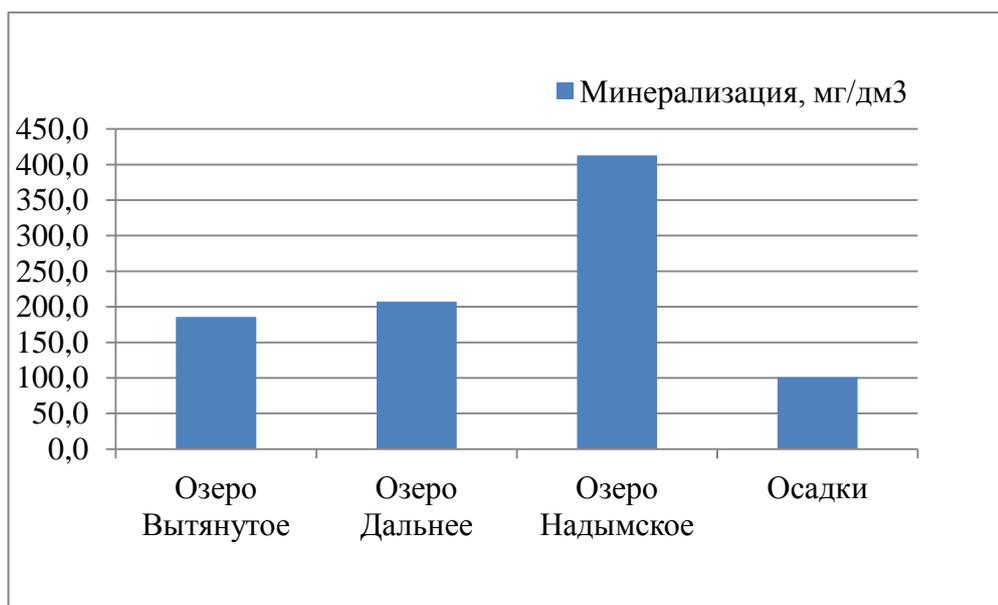


Рисунок 3.4- Среднее значение минерализации озерных вод (составлено автором)

Причиной малой минерализации вод озера Вытянутое являются преобладание атмосферного питания. Низкая минерализация также связана и с процессами сезонного промерзания поверхностного слоя грунтов. Поскольку под снегом поверхностный слой почвы обычно бывает промерзшим, талые воды не могут обогащаться солями, вымывая только те, которые можно выщелочить из поверхностного слоя почвы. Для формирования состава поверхностных вод, также имеют процессы криогенного метаморфизма — изменения концентрации и соотношения главных ионов в результате процессов промерзания- протаивания грунтов. Известно, что наиболее значительной криогенной метаморфизации подвержены воды, в составе которых содержатся в больших количествах гидрокарбонаты и сульфаты щелочных металлов, интенсивно выпадающие в осадок даже при небольшом понижении температуры. Неоднократное повторение процесса промерзания пород снижает соленасыщенность грунтовых вод в несколько раз, в результате чего они нередко превращаются в ультрапресные. Большое значение имеют также особенности четвертичных отложений. Широкое распространение водно-ледниковых отложений песчаного и супесчаного состава, характерное для районов Западной Сибири, в значительной степени определяется пониженной минерализацией вод.

Для озер Надымское и Дальнее повышение общей минерализации может быть связано с процессами нефте- и газодобычи, когда в поверхностные водоемы попадают высокоминерализованные подземные воды.

#### Щелочно-кислотные условия

Один из важнейших гидрохимических показателей — рН воды — имеет большое значение для химических и биологических процессов, происходящих в природных водах. От значений рН зависят формы и интенсивность миграции элементов, развитие и жизнедеятельность водных растений, устойчивость инженерных сооружений. Вода, пригодная для хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного использования, имеет рН 6,5-8,5.

Исходя из данных полученных в ходе полевых исследований экспресс-анализом (табл. 3.3), можно отнести озера Дальнее и Надымское к озерам со слабощелочными водами, а Вытянутое- нейтральными. Значение рН озерных вод исследуемых озер укладывается в рамки экологических нормативов. Подкисление вод за счет влияния антропогенных факторов не наблюдается.

Таблица 3.3- Водородный показатель вод исследуемых озер Надымского района

Наименование озера	Средний показатель рН, ед. рН
Дальнее	7,9
Вытянутое	7,1
Надымское	7,7

Источник: составлено автором

Показатель рН исследуемых озер несколько превышает средние региональные значения 6.93 ед. рН (рис.3.5). Но стоит отметить, что водородный показатель склонен варьироваться в течение года. Поэтому, важно учитывать время его измерения. Для таежной зоны характерен минимум водородного показателя в холодный период (вода слабокислая) и максимум в теплый (слабощелочная). Данные исследования проводились в начале августа, этим и объяснимы превышения среднего регионального значения.

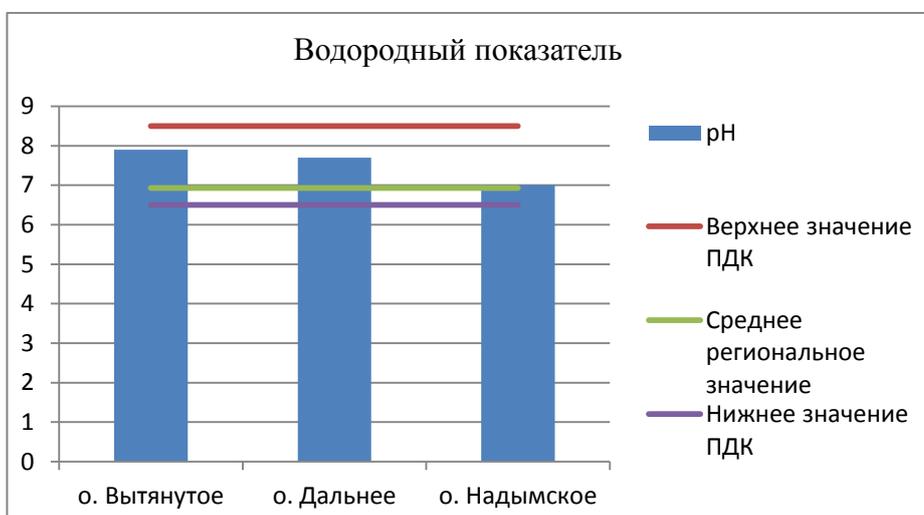


Рисунок 3.5- Водородный показатель озерных вод в сравнении с ПДК и средним региональным значением (составлено автором)

Нормативы качества природной среды представляют собой научно обоснованные характеристики ее компонентов (в том числе в количественном измерении), необходимые для устойчивого развития экосистем, обеспечения нормальной жизнедеятельности человека, а также воспроизводства природных ресурсов на территории автономного округа. При этом критерии качества воды — «характеристики состава и свойств воды, определяющие пригодность ее для конкретных видов водопользования».

Обычно при оценке качества воды и анализе антропогенного влияния на ее состав используется такой показатель, как предельно допустимые концентрации ПДК — максимальное количество вредного вещества в единице объема, которое при ежедневном воздействии в течение неограниченно продолжительного времени не вызывает в организме каких-либо патологических отклонений, а также неблагоприятных наследственных изменений у потомства. Так, обоснованы ПДК для водоемов

хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования — ПДК<sub>В</sub> и водоемов, используемых для рыбохозяйственных целей — ПДК<sub>вр</sub>. В последних концентрация вредного вещества в воде не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых [Лукьяненко, 1983].

Выбор рыбохозяйственных нормативов при анализе экологического состояния водных объектов обусловлен тем, что значительное количество озер является местом обитания и воспроизводства ценных видов рыб, используется коренным населением как промысловые угодия. Экспериментально ПДК<sub>вр</sub> «устанавливается по наиболее чувствительному звену трофической цепи водоема» [Перечень..., 1999]. Рыбохозяйственные нормативы качества вод распространяются на всех гидробионтов, поскольку условия, приемлемые для промысловых рыб, как правило, благоприятны и для других биотических компонентов водной экосистемы.

В таблице 3.4 представлен перечень основных показателей, характеризующий химический состав вод озер. Для каждого показателя приводится значение ПДК<sub>рх</sub> и среднее региональное значение.

Таблица 3.4- Основные показатели, характеризующие химический состав вод озер

Определяемый показатель	ПДК <sub>рх</sub>	Среднее региональное значение	Место отбора проб			
			о. Вытянутое	о. Дальнее	о. Надымское	Осадки
1	2	3	4	5	6	7
рН	6,5-8,5	6,93	7,9	7,7	7,1	5,1
УЭП, мкСм/см	-	-	133	226	416,5	101,5
Раст.О <sub>2</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	≥6	10,68	6,9345	3,7455	5,708	4,3225
PO <sub>43-</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0,2	-	0,1133	0,09535	0,24825	0,0922
Fe, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	1,09	0,4775	1,01	1,3475	0,239
Co, мг/дм <sup>3</sup>	0,01	-	0,0004	0,00009	0,00018	0
Cd, мг/дм <sup>3</sup>	0,0005	-	0,000073	0	0,00004	0,0009
Cu, мг/дм <sup>3</sup>	0,001	0,001	0,001	0,0023	0,0025	0,0028
Mn, мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,024	0,00012	0,0005	0,00057	0,0005
Cr, мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,007	0,0024	0,0075	0,0021	0,0043
Ni, мг/л пламя	0,01	0,0023	0,0195	0,0227	0,0289	0,04835
K, мг/дм <sup>3</sup>	50	-	13,8	6,2	24,9	13,3
Na, мг/дм <sup>3</sup>	120	-	26,1	38,6	83,6	5,6
Mg, мг/дм <sup>3</sup>	40	-	34,5	29,0	67,3	11,8
Ca, мг/дм <sup>3</sup>	180	-	94,1	98,0	195,6	47,4
HCO <sub>3</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	-	-	3,1	8,2	17,6	0,3
SO <sub>4</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	100	3,06	9,6	23,7	20,0	18,2
C(Cl), мг/дм <sup>3</sup>	300	3,25	4,7	3,7	4,0	4,4

Источник: составлено автором.

## Газовый режим озер

Одна из существенных экологических проблем округа- нехватка кислорода в водах рек и озер в ледовый период. Минимальное значение содержания растворенного кислорода, обеспечивающего нормальное развитие рыб, составляет около 5 мг/дм<sup>3</sup>. Понижение его до 2 мг/дм<sup>3</sup> вызывает массовую гибель(замор) рыбы. Формирование заморных явлений обусловлено природными факторами.

По данным лабораторных исследований, воды озер, за исключением озера Вытянутое, не соответствуют принятым критериям качества, экологическая норма 6 мг/дм<sup>3</sup>. Низкое значение характерно для озер Дальнее, значение озера Надымское близко к норме, но не соответствует ей. Помимо этого, концентрация растворенного кислорода в водах исследуемых озер значительно ниже среднего регионального значения (рис.3.6).

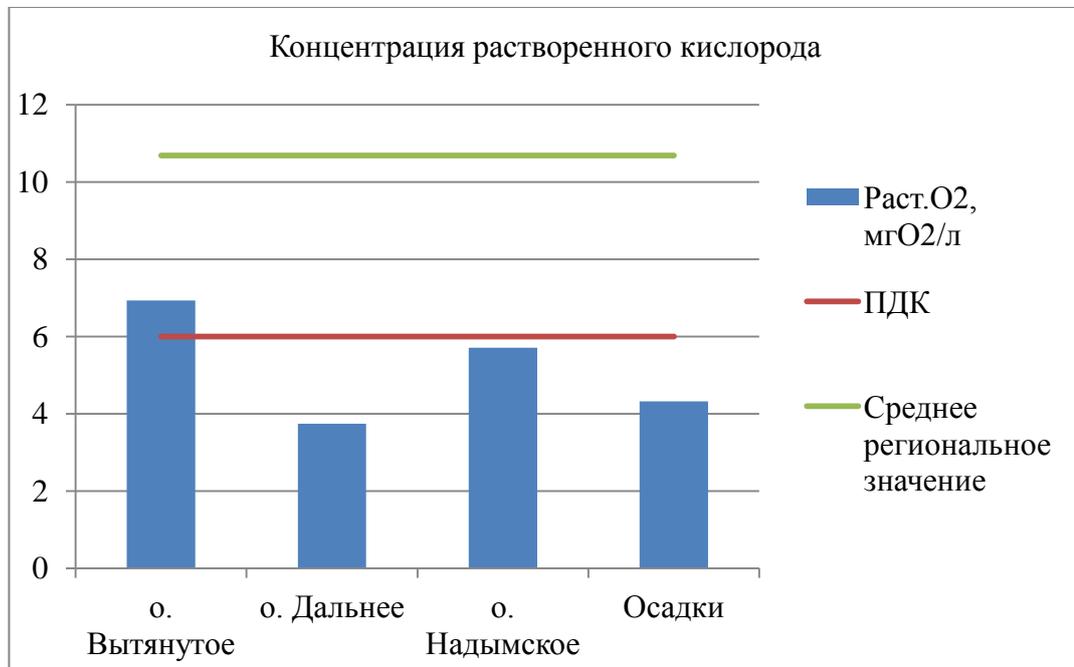


Рисунок 3.6- Концентрация растворенного кислорода в озерных водах и дождевых осадках в сравнении с ПДК и средним региональным значением (составлено автором)

Обогащение речной воды кислородом происходит в результате прямой абсорбции из атмосферы, поступление обогащенных кислородом атмосферных осадков, а также вследствие фотосинтеза водных растений. Кислород, растворенный в воде, расходуется на окисление многочисленных органических и неорганических веществ (соединение азота, фосфора, железа, марганца и др.), на дыхание водной биоты.

Причиной снижения концентрации кислорода является большое количество растворенного органического вещества, ионов железа и марганца, на окисление которых расходуется кислород. Определенную роль в снижении содержания растворенного кислорода играют органические загрязнители.

Концентрация фосфатов в озерах отмечается в пределах: 0,095- 0,248 мг/дм<sup>3</sup>. Озеро Дальнее имеет концентрацию фосфатов 0,095 мг/дм<sup>3</sup>, что незначительно больше концентрации фосфатов дождевой воды- 0,092 мг/дм<sup>3</sup>. Наибольшее значение отмечено у озера Надымское- 0,248 мг/дм<sup>3</sup>, что превышает ПДК<sub>рх</sub> для эвтрофных водоемов- 0,2 мг/дм<sup>3</sup>(рис.3.7.). Превышение концентраций обусловлено расположением озера близь черты города Надым. Антропогенными источниками фосфатов являются сточные воды населенных пунктов, т.к. фосфаты входят в состав синтетических моющих средств. А так же фосфаты широко используются в качестве удобрений. Вследствие чего выявлена зависимость концентрации фосфатов от показателей техногенного воздействия.

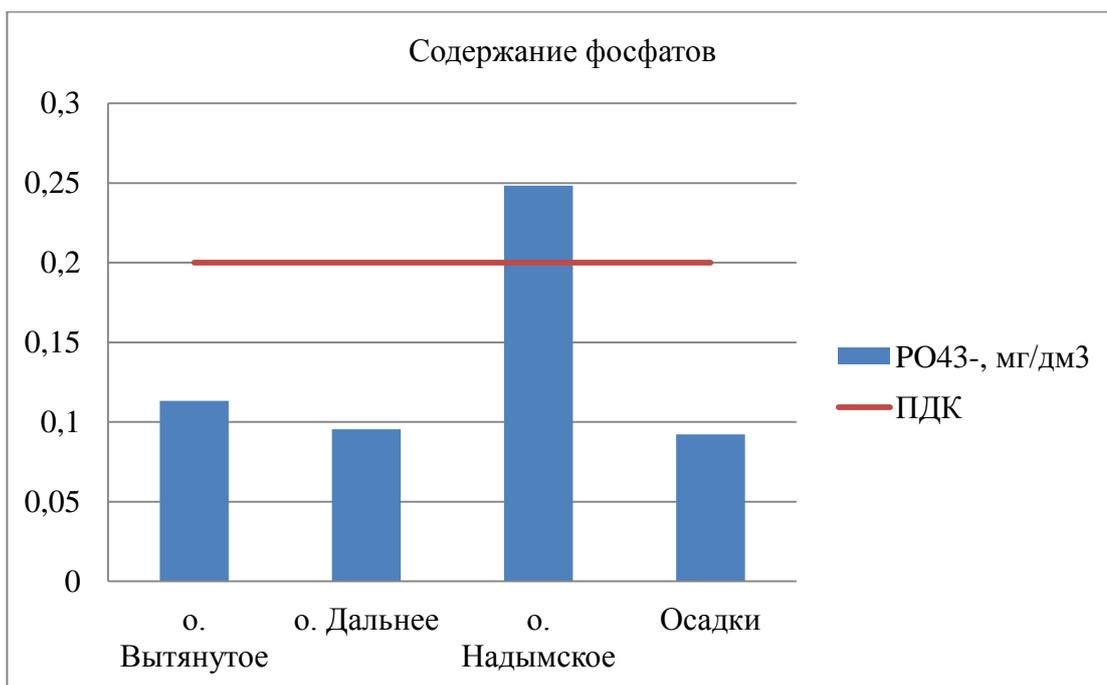


Рисунок 3.7- Содержание фосфатов в озерах и атмосферных осадках в сравнении с ПДК (составлено автором)

#### Металлы

Железо является типоморфным элементом природных вод таежной зоны Западной Сибири. Особенно велико его содержание в почвенных, болотных и озерных водах. Главными источниками соединений железа в поверхностных водах являются процессы химического выветривания пород. В ходе взаимодействия с содержащимися в природных водах минеральными и органическими веществами образуется сложный комплекс соединений железа, находящихся в воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии.

Для поверхностных вод ЯНАО характерно высокое содержание железа, постоянно превышающее санитарно-гигиенические нормативы. Обусловлено это главным образом природными факторами, связанными с особенностями формирования состава воды.

Озера Надымского района также не стали исключением. Концентрация железа в озерах отмечается в пределах 0,48 - 1,35 мг/дм<sup>3</sup>(рис.3.8). Наименьшая концентрация железа отмечена у озера Вытянутое и составляет 0,48 мг/дм<sup>3</sup>, что превышает ПДК<sub>рх</sub> почти в 5 раз. Для озера Дальнее превышение концентрации составило 10ПДК, что соответствует среднему региональному значению. Наибольшая концентрация железа отмечено в озере Надымское- 1,35 мг/дм<sup>3</sup>, что в 13,5 раз превышает ПДК и в 1,2 раза превышает среднее региональное значение.

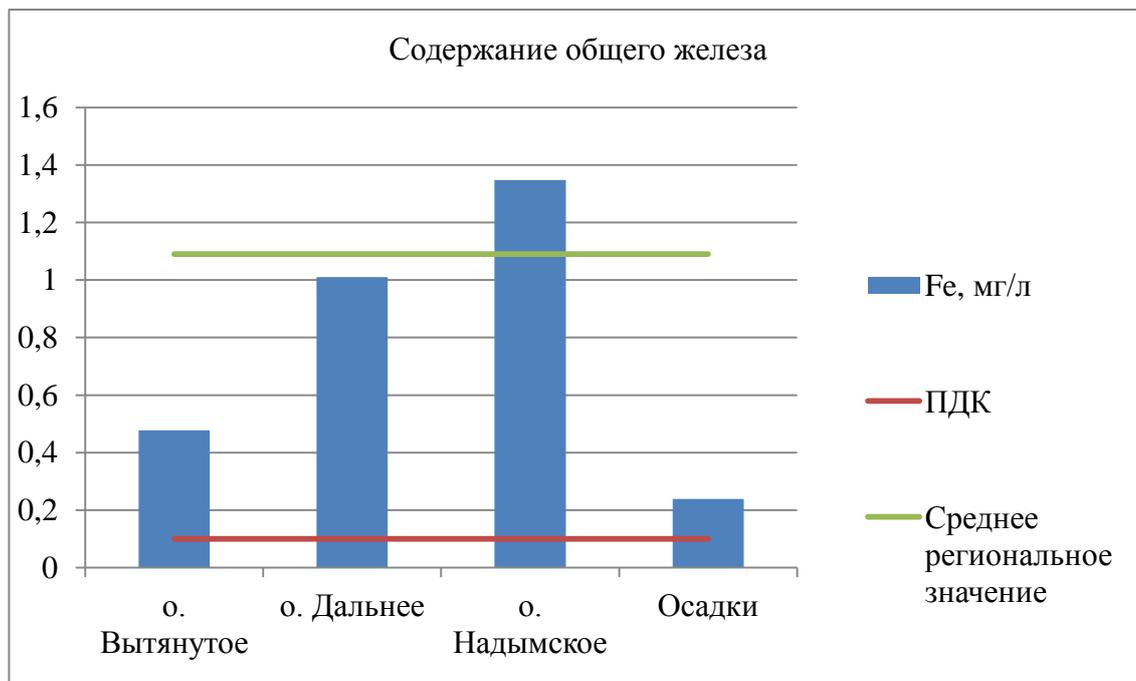


Рисунок 3.8- Содержание общего железа в водах озер и атмосферных осадков в сравнении с ПДК и средним региональным значением (составлено автором)

Содержание железа выше 1—2 мг/дм<sup>3</sup> значительно ухудшает органолептические свойства воды, придавая ей неприятный вкус и делая ее малопригодной для употребления в пищу и технического использования.

Хотя поступление железа в поверхностные воды связано, прежде всего, с природными факторами, можно предположить, что антропогенная деятельность вызывает повышение содержания железа в водах вследствие значительных механических нарушений ландшафтов и увеличения подвижности железа. Отметим, что наибольшее содержание железа приходится на озеро Надымское, которое расположено вблизи города Надым, что и подтверждает выше сказанное предположение.

Медь и никель. Медь и никель являются распространенными промышленными ксенобиотиками, которые токсичны для живых организмов, это основные загрязняющие поверхностные воды металлы, сбрасываемые различными видами производств во многих регионах (особенно в северных) Российской Федерации. Основными источниками

поступления меди в природные воды являются промышленные выбросы, отходы, сточные воды, транспорт, медьсодержащие удобрения, пестициды, процесс сварки, сжигание топлива в различных отраслях промышленности. Антропогенное поступление никеля в биосферу происходит при производстве цветных металлов, железа, стали, фосфатных удобрений и т. д.

Значительные концентрации меди и никеля отмечены в атмосферных осадках в виде дождя, превышая ПДК почти в 3 и 5 раз соответственно (рис.3.9 и 3.10)

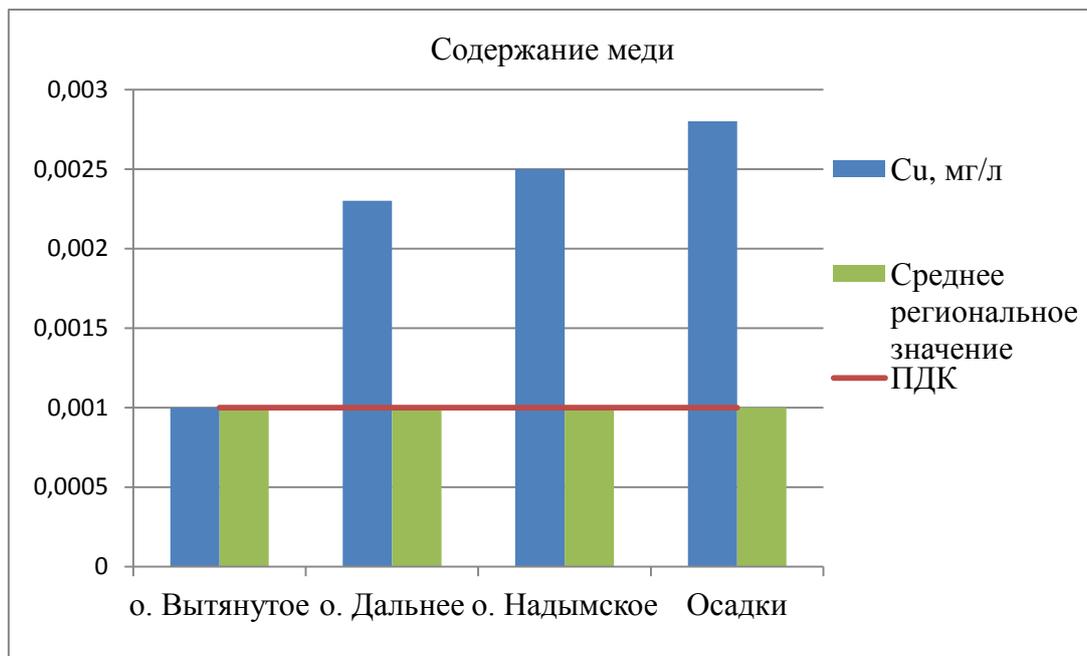


Рисунок 3.9- Содержание меди в водах озер и атмосферных осадков в сравнении с ПДК и средним региональным значением (составлено автором)

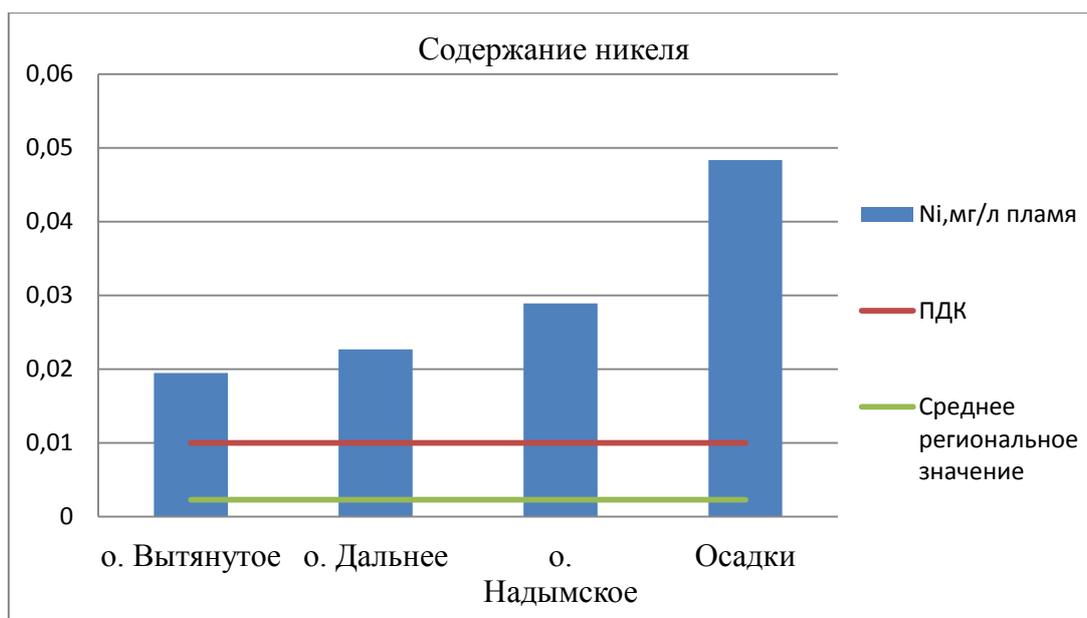


Рисунок 3.10 - Содержание никеля в водах озер и атмосферных осадков в сравнении с ПДК и средним региональным значением (составлено автором)

В водах озера Вытянутое концентрация меди на уровне ПДКрх. В озерах Дальнее и Надымское наблюдается превышение концентрации меди в 2-2,5 раза. Превышение концентраций никеля для озер Вытянутое и Дальнее составляет в среднем 2 ПДКрх, для озера Надымское около 3 ПДКрх.

Тяжелые металлы (ТМ), как особая группа элементов, в химии выделяются из-за токсического действия, оказываемого на живые организмы при высокой их концентрации. Тяжелыми принято считать металлы с атомной массой больше 50. Эти элементы обладают большой токсичностью для живых организмов. Несмотря на токсические свойства, многие из них играют важную роль в качестве микроэлементов в биохимических реакциях.

Нами были отобраны пробы на содержание ТМ в двух озерах – Вытянутое и Надымское. Данные о содержании элементов в водах этих озер представлены в Приложениях Е и Ж.

На основании данных ICP-MS общее количество валовых форм ТМ в водах изученных озер представлено на рисунке 3.11. Наибольшая величина отмечена в озере Надымское, (429,2 мкг/дм<sup>3</sup>), что, по всей вероятности, объясняется воздействием города Надым. В озере Вытянутое содержание ТМ в 5 раз меньше, и составляет 86,8 мкг/дм<sup>3</sup>.

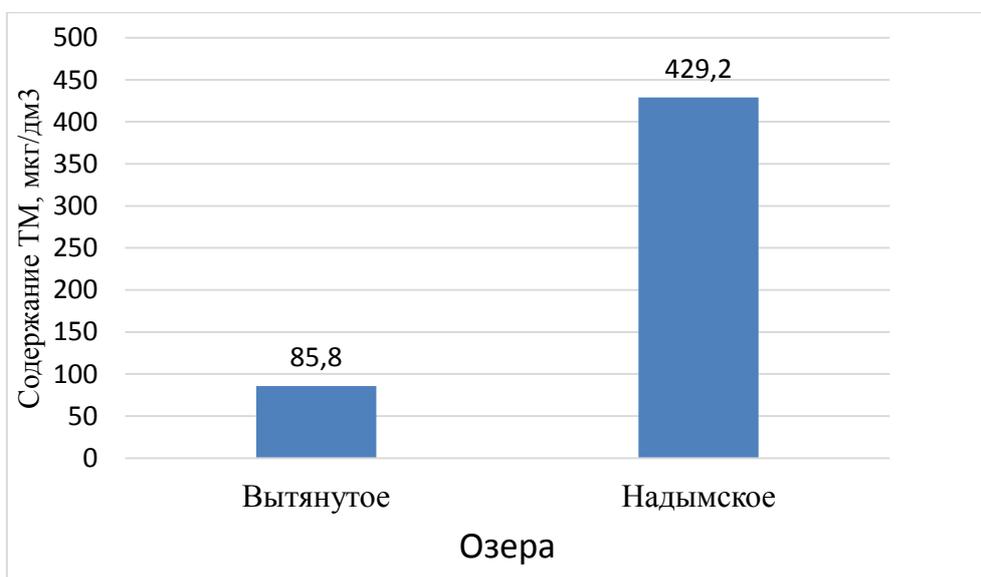


Рисунок 3.11 - Суммарное содержание валовых форм ТМ в водах озер (составлено автором)

В озере Вытянутое 99,8 % валовой массы ТМ составляют 9 элементов, расположенных следующем порядке: Fe>>Mn>>Sr>Zn>Ba>Rb>La>Ce>Pb (рис.3.12). Остальные ТМ распределились следующим образом: Nd>Y>Sb>Zr> Pr >Gd> Sm> Dy> Er> Cs >Yb> U> Eu> Tb> Th> Ho> Tm> Tl> Bi.

В озере Надымское были обнаружены все ТМ, доступные методу ICP-MS, при этом 99,8 % валовой массы ТМ составляют уже 17 элементов, расположенных следующем порядке: Fe>>>Mn >Sr> Ba>Zn> Cu>V>Ni> Ce> Rb> Pb> La> Nd> Y>Co> Pr> Sb (рис. 3.13). Остальные ТМ распределились следующим образом: Gd>Sm>Zr>Dy>Mo>Er>Yb>U>Eu>Th>Ho>Tb>Cd>Tm> Lu>Cs>Bi>Hf>Tl. Обращает внимание значительные доли Ba, Zn, Cu, V и Ni.

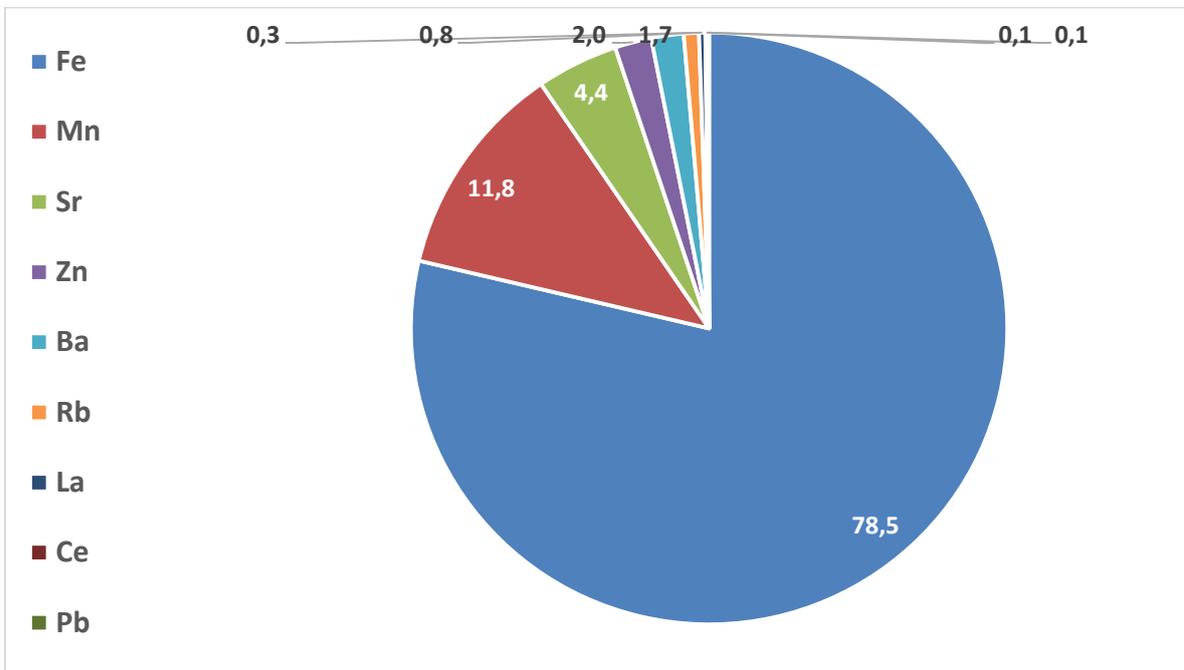


Рисунок 3.12 - Распределение валовых форм основных ТМ в воде озера Вытянутое, % (составлено автором)

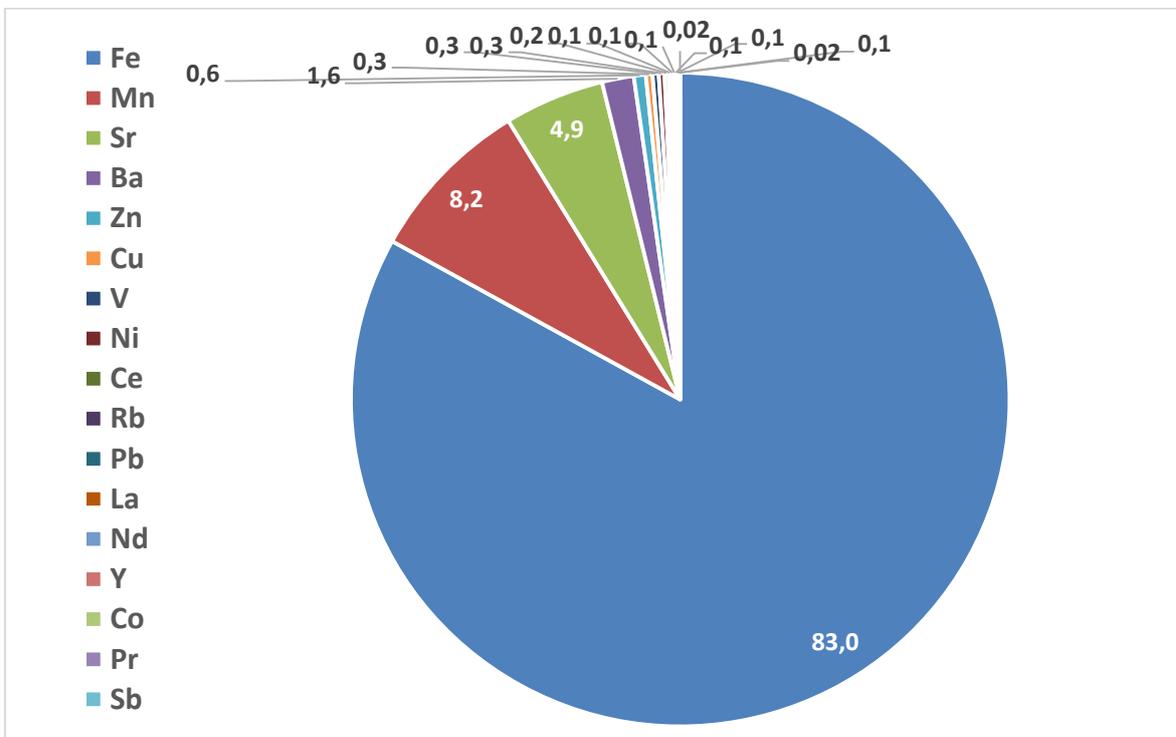


Рисунок 3.13 - Распределение валовых форм основных ТМ в воде озера Надымское, % (составлено автором)

Таким образом, сравнение содержания валовых форм тяжелых металлов в водах двух озер показал, что озеро Надымское подвержено значительному техногенному химическому загрязнению от промышленных и бытовых объектов города Надыма: общее содержание и набор идентифицированных ТМ в этом озере значительно превосходит по сравнению с фоновым озером Вытянутое.

#### Расчеты индекса загрязнения воды

В число компонентов, по которым велся расчет, включены, в соответствии с методикой, обязательные значения (рН, O<sub>2</sub>) и вещества, в наибольшей степени превышающие ПДК. Таковыми, после предварительных подсчетов, оказались железо, медь, никель, фосфаты.

ИЗВ<sub>6</sub> озера Вытянутое по: рН, растворенный кислород, фосфаты, железо, медь, никель:

$$\text{ИЗВ}_6 = \frac{6/6,9 + 0,113/0,2 + 0,478/0,1 + 0,005/0,001 + 0,0195/0,01}{6} = 2,2$$

ИЗВ<sub>6</sub> озера Дальнее по рН, растворенный кислород, фосфаты, железо, медь, никель:

$$\text{ИЗВ}_6 = \frac{30/3,7 + 0,095/0,2 + 1,01/0,1 + 0,002/0,001 + 0,023/0,01}{6} = 3,9$$

ИЗВ<sub>6</sub> озера Надымское по рН, растворенный кислород, фосфаты, железо, медь, никель:

$$\text{ИЗВ}_6 = \frac{12/5,7 + 0,248/0,2 + 1,35/0,1 + 0,0025/0,001 + 0,029/0,01}{6} = 3,7$$

Измерения ИЗВ показали, что все исследуемые озеро относятся к IV классу качества вод- загрязненные. Наименьшее значение 2,2 отмечено у озера Вытянутое, данное озеро находится близко к границе III класса качества вод. Озера Надымское и Дальнее наоборот, близки к границе IV класса качества вод- грязные.

Однако следует отметить, что данный подсчет, учитывает вещества, превышающие ПДК в силу природного генезиса. Таким веществом является железо, превышение которого составляет: 5ПДК для озера Вытянутое, 10ПДК для озера Дальнее и 13,5ПДК для озера Надымское. С учетом данного вещества ИЗВ дает характеристику качества воды. Для получения ИЗВ, как показателя уровня загрязнения, следует исключить компоненты природного генезиса.

Таким образом, рассчитаем ИЗВ для озер, исключив один компонент- железо.

ИЗВ<sub>5</sub> озера Вытянутое по: рН, растворенный кислород, фосфаты, медь, никель:

$$\text{ИЗВ}_5 = \frac{6/6,9 + 0,113/0,2 + 0,005/0,001 + 0,0195/0,01}{5} = 1,7$$

ИЗВ<sub>5</sub> озера Дальнее по рН, растворенный кислород, фосфаты, медь, никель:

$$\text{ИЗВ}_5 = \frac{30/3,7 + 0,095/0,2 + 0,002/0,001 + 0,023/0,01}{5} = 2,6$$

ИЗВ<sub>5</sub> озера Надымское по рН, растворенный кислород, фосфаты, медь, никель:

$$\text{ИЗВ}_5 = \frac{12/5,7 + 0,248/0,2 + 0,0025/0,001 + 0,029/0,01}{5} = 1,75$$

Исключив из расчетов ИЗВ железо, превышение концентраций которого обусловлено в основном природными факторами, расчет показал, что озера Вытянутое и Надымское относятся к III классу качества вод - умеренно загрязненные. Озеро Дальнее не изменило класс качества вод - загрязненное, но значение ИЗВ существенно уменьшилось.

По всем компонентам расчета ИЗВ<sub>5</sub>, за исключением растворенного кислорода, наибольшее превышение концентраций наблюдается в водах озера Надымское. Не смотря на это, наибольшее значение ИЗВ<sub>5</sub> отмечается у вод озера Дальнее, это обусловлено крайне низким содержанием растворенного кислорода в воде.

Пригодность воды для какого-либо вида водопользования будем определять по ИЗВ<sub>6</sub>, т.к. данный индекс характеризует качество воды, сформированное как природными, так и антропогенными факторами формирования химического состава воды. По ИЗВ<sub>6</sub>, все озера относятся к 4 классу качества - экологически неблагоприятны, имеют ограниченное применение в рыбоводстве и орошении, пригодны для технических целей.

#### Вывод к главе:

В третьей главе обосновывается выбор объектов исследования и дается их краткая характеристика. А также проводится оценка качество вод озер Надымского района, путем расчета индекса загрязнения воды.

Объектами исследования были выбраны наиболее типичные для данного региона озера, что позволяет на основе изученности данных озер судить о качестве воды большинства других озер региона. В дальнейшем эти данные могут послужить для сравнительного анализа и выявления закономерностей других озер региона.

В ходе изучения химического состава было выявлено:

- Ионный состав исследуемых озерных вод Надымского района характеризуется преобладанием сульфат-иона среди анионов и кальция среди катионов. Воды озер относятся к типу сульфатно-кальциевых;
- Водородный показатель соответствует экологическим нормам, пойменное озеро имеет нейтральную среду, а термокарстовые озера - слабощелочную;

- Содержание растворенного кислорода в водах термокарстовых озер не соответствует экологическим нормам, в водах пойменное озеро – соответствует.
- Выявлены превышения предельно допустимых концентраций по железу, никелю, меди, в единичном случае фосфатов;
- Выявлено, что привнос элементов никеля и меди в воды озер осуществляется из атмосферы, путем выпадения атмосферных осадков, в данном случае в виде дождя;
- Отмечается превышение средних значений железа для региона в озере, расположенном в непосредственной близости с городом Надым. Также в водах этого озера отмечено единичное превышение концентрации фосфатов;
- Озера Надымское подвержено значительному техногенному химическому загрязнению от промышленных и бытовых объектов города Надыма: общее содержание и набор идентифицированных ТМ в этом озере значительно превосходит по сравнению с фоновым озером Вытянутое.

По результатам расчетов индекса загрязнения воды, озера были отнесены к 4 классу качества воды – загрязненные. Наименьшее значение ИЗВ рассчитано для пойменного озера.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была проведена оценка качества вод озер Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа.

1. В северотаежной зоне Ямало-Ненецкого АО большинство изученных озер по происхождению являются термокарстовыми. По гидрохимическому составу преобладают озера гидрокарбонатно-кальциевые и гидрокарбонатно-натриевые. Химический состав поверхностных вод исследуемых озер формируется под воздействием комплекса факторов, как природных, так и источников техногенного воздействия. Для поверхностных вод ЯНАО характерно повышенная концентрация железа, обусловленная главным образом природными факторами.

2. Экологическое состояние обследованных озер характеризовалось превышением предельно допустимых концентраций по следующим показателям: медь, никель, в единичном случае фосфаты.

Концентрация растворенного кислорода в водах термокарстовых озер Надымского района не соответствует экологическим нормам. Выявлено, что привнос элементов никеля и меди в воды озер осуществляется из атмосферы, путем выпадения атмосферных осадков.

Выявлено, что город Надым оказывает негативное воздействие на формирование качества воды. Отмечается превышение концентраций фосфатов в сравнении со средними региональными значениями, а также со значениями других параллельно исследуемых озер. Также общее содержание и набор идентифицированных тяжелых металлов в этом озере значительно превосходит по сравнению с фоновым озером Вытянутое.

3. Вода исследованных озер Надымского района относится к 4 классу качества «загрязненная» - экологически неблагополучны, имеют ограниченное применение в рыбоводстве и орошении, пригодны для технических целей.

Для выявления уровня загрязнения озер был рассчитан ИЗВ без учета железа (показателя в основном природного генезиса). Таким образом, Расчет показал, что экологическое состояние качества воды, озера Надымское и Вытянутое относятся к 3 классу качества воды – умеренно загрязненные.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

### ИСТОЧНИКИ

#### Нормативные правовые акты

1. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: утв. приказом Минсельхоза России от 13 декабря 2016 г. N 552 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс [сайт]. – URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения 02.06.2018).

#### Стандарты

2. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб: Межгос. Стандарт. – Введ. 2014 – 01 -01. - М.: Стандартинформ, 2013. – 8 с.

### ЛИТЕРАТУРА

3. Агбалян Е.В. Гидрохимические показатели качества природных вод малых озер бассейна р.Надым / Е.В.Агбалян, Е.В.Шинкарук // Успехи современного естествознания. - 2015. - №11-2. – с.186-190.

4. Алекин О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин. - Л.: Гидрометеиздат, 1970.- 444 с.

5. Амеличев Г.Н. Основы общей гидрологии. Учебно-методическое пособие / Г.Н.Амеличев, А.Г.Кузнецов. - Симферополь: ТНУ, 2009. – 126 с.

6. Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции/ Гл. ред. Н.Г. Москаленко. Тюмень: Институт криосферы Земли, 2006. – 357 с.

7. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа/ Гл. ред. С. И. Ларин. – Омск: Омская картографическая фабрика, 2004. – 304 с.

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

9. Бакулин В.В. География Тюменской области : учебное пособие / В. В. Бакулин, В. В. Козин. - Екатеринбург : Сред.-Урал. кн. изд-во. - 1996. - 240 с.

10. Баранов И. В. Лимнологические типы озер СССР / И.В.Баранов. - Л.: Гидрометеиздат, 1961.-276 с.

11. Богословский Б. Б. Озероведение / Б.Б. Богословский. – М.: МГУ,1960.- 336 с.

12. Богословский Б.Б. Морфология и морфометрия озер и водохранилищ / Б.Б. Богословский. - Л.: ЛПИ, 1977. 32 с.

13. Богословский Б.Б. Основы гидрологии суши: Реки, озера, водохранилища/ Б.Б. Богословский. - Минск: БГУ, 1974. - 214 с.
14. Гагарина О.В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы: Учебно-методическое пособие [Текст] / сост. О.В. Гагарина. / Ижевск: Издательство «Удмуртский университет». - 2012. - 199 с.
15. География Ямало-Ненецкого автономного округа : природа, население, хозяйство, экология. 8 - 9 кл.: учеб. пособие/ под ред. С.И. Ларина. - Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2001. - 328 с.
16. Добровольский Г.В. География почв: Учебник. — 2-е изд., перераб. и доп. / Г. В. Добровольский, И. С. Урусевская. — М.: МГУ, «КолосС», 2004. — 460 с.
17. Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер различных природных зон / С.П. Китаев. - М.: Наука, 1984. - 208 с.
18. Комплексное гидрохимическое и биологическое исследование качества вод и состояния водных и околоводных экосистем: Методическое руководство. Часть 1. Полевые исследования / под общ. ред. Т.И. Моисеенко. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2011. – 128 с.
19. Комплексное гидрохимическое и биологическое исследование качества вод и состояния водных и околоводных экосистем: Методическое руководство. Часть 2. Камеральные работы / под общ. ред. Т.И. Моисеенко. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2012. – 304 с.
20. Комплексный мониторинг северотаежных геосистем Западной Сибири / Н.Г. Москаленко [и др.]; отв. ред. В.П. Мельников. - Новосибирск : Академ. изд-во "Гео", 2012. - 207 с.
21. Кравцова В.И. Распространение термокарстовых озер в России в пределах зоны современной мерзлоты / В.И. Кравцова // Вестник Московского университета.- 2009. - №3. - с.33-42.
22. Кремлева Т.А. Особенности ионного состава природных вод малых озер Западной Сибири и их классификация по кислотности и содержанию органического вещества/ Т.А. Кремлева, В.Ю. Хорошавин / Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах: материалы II Международной школы-семинара для молодых исследователей, посвященной памяти профессора В. Б. Ильина (Тюмень, 16-20 мая 2016 г.). - Тюмень, 2016. - с. 153-164.
23. Кремлева Т.А. Оценка влияния основных природных и антропогенных факторов на формирование химического состава вод малых озер Западной Сибири статистическими

методами/ Т.А.Кремлева [и др.] //Вестник ТюмГУ. Экология и природопользование.- 2013. - №5. - с. 7-21.

24. Лезин В.А. Реки Ямало-Ненецкого автономного округа: справ. пособие/ В.А.Лезин. - Тюмень: Вектор Бук, 2000. - 142 с.

25. Лопух П.С. Общая лимнология. Учебное пособие / П.С.Лопух, О.Ф.Якушко. - Минск: БГУ, 2011. – 248 с.

26. Михайлов В.Н. Гидрология: Учебник для вузов/ В.Н.Михайлов, А.Д.Добровольский, С.А.Добролюбов.- М.: Высш. шк., 2007. – 463 с.

27. Моисеенко Т.И. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды/ Т.И.Моисеенко, Н.А.Гашкина. - М.: Наука, 2010. - 268 с.

28. Московченко Д.В. Экогеохимия нефтегазодобывающих районов Западной Сибири/ Московченко Д.В.; отв. ред. С.П. Арефьев; Рос. акад. наук, Сиб. Отд-ние, Институт проблем освоения Севера. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2013. – 259 с.

29. Никаноров А.М. Гидрохимия и методы исследования качества воды / А.М. Никаноров – Ростов-на-Дону.: Рос. акад. наук, Институт водных проблем, 2017- 572 с.

30. Общая гидрология (гидрология суши)/ Б.Б.Богословский [и др.]. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 422 с.

31. Орлова Т.Н. Химия природных и промышленных вод: учеб. пособие / Т. Н. Орлова, Д. А. Базлов, В. Ю. Орлов. - Ярославль: ЯрГУ, 2013. — 120 с.

32. Петин А.Н. Анализ и оценка качества поверхностных вод: учебное пособие / А.Н.Петин, М.Г.Лебедева, О.В. Крымская.- Белгород: БелГУ, 2006. – 252 с.

33. Рельеф Западно-Сибирской равнины/ А.А.Земцов [и др.]; отв. ред. О.В.Кашменская.- Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1988. - 192 с.

34. Соромотин А.В. Морфометрические характеристики и гидрохимические особенности голубых озер Надым-Пуровского междуречья/ А.В.Соромотин [и др.] // Научный вестник ЯНАО. Экология Ямало-Ненецкого автономного округа. –2017. - № 3 (96). – С. 42-46.

35. Тихонова И.О. Мониторинг водных объектов суши: учеб. пособие / И.О.Тихонова, Н.Е.Кручинина. – М.:РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2009. – 184 с.

Чеботарев А.И. Общая гидрология (воды суши). Учебное пособие. — 2-е издание / А.И. Чеботарев. - Л.:Гидрометеиздат , 1975. - 530 с.

#### СПРАВОЧНЫЕ ИЗДАНИЯ

36. Справочник по применению средних региональных значений содержания контролируемых компонентов на мониторинговых полигонах при оценке состояния и

уровня загрязнения окружающей среды на территории Ямало-Ненецкого автономного округа.- Братск, 2014.- 19с.

#### ИНТЕРНЕТ ИСТОЧНИК

37. Google maps– [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://www.google.ru/maps>
38. Google Earth – [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://earth.google.com/web>
39. Система пробоотборная для отбора проб природных и сточных вод СП-2 – [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://biolight.ru/product/0000970>
40. Приборы измерители – [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://аква-лаб.рф/>

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 - Средние региональные значения содержания контролируемых компонентов в поверхностных водах при оценке состояния и уровня загрязнения окружающей среды на территории Ямало-Ненецкого автономного округа

Район	рН, ед. рН	Растворенный кислород O <sub>2</sub> , мг/л	БПК5 (O <sub>2</sub> ), мг/л	ХПК, мг/л	Железо общее, мг/л	Марганец, мг/л	Медь, мг/л	Цинк, мг/л	Никель, мг/л	Фенолы, мг/л	Нитраты, мг/л	Нефтепродукты, мг/л	Нитриты, мг/л	Сульфаты, мг/л	Хлориды, мг/л	Ион-аммония, мг/л	Фосфат-ион, мг/л	Свинец, мг/л	Хром, мг/л	АПAB, мг/л
Ямальский район	6,9 3	10,3 9	1,5 9	27, 56	0,9 6	0,02 1	0,00 11	0,01	0,00 25	0,00 13	0,4 6	0,02 4	0,02 6	0,9 8	18, 05	0,4	0,05	0,00 16	0,0 07	0,07 3
Приуральский район	7,4 3	10,9 5	1,6	22, 6	0,8	0,01 9	0,00 04	0,01	0,00 3	0,00 14	0,4 2	0,01 4	0,06	3,9 8	2,4	1,0 8	0,07 4	0,00 15	0,0 08	0,05 8
Шурышкарский район	7,7	11,4	1,2	11, 74	0,6 9	0,01 5	0,00 1	0,01 14	0,00 35	0,00 07	0,4	0,01 4	0,05 4	1,6 3	0,8 1	0,9 3	0,09 6	0,00 74	0,0 07	0,01 25
Надымский район	6,9 3	10,6 8	1,8 6	31, 6	1,0 9	0,02 4	0,00 1	0,00 8	0,00 23	0,00 125	0,5 1	0,02 3	0,06 7	3,0 59	3,2 5	0,7 8	0,03 8	0,00 17	0,0 07	0,03
Пуровский район	7,0 4	10,9 6	1,6 8	36, 88	2,1 1	0,04 4	0,00 098	0,00 66	0,00 32	0,00 5	0,7 4	0,01 6	0,08 3	5,3 9	4,5 6	0,7 8	0,04 6	0,00 137	0,0 08	0,05 6
Тазовский район	7,3 5	8,1	1,5 7	32, 8	0,6 3	0,04 1	0,00 13	0,00 95	0,00 29	0,00 06	0,5 2	0,02 8	0,01 7	1,9 8	7,6 4	0,5 2	0,03 8	0,00 17	0,0 07	0,03 2
Красноселькупский район	7,3 1	8,83	1,9 3	49, 26	0,8 5	0,08 6	0,00 11	0,00 99	0,00 27	0,00 025	0,5 5	0,01 67	0,03 8	3,0 4	6,4 7	0,6	0,04 98	0,00 14	0,0 08	0,07 3

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

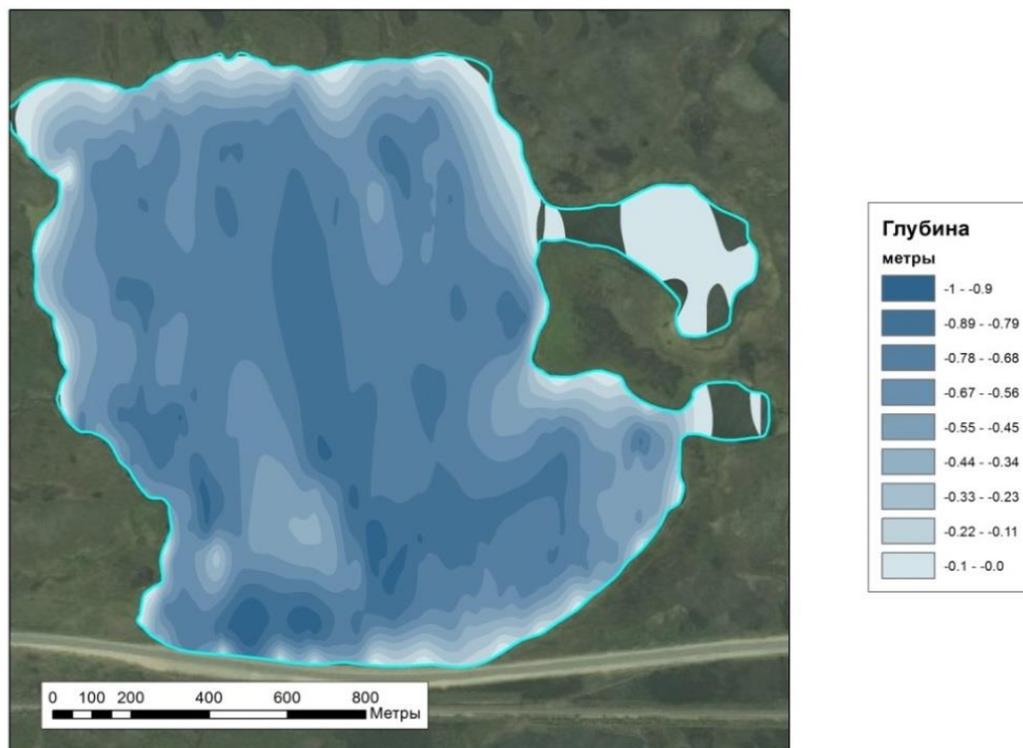


Рисунок 1- Батиметрическая карта озера Дальнее (составлено автором)

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

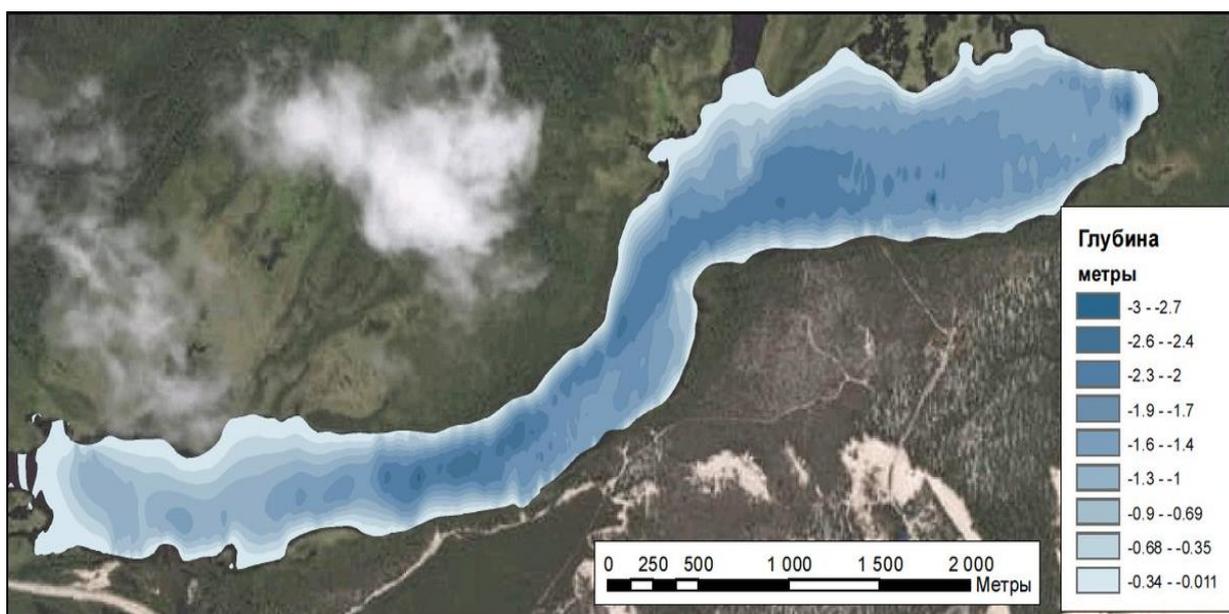


Рисунок 2- Батиметрическая карта озера Вытянутое (составлено автором)

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

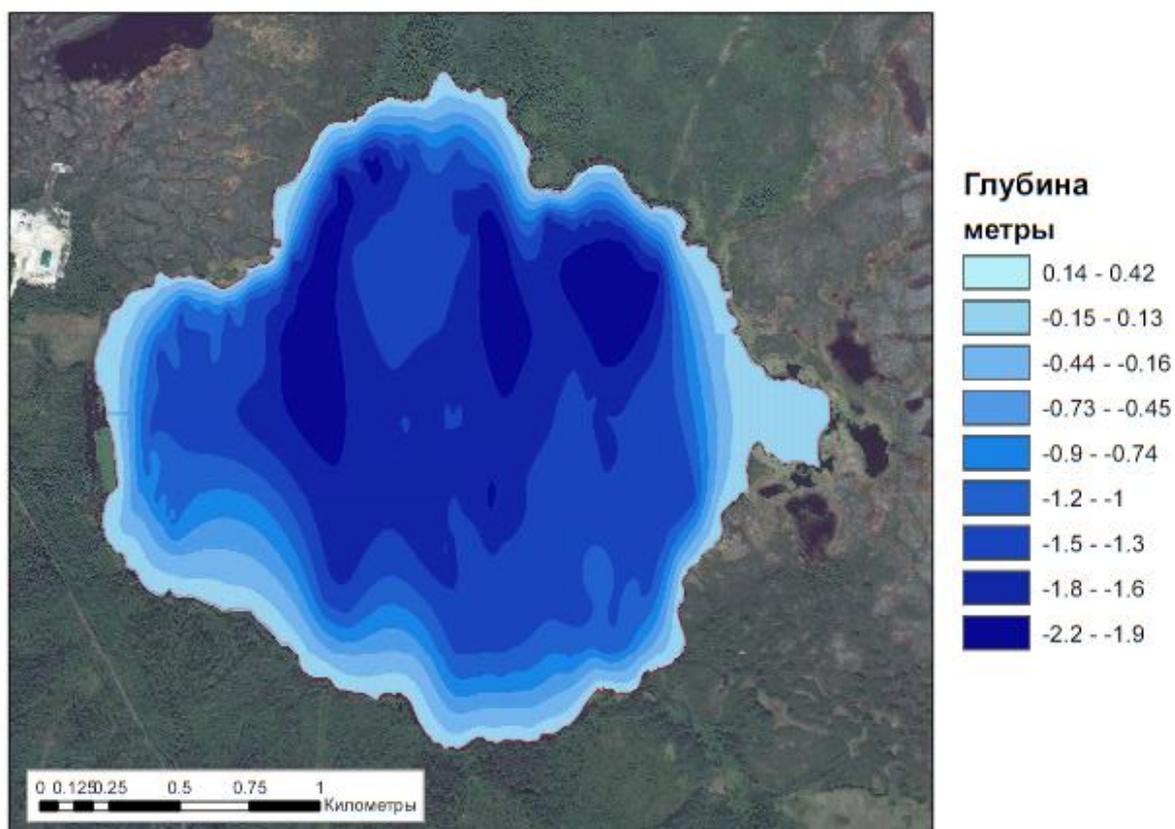


Рисунок 3- Батиметрическая карта озера Надымское (оставлено автором)

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица 2 - Физико-химические свойства исследуемых озер полученные в полевых условиях (составлено автором)

Место отбора	Температура, °С	рН, ед. рН	Минерализация, TDS,ppm	Удельная электропроводность, мкСм/см	Окислительно-восстановительный потенциал, Eh, mv
Озеро Дальнее (1 точка)					
Поверхность	20,0	7,91	8,0	12,7	210
Дно	20,5	7,92	8,2	12,8	191
Озеро Вытянутое (3 точки)					
Точка 1					
Поверхность	19,4	7,07	3,2	5,1	150
Дно	19,6	6,62	3,9	6,1	131
Точка 2					
Поверхность	19,1	7,1	3,2	5,1	212
Дно	19,4	7,09	3,3	5,0	184
Точка 3					
Поверхность	19,1	7,08	3,2	5,1	209
Дно	19,3	7,06	3,4	5,0	155
Озеро Надымское(1 точка)					
Поверхность	18,0	7,7	22,7	34,7	161
Дно	17,5	7,75	24,3	37,4	175

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Таблица 3- Элементный состав озерных вод, полученный в ходе ICP-MS анализа (С, мкг/л)

Элемент	С, мкг/л	Озера		Контроль правильности проведения анализа	
	ПО, мкг/л	Вытянутое	Надымское	Определено	Аттест. Знач.
B	0,8	3,4	23,9	< ПО	-
Na	7	351	1881	6164	6000
Mg	4	189	1788	9085	9000
Al	0,8	35,6	84,5	119	120
Si	15	< ПО	2083	< ПО	-
P	19	< ПО	48,7	< ПО	-
S	23	60,6	363	< ПО	-
K	5	223	628	2528	2500
Ca	7	266	3553	35341	35000
Sc	0,1	< ПО	< ПО	< ПО	-
Ti	0,8	< ПО	2,4	< ПО	-
V	0,1	< ПО	1,3	29,7	30
Cr	0,7	< ПО	< ПО	19,4	20
Mn	0,07	10,1	35,2	39,7	40
Fe	9	67,4	356	103	100
Co	0,1	< ПО	0,26	25,2	25
Ni	0,2	< ПО	1,2	59,4	60
Cu	0,3	< ПО	1,4	20,1	20
Zn	0,3	1,7	2,5	71,2	70
Ga	0,04	< ПО	< ПО	< ПО	-
Ge	0,04	< ПО	< ПО	< ПО	-
As	0,08	0,13	0,73	80,1	80
Se	0,3	< ПО	< ПО	10,1	10
Br	7	< ПО	< ПО	< ПО	-
Sr	0,07	3,8	21,1	247	250
Ba	0,06	1,5	6,7	51,6	50
Hg*	0,01	< ПО	< ПО	< ПО	-
Pb	0,01	0,080	0,46	40,7	40

Источник: Аналитический сертификационный испытательный центр Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН.

\* - информационные данные;

ПО – предел обнаружения;

С – концентрация;

< ПО – меньше предела обнаружения.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Таблица 4 - Элементный состав озерных вод, полученный в ходе ICP-MS анализа  
(С, нг/л)

Элемент	С, нг/л	Озера		Контроль правильности проведения анализа	
	ПО, нг/л	Вытянутое	Надымское	Определено	Аттест. Знач.
1	2	3	4	5	6
Li	5	426	1673	19963	20000
Be	6	6,6	19,8	18646	20000
Rb	4	703	511	9831	10000
Y	5	37,8	290	< ПО	-
Zr	8	14,7	59,7	57,8	-
Nb	4	< ПО	< ПО	< ПО	-
Mo	18	< ПО	59,3	100186	100000
Ru	5	< ПО	< ПО	< ПО	-
Rh	7	< ПО	< ПО	< ПО	-
Pd	7	< ПО	< ПО	< ПО	-
Ag	4	< ПО	< ПО	1997	2000
Cd	5	< ПО	7,3	9993	10000
In	4	< ПО	< ПО	< ПО	-
Sn	8	< ПО	< ПО	118,3	-
Sb	5	19,5	82,8	10351	10000
Te	6	< ПО	< ПО	2937	3000
Cs	0,8	2,6	3,0	< ПО	-
La	0,9	294	370	25,7	-
Ce	0,8	89,5	863	46,4	-
Pr	0,5	10,3	84,0	< ПО	-
Nd	0,7	42,1	345	< ПО	-
Sm	0,4	8,2	75,6	< ПО	-
Eu	0,5	1,8	16,3	< ПО	-
Gd	0,5	9,8	76,8	< ПО	-
Tb	0,4	1,6	11,5	< ПО	-
Dy	0,5	6,6	59,7	< ПО	-
Ho	0,4	1,4	12,1	< ПО	-
Er	0,5	4,1	31,2	< ПО	-
Tm	0,4	0,55	4,2	< ПО	-
Yb	0,5	3,2	25,7	< ПО	-
Lu	0,4	0,44	4,3	< ПО	-
Hf	2	< ПО	2,4	< ПО	-
Ta	2	< ПО	< ПО	< ПО	-
W	2	< ПО	< ПО	18	-
Re	0,5	< ПО	< ПО	< ПО	-
Os	0,7	< ПО	< ПО	< ПО	-
Ir	0,7	< ПО	< ПО	< ПО	-

Продолжение таблицы - 4

1	2	3	4	5	6
Pt	0,8	< ПО	< ПО	< ПО	-
Au	2	< ПО	< ПО	< ПО	-
Tl	0,6	1,1	1,0	10339	10000
Bi	0,9	1,1	3,3	10099	10000
Th	0,6	2,0	14,8	< ПО	-
U	0,4	2,7	20,4	10338	10000

Источник: Аналитический сертификационный испытательный центр Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН.

\* - информационные данные;

ПО – предел обнаружения;

С – концентрация;

< ПО – меньше предела обнаружения.