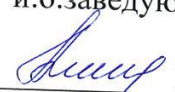


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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  
24 июля 2019 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(магистерская диссертация)

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
МАЛЫХ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР ТАЗОВСКОГО ПОЛУОСТРОВА

05.04.06 Экология и природопользование  
Магистерская программа «Геоэкология нефтегазодобывающих регионов»

Выполнил (а) работу  
Студент (ка) 2 курса  
очной формы обучения

  
(Подпись)

Демидова  
Виктория  
Римовна

Научный руководитель  
д.б.н., профессор

  
(Подпись)

Соромотин  
Андрей  
Владимирович

Рецензент  
к.г.н., доцент, главный  
специалист НИО, Тюменского  
филиала ОАО  
«СургутНИПИнефть»

  
(Подпись)

Хатту  
Алексей  
Армасович

г. Тюмень, 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА I. ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИИ И ГЕНЕЗИСА ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР В КРИОЛИТОЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ .....	6
1.1. Причины образования термокарстовых озер.....	6
1.2. Особенности генезиса озерных котловин .....	8
1.3. Гидрохимические особенности термокарстовых озер.....	9
Вывод.....	11
ГЛАВА II. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ.....	13
2.1. Географическое положение .....	13
2.2. Климатические условия .....	14
2.3. Ландшафтные условия .....	17
2.4. Рельеф и почвообразующие породы.....	17
2.5. Геокриологические условия .....	19
2.6. Гидрологические условия.....	19
Вывод.....	21
ГЛАВА III. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	22
ГЛАВА IV. МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАЛЫХ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР ТАЗОВСКОГО ПОЛУОСТРОВА .....	31
Вывод.....	40
ГЛАВА V. ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МАЛЫХ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР ТАЗОВСКОГО ПОЛУОСТРОВА .....	41
5.1. Физико-химическая характеристика вод малых термокарстовых озер Тазовского полуострова.....	41
5.2. Гидрохимические характеристики талой снеговой воды малых термокарстовых озер Тазовского полуострова.....	45
5.3. Гидрохимические характеристики вод малых термокарстовых озер Тазовского полуострова.....	48
5.4. Геохимические характеристики донных отложений малых термокарстовых озер Тазовского полуострова.....	51
5.5. Оценка формирования химического состава водной среды и донных отложений .....	56
Вывод.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	62
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....	65
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	70

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность:** Озерные экосистемы субарктического пояса Западной Сибири являются отличными индикаторами климатических изменений, деградации вечной мерзлоты, вне территорий нефтегазодобычи, в связи с наличием подземных льдов и торфяной залежи. При потеплении климата, термокарстовые процессы могут распространиться на обширные территории субарктики Западной Сибири. Значительное увеличение термокарстовых озер, а также изменение их морфометрических характеристик может указывать на интенсивность деградации подземных льдов в криолитозоне.

На сегодняшний день термокарстовые озера Западной Сибири в условиях многолетнемерзлых пород изучены слабо, имеются лишь частичные данные об их гидрохимическом составе, а также о морфометрических особенностях и генезисе озерных котловин. В рамках данного исследования производились натурные измерения, непосредственно в полевых условиях, что до этого практически не встречается при изучении термокарстовых озер.

**Цель работы** – геоэкологическая оценка современного состояния малых термокарстовых озер Тазовского полуострова в отсутствии техногенной нагрузки.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи:**

- 1) изучить особенности гидрохимии и генезиса термокарстовых озер в криолитозоне Западной Сибири;
- 2) дать характеристику природно-климатическим условиям Тазовского полуострова;
- 3) установить морфометрические особенности озерных котловин малых термокарстовых озер Тазовского полуострова;
- 4) выявить основные химические особенности снежного покрова, озерных вод и донных отложений термокарстовых озер Тазовского полуострова;
- 5) выполнить геоэкологический анализ качества поверхностных вод и снеговых талых вод, озер, расположенных вне зоны нефтегазодобычи Тазовского полуострова.

**Объектом исследования** являются малые термокарстовые озера Тазовского полуострова.

**Предметом исследования** являются морфометрические, гидро- и геохимические характеристики исследуемых объектов.

**Материалы, положенные в основу исследования** – данные полученные в ходе полевых исследований, а также ранее опубликованные работы по территории ЯНАО.

**Личный вклад автора:** лично принимал участие в сборе материала и проведении полевых и камеральных исследований, самостоятельно проведен большой объем анализа и обработки материалов.

**Практическая значимость:**

Полученные данные по химическому составу озерных вод и донных отложений могут быть использованы как фоновые характеристики при определении степени антропогенного влияния при нефтегазодобыче на экосистемы озер Тазовского полуострова.

В ходе написания работы использованы следующие **методы исследования:** метод анализа и обобщения литературных и интернет-источников, расчетные методы графических и картографических построений, методы математической статистики, химико-аналитические методы.

**Научная новизна работы:**

1. Впервые на основе натурных измерений установлены морфометрические и батиметрические особенности малых термокарстовых озер Тазовского полуострова.
2. Впервые получены данные по химическому составу озерных вод и донных отложений. Доказан сходный характер гидрохимии и распределения тяжелых металлов в большинстве изученных озер.
3. Впервые установлены концентрации микроэлементов в озерных водах, снеговых талых водах и донных отложениях методом ICP-MS для озер Тазовского полуострова и показана взаимосвязь концентраций тяжелых металлов в этих средах.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Малые термокарстовые озера Тазовского полуострова имеют общий генезис, на что указывают сходные морфометрические характеристики, практически идентичный гидрохимический состав озерных вод (гидрокарбонатно-кальциевые, первого типа), а также идентичный качественный и количественный набор тяжелых металлов.
2. Гидро- и геохимический состав озерных вод и донных отложений изученного района в основном формируется за счет поздне-плейстоцен-голоценовых аллювиальных отложений.

**Публикации.** По теме диссертационного исследования опубликовано две работы:

1. Морфометрические и физико-химические особенности малых термокарстовых озер Тазовского района ЯНАО/ Озера Евразии: проблемы и пути их решения. Материалы II

- Международной конференции (19-24 мая 2019 г.) – Казань: Издательство Академии наук РТ, 2019. – Ч. 1. – С. 63-65;
2. Характер фонового распределения тяжелых металлов в водах малых термокарстовых озер Тазовского полуострова (по результатам статистического анализа) / Водные ресурсы – основа устойчивого развития поселений Сибири и Арктики в XX веке: Сборник докладов XXI Международной научно-практической конференции. Том I – Тюмень: ТИУ, 2019 – С. 347 – 351.

# ГЛАВА I. ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИИ И ГЕНЕЗИСА ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР В КРИОЛИТОЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Большая территория Западной Сибири отличается изменчивостью географических условий, что соответственно обуславливает множество различных явлений природы. В северной части Западно-Сибирской равнины одним из особенных проявлений природы, является образование многолетнемерзлых пород. Именно их распространением вызвано образование и развитие термокарстовых процессов.

## 1.1. Причины образования термокарстовых озер

Термокарстовые явления представляют собой процессы неравномерного оседания грунтов или подстилающих горных пород, которые связаны с таянием верхнего слоя сегрегационного льда. В совокупности это приводит к образованию отрицательных депрессий и провалов на поверхности рельефа, которые впоследствии проявляются в виде котловины озера, в районах распространения многолетнемерзлых пород. Со временем, образовавшиеся просадочные формы рельефа или микрорельефа заполняются водой, в результате чего образуются термокарстовые озёра. Термокарст вызывает нарушение экологического баланса, это обусловлено тем, что данный процесс приводит к разрушению естественных природных ландшафтов и заболачиванию территории [50].

Для проявления термокарстовых процессов необходимы следующие условия: грунты, которые легко растворяются в воде [30]; наличие подземного льда или оттаивание сильно льдистого грунта, находящихся до этого в многолетнемерзлом состоянии [34]. Также льдистость пород должна превышать её влагоёмкость в талом состоянии [41]. Ещё одним важным условием является превышение глубины сезонно-талого слоя залежей подземных высокольдистых пород. При оттаивании льда возникает фильтрация воды вверх, в результате которой в глубине создаются полости, а талые породы оседают, заполняя образующиеся пустоты, таким образом, на поверхности рельефа создается понижение. В случае, если проседания толщи пород не происходит, то внутри пласта остаются незаполненные полости, соответственно, образование термокарстовых котловин не происходит [36]. Одним из геоморфологических факторов, сопутствующим генезису термокарста и озерных термокарстовых котловин, является равнинная территория, которая препятствует поверхностному стоку [40]. Термокарстовые процессы, в совокупности, с хорошими дренажными условиями, могут образовывать аласные долины (долинообразные понижения), чему способствуют процессы термоэрозии, обусловленные стоком вод и растворением рыхлых горных пород. В этом случае, большое значение имеет химический состав горных пород, которые растворяются

под действием воды, их трещиноватость. Однако образование озерных котловин в данном случае не происходит. Не менее важной характеристикой являются движения земной коры, происходящие в прошлом, которые привели к медленным поднятиям и опусканиям отдельных участков территории.

Кроме того, климатические условия района сказываются на интенсивности термокарстовых процессов. Первостепенную роль играют атмосферные осадки: их количество и сезонное распределение. Таким образом, развитие карстовых процессов происходит за счет комплексного действия нескольких факторов, которые в совокупности определяют тип карста [30]. Снеговые талые и дождевые воды выпадают на поверхность, стекаются в ручьи, откуда попадают в речные системы, так образуется поверхностный сток. Часть вод со временем возвращается в атмосферу, испаряясь под действием солнечных лучей. Некоторая доля талых снеговых и дождевых вод проникает вглубь горных пород и формирует подземный сток. Водонепроницаемые горные породы, представленные песками и глиной, задерживают стекающую воду на глубине около 7—20 м. В случае залегания известняков, доломитов, ангидритов и других горных пород, происходит образование трещин под разрушающим действием воды, которая растворяет почву, впоследствии данные трещины расширяются, образуя карстовые пустоты.

Причины образования и распространения термокарстовых озер на сегодняшний день не исследованы. Ряд исследователей считает, что значительная часть озер сформировалась ещё во времена позднего плейстоцена на аккумулятивных равнинах. В условиях седиментогенеза происходило льдообразование, которое сопровождалось вспучиванием поверхности. Повышение уровня воды в озерах происходило в наиболее влажные периоды и сопровождалось вытаиванием льдистых отложений, что послужило началу термокарстовых процессов [44, 45]. Однако, по мнению Суходровского, в природе также существуют термокарстовые озера, происхождение которых связано с положительным водным балансом. А именно, с выпадением атмосферных осадков, которые накапливаются в естественных или антропогенных западинах на территориях формирования льдистых отложений [45]. Данную точку зрения также разделяет ряд других исследователей, согласно их взглядам

формирование термокарстовых котловин происходит за счет накопления воды и последующего формирования озер на участках, имеющих подземные мерзлые льды [17, 33, 24, 25].

При анализе палеогеографических исследований установлено, что базовой причиной формирования и распространения термокарстовых озерных котловин является

потепление климатических условий, которые сопровождаются повышением влажности [40].

При изменении теплообмена на поверхности земли происходит вытаивание мерзлых толщ, в связи с повышением среднегодовой температуры подземного льда, при этом глубина сезонного протаивания превышает глубину залегания мерзлых грунтов. Однако, модификация теплообмена может возникать не только в связи с регрессом льдистых пород, вызванным потеплением климатических условий, а также может быть связана с суммарной радиацией поверхности, атмосферным излучением, с изменениями снежного и растительного покровов [21]. Таким образом, существует две категории причин развития и распространения термокарстовых процессов, приводящих к таянию подземных льдов и впоследствии образованию озерных котловин:

- 1) потепление климатических условий, континентальность климата, увеличение мощности снежного покрова и др.
- 2) появление трещин, имеющих различное происхождение (морозобойные, динамические и др.), трансформация растительного покрова, вырубка леса, лесные пожары, строительство дорог, сооружений и др. [38].

## **1.2. Особенности генезиса озерных котловин**

Существует несколько типов карста. Для северной территории Западной Сибири характерен русский или закрытый тип карста. Его особенность заключается в том, что некарстующиеся горные породы (песчаники, глины) перекрывают карстующиеся. Первоначальное развитие карстовых процессов данного типа происходит на глубине, скрыто, под толщей пород. Карстующиеся горные породы могут вскрываться при провалах рельефа или выходить на поверхность на тех участках, где вышележащие отложения уже смыты.

На территории Тазовского полуострова, образование и развитие подавляющего числа озерных котловин связано с термокарстовыми процессами. На сегодняшний день, котловины многих термокарстовых озер почти на 50% заполнены мощными илистыми отложениями, а с берегов они зарастают и заболачиваются. Здесь отмечается развитие не только древних (реликтовых), но и современных озерных котловин, которые развиваются в нынешнее время.

В торфяных массивах среди термокарстовых озер древнего происхождения имеются хасыреи. Такие озера образуются на месте спущенного рекой озера и, как правило, являются заболоченными. Они имеют плоское дно и отличаются округлой формой. Большая часть озер-хасыреев соединяется с реками канавообразными



понижениями. Их существенная доля их приурочена к ландшафтам озерно-аллювиальных равнин. Хасыреи размещаются группами и связаны единой системой поверхностного стока. Превышение окружающей поверхности над днищами существовавших озер незначительно, в среднем 0,5-0,8 м, редко достигает 1-2 м. [46].

Реликтовые термокарстовые котловины встречаются наиболее часто, в большинстве случаев они заполнены торфом и поэтому имеют слабо сохранившиеся морфологические признаки. Малые озера, располагаются на плоских водоразделах группами, по цепочке и занимают понижение, погребенные под толщей торфа, которые сформировались в средне-голоценовое время.

Образование термокарстовых депрессионных форм имеет последовательные стадии:

- 1) формирование небольшого понижения на территории рельефа в поверхности почвы в первоначальной фазе таяния льдистых пород;
- 2) заполнение данного понижения водой, с последующим образованием озера;
- 3) рост котловины, сопровождающийся её расширением и углублением, а также оттаивание льда на данном участке;
- 4) формирование полноводного озера;
- 5) постепенное высыхание или дренирование термокарстового озера [22].

Формы термокарстовых озерных котловин могут быть различными. Чаще всего, озера, возникшие относительно недавно, отличаются неправильной формой и извилистой береговой линией. Со временем, под воздействием воды на торфяные береговые уступы, а также при формировании отдельных заливов или близко расположенных озерков в один водоем, озерная котловина увеличивается и обретает округлую форму.

Котловины термокарстовых озер могут иметь различные размеры, однако, как правило, в большинстве случаев, в поперечнике, такие озера не достигают больше нескольких сотен метров и лишь в некоторых случаях могут достигать 2-3 км. Озера данного типа характеризуются торфяными низкими обрывистыми берегами (0,4 – 0,6 м), с небольшими глубинами и плоским ровным, в большинстве случаев, торфяным или песчано-илистым дном. Преобладают озера, имеющие округлую форму, с диаметром, достигающим 100-500 м. Также у некоторых озер отмечаются торфяные острова [8].

### **1.3. Гидрохимические особенности термокарстовых озер**

Условия приполярных областей земного шара являются весьма своеобразными, что обусловлено географическими и ландшафтными условиями. Химические элементы и их соединения в данных условиях отличаются более активной миграцией, более токсичными

свойствами, что связано с низкой минерализацией и низкой температурой воды, а также для данных вод характерен бедный видовой состав [32].

В связи с повсеместным распространением многолетнемерзлых пород, а также осадков преимущественно морского происхождения химический состав льдистых пород формируется из ила и глины (морских осадков), так как питание на данной территории, преобладает атмосферное. В свою очередь, состав многолетнемерзлой толщи оказывает воздействие на формирование гидрохимического состава современных термокарстовых озер [16].

Как правило, также на формирование химического состава поверхностных вод влияет развитие физических, химических и биологических процессов. Во время протекания данных процессов изменяются количественные и качественные характеристики химических элементов. Анализ таких процессов нужен не только для прогнозирования гидрохимического состава с научной точки зрения, но и для организации мероприятий, необходимых для сохранения качества воды, в условиях техногенного воздействия [32].

Согласно, некоторым исследованиям, гидрохимический состав термокарстовых озер довольно различен. Как правило, они отличаются низкой минерализацией, химический состав которых весьма разнообразен: минерализация, а количество биогенных веществ и органики может изменяться в большом диапазоне, так как их содержание, во многом, зависит от типа питания озера. В водных объектах с заболоченными водосборами фиксировались высокие концентрации Cu и Mn [47].

По сравнению с озерами, имеющими иное происхождение, минерализация термокарстовых озер значительно ниже, чем, например, у пойменных или ледниковых. Кроме того также фиксируются довольно низкие показатели pH (5,14 – 6,36). У пойменных озер и озер, имеющих ледниковое происхождение pH является нейтральным (6,46 – 7,40). Характеристика уровня pH в поверхностных водах во многом зависит от количества угольной кислоты, а именно от содержания различных форм угольной кислоты, преимущественно от  $\text{HCO}_3^-$ . Гидрокарбонаты образуются в больших концентрациях в ходе распада гидрокарбонатов  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  и  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ . Вследствие этого происходит уменьшение количества катионов водорода ( $\text{H}^+$ ), а уровень pH смещается в сторону щелочной среды, что приводит к образованию гидроксид-анионов ( $\text{OH}^-$ ) [35]. При повышенном содержании  $\text{HCO}_3^-$  увеличиваются и значения pH. Также уровень pH коррелирует с солесодержанием поверхностных вод: ультрапресные воды отмечаются низкими показателями pH.

Концентрация главных ионов в термокарстовых озерах достаточно низкая, что характерно для тундровых озер. Однако содержание ионов  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Na}^+$  превышает содержание остальных главных ионов, что, по мнению Даувальтера В. А., объясняется повышенными концентрациями поваренной соли, образовавшейся под влиянием морских аэрозолей. Им было установлено распределение содержания концентраций главных ионов в водах термокарстовых озер (в убывающей последовательности):  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ \geq \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ . В исследованных им водах, среди анионов преобладало содержание  $\text{HCO}_3^-$ , что определяет щелочность вод [20].

Вода в таких озерах чаще всего темного цвета, что связано с высоким содержанием растворенных органических веществ, в то же время, данные воды небогаты растительностью и рыбой.

Воды термокарстовых озер отличаются повышенными концентрациями железа, меди, марганца и алюминия, которые превышают предельно-допустимые значения для водоёмов рыбохозяйственного значения. Источниками марганца и железа могут являться болотные воды, повсеместно расположенные в зоне тундры, что также является гидрохимической особенностью данной территории. А высокое содержание алюминия и меди обусловлено выветриванием четвертичных отложений, что также связано с геохимическими особенностями территории водосбора [20].

### **Вывод**

Для развития термокарстовых процессов необходимы следующие условия: наличие высокольдистых мерзлых толщ, равнинный характер территории, способствующий положительному водному балансу, в связи с затрудненным поверхностным стоком, а также увеличение мощности сезонно-талого слоя многолетнемерзлых грунтов, вытаивание которых приводит к образованию отрицательных депрессий на поверхности рельефа.

Согласно Ефимову А.И. образование термокарстовых депрессионных форм имеет несколько последовательных стадий [22]. Формы и размеры термокарстовых озерных котловин могут быть различными. Как правило, котловины озер, имеющие одинаковое происхождение и одинаковый возраст, должны иметь схожие морфометрические характеристики. Динамика морфометрических особенностей термокарстовых котловин может указывать на климатические изменения, деградацию мерзлых толщ, в условиях криолитозоны, вне территорий нефтегазодобычи.

Формирование количественного и качественного состава водоемов в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов происходит под воздействием

нескольких факторов: генезиса котловины озер, низкой среднегодовой температуры воды в озерах, поступления микроэлементов с водосборных площадей в составе твердого и жидкого стоков естественным путем, а также под воздействием болотных вод и грунтовых вод четвертичных отложений, что является причиной низкой минерализации. Как правило, воды отличаются невысокими значениями минерализации, рН и низкими концентрациями главных ионов.

В целом, что касается морфометрических и гидрохимических особенностей озер, то территории средней и южной части Западной Сибири в этом отношении изучены лучше, чем северные. Имеются лишь частичные данные об их гидрохимическом составе и морфометрических особенностях. В рамках данного исследования производились натурные измерения в полевых условиях, что до этого практически не встречается при изучении термокарстовых озер.

## **ГЛАВА II. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ**

Природно-климатическая характеристика является важной частью при оценке окружающей среды. Выявление физико-географических особенностей исследуемой территории позволяет не только отследить процессы изменений, происходящих в различных компонентах окружающей среды, но также и определить причины, приводящие к таким трансформациям. Физико-географические особенности территории оказывают существенное значительное воздействие на формирование озер, как было указано в 1 главе настоящей работы. Под действием различных факторов, озера имеют разные физико-химические и морфометрические характеристики, которые влияют на гидрологический режим в озере.

Объекты исследований расположены в южной части Тазовского полуострова. Равнинность и особенности климата обуславливают высокую заозеренность и заболоченность. Согласно карте “Подземные льды” из Атласа снежно-ледовых ресурсов Мира [7], исследуемые объекты находятся в пределах сплошного распространения многолетнемерзлых пород, льдистость которых составляет более 40% от общего объема породы.

### **2.1. Географическое положение**

Исследуемые термокарстовые озера размещены на северо-востоке Ямало-Ненецкого автономного округа, в северной части Западно-Сибирской равнины, также анализируемые объекты отнесены к Тазовской низменности (Физическая география СССР), к долине реки Таз (рис. 1). Исследуемые озерные экосистемы расположены в субарктическом климатическом поясе, примерно в 150 километрах от Северного полярного круга.

Исследуемая территория расположена в 280 км к северу от Нового Уренгоя, в 40 км от посёлка Тазовский, Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области.



Рис. 1. Обзорная карта расположения исследуемых озер  
(источник снимка: сервис Google Earth Pro)

## 2.2. Климатические условия

Условия исследуемой территории отличаются резко континентальным климатом, с суровым продолжительным зимним периодом и умеренно теплым летом [4]. Суровость климата проявляется в незначительном понижении температуры воздуха в летний период. Такие условия, в значительной степени, обусловлены географическим положением в высоких широтах, близким расположением Полярного (арктического) бассейна, последствиями воздействия арктических и атлантических воздушных масс [5].

Зимнее время на исследуемой территории отличается продолжительностью и суровостью. Летний период значительно короче, чем в остальных регионах, но теплое. Фиксируются поздние заморозки в весенний период, осенью же отмечаются ранние заморозки, в связи с чем, они являются короткими переходными периодами между холодными и теплыми временами года. Карское море увеличивает суровость климатических условий, так как является источником сильных ветров. Безморозный период отличается непродолжительностью. В течение года фиксируются резкие перепады температуры воздуха, иногда такие колебания могут происходить в течение суток.

Преобладание циклонов на территории исследования вызвано сезонными особенностями циркуляции атмосферного воздуха. В зимний периоды циклоны имеют систематический характер, а в летнее время года их регулярность значительно ниже. Поэтому значительная повторяемость данных синоптических процессов выпадает в период с октября по март, чаще в холодные периоды. Циклоны приходят с северных

районов: Карского, Баренцева моря, а также формируются в северной Атлантике, перемещаясь с северо-запада на юго-восток, как правило, они сопровождаются сильными ветрами и приходится на зимние месяцы: с января по март.

По опубликованным измерениям метеостанции «Тазовское», среднее значение температуры в июле - самом тёплом месяце, достигает 13.5 °С выше нуля. (Таблица 2.1). [52]. Среднее значение температуры в январе — самом холодном месяце в году, достигает 26.8°С ниже нуля. Среднее годовое значение 9,2°С ниже нуля. Самая низкая температура отмечена в феврале и составила 59°С ниже нуля . Самая высокая температура, достигаемая в летний период, составила 33°С выше нуля и зафиксирована в июне. Период без заморозков 85 дня, 205 дней — морозный период . Первые заморозки отмечены 7 октября, последние – 14 июня.

Таблица 2.1

Годовой температурный режим. Метеостанция «Тазовское»

Месяц	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	годовое
Средняя темп.	-26.8	-25.7	-22.4	-14.1	-5.6	5.1	13.5	10.8	4.1	-6.6	-19.3	-24.8	-9.2
Минимальная темп.	-56	-59	-55	-42	-34	-10	-1	-6	-19	-41	-45	-55	-59
Максимальная темп.	1	1	5	8	27	33	30	28	24	15	5	2	33

Отмечено, что среднесуточная температура поднимается выше нуля 30 мая, а опускается 2 октября.

Вертикальное распределение температуры в значительной степени влияет на рассеивание примесей в атмосфере. С увеличением высоты отмечается понижение температуры воздуха, что создаёт благоприятные условия для уменьшения концентраций примесей в приземном слое атмосферы и их вертикального перемешивания. В случаях повешения температуры с увеличением высоты, в отдельных слоях атмосферы, вертикальное перемещение частиц становится медленнее, что затрудняет перемешивание воздуха. Данные слои имеют название задерживающих слоев инверсии. Приземной инверсией является повышение температуры от поверхностного слоя земли, данная инверсия не препятствует загрязнению при выбросах на маленькой высоте. Приподнятая инверсия, в свою очередь, обуславливается ростом температуры на некоторой высоте от поверхности земли.

Трансформация воздушных масс и их изменения по сезонам существенно влияют на формирование климата на исследуемой территории. В связи с тем, что в этой местности отмечается активность циклонов, в первые зимние месяцы начинается погодная нестабильность, продолжающаяся полтора-два месяца.

В последние осенние месяцы наблюдается в основном ветер с юго-запада. Направление ветра, как правило, формируется за счет местных условий, в частности, рельефа, направления долин рек, иных препятствий. На годовой режим ветра существенно влияют циркуляционные факторы и местные условия. В течении года режим ветра приобретает муссонообразный характер, при том, что летом преобладает северная составляющая, а в зимний период южная.

Средняя сила ветра по месяцам варьируется от 5,4 до 7,1 м/с, среднее значение за год – 6,3 м/с. Режим ветра представлен в таблице 2.2 [52].

Таблица 2.2

Сила ветра по месяцам и среднегодовое значение (м/с). Метеостанция «Газовское».

Высота флюгера	январь	фев-ль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сен-рь	окт-рь	ноябрь	декабрь	годовое
6 м	6.9	6.1	7.1	6.6	6.6	6.2	5.4	5.5	5.4	6.4	6.2	6.8	6.3

Так же ветра оказывают влияние при распределении снежных масс. Сильный ветер образует суровые метели, продолжительностью до 4 дней. Соответственно снежные массы распределяются неравномерно по территории. Среднегодовое количество дней, в которые зафиксирована метель - 85.

Устойчивый снежный покров образуется 9 октября, разрушается 1 июня. Средняя высота снежных масс, учитывая данные нескольких лет, - 31 см при плотности 0,27 г/см<sup>3</sup> на открытой местности. Количество дней, в которые был зафиксирован туман – 45 .

Летний период отмечается грозами, сопровождающимися сильным ветром, ливнями и градом. В среднем гроза бывает 7 дней в году, максимальное количество дней – 15. Гроза в среднем продолжается 11,4 часа.

В среднем в год выпадает 395 мм осадков. Максимальное количество зафиксировано в июле и в августе (55 и 54 мм), минимальное в феврале – 16 мм. Выпадение осадков по месяцам отражено в таблице 2.3. [52].

Количество атмосферных осадков формирует режим увлажнения. Исследуемая местность является зоной избыточного увлажнения.

Таблица 2.3

Среднее количество осадков с поправками к показаниям осадкомера (мм). Метеостанция «Газовское»

январь	феврал ь	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябр ь	октябр ь	ноябрь	декабрь	годовое
21	16	21	23	31	36	55	54	47	43	27	23	395

Анализ и выявление образования погодных условий, при которых загрязнение воздуха будет выше, основывается на данных скорости и направления ветра.



### **2.3. Ландшафтные условия**

Согласно атласу Ямало-Ненецкого автономного округа, территория исследуемых объектов расположена в тундровом типе ландшафта, класса низменных равнин Западно-Сибирской равнины. Территория, на которой располагаются изучаемые озера, относится к Устьпур-Тазовскому подклассу. Здесь отмечаются заторфованные и заозеренные низины с плоскобугристыми кустарничково-мохово-лишайниковыми мерзлыми торфяниками на тундрово-болотных почвах [8].

Согласно зональной и высотно-поясной дифференциации, водные объекты относятся к территории южной тундры, Тазовской ландшафтной провинции. Как правило, данную провинцию составляют морские террасы, формирующие молодые, расчлененные и заозеренные озерно-аллювиальные и аллювиальные равнины, с которыми сопряжены низкие надпойменные террасы и заболоченные поймы. По причине избыточного увлажнения и замедленности физико-химических процессов, рельеф играет важную роль в перераспределении увлажнения и снежного покрова. Как правило, преобладают плоские или слабонаклонные равнины низких морских террас. Сток с них ограничен, что привело к заболачиванию, образованию бугров пучения, морозобойному растрескиванию грунтов и развитию термокарстовых процессов.

### **2.4. Рельеф и почвообразующие породы**

Согласно геоморфологическому районированию (по П.П. Генералову) анализируемая территория относится к Иртышско-Обской области преимущественно низких и средневысотных ступеней, к Пур-Тазовскому блоку низких морских и аллювиально-озерных террас [8]. Озера расположены на аллювиальных и озерно-аллювиальных равнинах третьей надпойменной террасы ( ${}^3Q_{III}$ ), с относительными высотами 30-40 м. На территории третьей надпойменной террасы обширно распространены формы рельефа, образование которых связано со скоплением атмосферных осадков и с наличием многолетнемерзлых грунтов: бугры пучения и проседание грунтовой толщи, вызванное также термокарстовыми процессами [27].

Анализируемая территория представлена криогенным и криогенно-болотным рельефом. Заболачивание на данной местности, в связи с постоянным переувлажнением, является одним из активнейших рельефообразующих процессов на территории округа, ввиду преобладания плоских равнинных поверхностей, сурового климата, низкой испаряемости при значительном количестве осадков. Происхождение заболачивания связано с морозобойным растрескиванием грунта и последующим термокарстом. Это приводит к образованию полигонального рельефа.

Обследуемая территория находится в области распространения полигональных болот. Характерным морфологическим отличием является их сетчатая структура, причины возникновения которой кроются в морозобойном растрескивании промерзших торфо-грунтов (фото 1). В частных случаях вследствие сглаженных углов полигоны образуют округлые или овальные формы.



Фото 1. Полигональный рельеф на юге Тазовского полуострова  
(фото сделано автором)

В южной тундре преобладают преимущественно реликтовые полигональные болота, значительная часть которых находится в стадии разрушения под влиянием термокарста. В результате на торфяниках с полигонально-жильными льдами в зависимости от условий дренажа образуются различные формы рельефа: на слабодренированных участках – полигонально-валиковые болота, которые в процессе развития превращаются в плоские торфяники. На сильнодренированных участках образуются плоско-бугристые торфяники, которые либо разрушаются, при этом плоские бугры нередко становятся выпуклыми, либо канавы между буграми зарастают торфом, и на их месте также образуются плоские вечномерзлые торфяники.

Главными типами материнских пород на исследуемой территории являются суглинистые и супесчаные почвы. Меньшим распространением отличаются пески,

имеющие аллювиальные и древнеаллювиальный генезис [42]. Обломочные породы четвертичного периода по минералогическому строению отличаются сходным составом, представленным кварцевыми породами, полевыми шпатами, количество которых превышает кварц и слюдами.

## **2.5. Геокриологические условия**

Территория исследований входит в одну широтную территорию арктической тундры. Согласно карте “Подземные льды” из Атласа снежно-ледовых ресурсов Мира (1997), исследуемые объекты находятся в пределах сплошного распространения многолетнемерзлых пород, льдистость которых составляет более 40% от общего объема породы [7]. Покровный комплекс отложений формируется по настоящее время (криолитогенез).

Отличительные особенности формирования мерзлых грунтов имеют связь с условиями климата, тектоническим развитием местности и геолого-географической обстановкой, которая сформировала в регионе устойчивый слой многолетнемерзлых пород. Две основных отличительные черты геокриологической обстановки, сложившейся на данный момент [28]:

- смена холодных и теплых эпох в четвертичный период на данной местности, во время формирования покровного комплекса отложений;
  - длительное нахождение исследуемой местности ниже уровня моря.
- Исследуемая местность входит в одну широтную зону сплошного распространения многолетнемерзлых пород по распространению мерзлоты с поверхности и до глубины 300м.

В разрезах почв встречаются сингенетически промёрзшие грунты, которые по мере формирования промерзают снизу-вверх, а также морские осадки, состав которых характеризуется как более однородный, чем у эпигенетически промёрзших грунтов.

Характерной чертой данной местности является залегание сплошной мерзлоты с образованием, в летний период, сезонно-талого слоя толщиной, в большинстве случаев не превышающего 1 м.

Вечная мерзлота на территории водоразделов является реликтовой, т.е. образование которой, главным образом, относится к эпохе плейстоцена.

## **2.6. Гидрологические условия**

Водоемы на территории тундры в большинстве являются однообразными, с точки зрения морфометрии и генезиса: преобладают малые озера (площадь водного зеркала которых не превышает 1 км<sup>2</sup>), характеризуются округлой формой, в большинстве случаев,

имеют термокарстовое происхождение. Процессы абразии имеют незначительное распространение. Озера небольшого размера, могут достигать в поперечнике от десятков до сотен метров и встречаются в поймах реки, а также внутри болотных массивов. Максимальные глубины подавляющего большинства озер составляют около 1.5 – 2.5 м, в редких случаях фиксируется большая глубина.

Озерность является важным показателем, характеризующим распространение озер на территории. Под озерностью понимают отношение суммарной площади водного зеркала к площади территории, на которой располагаются озера. Озерность данной территории является повышенной – от 7 до 12%, что говорит о повышенной озерности данной территории.

Уровень воды в озерах изменяется в зависимости от сезона, и носят постепенный характер. В осенний период (сентябрь) в водоемах отмечается наиболее высокий уровень воды, что обусловлено обильным выпадением осадков при уменьшении испарения. Начало зимнего сезона отличается сокращением стока и замерзанием болот. Однако, изменение уровня воды в озерах невелико: до 1 м, в течение года.

Начало замерзания озерных вод приходится на сентябрь или октябрь. Водоемы могут оставаться подо льдом на протяжении 7-8 месяцев.

Наращение льда приходится на начало зимнего сезона (октябрь-ноябрь). Скорость нарастания льда составляет около 1 см/день, со временем она замедляется до 0,6 см/день. Фиксируются случаи промерзания озер до дна, даже в период теплых зим, такая особенность связана с малыми глубинами и водоемов. Мощность льда во время окончания зимнего сезона составляет примерно от 1.5 до 2 м. [39].

Во время весеннего таяния снега слой льда покрывается водной толщей, достигающей 20-30 см. Таяние льда происходит на месте, при этом он не ломается. После достижения уровня воды максимальной отметки, того, как уровень воды достигнет максимальной отметки, лёд может оставаться на поверхности озера ещё около 15-20 дней. Скорость разрушения льда зависит от размеров поверхности озера: чем больше составляет площадь зеркала водоёма, тем скорость разрушения льда выше.

Тепловой режим озер на данной территории обуславливается, прежде всего, теплообменом, который происходит между водной средой, атмосферным воздухом, а также грунтом. Температурный режим рек и озер, как правило, схож. Озера, имеющие малую глубину способны прогреваться до 25-26 °С.

В целом, годовой ход температурного режима водной среды повторяет годовой ход температурного режима воздуха. Но, в отличие от колебаний температуры воздуха,

изменение температурного режима в воде происходит плавно, а также несколько отстает по времени.

На исследуемой территории основной крупной рекой является Таз. Помимо данной реки на территории встречаются ручьи без названия.

Река Таз берёт начало из верхового болота на Сибирских Увалах, течёт на северо-запад и впадает и впадает несколькими рукавами в южную часть Тазовской губы Карского моря в районе п. Тазовский. Общая протяженность водотока составляет 1401 км, площадь бассейна – 150 тыс. км<sup>2</sup>. Основные притоки (длиной более 200 км) р. Таз расположены справа: р. Большая Ширта, р. Хэтыль-Кы, р. Худосей. Справа впадают р. Ратта, р. Поколька, р. Каралька, р. Толька и р. Часелька. Долина реки несимметричная, в основном трапецидально-образная, шириной около 20 км, извилистая. Русло реки хорошо выражено, извилистое, шириной 80 м в верхнем течении, в среднем течении достигает 400 м, а в нижнем – до 1 км. На правобережье расположено большое количество озёр. Тип руслового процесса – свободное меандрирование.

### **Вывод**

Сплошное распространение многолетней мерзлоты в сочетании с крайне суровым климатом, коротким вегетационным периодом, большим годовым количеством атмосферных осадков и незначительным испарением создают благоприятные условия для морозного растрескивания и последующего развития термокарстовых процессов в южной тундре. Под действием различных факторов, озера имеют уникальные физико-химические и морфометрические характеристики, которые влияют на гидрологический режим в озере.

На территории Западной Сибири питание водных объектов осуществляется, преимущественно, за счет атмосферных осадков, которые преобладают над испарением и выпадают на зеркало озера в виде дождей, снежного покрова, а также поверхностного и подземного (грунтового) стока с площади водосборного бассейна. Однако питание грунтовыми водами играет второстепенную роль в условиях криолитозоны. Кроме того, равнинная территория Западной Сибири обуславливает преобладание термокарстовых озер, так как питание на данной территории, преимущественно атмосферное, то и осадки быстрее просачиваются вглубь, в то время как на пологих территориях они быстро стекают и при этом, не успевая растворить породу, что препятствует развитию термокарстовых процессов.

### ГЛАВА III. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований стали 8 бессточных озер, расположенных в южной части Тазовского полуострова, в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород (рис. 1).

При выборе водных объектов для исследований мы руководствовались следующими принципами:

- 1) идентичный тип питания (преимущественно, атмосферное), не имеющие поверхностного стока;
- 2) расположенные, в максимальной транспортной доступности, а также находящиеся в 300 метрах от автомобильной дороги и иных техногенных объектов;
- 3) наиболее типичные для данного региона озера термокарстового происхождения.

Таким образом, объектами данных исследований в апреле, июне и сентябре 2018 года стали наиболее типичные для данной территории восемь бессточных озер, расположенных в зоне северной тайги в Тазовском районе Ямало-Ненецкого АО.

Ранее данные озера не исследовались. Выбранные объекты не обладают названиями, поэтому, для более удобного изучения, мы дали условные названия: Озеро 1-1 (приложение А), Озеро 1-2 (приложение Б), Озеро 1-3 (приложение В), Озеро 1-4, Озеро 1-5 (приложение Г), Озеро 1-6 (приложение Д), Озеро 1-7 (приложение Е) и Озеро 1-8.

В ходе летних полевых исследований определялись максимальные глубины озер, физико-химические показатели, в осенний период производился отбор проб воды и донных отложений, а в зимний – отбор снежного покрова.

Замеры максимальной глубины на рассматриваемых озерах проводились с помощью эхолота Garmin EchoMAP 42CV, оснащенного GPS навигатором, размещенном на резиновой лодке с мотором Yamaha 2 (фото 2). Измерения глубин осуществлялись на скорости 5 - 10 км/час. Для анализируемых озер число точек замеров глубин составляло от 440 до 735 шт., их количество зависело от размера водного объекта, маршрут движения лодки представлял собой концентрическую кривую, расстояние между витками данной кривой составляло около 10-20 метров, что позволило обеспечить наиболее оптимальное соотношение плотности точек и скорости проведения измерений. Измерение глубин с помощью лодки производилось только на озерах 1-1, 1-2, 1-3, 1-6 и 1-7. С остальных озер производился только отбор проб воды и донных отложений в осенний период, в связи с отсутствием физической возможности доставить резиновую лодку до места исследования.



Фото 2. Резиновая лодка с мотором Yamaha 2, оснащенная эхолотом Garmin EchoMAP 42CV с GPS навигатором (фото сделано автором)

Из физико-химических параметров, с помощью приборов американской компании HI digital (PH-200 с погрешностью 0,1 ед. рН с автокомпенсацией по температуре в интервале 0-80 °С, ORP-200 с погрешностью 0,5 % с рабочей температурой в интервале 0-80 °С, COM-100 с погрешностью 2 % с автокомпенсацией по температуре в интервале 0-50 °С) было определено общее солесодержание (ppm), уровень рН, температура, электропроводность (Es), и окислительно-восстановительный потенциал воды. Проведение измерений с помощью данных приборов, осуществлялось с резиновой лодки, путем погружения прибора в воду (фото 3). Результаты измерений в короткий срок отображаются на экране прибора. Предварительно все приборы прошли калибровку в условиях лаборатории научно-исследовательского института экологии и рационального использования природных ресурсов.



Фото 3. Измерение водородного показателя, с помощью рН метра (PH-200) на озере 1-2 (фото сделано автором)

Помимо минерализации, температуры воды, уровня рН, электропроводности и окислительно-восстановительного потенциала, из физико-химических параметров, в полевых условиях, были определены мутность и цветность воды. Цветность воды определялась по кобальт-хромовой шкале (РД 52.24.497-2005) [2]. Такой метод относится к методам визуального определения цветности, так как основан на зрительном сравнении окраски анализируемой воды с искусственной (имитационной) шкалой цветности. В лабораторных условиях предварительно подготавливались мерные колбы вместимостью 100 см<sup>3</sup>, в каждой колбе содержался водный раствор, соответствующий определенному уровню цветности. Для определения цветности, производился отбор проб озерных вод, в чистую емкость устанавливалась воронка, в которую помещались фильтровальные диски «Синяя лента». Вода проходила фильтрацию, после сливалась в чистую мерную колбу и сравнивалась с имитационной шкалой на белом фоне при дневном свете (фото 4,5).



Фото 4,5. Определение цветности по кобальт-хромовой шкале (РД 52.24.497-2005) в полевых условиях (фото сделано автором)

Мутность озерных вод определялась с помощью американского анализатора АМТ 27 фирмы Amstat USA Inc в мг/дм<sup>3</sup> по каолину (фото 6). Также, как и при определении цветности, производился отбор проб поверхностных вод, вода взбалтывалась и, после сливалась в колбу. Колба взбалтывалась повторно и помещалась в мутномер, крышка которого закрывалась и на экране прибора в короткий срок отображались результаты измерений.





Фото 6. Определение мутности воды, в мг/дм<sup>3</sup> по каолину с помощью анализатора AMT 27 фирмы Amstat USA Inc (фото сделано автором)

На основе полученных сведений о максимальных глубинах, с помощью эхолота Garmin EchoMAP 42CV, а также путем дешифрирования космического снимка, полученного с навигационной программы «SAS. Planet», который использовался в качестве картографической основы, были построены карты глубин исследуемых озер. Построение гипсометрических карт осуществлялось в программе ArcGIS 10.0, при использовании интерполяции по методу обратно взвешенных расстояний (ОВР).

Во время исследований определялись следующие морфометрические показатели: площадь зеркала озера ( $F$ , км<sup>2</sup>), длина озера ( $L$ , км), максимальная ширина озера ( $V_{\max}$ , км), средняя ширина озера ( $V_{\text{ср.}}$ , км), коэффициент удлиненности ( $K_{\text{удл.}}$ ), коэффициент извилистости береговой линии ( $K_{\text{изв}}$ ), максимальная и средняя глубины озер, объём воды в озере ( $V$ , м<sup>3</sup>), показатель ёмкости озерной котловины ( $C1$ ).

Пространственные размеры озёр, такие как длина, максимальная ширина и длина береговой линии были получены на основе космических снимков, с использованием приложения Google Earth Pro, что позволило более точно определить данные параметры, так как степень достоверности оценки по формуле ниже.

Вычисление площади озер производилось по полученному космическому снимку в программе ArcScene 10 при помощи функции «измерение площади».

Вычисление остальных морфометрических показателей, таких как, коэффициент удлиненности ( $K_{\text{удл.}}$ ), коэффициент извилистости береговой линии ( $K_{\text{изв}}$ ), средняя глубин озера, объём воды в озере ( $V$ ), а также показатель ёмкости озерной котловины ( $C1$ )

осуществлялось по формулам, согласно общепринятых методик в лимнологии [11, 12, 29, 47].

Коэффициент удлиненности представляет собой отношение длины водоема к его средней ширине [11, 12], рассчитывается по формуле:

$$K_{удл.} = \frac{L}{B_{ср}} \quad (1)$$

При этом средняя ширина является частным от деления площади зеркала (F) на длину озера (L) [29]:

$$B_{ср.} = \frac{F}{L} \quad (2)$$

Коэффициент изрезанности (извилистости) береговой линии озер является отношением длины озера к длине окружности круга, площадь которого равна площади озера [11, 12]:

$$K_{изв.} = \frac{L}{2 * \sqrt{F * \pi}} \quad (3)$$

Средняя глубина озера – это отношение объема озера к площади его зеркала, вычисляется по следующей формуле:

$$H_{ср.} = \frac{V}{F} \quad (4)$$

Для определения показателя емкости озерной котловины, который дает представление о форме геометрической фигуры котловины, был рассчитан показатель емкости озерной котловины по формуле:

$$C1 = \frac{H_{max}}{H_{ср}}, \quad (5)$$

где

$H_{max}$  - максимальная глубина озера;

$H_{ср}$  – средняя глубина озера [32].

Объем озера высчитывается по следующей формуле:

$$W = h_1 \frac{W_1 + W_2}{2} + h_2 \frac{W_2 + W_3}{2} + \dots + h_{n-2} \frac{W_{n-2} + W_{n-1}}{2} + h_{n-1} \frac{W_{n-1} + W_n}{2}, \quad (6)$$

где

$h_1, h_2, h_3$  - вертикальные расстояния между плоскостями изобат,

$W_1, W_2, W_3$  - площади, ограниченные изобатами [47].

В ходе исследования были построены батиграфические и объемные кривые, в программе Microsoft Excel. Батиграфические кривые отображают взаимозависимость глубины озера и его площади, оконтуренной на соответствующих глубинах. Объемная кривая отражает взаимозависимость между объемом воды в озере и его глубины.

Вертикальная ось данных кривых представлена шкалой глубин, а горизонтальная – шкалой площадей, оконтуренных изобатами [11].

В программе Statistica 6.0 были рассчитаны некоторые статистические данные, а также построены корреляционные матрицы сходства содержания элементов в пробах воды, снежного покрова и донных отложений исследованных малых термокарстовых озер.

Отбор проб воды, снежного покрова и донных отложений в настоящем исследовании предназначен для количественного определения тяжелых металлов, а также гидрохимического состава воды на ненарушенных природных землях в южной части Тазовского полуострова.

Отбор проб снежного покрова проводился на основании ГОСТ 17.1.5.05-85 складной совковой лопатой из углеродистого пластика, размером 21x21 см [1]. Также в процессе пробоотбора использовались снегомерная рейка и полиэтиленовые пакеты вместимостью 10–12 дм<sup>3</sup>. Объединенная проба снежного покрова в точке опробования составлялась из суммы единичных кернов снега.

Керн снега отбирался на всю глубину снежного покрова. Перед помещением снега в пакет, нижний конец керна очищался от частиц растительного материала и почвы. По мере наполнения пакета снег уплотнялся через полиэтиленовую пленку.

Для пересылки в химическую лабораторию, пробы снега упаковывались в полиэтиленовые пакеты и накрывались специальным теплоизоляционным покрытием с серебристой отражающей поверхностью. В химической лаборатории пробы снега были помещены в пластиковые контейнеры вместимостью до 3 дм<sup>3</sup>, где снег таял при комнатной температуре. Растапливанию и фильтрованию подлежал весь объем пробы. Из снега и талой воды были выбраны и отброшены веточки, листья, хвоя, трава и другие растительные остатки, в связи с тем, что делать это после начала фильтрования с поверхности фильтра запрещено. Фильтрование было начато сразу же после появления первых порций талой воды. Растопленную пробу фильтровали через фильтр «Синяя лента» (фото 7).



Фото 7. Фильтрация снежных проб в химической лаборатории  
(фото сделано автором)

После окончания фильтрования фильтр высушивался до постоянного веса в течение 24-48 часов при комнатной температуре на воздухе, а отфильтрованная вода разливалась в полиэтиленовые бутылки, объемом 1,5 л, для проведения дальнейших анализов.

Отбор проб поверхностных вод из водоемов проводился с помощью пробоотборника, который приспособлен для опускания к заданной глубине и для открывания пробки сосуда на этой глубине. В зимний период для отбора проб в выбранном месте бурилась лунка при помощи ручного кольцевого бура (фото 8).



Фото 8. Отбор проб поверхностных вод ручным кольцевым буром  
(фото сделано автором)

Во время отбора пробы составлялось сопроводительное письмо, в котором отмечались:

1. Вид, наименование, место нахождения, адрес источника воды;
2. Состояние погоды во время отбора проб;
3. Причина и цель отбора проб;
4. Дата и время отбора пробы [14].

В качестве пробоотборных сосудов использовались химически стойкие к исследуемой воде стеклянные и пластмассовые сосуды (бутылки объемом 1.5 л.) с завинчивающимися пробками, что обеспечивало герметичность укупорки. Выбор материала сосуда зависел от природы определяемых примесей. Так, например, вода, предназначенная для исследования на нефтепродукты отбиралась в темные стеклянные бутылки, так как такая посуда не пропускает солнечные лучи. Под крышку стеклянной бутылки подкладывалась двухслойная прокладка из фольги, обеспечивающая герметичность пробы.

При транспортировке проб все сосуды были плотно закупорены и упакованы, а также утеплены. Посуда, в которую производится отбор проб, была промаркирована.

Отбор проб донных отложений осуществлялся из поверхностного слоя, при помощи трубчатого дночерпателя. Отобранные пробы с озер 1-2, 1-3 и 1-6 имели черный цвет, что свидетельствовало об органическом происхождении. Однако, помимо органических отложений, для исследований были отобраны и минеральные отложения с

озер 1-1, 1-2, 1-5 и 1-7. Хранение пробы при транспортировке в лабораторию осуществлялось в полиэтиленовых пакетах.

Для определения химического состава воды, в сентябре, с данных водных объектов были отобраны пробы.

С каждого озера были отобраны пробы воды для анализа на ИСП. Водные образцы отбирались в полиэтиленовые пробирки, объем проб составлял  $\approx 15$  мл. Перед проведением анализа к пробам добавляли по 0,2 мл концентрированной  $\text{HNO}_3$  (Nitric acid 65% Suprapur, Merck), интенсивно встряхивали 5 мин и оставляли на 12 часов.

Элементный анализ пробы проведен в Аналитическом сертификационном испытательном центре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН). Определение элементного состава вод проводили по методике НСАМ №520-АЭС/МС “Определение элементного состава природных, питьевых, сточных и морских вод атомно-эмиссионным и масс-спектральным методами с индуктивно связанной плазмой” (*Свидетельство о метрологической аттестации методики №520-01.00115-2013-2017 от 27 марта 2017*).

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-спектральным (X-7, Thermo Elemental, США) методами 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.

Гидрохимический анализ состава анионов и катионов, сухого остатка осуществлялся по стандартным аттестованным ПНД Ф методикам в Лаборатории экологических исследований Института Химии ТюмГУ.

## ГЛАВА IV. МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАЛЫХ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР ТАЗОВСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Морфометрические показатели озерных котловин не только позволяют судить о генезисе конкретных озер, но и также отражают специфические особенности развития котловины и ход многих гидрологических процессов, протекающие в воде.

Во время исследований определялись следующие морфометрические показатели: площадь зеркала озера ( $F$ , км<sup>2</sup>), длина озера ( $L$ , км), максимальная ширина озера ( $V_{\max}$ , км), средняя ширина озера ( $V_{\text{ср.}}$ , км), коэффициент удлиненности ( $K_{\text{удл.}}$ ), коэффициент извилистости береговой линии ( $K_{\text{изв.}}$ ), максимальная и средняя глубины озер, объём воды в озере ( $V$ , м<sup>3</sup>), показатель ёмкости озерной котловины ( $C1$ ).

Изучив водосборную площадь, анализируемых озер можно установить, что данные озера являются бессточными и находятся вне территорий нефтегазодобычи, то есть получают сток извне и расходуют его лишь на испарение, инфильтрацию или искусственный водозабор, при этом не отдают ничего в естественный или искусственный водоток [31].

Расчеты морфометрических показателей малых термокарстовых озер представлены в таблицах 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1

Морфометрические показатели малых термокарстовых озер Тазовского  
полуострова (рассчитано автором)

Обозначение озера	Площадь озера, (км <sup>2</sup> ) $F_0$	Длина озера, (км) $L$	Ширина озера, (км) $V$	Коэффициент удлиненности $K_{\text{удл.}} = \frac{L}{V_{\text{ср}}}$	Коэффициент извилистости береговой линии $K_{\text{изв.}} = \frac{L}{2 \cdot \sqrt{F \cdot \pi}}$
Озеро 1-1	0,44 – очень малое*	0,75	$V_{\max}=0,63$ $V_{\text{ср}}=0,59$	1,3	1,01
Озеро 1-2	0,70 – очень малое*	0,87	$V_{\max}=0,80$ $V_{\text{ср}}=0,71$	1,22	1,22
Озеро 1-3	0,05 – озёрки*	0,27	$V_{\max}=0,25$ $V_{\text{ср}}=0,20$	1,35	1,05
Озеро 1-6	0,07 – озёрки*	0,27	$V_{\max}=0,26$ $V_{\text{ср}}=0,25$	1,08	1,00
Озеро 1-7	0,11 – очень малое*	0,32	$V_{\max}=0,31$ $V_{\text{ср}}=0,30$	1,06	1,00

\*Определение по классификации В.П. Иванова (1948) [23]

\*\*Определение по классификации С.В. Григорьева (1959) [18]

Площадь водного зеркала озера является одной из важных морфометрических характеристик, по данному показателю озера были сгруппированы в соответствии с классификацией В.П. Иванова (1948) [23]. Результаты измерений площади зеркала позволяют отнести исследованные озера 1-1, 1-2 и 1-7 к категории «очень малые» (с площадью от 0,1—1,0 км<sup>2</sup>) и озера 1-3 и 1-6 к «озеркам» (с площадью 0,001-0,01 и 0,02-0,1 км<sup>2</sup>). Таким образом, по размеру данные озера являются малыми – с площадью водной поверхности менее 1 км<sup>2</sup> (табл. 4.1).

Для того, чтобы убедиться в термокарстовом происхождении исследуемых озер Тазовского полуострова, а также показать их отличительные особенности, был проведён сравнительный анализ с озерами, имеющими иное происхождение. В результате сравнительного анализа было выявлено, что исследованные озера близки по своим характеристикам к термокарстовым озерам Центральной Якутии, которые также характеризуются небольшой площадью зеркала (в среднем 0,8 км<sup>2</sup>), малыми и максимальными глубинами (до 4 м) и формой, близкой к окружности [9], это указывает на то, что данные характеристики являются отличительной особенностью озер термокарстового происхождения. Однако при этом Якутские озера имеют большую среднюю глубину (в среднем 1,4 м), что соответственно обуславливает значительно больший объём (до 1 млн м<sup>3</sup>), чем у озер Тазовского полуострова.

В работе О.Н. Артаева и Н.Г. Баянова Мухтоловские термокарстовые озера Нижегородской области также отличаются маленькой площадью зеркала озера (в среднем 0,179 км<sup>2</sup>), что в 4,5 раза меньше площади Якутских озер и в 1,5 раза меньше средней площади исследуемых озер [6].

Исследуемые термокарстовые озера Тазовского района и термокарстовые озера Якутии значительно отличаются по максимальной глубине от голубых озер, в районе Надым-Пуровского междуречья, глубина которых может достигать 12 м [9, 43]. При этом их площадь значительно меньше площади исследуемых озер, так, например, площадь самого большого голубого озера составляет 0,032 км<sup>2</sup>.

Различные относительные показатели, так или иначе отражают форму их котловины. Длина котловины (L) изменяется в пределах от 0,27 до 0,75 км. Максимальная ширина (В<sub>мах</sub>) варьирует от 0,25 до 0,80 км, а средняя – от 0,20 до 0,71 км. При сравнительно малой длине, малые показатели средней ширины озера указывают на термокарстовое происхождение водоемов [37].

Расчет коэффициентов удлинённости и извилистости озёр производился по формулам [11, 12] (табл. 4.1). Показатель удлинённости (Кудл.) дает представление о форме озера в плане. Для изученных озер рассматриваемой территории этот показатель



изменяется в пределах от 1,06 до 1,35. Все озера можно классифицировать, как близкие к округлой форме, в связи с маленькими значениями ( $K_{удл} < 1,5$ ), что также свидетельствуют об термокарстовых процессах при образовании данных озер.

Береговая линия озёр извилиста несущественно – коэффициент составляет от 1,00 до 1,22, что также указывает на форму озер, близкую к окружности (табл. 4.1).

Малые термокарстовые озера Тазовского полуострова, согласно классификации С.П. Китаева, по средней глубине отнесены к категории «очень малые» ( $V_{ср} < 2$  м). По максимальной глубине все озера, кроме 1-3 – «малое» (3,12-6,25 м), относятся к «очень малым» ( $< 3,12$  м) (табл. 4.2) [26]. Особенность анализируемых озер заключается в их малой длине и ширине, в сочетании с торфяными береговыми обрывистыми уступами, что свидетельствуют о термокарстовом генезисе котловины [30, 37].

Таблица 4.2

Морфометрические показатели малых термокарстовых озер Тазовского полуострова (рассчитано автором)

Обозначение озера	Объем воды в озере, млн м <sup>3</sup>	Максимальная глубина, м	Средняя глубина, м $V_{ср.} = \frac{V}{S}$	Класс озера по средней глубине	Класс озера по максимальной глубине
Озеро 1-1	0,270	1,5	0,61	Очень малое*	Очень малое*
Озеро 1-2	0,572	1,8	0,82	Очень малое*	Очень малое*
Озеро 1-3	0,052	4,0	0,99	Очень малое*	Малое*
Озеро 1-6	0,042	2,1	0,62	Очень малое*	Очень малое*
Озеро 1-7	0,095	1,8	0,84	Очень малое*	Очень малое*

Котловины озер могут возникать при разных рельефообразующих процессах, в связи с чем, генетическая классификация их основывается на геоморфологических признаках. Котловины частично или полностью спущенных озер обычно имеют четкий береговой уступ высотой до 1,5 м, плоское, слабонаклоненное, часто заболоченное днище и овальную в плане форму с поперечником до нескольких километров. У анализируемых озер нет приливно-отливной (литоральной) зоны, они имеют торфяные береговые

обрывистые уступы, что является отличительным признаком термокарстового генезиса озерных котловин.

Было рассчитано соотношение средней и максимальной глубин ( $C1$ ), в результате чего, было установлено, на сколько котловина конкретного озера близка по форме к одной из геометрических фигур [32]. По значению показателя емкости озера [32] данные озера имеют форму котловины подобной конусу и параболоиду (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Распределение исследованных озер по значению показателя емкости озерной котловины (рассчитано автором)

Наименование озера	Показатель $C1$ $C1 = \frac{h_{cp}}{h_{max}}$	Форма озерной котловины*
Озеро 1-1	0,4	Конус
Озеро 1-2	0,5	Параболоид
Озеро 1-3	0,2	Конус
Озеро 1-6	0,3	Конус
Озеро 1-7	0,5	Параболоид

Форма озерной котловины является одним из важнейших морфометрических показателей, так как она определяет протекание динамических процессов в озере, таких как перемешивание и нагревание. Кроме того, форма и размеры озерной котловины определяют лимитирующий объем водной массы, в связи, с чем и устанавливается продолжительность ледостава, а именно, период установления ледяного покрова и его стаивания, а также толщина льда и другие ледовые явления. Чем больше размер озерной котловины, тем, соответственно, больше объем водной массы, который дольше охлаждается осенью или, наоборот, дольше нагревается весной. Это является причиной задержки замерзания озер осенью или вскрытия на них льда весной.

Данные озера имеют небольшой объем и малую глубину, являются мелководными, следовательно, их промерзание и оттаивание происходит быстрее, чем у озер иного происхождения. Установление ледостава происходит через 1–2 дня после того, как среднесуточная температура воздуха опускается ниже  $0^{\circ}\text{C}$ . Стоит также отметить, что в некоторых местах исследуемых малых термокарстовых озер Тазовского полуострова происходит промерзание воды до дна, данная особенность была отмечена в ходе полевых исследований, в апреле, при бурении льда.

Проведя аналогию между малыми озерами Тазовского полуострова и озерами иного происхождения по данному показателю ( $C1$ ), удалось установить, что голубые и исследуемые озера различны и по форме котловин. По значению показателя емкости

котловины [32], голубые озера имеют форму цилиндра [43]. Котловина исследуемых озер, в свою очередь, имеет форму подобную конусу и параболоиду (табл. 4.3), что, в совокупности с другими факторами, позволяет говорить о термокарстовом происхождении исследуемых озер [49]. Тот же показатель, рассчитанный для термокарстовых Мухтоловских озер Нижегородской области, изменяется в пределах от 0,25 до 0,34, что говорит о конусообразной форме дна. Ледниковые озера также имеют форму котловин между конусом и параболоидом, однако стоит отметить, что в среднем, максимальная глубина ледниковых озер может достигать 9 м, а площадь зеркала озера в среднем составляет 35,5 км<sup>2</sup> [9,10], что в превышает среднюю площадь исследуемых озер более, чем в сотню раз.

Также, в мелководных озерах 1-1, 1-3 и 1-6, значительно больших по площади, имеющих форму конуса, при одинаковом объеме водной массы, процессы фотосинтеза будут протекать более интенсивно, чем, например, в глубоководных голубых озерах Надым-Пуровского междуречья, имеющих форму цилиндра и площадь водного зеркала которых в разы меньше [43]. Это связано с формой озерных котловин, а также с тем, что неглубокие озера прогреваются быстрее, по сравнению с глубоководными.

При анализе котловины озера стоит учитывать не только её форму, но и рельеф дна. Так, котловина может представлять собой простую впадину или сложную, включающую несколько впадин и возвышений дна [12]. В связи с этим, были построены гипсометрические карты в программе ArcGis с построением модели рельефа дна каждого озера (приложения Ж, З, И, К, Л).

ГИС-моделирование рельефа озёрных котловин наглядно показывает наличие нескольких донных углублений. Анализ гипсометрии озер показал, что каждое донное углубление имеет форму конуса. Площади таких углублений занимают менее 1 % зеркала озера. Воронкообразные углубления, занимают незначительную часть озера: их насчитывается от 3 до 8 шт., что является одними из характерных признаков карстового генезиса озер [6]. В то время как у голубых озер отмечается наличие в центральной части углубления, морфологически напоминающего сип [43]. Наличие нескольких донных углублений в котловине может быть связано с дальнейшим проседанием толщи пород над полостями, в связи с зоной меньшего уплотнения грунтов, что обусловлено термокарстовыми процессами.

По полученным результатам полевых работ, были построены батиграфические и объемные кривые. На представленных графиках прослеживается одинаковая тенденция: с увеличением глубины озера уменьшается объем воды. Что также связано с конусообразными и параболоидными формами котловин исследуемых водоемов.

Анализ озера 1-1 показал, что максимальная площадь изобаты фиксируется отметкой 0,6 м, которая составляет 183741,4 м<sup>2</sup> (41,4 %), наименьшую площадь занимает площадь, ограниченная изобатами, с отметкой 1,5 м – 309,106 м<sup>2</sup> (0,07%) (рис.8).

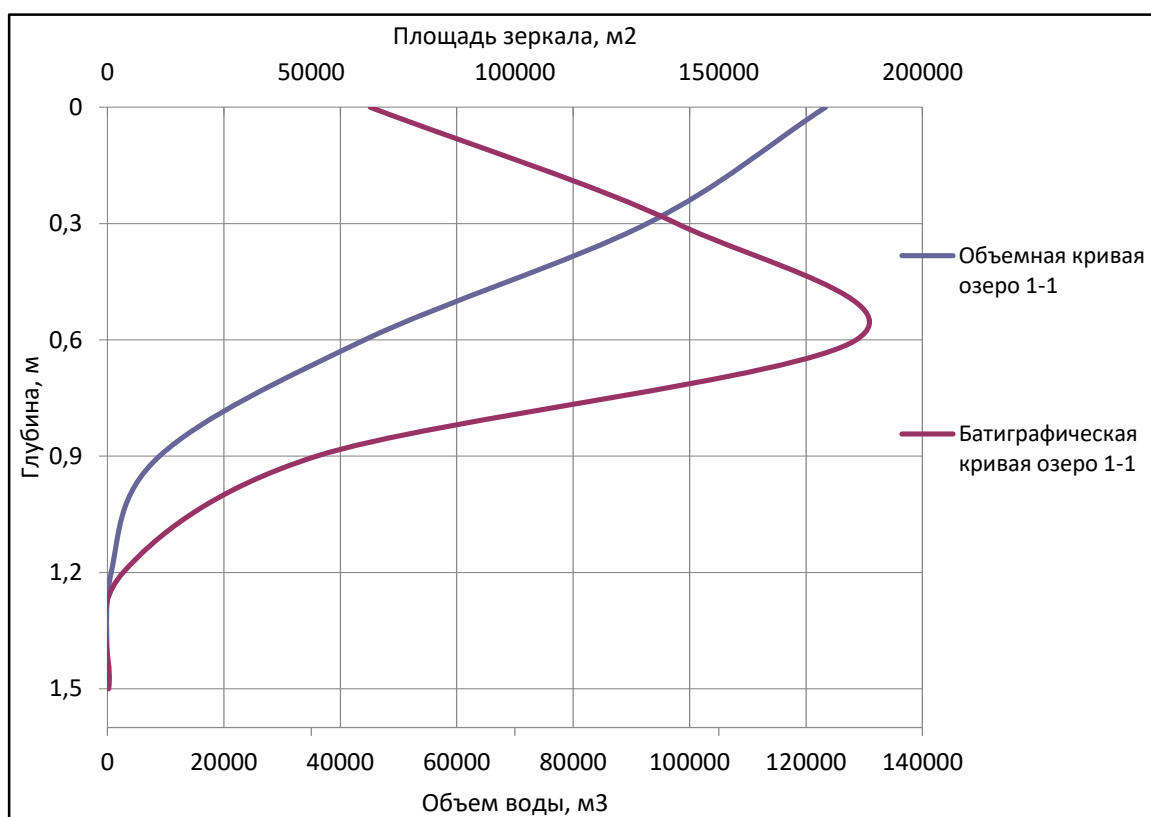


Рис. 8. Батиграфическая и объемная кривая Озеро 1-1

(составлено автором)

Анализ озера 1-2 показал, что максимальная площадь изобаты фиксируется отметкой 0,9 м, которая составляет 275410,9 м<sup>2</sup> (39,5%), наименьшую площадь занимает площадь, ограниченная изобатами, с отметкой 1,8 м – 751,169 м<sup>2</sup> (0,1%) (рис.9).

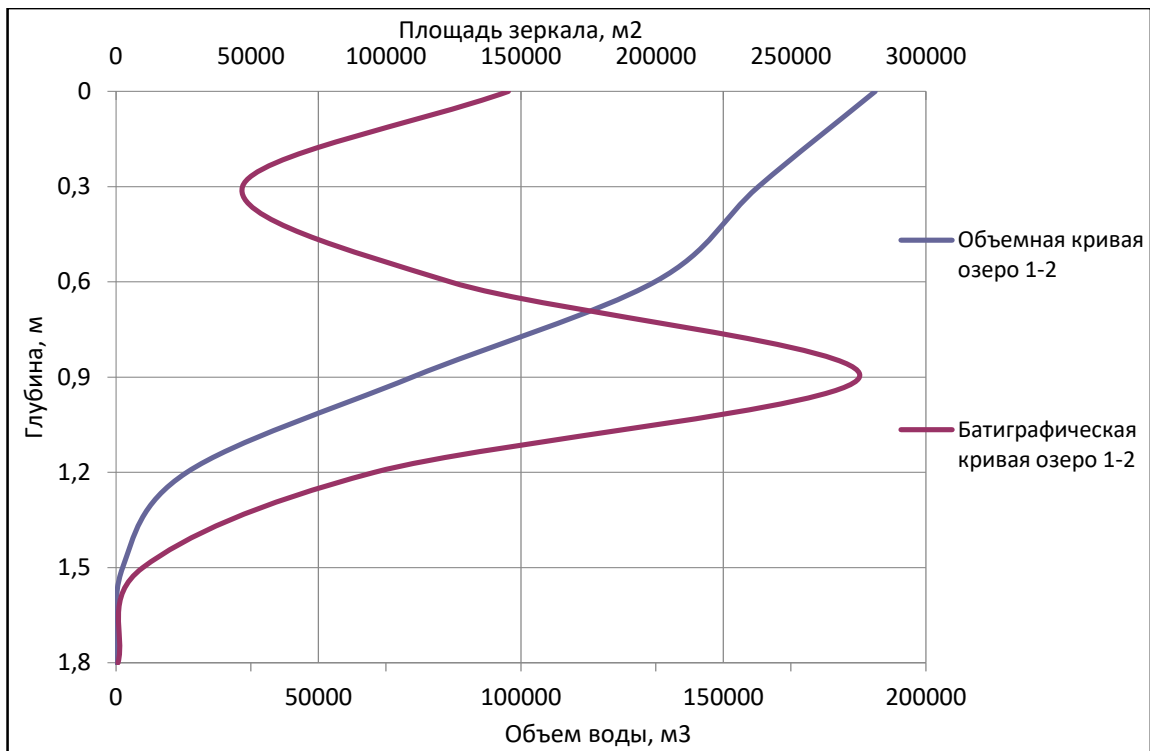


Рис. 9. Батиграфическая и объемная кривая Озеро 1-2

(составлено автором)

Анализ озера 1-3 показал, что максимальная площадь изобаты фиксируется отметкой 1,5 м, которая составляет 21712,22 м<sup>2</sup> (40,9 %), наименьшую площадь занимает площадь, ограниченная изобатами, с отметкой 4 м – 0,986 м<sup>2</sup> (0,002%) (рис. 10).

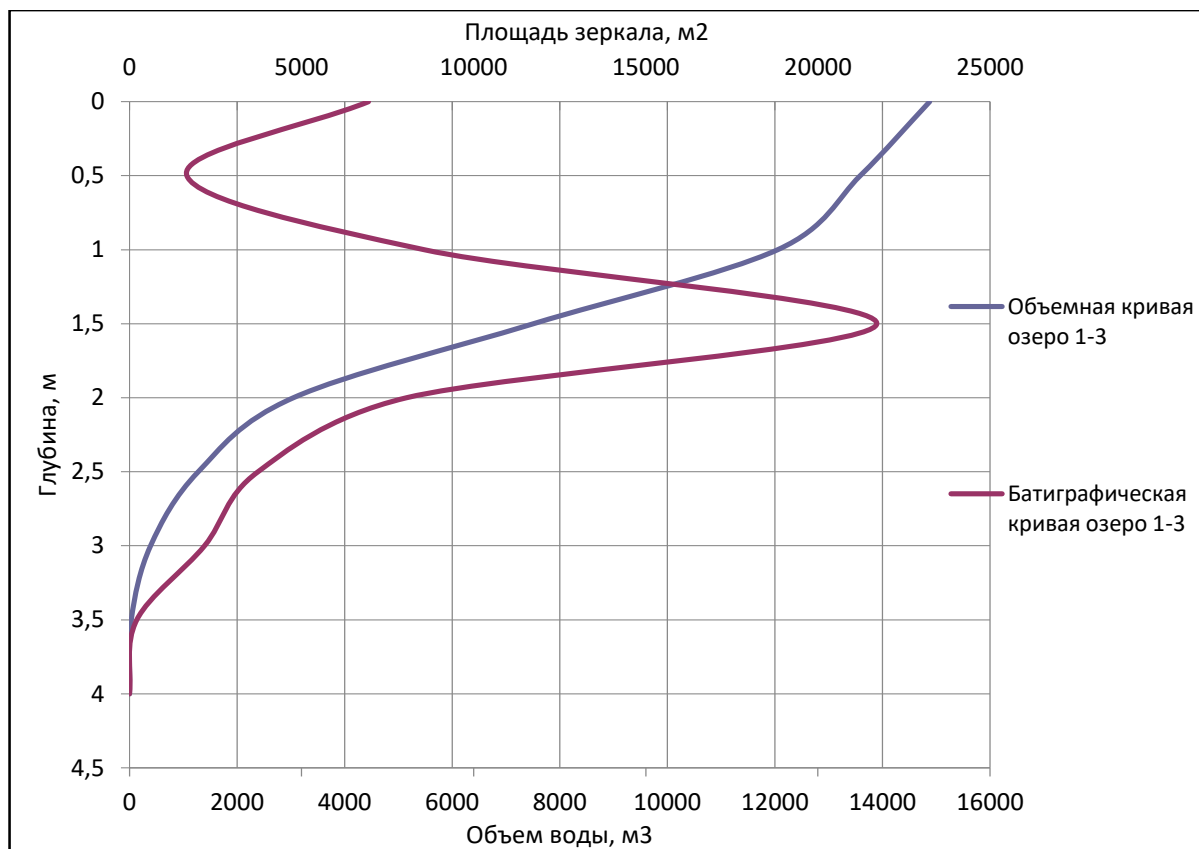


Рис. 10. Батиграфическая и объемная кривая Озеро 1-3

(составлено автором)

Анализ озера 1-6 показал, что максимальная площадь изобаты фиксируется отметкой 0,6 м, которая составляет  $25097,786 \text{ м}^2$  (37,5 %), наименьшую площадь занимает площадь, ограниченная изобатами, с отметкой 2,1 м –  $14,319 \text{ м}^2$  (0,02%) (рис. 11).

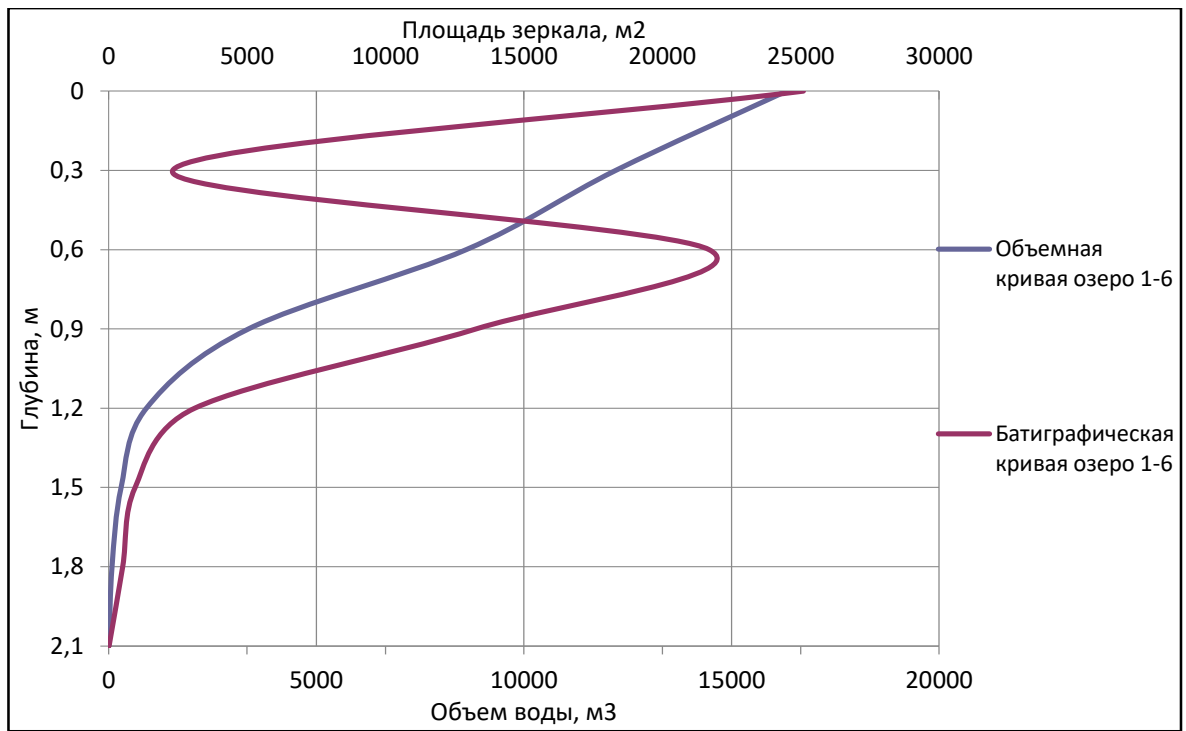


Рис. 11. Батиграфическая и объемная кривая Озеро 1-6

(составлено автором)

Анализ озера 1-7 показал, что максимальная площадь изобаты фиксируется отметкой 0,9 м, которая составляет 30664,627 м<sup>2</sup> (27,1 %), наименьшую площадь занимает площадь, ограниченная изобатами, с отметкой 1,8 м – 737,434 м<sup>2</sup> (0,7%) (рис. 12).

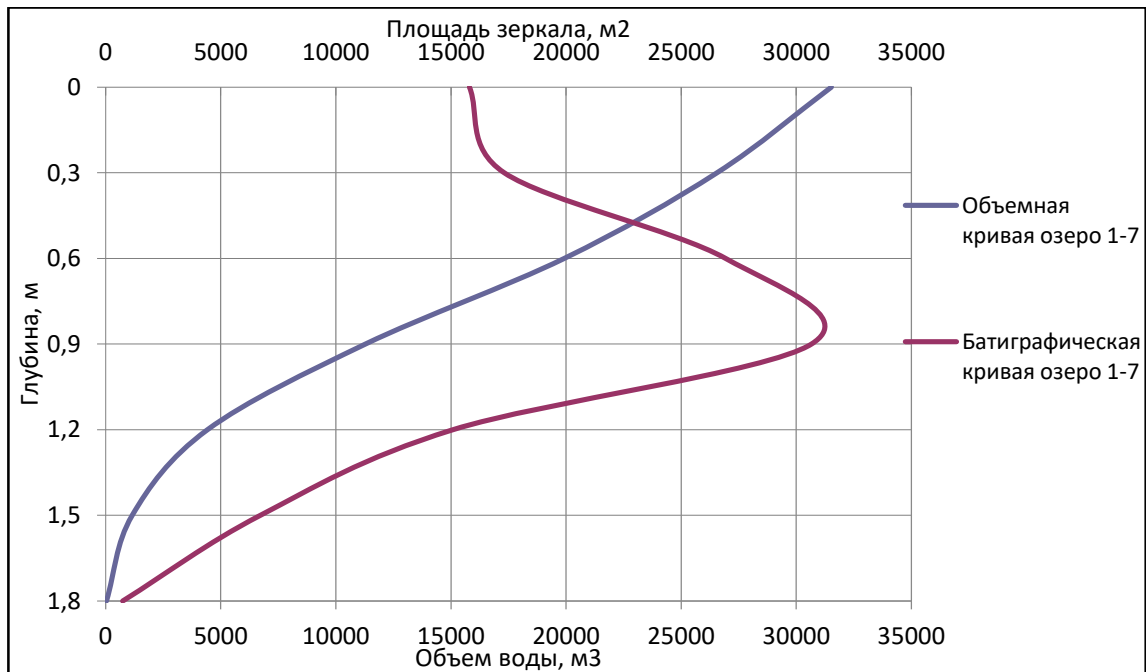


Рис. 12. Батиграфическая и объемная кривая Озеро 1-7

(составлено автором)

Таким образом, наибольшая площадь изобат по всем озерам наблюдается на глубине 0,6-0,9 метров (рис. 8,9,11,12), кроме озера 1-3 (рис. 10), максимальная площадь которого зафиксирована на глубине 1,5 м. Что указывает на то, что большая часть запасов воды (более 70%) приходится на глубину до 0,9 м.

### **Вывод**

В данной главе были определены морфометрические характеристики исследуемых объектов, что говорит о термокарстовом генезисе котловин данных озер. При расчете и сопоставлении исследуемых объектов с озерами, имеющими ледниковое, термокарстовое происхождение, а также с голубыми озерами, анализ морфометрических и батиметрических характеристик изученных озер показал, что озера в южной части Тазовского полуострова, имеют небольшую площадь (менее 1 км<sup>2</sup>) и относятся к категории «очень малые» и «озерки». Данные водные объекты невелики по глубине (1,5 – 4 м), имеют обрывистые берега и четкий береговой уступ. Все исследуемые озера имеют округлую форму и критически низкий показатель извилистости, что является признаком их термокарстового происхождения.

Все исследуемые объекты имеют схожую морфологию дна (конусообразная и параболоидная). У озер отмечается несколько донных углублений, что также может быть связано с дальнейшим проседанием толщи пород над полостями, в связи с зоной меньшего уплотнения грунтов. Согласно построенным батиграфическим кривым, донные углубления имеют небольшую площадь и объем. Основной объём водной массы в озёрах сосредоточен до глубины 0,6 м. Более 70% площади приходится на глубину до 0,9 м.

Таким образом, изученные объекты имеют ряд общих особенностей: сходные морфологические и батиметрические характеристики, типичные для термокарстовых озер Арктики.



## ГЛАВА V. ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МАЛЫХ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР ТАЗОВСКОГО ПОЛУОСТРОВА

### 5.1. Физико-химическая характеристика вод малых термокарстовых озер Тазовского полуострова

Вода в изучаемых озёрах исследовалась на общее солесодержание (ppm), цветность, уровень pH, температуру и электропроводность (Es), мутность, окислительно-восстановительный потенциал воды, а также растворенный кислород (табл.5.1).

Таблица 5.1

Физико-химические характеристики вод малых термокарстовых озер Тазовского полуострова

Показатели, размерность	N	MEAN (min – max)	SD
Суммарная минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	6	6,6 (4,9 - 8,9)	1,8
Удельная электропроводность, µS/см	6	14,4 (10,8 - 19,3)	3,7
Окислительно-восстановительный потенциал, mV	6	141,3 (70 – 193)	47,4
pH, ед. pH	6	5,7 (5,0 - 6,5)	0,6
Цветность, градусы	6	77 (55 – 130)	27
Мутность, мг/дм <sup>3</sup> по каолину	6	11,0 (3,6 – 18,8)	5,8

Примечание: здесь и далее: MEAN – среднее арифметическое с ошибкой, SD – стандартное отклонение, N – количество измерений

Согласно проведенному анализу, природные воды исследуемых озёр по минерализации относятся к ультрапресным (суммарная минерализация в среднем составляет 6,6 мг/дм<sup>3</sup>). Удельная электрическая проводимость воды незначительна (14,4 µS/см). Невысокий показатель электропроводности природной воды обусловлен малой степенью минерализации (концентрации растворенных минеральных солей).

Значения окислительно-восстановительного потенциала характеризуют водную среду озер как, в основном, окислительную, что свойственно поверхностным природным водам региона. По значения pH воды озер являются слабокислыми (5,7 ед. pH). Как правило, чаще всего кислотность определяется содержанием свободного диоксида углерода. В данном случае pH природных вод выше 5,0 (табл 5.1), следовательно естественную часть кислотности формируют гуминовые и другие слабые органические кислоты и катионы слабых оснований (ионы аммония, железа, алюминия, органических оснований). Соответственно, в данном случае в озерах не содержится большое количество сильных кислот или солей, так как pH > 4,5.

Цветность составляет от 77 до 130 градусов, мутность – от 3,6 до 18,8 мг/дм<sup>3</sup>. Высокие показатели цветности объясняются присутствием в природных водах соединений железа и высоким содержанием органических веществ.

Макрокомпонентный состав (главные ионы) является одним из основных параметров вод и формируется в основном под воздействием природных факторов. Химический тип поверхностных вод определяют главные ионы (макрокомпоненты).

Согласно результатам анализа, представленным на диаграммах (рис. 13), главными катионами озер, являются: Na<sup>+</sup>, Mg<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup>. Содержание катионов Ca<sup>+</sup> (до 58%) во всех озерах превышает содержание остальных катионов. На втором месте катионы Mg<sup>+</sup> (до 23%). Причинами содержания такого количества кальция, как правило, является химическое выветривание и процессы растворения известняков.

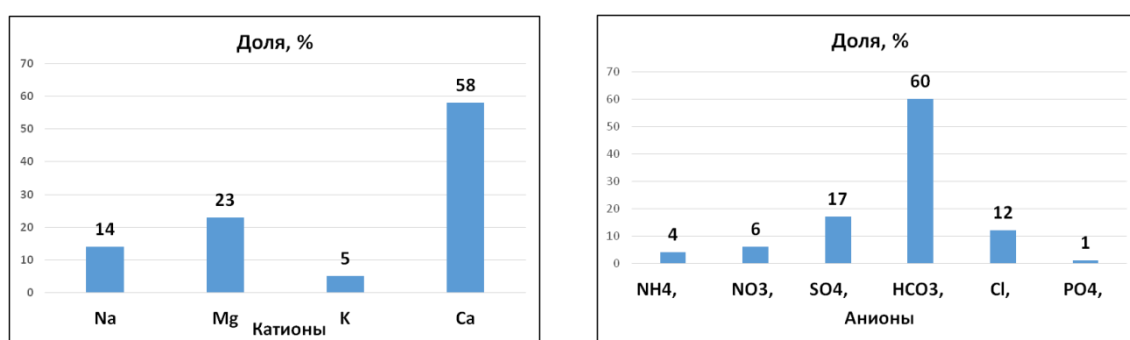


Рис 13. Среднее содержание ионов в поверхностных водах малых термокарстовых озер Тазовского полуострова, %

Из анионов можно выделить следующие: NH<sub>4</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, а также содержание гидрокарбонатов (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Большую часть химического состава формируют гидрокарбонаты (они составляют до 60% в водах) (рис. 13).

Таким образом, преобладающими ионами в поверхностных водах малых термокарстовых озер Тазовского полуострова являются катионы кальция (Ca<sup>+</sup>) и гидрокарбонаты (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Согласно классификации О.А. Алекина [3], все исследуемые озера относятся к классу гидрокарбонатных вод, к группе кальциевых, первого типа. Воды пресные, мягкие, образуются в процессе химического выщелачивания изверженных пород или при обменных процессах ионов кальция и магния на ион натрия.

На данной территории исследования преобладающим типом питания является атмосферное, поступление такого большого количества гидрокарбонатов связано с атмосферными осадками и процессами жизнедеятельности микроорганизмов в воде.

Основным признаком развития процессов закисления в озерах является низкий уровень pH, что указывает на повышенное содержание катионов водорода (H<sup>+</sup>). Однако, для окончательного убеждения в этом необходимо дополнительно проанализировать

следующие данные: цветность водоемов, ионный состав и буферную способность водоемов.

Для рассмотрения протекания процессов закисления рассчитывается показатель KNS, который определяется как соотношение нитратов к сумме сульфатов и нитратов [51]:

$$KNS = \frac{NO_3}{SO_4 + NO_3} \quad (7)$$

Наличие гидрокарбонатов в поверхностных водах нейтрализует кислоты и соответственно повышает устойчивость водоёмов к закислению. Для оценки буферной способности водоёмов рассчитывается соотношение гидрокарбонатов, сульфатов и нитратов [51]:

$$\frac{HCO_3}{SO_4 + NO_3} \quad (8)$$

Как правило, чем больше данное значение, тем выше буферная способность водоёма, т.е. он лучше препятствует процессам закисления.

Таблица 5.2

Некоторые рассчитанные показатели для оценки закисления малых термокарстовых озёр Тазовского полуострова

	Озеро 1-1	Озеро 1-2	Озеро 1-3	Озеро 1-5	Озеро 1-6	Озеро 1-7
KNS	0,00	0,21	0,00	0,15	0,24	0,60
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /(SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	3,03	4,76	2,83	4,09	3,41	0,76

Согласно произведенным расчётам, показатель KNS критически низкий и во всех исследуемых термокарстовых озерах близок к нулю, это указывает на естественный процесс закисления исследуемых озёр, а не на выпадение кислотных соединений, содержащихся в атмосферных осадках, что также подтверждают значения pH и высокие показатели цветности водоёмов (табл. 5.2).

Как видно из таблицы 5.2, почти все исследуемые малые термокарстовые озера обладают высокой буферной способностью, так как рассчитанные показатели больше единицы. Это связано с высоким содержанием гидрокарбонатов в озёрах. Озеро 1-7, является наименее устойчивым к закислению, по сравнению с другими водоемами. Наиболее устойчивым к закислению являются озера 1-2 и 1-5.

Анализировался такой интегральный показатель, как биохимическая потребность в кислороде за 5 суток (БПК<sub>5</sub>, мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>). В соответствии с данным показателем степень

загрязненности воды варьирует от «чистой» (1,41 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) до «грязной» (6,60 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) [53] (табл 5.3). Однако стоит учитывать, что отбор проб происходил в осенний период, когда температура воды снизилась, что могло оказать влияние на потребление кислорода микроорганизмами, так как с понижением температуры воды скорость процесса потребления кислорода уменьшается. Наиболее высокий показатель БПК<sub>5</sub> отмечается в озере 1-1 (6,60 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) – вода данного озера по этому показателю характеризуется как «грязная», воды в озерах 1-6 и 1-7 – «умеренно-загрязненные» (2,87 и 2,40 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>), а остальные озера характеризуются как «чистые» (1,99; 1,69 и 1,41 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>).

Таблица 5.3

Статистические характеристики минеральной компоненты воды в малых  
Термокарстовых озерах Тазовского полуострова

Показатель, размерность	N	MEAN (min-max)	SD
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	6	2,83 (1,41 – 6,60)	1,92
Перманганатная окисляемость, мгО/дм <sup>3</sup>	6	16 (8 – 21)	5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	6	0,58 (0,46 – 0,67)	0,07
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	6	отс.	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	6	0,81 (0 – 3,4)	1,38
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	6	0,07 (0,02 – 0,25)	0,10
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	6	8,48 (4,30 – 11,10)	2,63
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	6	2,31 (1,84 -3,07)	0,35
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	6	1,69 (1,23 – 2,61)	0,56
Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	6	0,03 (0 – 0,05)	0,01
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	6	74 (32 – 119)	35

Согласно результатам анализа, вода во всех исследуемых озерах превышает ПДК (2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) по показателю перманганатной окисляемости (табл 5.3). По нормам СанПиН 2.1.4.1175-02 «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников», если показатель перманганатной окисляемости не превышает 5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> воды считаются «чистыми». Однако этот показатель в водах данных озер относится к категории «грязных», что также указывает на большое количество органики в воде. Самое низкое значение перманганатной окисляемости отмечается в озере 1-5 (8 мгО/дм<sup>3</sup>).

Объяснимо, что вода термокарстовых озер имеет высокие показатели цветности и перманганатной окисляемости. Причинами этого является поступление высокоцветных кислых вод природного происхождения, с высокой концентрацией гумусовых веществ.

## **5.2. Гидрохимические характеристики талой снеговой воды малых термокарстовых озер Тазовского полуострова.**

В апреле были отобраны пробы снега с озер 1-1, 1-2 и 1-5. Для оценки талой снеговой воды были построены корреляционные матрицы сходства содержания элементов в талой снеговой воде, а также между элементами талых снеговых и поверхностных вод за весенний период, 2018 год. Корреляционный анализ был проведен по 36-ти тяжелым металлам (Ba, Sr, Zr, V, Ce, Rb, Zn, La, Ni, Nd, Y, Cu, Pb, U, Co, Th, Pr, Sm, Gd, Hf, Dy, Cs, Er, Yb, Be, Sn, Eu, W, Sb, Ho, Tl, Lu, Tm, Bi) между озерами.

Все коэффициенты корреляции содержания элементов в талой снеговой воде являются положительными (табл. 5.4). Наиболее сильная связь в талой снеговой воде отмечается между озером 1-5 и 1-1. Коэффициент корреляции Пирсона между озерами 1-2 и 1-1, а также 1-2 и 1-5 составил 0,35, однако, несмотря на невысокое значение данного коэффициента, он статистически значительно отличается от нуля, а, следовательно, между данными озерами есть прямая связь.

Таблица 5.4

Корреляционная матрица сходства содержания элементов в талой снеговой воде  
исследованных малых термокарстовых озер, весенние пробы  
(апрель, 2018 год)

	Озеро 1-1 снег	Озеро 1-2 снег	Озеро 1-5 снег
Озеро 1-1 снег	1,00	<b>0,36</b>	<b>0,85</b>
Озеро 1-2 снег		1,00	<b>0,35</b>
Озеро 1-5 снег			1,00

Примечание: **P < 0,05**

При построении корреляционной матрицы между талой снеговой водой и водной средой исследованных малых термокарстовых озер не все коэффициенты оказались положительными. Талая снеговая вода озер 1-1, 1-2 и 1-5 имеет отрицательную связь с водной средой озер 1-1 и 1-2, что соответственно, указывает на отсутствие связи между снежным покровом и водной средой в данных озерах. Однако химический состав водной среды озера 1-5 формируют, преимущественно, атмосферные осадки.

В настоящее время, когда озерные котловины сформированы термокарстовыми процессами, проявляющимися в оседании торфяной залежи, микроэлементный

гидрохимический состав во многом определяется четвертичными отложениями. Поэтому, мы не получили достоверной связи между валовым содержанием микроэлементов (тяжелых металлов) в снеговой талой воде и озерной водой (табл. 5.5).

Таблица.5.5

Корреляционная матрица сходства содержания элементов в талой снеговой воде и водной средой исследованных малых термокарстовых озер, весенние пробы (апрель, 2018 год)

	Озеро 1-1 вода	Озеро 1-2 вода	Озеро 1-5 вода	Озеро 1-1 снег	Озеро 1-2 снег	Озеро 1-5 снег
Озеро 1-1 вода	1,00	<b>0,99</b>	<b>0,62</b>	<b>-0,05</b>	<b>-0,03</b>	<b>-0,04</b>
Озеро 1-2 вода		1,00	<b>0,63</b>	<b>-0,06</b>	<b>-0,04</b>	<b>-0,03</b>
Озеро 1-5 вода			1,00	<b>0,45</b>	<b>0,37</b>	<b>0,57</b>
Озеро 1-1- снег				1,00	<b>0,36</b>	<b>0,85</b>
Озеро 1-2 снег					1,00	<b>0,35</b>
Озеро 1-5 снег						1,00

Примечание: **P < 0,05**

В ходе исследования было установлено содержание тяжелых металлов и их количество в талых снеговых водах (табл. 5.6). Состав талой снеговой воды формирует цинк: во всех анализируемых озерах отмечается его высокое содержание (от 67 до 91%). В озере 1-5 медь занимает второе место, после цинка. В водной среде озера 1-5 (весенние пробы (табл. 5.6)) содержание меди выше, чем в остальных озерах.

Таблица 5.6

Распределение основных тяжелых металлов в талой снеговой воде исследованных малых термокарстовых озер, весенние пробы (апрель, 2018 год)

Шифр озера	Распределение тяжелых металлов в снеговой талой воде (от большего к меньшему)	
Озеро 1-1	<b>Zn&gt;&gt;Ba&gt;Mn&gt;Cu&gt;Sr&gt;Ni&gt;Sb&gt;Pb</b>	<b>91 %</b>
Озеро 1-2	<b>Zn&gt;&gt;Mn&gt;Ba&gt;Sr&gt;Cu&gt;Ni&gt;Mo&gt;Pb</b>	<b>67%</b>
Озеро 1-5	<b>Zn&gt;&gt;Cu&gt;Ba&gt;Mn&gt;Sr&gt;Sb&gt;Pb</b>	<b>70 %</b>

Среднее содержание тяжелых металлов в талой снеговой воде исследуемых малых термокарстовых озер Тазовского полуострова изменяется в следующей последовательности:

10 – 100 мкг/л	<b>Zn</b>
1 – 10	Ba, Mn, Cu, Sr
0 – 0,5	Ni, Sb, Pb, Rb, La, Mo, Ce, Tl, Cs

Во время проведенных исследований и анализа проб поверхностных вод был рассчитан индекс загрязнения воды (ИЗВ) отдельно по каждому озеру для снеговой талой воды и для водной среды по результатам анализов за весенний период. Выбор данной оценки качества вод обусловлен удобством и быстротой расчетов, для которых необходимо наличие только фактических концентраций химических веществ.

Для расчета индекса по каждому озеру было выбрано 6 химических элементов, концентрация которых выше, чем у остальных или превышает предельно-допустимые значения.

Для расчета индекса загрязнения в снеговых талых водах озер были выбраны следующие компоненты:

- для озера 1-1: Zn, Ba, Mn, Cu, Sr, Ni
- для озера 1-2: Zn, Mn, Ba, Sr, Cu, Ni
- для озера 1-5: Zn, Cu, Ba, Mn, Sr, Sb

Измерения индекса загрязненности показали, что талой снеговая вода в озере 1-1 является самой загрязненной (табл 5.7), что связано с большими концентрациями Zn (91%) в снежном покрове, а также превышением концентрации меди почти в 2 раза (0,002 мг/дм<sup>3</sup>). Термокарстовое озеро 1-2 входит в категорию «чистых» вод, однако данный показатель ближе к категории «умеренно-загрязненные» воды (1,0 – 2,0). Здесь также отмечаются превышения содержания Zn и Cu в 2,5 раза (0,026 и 0,002 мг/дм<sup>3</sup>). В озере 1-5 зафиксировано превышение по цинку, его содержание превышает ПДК в 3 раза (0,03 мг/дм<sup>3</sup>), а также по меди – в 5 раз (0,005 мг/дм<sup>3</sup>), в результате чего, вода характеризуется как умеренно-грязная.

Таблица 5.7

Класс качества талых снеговых вод малых термокарстовых озер Тазовского полуострова в зависимости от значения индекса загрязнения воды

Озеро	Показатель ИЗВ	Класс качества воды	Характеристика снеговой талой воды
Озеро 1-1	2,31	IV	Загрязненные
Озеро 1-2	0,94	II	Умеренно-грязные
Озеро 1-5	1,70	III	Умеренно-грязные

### 5.3. Гидрохимические характеристики вод малых термокарстовых озер Газовского полуострова

Отбор проб воды происходил в весенний и летний периоды. Для оценки поверхностных вод термокарстовых озер были построены корреляционные матрицы сходства содержания химических элементов в воде. Корреляционный анализ был проведен по 36-ти тяжелым металлам (Ba, Sr, Zr, V, Ce, Rb, Zn, La, Ni, Nd, Y, Cu, Pb, U, Co, Th, Pr, Sm, Gd, Hf, Dy, Cs, Er, Yb, Be, Sn, Eu, W, Sb, Ho, Tb, Mo, Tl, Lu, Tm, Bi) между озерами 1-1, 1-2 и 1-5 за весенний период, 2018 (табл. 5.8) и между озерами 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-6, 1-7 и 1-8 за летний период, 2018 (табл. 5.9).

Все коэффициенты корреляции содержания элементов в водной массе (за весенний период) являются положительными (табл. 5.8). Наиболее сильная связь отмечается между озерами 1-1 и 1-2. Вода озера 1-5 коррелирует слабее, однако, несмотря на это, между данными озерами есть прямая связь.

Таблица 5.8

Корреляционная матрица сходства содержания элементов в воде исследованных малых термокарстовых озер, весенние пробы (апрель, 2018 год)

	Озеро 1-1	Озеро 1-2	Озеро 1-5
Озеро 1-1	1,00	<b>0,99</b>	<b>0,62</b>
Озеро 1-2		1,00	<b>0,63</b>
Озеро 1-5			1,00

Примечание: **P < 0,05**

Таблица 5.9

Корреляционная матрица сходства содержания элементов в воде исследованных малых термокарстовых озер, летние пробы (июнь, 2018 год)

	Озеро 1-1	Озеро 1-2	Озеро 1-3	Озеро 1-4	Озеро 1-6	Озеро 1-7	Озеро 1-8
Озеро 1-1	1,00	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	<b>0,86</b>	<b>0,89</b>	<b>0,61</b>	<b>0,85</b>
Озеро 1-2		1,00	<b>0,99</b>	<b>0,93</b>	<b>0,94</b>	<b>0,70</b>	<b>0,89</b>
Озеро 1-3			1,00	<b>0,94</b>	<b>0,93</b>	<b>0,70</b>	<b>0,92</b>
Озеро 1-4				1,00	<b>0,98</b>	<b>0,90</b>	<b>0,84</b>
Озеро 1-6					1,00	<b>0,90</b>	<b>0,77</b>
Озеро 1-7						1,00	<b>0,53</b>
Озеро 1-8							1,00

Примечание: **P < 0,05**

Все озера имеют высокие коэффициенты корреляции Пирсона содержания элементов в водной среде, которые являются положительными. Корреляционный анализ показал высокую достоверную степень сходства химического состава вод изученных



термокарстовых озер, что свидетельствует о сходных условиях формирования элементного состава термокарстовых озёр на данной территории и данные озера могут быть проанализированы совместно.

Анализ распределения концентраций тяжелых металлов в водах исследованных озер показал, что основная доля валовых форм приходится на пять химических элементов железо, марганец, стронций, барий и цинк – до 99 % от содержания всех тяжелых металлов в пробах, как в весенний, так и в летний период (табл. 5.10 и 5.11).

Таблица 5.10

Распределение основных тяжелых металлов в воде исследованных малых термокарстовых озер, весенние пробы (апрель, 2018 год)

Шифр озера	Распределение тяжелых металлов в воде (от большего к меньшему)	
Озеро 1-1	<b>Fe&gt;&gt;Mn&gt;&gt;Sr&gt;&gt;Ba&gt;&gt;Zn&gt;Co&gt;Ni&gt;Cu&gt;V&gt;Ce&gt;Nd&gt;Y&gt;La</b>	<b>99 %</b>
Озеро 1-3	<b>Fe&gt;&gt;Mn&gt;&gt;Sr&gt;&gt;Ba&gt;&gt;Co&gt;Ni&gt;Zn&gt;V&gt;Cu&gt;Ce&gt;Nd&gt;Y&gt;Zr&gt;La</b>	<b>99 %</b>
Озеро 1-5	<b>Fe&gt;&gt;Mn&gt;&gt;Sr&gt;Zn&gt;&gt;Ba&gt;Cu&gt;Ni&gt;Co&gt;Rb&gt;Sb&gt;Ce&gt;Y&gt;Nd&gt;La</b>	<b>98 %</b>

Таблица 5.11

Распределение основных тяжелых металлов в воде исследованных малых термокарстовых озер, летние пробы (июнь, 2018 год)

Шифр озера	Распределение металлов в воде (от большего к меньшему)	
Озеро 1-1	<b>Fe&gt;&gt;Mn&gt;&gt;Sr&gt;&gt;Ba&gt;&gt;Zn&gt;Ni&gt;Cu&gt;V&gt;Ce&gt;Co&gt;Y&gt;Nd&gt;La</b>	<b>99 %</b>
Озеро 1-2	<b>Fe&gt;&gt;Mn&gt;&gt;Sr&gt;&gt;Ba&gt;Zn&gt;Ni&gt;Cu&gt;V&gt;Ce&gt;Co&gt;Rb&gt;Y&gt;Nd&gt;La</b>	<b>97 %</b>
Озеро 1-3	<b>Fe&gt;&gt;Zn&gt;&gt;Sr&gt;Mn&gt;&gt;Ba&gt;Ni&gt;Cu&gt;V&gt;Ce&gt;Rb&gt;Y&gt;Nd&gt;La</b>	<b>98 %</b>
Озеро 1-4	<b>Fe&gt;&gt;Mn&gt;&gt;Sr&gt;&gt;Zn&gt;Ba&gt;Ni&gt;Cu&gt;V&gt;Rb&gt;Ce&gt;Y&gt;Co&gt;Pb&gt;Nd&gt;La</b>	<b>98 %</b>
Озеро 1-6	<b>Fe&gt;&gt;Mn&gt;&gt;Sr&gt;&gt;Zn&gt;Ba&gt;Ni&gt;Cu&gt;V&gt;Ce&gt;Co&gt;Rb&gt;&gt;Pb&gt;Nd&gt;Y&gt;La</b>	<b>98 %</b>
Озеро 1-7	<b>Fe&gt;&gt;Mn&gt;&gt;Sr&gt;&gt;Ba&gt;Zn&gt;Ni&gt;Cu&gt;V&gt;Rb&gt;Co&gt;Ce&gt;Pb&gt;Mo&gt;Y&gt;Zr&gt;Nd&gt;La</b>	<b>99 %</b>
Озеро 1-8	<b>Fe&gt;&gt;Mn&gt;&gt;Sr&gt;&gt;Zn&gt;Ba&gt;Ni&gt;Cu&gt;Rb&gt;Ce&gt;V&gt;Y&gt;Nd&gt;Zr&gt;La</b>	<b>98 %</b>

При этом медь не входит в число основных элементов, определяющих гидрохимический состав озерных вод, однако в снеговой талой воде отмечалось превышение ПДК по данному химическому элементу. Содержание кобальта уменьшается в летний период. Указанный порядок распределения тяжелых металлов по концентрациям можно считать природной закономерностью, не связанной с техногенным воздействием при нефтегазодобыче. Исключительная позиция цинка, в озере 1-3. Также такое распределение тяжелых металлов в водной среде сходно с химическим составом снеговой

талой воды. Однако корреляционный анализ не подтверждает, что химический состав воды, в большей степени, формируется за счет атмосферных осадков (табл. 5.5).

Среднее содержание тяжелых металлов в озерной воде исследуемых водных объектов Тазовского полуострова имеет следующую последовательность:

>1000 мкг/л	<b>Fe</b>
100 – 1000	<b>Mn</b>
10 – 100	<b>Sr, Ba</b>
1 – 10	Zn, Cu, Ni, Co, Rb, Sb
0.1 – 1	Ce, Y, Nd, La, Zr, Pb, Mo, Sm, Gd, Dy, Pr, U

Также, как и для снеговой талой воды, был рассчитан показатель ИЗВ 7-ми озер, по результатам анализов летних проб воды. В число компонентов, по которым велся расчет, включены, в соответствии с методикой, обязательные значения (рН, БПК<sub>5</sub>) и вещества, в наибольшей степени превышающие ПДК. Расчет для озер 1-4 и 1-8 не производился, так как зафиксировано превышения только по двум химическим элементам, в то время как согласно методике для расчета необходимо минимум 6 компонентов. Для расчета индекса загрязнения в водной среде озер были выбраны следующие химические показатели:

- для озера 1-1: БПК<sub>5</sub>, рН, Al, Fe, Cu, Mn;
- для озера 1-2: БПК<sub>5</sub>, рН, Al, Fe, Cu, Mn;
- для озера 1-3: БПК<sub>5</sub>, рН, Al, Fe, Cu, Zn;
- для озера 1-6: БПК<sub>5</sub>, рН, Fe, Al, Mn;
- для озера 1-7: БПК<sub>5</sub>, рН, Fe, Al, Mn.

Измерения индекса загрязненности показали, что вода в озерах 1-2 и 1-3 является умеренно-загрязненной. А термокарстовые озера 1-1, 1-6 и 1-7 относятся к категории «загрязненных вод». Такое качество воды, в основном, связано с высоким содержанием железа и марганца, показатели, которых превышают предельно-допустимые концентрации. Стоит отметить, что воды северной территории Западной Сибири отличаются высокими концентрациями Mn, Fe и SiO<sub>2</sub>. Такое высокое содержание данных элементов является характерным для поверхностных вод исследуемой территории, что обусловлено физико-географическими особенностями. В озерах 1-6 и 1-7 отмечено высокое содержание фосфора, что связано с большим количеством органики. Также содержание железа в данных озерах превышает показатели ПДК в 5-5,5 раз, такое превышение в 2 раза больше, чем в остальных озерах. Наиболее загрязненным является озеро 1-6, в котором также отмечено высокое потребление кислорода.

Класс качества талых водной среды малых термокарстовых озер Тазовского полуострова в зависимости от значения индекса загрязнения воды

Озеро	Показатель ИЗВ	Класс качества воды	Характеристика снеговой талой воды
Озеро 1-1	2,57	IV	Загрязненные
Озеро 1-2	1,69	III	Умеренно-грязные
Озеро 1-3	1,85	III	Умеренно-грязные
Озеро 1-6	2,48	IV	Загрязненные
Озеро 1-7	2,28	IV	Загрязненные

#### 5.4. Геохимические характеристики донных отложений малых термокарстовых озер Тазовского полуострова

Отбор проб донных отложений происходил в летний период. С озер 1-2, 1-3, 1-6 были отобраны пробы донных отложений органического состава, с озер 1-1, 1-2, 1-5 и 1-7 – пробы *минеральных* донных отложений. Для оценки донных отложений термокарстовых озер были построены корреляционные матрицы сходства содержания химических элементов и оксидов в донных отложениях.

Проведен корреляционный анализ *органических* донных отложений по оксидам ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{S}_{\text{общ.}}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) между озерами 1-2, 1-3 и 1-6 (табл. 5.12). Коэффициенты корреляции содержания оксидов в *органических* донных отложениях являются положительными (табл. 5.12.) и имеют сильную связь ( $r=0,99$ ).

Таблица 5.12

Корреляционная матрица сходства содержания оксидов в органических донных отложениях исследованных малых термокарстовых озер, летние пробы (июнь, 2018 год)

	Озеро 1-2	Озеро 1-3	Озеро 1-6
Озеро 1-2	1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>
Озеро 1-3		1,00	<b>0,99</b>
Озеро 1-6			1,00

Примечание:  $p < 0,05$

Проведен корреляционный анализ *минеральных* донных отложений по оксидам ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{S}_{\text{общ.}}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) между озерами 1-1, 1-2, 1-5 и 1-7 (табл. 5.13). Также как и в *органических* донных отложениях, корреляционная матрица сходства содержания оксидов в *минеральных* отложениях, показывает

статистически значимые коэффициенты корреляции Пирсона, отличающиеся сильной связью ( $r=0,99$ ), что говорит о сходном химическом составе донных отложений.

Таблица 5.13

Корреляционная матрица сходства содержания оксидов в минеральных донных отложениях исследованных малых термокарстовых озер, летние пробы (июнь, 2018 год)

	Озеро 1-1	Озеро 1-2	Озеро 1-5	Озеро 1-7
Озеро 1-1	1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>
Озеро 1-2		1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>
Озеро 1-5			1,00	<b>0,99</b>
Озеро 1-7				1,00

Примечание:  $p<0,05$

Кроме изучения содержания оксидов в донных отложениях термокарстовых озер, был проведен корреляционный анализ *органических* донных отложений по 36-ти тяжелым металлам (Ba, Sr, Zr, V, Ce, Rb, Zn, La, Ni, Nd, Y, Cu, Pb, U, Co, Th, Pr, Sm, Gd, Hf, Dy, Cs, Er, Yb, Be, Sn\*, Eu, W, Sb, Ho, Tb, Mo, Tl, Lu, Tm, Bi.) между озерами 1-2, 1-3 и 1-6 (табл. 5.14).

Таблица 5.14.

Корреляционная матрица сходства содержания элементов в органических донных отложениях исследованных малых термокарстовых озер, летние пробы (июнь, 2018 год)

	Озеро 1-2	Озеро 1-3	Озеро 1-6
Озеро 1-2	1,00	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>
Озеро 1-3		1,00	<b>0,99</b>
Озеро 1-6			1,00

Примечание:  $p<0,05$

Для *минеральных* отложений также была построена корреляционная матрица между озерами 1-1, 1-2, 1-5 и 1-7 по тем же тяжелым металлам, что и в озерах 1-2, 1-3 и 1-6 (табл. 5.15). Согласно проведенному корреляционному анализу, наблюдается высокая достоверность содержания тяжелых металлов среди всех *минеральных* ( $r=0,99$ ), а также *органических* донных отложений ( $r=0,98-0,99$ ).

Корреляционная матрица сходства содержания элементов в минеральных донных отложениях исследованных малых термокарстовых озер, летние пробы (июнь, 2018 год)

	Озеро 1-1	Озеро 1-2	Озеро 1-5	Озеро 1-7
Озеро 1-1	1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>
Озеро 1-2		1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>
Озеро 1-5			1,00	<b>0,99</b>
Озеро 1-7				1,00

Примечание:  $p < 0,05$

Итак, корреляционный статистический анализ показал высокую достоверную степень сходства содержания оксидов и тяжелых металлов в составе, как *минеральных*, так и *органических* донных отложений малых термокарстовых озер, что свидетельствует о сходных условиях формирования элементного состава поверхностных вод на данной территории.

Так же, чтобы посмотреть связь донных отложений и водной среды исследуемых озер, был построен корреляционные матрицы, отражающие данную связь.

Согласно полученному анализу между водой и *органическими* донными отложениями в озерах 1-2, 1-3 и 1-6 (табл. 5.16), водная среда исследуемых озер хорошо коррелирует с *органическими* донными отложениями всех озер и имеет умеренную положительную связь ( $r=0,58-0,67$ ) и сильную положительную связь ( $r=0,98-0,99$ ). Исключение составляет химический состав воды озера 1-3, связь которого не является статистически значимой ( $p < 0,05$ ) с органическими донными отложениями как данного озера, так и других термокарстовых озер. В свою очередь, донные отложения озера 1-3 имеют достоверную корреляцию с органическими донными отложениями других малых термокарстовых озер.

Таблица 5.16

Корреляционная матрица сходства содержания элементов в органических донных отложениях и водной среде в исследованных малых термокарстовых озерах, летние пробы (июнь, 2018 год)

	Озеро 1-2 донные	Озеро 1-3 донные	Озеро 1-6 донные	Озеро 1-2 вода	Озеро 1-3 вода	Озеро 1-6 вода
Озеро 1-2 донные	1,00	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	<b>0,67</b>	0,25	<b>0,59</b>
Озеро 1-3 донные		1,00	<b>0,99</b>	<b>0,69</b>	0,30	<b>0,61</b>
Озеро 1-6 донные			1,00	<b>0,67</b>	0,27	<b>0,58</b>
Озеро 1-2 вода				1,00	<b>0,63</b>	<b>0,99</b>
Озеро 1-3 вода					1,00	<b>0,69</b>
Озеро 1-6 вода						1,00

Примечание:  $p < 0,05$

Что касается *минеральных* донных отложений, то корреляционный анализ показал высокую достоверную степень сходства химического состава воды и донных отложений, изученных термокарстовых озерах. Между коэффициентами отмечается умеренная положительная ( $r=0,58-0,69$ ) и сильная положительная связь ( $r=0,98-0,99$ ), что свидетельствует о том, что формирование элементного состава воды термокарстовых озёр происходит, не за счет выпадения атмосферных осадков (табл. 5.5, 5.17), а за счет донных отложений, как видно из озер 1-1 и 1-2.

Таблица 5.17

Корреляционная матрица сходства содержания элементов в минеральных донных отложениях и водной среде в исследованных малых термокарстовых озерах, летние пробы (июнь, 2018 год)

	Озеро 1-1 донные	Озеро 1-2 донные	Озеро 1-7 донные	Озеро 1-1 вода	Озеро 1-2 вода	Озеро 1-7 вода
Озеро 1-1 донные	1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,68</b>	<b>0,63</b>	<b>0,59</b>
Озеро 1-2 донные		1,00	<b>0,99</b>	<b>0,69</b>	<b>0,65</b>	<b>0,60</b>
Озеро 1-7 донные			1,00	<b>0,67</b>	<b>0,63</b>	<b>0,58</b>
Озеро 1-1 вода				1,00	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>
Озеро 1-2 вода					1,00	<b>0,99</b>
Озеро 1-7 вода						1,00

Примечание:  $p < 0,05$

Из тяжелых металлов в органических и минеральных донных отложениях анализировалось содержание следующих химических элементов: Ba, Sr, Zr, V, Ce, Rb, Zn, La, Ni, Nd, Y, Cu, Pb, U, Co, Th, Pr, Sm, Gd, Hf, Dy, Cs, Er, Yb, Be, Sn, Eu, W, Sb, Ho, Tb,

Mo, Tl, Lu, Tm, Bi (табл. 5.18, 5.19), среднее содержание которых имеет следующий порядок:

>100 мкг/л	<b>Ba, Sr</b>
10 – 100	<b>Zr, V, Ce, Rb, Zn, Ni, La, Cu, Nd, Y, Pb</b>
1 – 10	Th, Co, U, Pr, Sm, Gd, Dy, Hf, Cs, Er, Yb, Be
0.1 – 1	Sn, Eu, W, Sb, Ho, Tb, Mo, Tl, Tm, Lu, Bi

Анализ распределения концентраций тяжелых металлов в *органических* и *минеральных* донных отложениях исследованных озер показал, что основная доля валовых форм приходится на следующие химические элементы: – Ba, Sr, V, Zr, Ce, Ni, Zn, Rb, Cu, La, Nd, Y, Pb, Co, Th, Pr, Sm, Gd, U, Dy, Er, Yb, Hf, Cs до 99 % от содержания всех тяжелых металлов в пробах.

Таблица 5.18

Распределение основных тяжелых металлов в органических донных отложениях исследованных малых термокарстовых озер, летние пробы (июнь, 2018 год)

Шифр озера	Распределение металлов в <u>органических</u> донных отложениях малых термокарстовых озер (от большего к меньшему)	Доля содержания
Озеро 1-2	<b>Ba&gt;&gt;Sr&gt;&gt;Zr&gt;&gt;V&gt;&gt;Ce&gt;&gt;Rb&gt;&gt;Zn&gt;&gt;La&gt;&gt;Ni&gt;&gt;Nd&gt;&gt;Y&gt;&gt;Cu&gt;&gt;Pb&gt;&gt;U&gt;&gt;Co&gt;&gt;Th&gt;&gt;Pr&gt;&gt;Sm&gt;&gt;Gd&gt;&gt;Hf&gt;&gt;Dy&gt;&gt;Cs&gt;&gt;Er&gt;&gt;Yb&gt;&gt;Be&gt;&gt;Sn&gt;&gt;Eu&gt;&gt;W&gt;&gt;Sb&gt;&gt;Ho&gt;&gt;Tb&gt;&gt;Mo&gt;&gt;Tl&gt;&gt;Lu&gt;&gt;Tm&gt;&gt;Bi.</b>	<b>99%</b>
Озеро 1-3	<b>Ba&gt;&gt;Sr&gt;&gt;V&gt;&gt;Zr&gt;&gt;Ce&gt;&gt;Ni&gt;&gt;Zn&gt;&gt;Rb&gt;&gt;Cu&gt;&gt;La&gt;&gt;Nd&gt;&gt;Y&gt;&gt;Pb&gt;&gt;Co&gt;&gt;Th&gt;&gt;Pr&gt;&gt;Sm&gt;&gt;Gd&gt;&gt;U&gt;&gt;Dy&gt;&gt;Er&gt;&gt;Yb&gt;&gt;Hf&gt;&gt;Cs&gt;&gt;Be&gt;&gt;Mo&gt;&gt;Eu&gt;&gt;Ho&gt;&gt;Sb&gt;&gt;Sn&gt;&gt;W&gt;&gt;Tb&gt;&gt;Lu&gt;&gt;Tm&gt;&gt;Tl&gt;&gt;Bi</b>	<b>99%</b>
Озеро 1-6	<b>Ba&gt;&gt;Sr&gt;&gt;Zr&gt;&gt;V&gt;&gt;Ce&gt;&gt;Rb&gt;&gt;Zn&gt;&gt;Ni&gt;&gt;La&gt;&gt;Cu&gt;&gt;Nd&gt;&gt;Y&gt;&gt;Pb&gt;&gt;Th&gt;&gt;Co&gt;&gt;U&gt;&gt;Pr&gt;&gt;Sm&gt;&gt;Gd&gt;&gt;Dy&gt;&gt;Hf&gt;&gt;Cs&gt;&gt;Er&gt;&gt;Yb&gt;&gt;Be&gt;&gt;Sn&gt;&gt;Eu&gt;&gt;W&gt;&gt;Sb&gt;&gt;Ho&gt;&gt;Tb&gt;&gt;Mo&gt;&gt;Tl&gt;&gt;Tm&gt;&gt;Lu&gt;&gt;Bi</b>	<b>99%</b>

Таблица 5.19

Распределение основных тяжелых металлов в минеральных донных отложениях исследованных малых термокарстовых озер, летние пробы (июнь, 2018 год)

Шифр озера	Распределение металлов в <u>минеральных</u> донных отложениях малых термокарстовых озер (от большего к меньшему)	Доля содержания
Озеро 1-1	<b>Ba&gt;&gt;Sr&gt;&gt;Zr&gt;&gt;V&gt;&gt;Ce&gt;&gt;Rb&gt;&gt;Zn&gt;&gt;La&gt;&gt;Nd&gt;&gt;Ni&gt;&gt;Y&gt;&gt;Pb&gt;&gt;Cu&gt;&gt;Th&gt;&gt;Co&gt;&gt;Pr&gt;&gt;Sm&gt;&gt;Hf&gt;&gt;Gd&gt;&gt;Dy&gt;&gt;U&gt;&gt;Yb&gt;&gt;Er&gt;&gt;Cs&gt;&gt;Be&gt;&gt;Sn&gt;&gt;Eu&gt;&gt;W&gt;&gt;Ho&gt;&gt;Tb&gt;&gt;Sb&gt;&gt;Mo&gt;&gt;Tl&gt;&gt;Lu&gt;&gt;Tm&gt;&gt;Bi</b>	<b>99%</b>
Озеро 1-2	<b>Ba&gt;&gt;Sr&gt;&gt;Zr&gt;&gt;V&gt;&gt;Rb&gt;&gt;Ce&gt;&gt;Zn&gt;&gt;La&gt;&gt;Nd&gt;&gt;Ni&gt;&gt;Y&gt;&gt;Cu&gt;&gt;Pb&gt;&gt;Co&gt;&gt;Th&gt;&gt;Pr&gt;&gt;Sm&gt;&gt;Gd&gt;&gt;Hf&gt;&gt;Dy&gt;&gt;Cs&gt;&gt;Er&gt;&gt;Yb&gt;&gt;U&gt;&gt;Be&gt;&gt;Sn&gt;&gt;Eu&gt;&gt;W&gt;&gt;Ho&gt;&gt;Sb&gt;&gt;Tb&gt;&gt;Tl&gt;&gt;Mo&gt;&gt;Lu&gt;&gt;Tm&gt;&gt;Bi</b>	<b>99%</b>
Озеро 1-5	<b>Ba&gt;&gt;Sr&gt;&gt;Zr&gt;&gt;Rb&gt;&gt;V&gt;&gt;Ce&gt;&gt;Zn&gt;&gt;La&gt;&gt;Nd&gt;&gt;Pb&gt;&gt;Ni&gt;&gt;Y&gt;&gt;Cu&gt;&gt;Co&gt;&gt;Th&gt;&gt;Pr&gt;&gt;Sm&gt;&gt;Hf&gt;&gt;Gd&gt;&gt;Dy&gt;&gt;Yb&gt;&gt;Er&gt;&gt;Be&gt;&gt;U&gt;&gt;Cs&gt;&gt;Eu&gt;&gt;Sn&gt;&gt;Sb&gt;&gt;W&gt;&gt;Ho&gt;&gt;Tb&gt;&gt;Tl&gt;&gt;Lu&gt;&gt;Tm&gt;&gt;Mo&gt;&gt;Bi</b>	<b>99%</b>
Озеро 1-7	<b>Ba&gt;&gt;Sr&gt;&gt;Zr&gt;&gt;Rb&gt;&gt;Zn&gt;&gt;V&gt;&gt;Ce&gt;&gt;La&gt;&gt;Nd&gt;&gt;Ni&gt;&gt;Pb&gt;&gt;Y&gt;&gt;Cu&gt;&gt;Th&gt;&gt;Co&gt;&gt;Pr&gt;&gt;Sm&gt;&gt;Gd&gt;&gt;Hf&gt;&gt;Dy&gt;&gt;Cs&gt;&gt;Er&gt;&gt;U&gt;&gt;Yb&gt;&gt;Be&gt;&gt;Sn&gt;&gt;Eu&gt;&gt;W&gt;&gt;Sb&gt;&gt;Ho&gt;&gt;Tb&gt;&gt;Tl&gt;&gt;Mo&gt;&gt;Lu&gt;&gt;Tm&gt;&gt;Bi</b>	<b>99%</b>

## 5.5. Оценка формирования химического состава водной среды и донных отложений

Для оценки формирования химического состава водной среды был проведен корреляционный анализ между основными химическими элементами, составляющими водную массу и остальными компонентами природной среды.

В результате корреляционного анализа установлено, что из снежного покрова в озерные воды поступает Pb. Связь между содержанием этого элемента в снеговых талых водах и озерной водой является высокой ( $r = 0,8$ ), следовательно, источником поступления свинца в озера является атмосфера, что подтверждает данные исследований В. А. Даувальтера и Н. А. Кашулина [20].

Согласно таблице 5.20 значительная часть гидрохимического состава озерных и минерального состава донных отложений имеет высокие коэффициенты Cu, Ce, Y, Nd, La, а также Co, Ni, которые отличаются высокой и средней связью соответственно, и имеют общий источник поступления данных тяжелых металлов.

Высокая связь Ba и Sr отмечается между органическими донными отложениями и водной средой. Со свинцом наблюдается очень слабая связь, так как его поступление, в основном, связано с атмосферными осадками, однако его присутствие обусловлено осаждением в донные отложения и сорбционной способностью глинистых частиц.

Таблица 5.20

Коэффициенты корреляции между концентрациями тяжелых металлов в различных средах

Химический элемент	Коэффициент корреляции (min – max)	Интерпретация силы связи
<i>Снеговая талая вода и водная среда озер</i>		
Pb	0,8	высокая
Ba, Y, Nd, Rb	0 – 0,3	слабая
Sr, Zn, Cu, Ni, V, Ce	<0	отсутствует
<i>Донные отложения минерального состава и водная среда озер</i>		
Cu, Ce, Y, Nd, La	0,8 – 0,9	высокая
Co, Ni	0,5 – 0,6	средняя
V, Zn	0,3 – 0,4	слабая
Pb, Sr	0,1	очень слабая
Ba, Rb	<0	отсутствует
<i>Донные отложения органического состава и водная среда озер</i>		
Ba, Sr	0,9	высокая
Pb	0,1	очень слабая
Zn, Cu, Ni, V, Ce, Co, Y, Nd, La, Rb	<0	отсутствует



Для подтверждения полученных результатов, во время исследований был проведен корреляционный анализ содержания тяжелых металлов в водной среде, снеговой талой воде, а также в минеральных и органических донных отложениях (приложения М, Н, О, П, соответственно).

Согласно полученным результатам, в органических донных отложениях выделяется 6 групп тяжелых металлов, коррелирующих между собой:

- I группа: V, Zn
- II группа: Sr, Zr, Pr, Nd, Eu, Hf + Ba, Ce, Be, Sb, Sm
- III группа: Pb, Sn, La, W, Tl, Th + Rb
- IV группа: Gd, Tb, U
- V группа: Dy, Lu, Er + Yb
- VI группа: Ho, Tm

Корреляционный анализ талых снеговых вод показал наличие трех групп, имеющих разные источники поступления:

- I группа: Sr, Sn, Sm, Gd + Mo
- II группа: Cs, U + Nd
- III группа: Bi, W

Также, по результатам данного анализа было выявлено 4 группы тяжелых металлов в водной среде, имеющих высокую достоверную корреляционную связь между собой:

- I группа: Mn, Sr, Ba + Co
- II группа: Ni, Be, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm + Cu, Zr, Sb, V, Th, Hf, Lu, Yb
- III группа: Zn, W
- IV группа: Pb, Bi

Первую группу представляют литофильные элементы, за исключением кобальта, который относится к сидерофильным. Для выявления источника поступления групп данных металлов были построены корреляционные матрицы содержания данных химических элементов с морфометрическими характеристиками исследуемых озер (табл. 5.21 – 5.24)

Таблица 5.21

Значения коэффициентов линейной корреляции концентраций I группы тяжелых металлов в водной среде, площади зеркала озера, средней глубины и объема озера, летние пробы 2018 год

	Площадь озера	Средняя глубина озера	Объем озера
Sr	<b>0,4</b>	-0,6	<b>0,2</b>
Mn	<b>0,3</b>	-0,6	<b>0,1</b>
Ba	<b>0,6</b>	-0,6	<b>0,4</b>
Co	<b>0,4</b>	-0,9	<b>0,3</b>

Примечание:  $p < 0,05$

Таблица 5.22

Значения коэффициентов линейной корреляции концентраций II группы тяжелых металлов в водной среде, площади зеркала озера, средней глубины и объема озера, летние пробы 2018 год

	Площадь озера	Средняя глубина озера	Объем озера
Ni	<b>0,3</b>	-0,6	<b>0,2</b>
Y	<b>0,2</b>	-0,1	<b>0,1</b>
La	<b>0,3</b>	-0,3	<b>0,2</b>
Ce	<b>0,3</b>	-0,4	<b>0,2</b>
Nd	<b>0,1</b>	-0,2	<b>0,1</b>
Cu	<b>0,5</b>	0,0	<b>0,5</b>
V	<b>0,2</b>	-0,2	<b>0,1</b>

Примечание:  $p < 0,05$

Таблица 5.23

Значения коэффициентов линейной корреляции концентраций III группы тяжелых металлов в водной среде, площади зеркала озера, средней глубины и объема озера, летние пробы 2018 год

	Площадь озера	Средняя глубина озера	Объем озера
Zn	-0,4	<b>0,7</b>	-0,4
W	-0,4	<b>0,7</b>	-0,4

Примечание:  $p < 0,05$

Значения коэффициентов линейной корреляции концентраций IV группы тяжелых металлов в водной среде, площади зеркала озера, средней глубины и объема озера, летние пробы 2018 год

	Площадь озера	Средняя глубина озера	Объем озера
Pb	-0,5	<b>0,1</b>	-0,3
Bi	-0,7	<b>0,2</b>	-0,4

Примечание:  $p < 0,05$

Согласно табл. 5.21 – 5.24, данные группы имеют положительную корреляционную связь с морфометрическими показателями исследуемых озер. Несмотря на невысокие значения коэффициентов корреляции, они статистически значительно отличаются от нуля, а, следовательно, между данными химическими элементами и морфометрическими характеристиками есть прямая связь. I и II группы химических элементов имеют положительную корреляционную связь с площадью зеркала озера, а также их объемом, а что касается III и IV группы металлов, то они коррелируют только со средней глубиной озера. Таким образом, можно говорить о разных путях поступления тяжелых металлов в водную среду. Однако, первая и вторая группа химических элементов, которые составляют значительную часть тяжелых металлов, поступает в водоемы путем выветривания горных пород [19]. III и IV группы элементов, представленных Pb, Bi, W и Zn имеют иной источник поступления, в данном случае можно предположить, что источником поступления данных металлов является принос воздушными массами с более удаленных территорий.

Корреляционный анализ минеральных донных отложений также выявил наличие одной группы тяжелых металлов, имеющих высокую достоверную корреляционную связь между собой, данные группы представлены следующими элементами:

I группа: V, Co, Ni, Cu, Pb, Sn, Cs, Eu, W, Bi + Co, Pb, Rb, Sn, Y, Pr, Nd, Sm, Mo, La, Ce, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Lu, Tm, Yb, W, Be, Cs

Для оценки источника поступления групп данных металлов для минеральных донных отложений также были построены корреляционные матрицы содержания данных химических элементов с морфометрическими характеристиками исследуемых озер. Для корреляционного анализа выбирались только те, химические элементы, которые составляют значительную часть минеральных донных отложений (табл. 5.25).

Значения коэффициентов линейной корреляции концентраций I группы тяжелых металлов в минеральных донных отложениях, площади зеркала озера, средней глубины и объема озера, летние пробы 2018 год

	Площадь озера	Средняя глубина озера	Объем озера
V	<b>0,99</b>	-0,11	<b>0,98</b>
Y	<b>0,91</b>	-0,55	<b>0,80</b>
La	<b>0,84</b>	-0,67	<b>0,70</b>
Ce	<b>0,85</b>	-0,64	<b>0,72</b>
Pb	<b>0,99</b>	-0,29	<b>0,93</b>
Nd	<b>0,89</b>	-0,57	<b>0,77</b>
Ni	<b>0,99</b>	-0,18	<b>0,97</b>
Co	<b>0,97</b>	-0,38	<b>0,89</b>
Be	<b>0,9</b>	-0,99	<b>0,9</b>
Rb	<b>0,9</b>	0,1	<b>0,9</b>
Cs	<b>0,9</b>	0,2	<b>0,9</b>
Cu	<b>0,99</b>	-0,08	<b>0,99</b>

Группа данных элементов имеет очень высокие коэффициенты корреляции с площадью поверхности озера и его объемом, что говорит о том, что тяжелые металлы поступают в водоемы главным образом путем выветривания горных пород водосбора озер. Слабая, но положительная связь прослеживается между средней глубиной, Rb и Cs, что может также говорить, о том, что их незначительная часть имеет другой источник поступления, однако в основном они также поступают от горных пород ( $r=0,9$ ). Данные корреляционные матрицы подтверждают наше предположение о формировании гидро- и геохимического состава озерных вод и донных отложений, преимущественно за счет позне-плейстоцен-голоценовых аллювиальных отложений.

### Вывод

Таким образом, удалось установить, что воды изученных озер относятся к классу гидрокарбонатных вод, группе кальциевых, первого типа. Гидрохимическими особенностями малых термокарстовых озер являются – минимальные значения удельной электропроводности, а также минимальные концентрации основных катионов ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ) и анионов ( $NH_4^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^-$ ). По уровню общей минерализации данные озера являются ультрапресными, кроме того, характеризуются окислительной средой. Рассчитанный показатель KNS, указывает на естественный процесс закисления исследуемых озёр, не связанный с выпадением атмосферных осадков, что также

подтверждают значения рН и высокие показатели цветности водоёмов. При этом воды термокарстовых озёр имеют высокую буферную способность.

Состав талой снеговой воды формирует цинк, его содержание во всех анализируемых озёрах варьирует от 67 до 91%. Данные озёра имеют сходный химический состав воды и донных отложений. До 99 % от содержания всех тяжёлых металлов в водной среде составляют пять химических элементов: железо, марганец, стронций, барий и цинк от содержания всех тяжёлых металлов в пробах. Химический состав как органических, так и минеральных донных отложений формируют следующие химические элементы: – Ba, Sr, V, Zr, Ce, Ni, Zn, Rb, Cu, La, Nd, Y, Pb, Co, Th, Pr, Sm, Gd, U, Dy, Er, Yb, Hf, Cs, доля содержания, которых составляет до 99 % от содержания всех тяжёлых металлов в пробах. Что указывает на идентичный гидро- и геохимический состав озерных вод и донных отложений, а также качественный и количественный набор тяжёлых металлов в большинстве изученных озёр.

Для оценки формирования химического состава водной среды также был проведен корреляционный анализ между основными химическими элементами, составляющими водную массу и остальными компонентами природной среды. Выделено несколько групп тяжёлых металлов в снеговой талой воде, в донных отложениях и водной среде, имеющих достоверную высокую корреляционную связь между собой, что указывает на различные источники их поступления.

Однако корреляционный анализ содержания тяжёлых металлов и морфометрических характеристик, а именно площади зеркала и объема малых термокарстовых озёр, указывает, что основным источником поступления химических элементов является выветривание минералов и горных пород. При наполнении чаши термокарстового озера под водную толщу уходят как почвы, так и различные коренные и рыхлые породы (обнажения глин, суглинков и др.). Наряду с ними в строении грунтов дна принимают участие аллювиальные русловые и иловые отложения. Как правило, эти грунтообразующие материалы (первичные грунты) являются основой, на которой происходит формирование донных отложений (вторичные грунты), их эволюция (трансформированные грунты) [20].

Согласно рассчитанному показателю ИЗВ, снеговые талые воды и озерные воды характеризуются как «умеренно-грязные» и «загрязненные», что связано с высоким содержанием Zn в снежном покрове и повышенным содержанием Fe и Mn в водной среде, содержание которых является природной особенностью для данной территории.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1) Термокарстовые озера в южной части Тазовского полуострова имеют общий генезис, на что указывают сходные морфометрические характеристики: небольшая площадь (менее 1 км<sup>2</sup>) и малая глубина (1,5 – 4 м), обрывистые берега и четкий береговой уступ, в отличие от озер иного происхождения. Все озера имеют округлую форму и критически низкий показатель извилистости ( $K_{изв} \approx 1$ ). Также исследуемые объекты имеют схожую морфологию дна (конусообразная и параболоидная). На дне озер отмечается несколько депрессий, что может быть связано с дальнейшим проседанием толщи пород над полостями, в связи с зоной меньшего уплотнения грунтов, что обусловлено термокарстовыми процессами. Основной объём водной массы в озёрах сосредоточен до глубины 0,6 м.
- 2) Воды изученных озер относятся к классу гидрокарбонатных вод, группе кальциевых, первого типа. Гидрохимическими особенностями малых термокарстовых озер являются – минимальные значения удельной электропроводности, а также минимальные концентрации основных катионов ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ) и анионов ( $NH_4^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^-$ ). По уровню общей минерализации данные озера являются ультрапресными, кроме того, характеризуются окислительной средой. Рассчитанный показатель KNS, указывает на естественный процесс закисления исследуемых озёр, не связанный с выпадением атмосферных осадков, что также подтверждают значения pH и высокие показатели цветности водоёмов. При этом воды термокарстовых озер имеют высокую буферную способность.
- 3) Изученные озера имеют практически идентичный гидро- и геохимический состав озерных вод и донных отложений, а также качественный и количественный набор тяжелых металлов в большинстве изученных озер. Анализ распределения концентраций тяжелых металлов в воде исследуемых озер показал, что до 99 % от содержания всех тяжелых металлов в водной среде составляют следующие химические элементы: железо, марганец, стронций, барий и цинк. Основная доля валовых форм тяжелых металлов в донных отложениях приходится на следующие химические элементы: – Ba, Sr, V, Zr, Ce, Ni, Zn, Rb, Cu, La, Nd, Y, Pb, Co, Th, Pr, Sm, Gd, U, Dy, Er, Yb, Hf, Cs, которые также составляют до 99 % от содержания всех тяжелых металлов в пробах. Указанный порядок распределения тяжелых металлов по концентрациям можно считать природной закономерностью, не связанной с техногенным воздействием при нефтегазодобыче.

- 4) Установлены концентрации микроэлементов в озерных водах, снеговых талых водах и донных отложениях методом ICP-MS. Результаты анализов концентраций тяжелых металлов ICP-MS и расчеты корреляционных матриц показали:
- высокую достоверную связь содержания тяжелых металлов в снеговой талой воде и озерной воде для Pb;
  - высокую достоверную связь содержания тяжелых металлов в озерной воде и минеральных донных отложениях для Cu, Ce, Y, Nd, La, а также Co, Ni, которые отличаются средней силой связи;
  - высокую достоверную связь содержания тяжелых металлов в озерной воде и органических донных отложениях для Ba и Sr.
- 5) Выделено несколько групп тяжелых металлов в различных компонентах окружающей среды, имеющих достоверную высокую корреляционную связь между собой:
- – в снеговых талых водах выделяются три группы тяжелых металлов, связанных между собой высокой достоверной связью: 1) Sr, Sn, Sm, Gd + Mo; 2) Cs, U + Nd; 3) Bi, W.
  - – в водной среде выделяются четыре группы тяжелых металлов, связанных между собой высокой достоверной связью: 1) Mn, Sr, Ba + Co; 2) Ni, Be, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm + Cu, Zr, Sb, V, Th, Hf, Lu, Yb; 3) Zn, W; 4) Pb, Bi.
  - в органических донных отложениях выделяются шесть групп тяжелых металлов, связанных между собой высокой достоверной связью: 1) V, Zn; 2) Sr, Zr, Pr, Nd, Eu, Hf + Ba, Ce, Be, Sb, Sm; 3) Pb, Sn, La, W, Tl, Th + Rb; 4) Gd, Tb, U; 5) Dy, Lu, Er + Yb; 6) Ho, Tm.
  - в минеральных донных отложениях выделяется одна группа тяжелых металлов, связанных между собой высокой достоверной связью: V, Co, Ni, Cu, Pb, Sn, Cs, Eu, W, Bi + Co, Pb, Rb, Sn, Y, Pr, Nd, Sm, Mo, La, Ce, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Lu, Tm, Yb, W, Be, Cs.
- 6) Гидро- и геохимический состав озерных вод и донных отложений изученного района в основном формируется за счет позне-плейстоцен-голоценовых аллювиальных отложений, путем выветривания подстилающих коренных и четвертичных пород, на что указывают высокие коэффициенты корреляции между тяжелыми металлами и некоторыми морфометрическими параметрами термокарстовых озер (площадью и объемом озера), а также высокая достоверная

связь между химическим составом воды и минеральными донными отложениями, что подтверждает сходные условия формирования элементного состава воды и донных отложений термокарстовых озёр на данной территории. Незначительная часть химических элементов поступает с переносом воздушных масс.

- 7) По качеству воды, малые термокарстовые озера являются загрязненными и умеренно-грязными, что обусловлено повышенным содержанием железа и марганца, высокие концентрации, которых являются природной особенностью исследуемой территории. В связи с этим, полученные данные по химическому составу озерных вод и донных отложений могут быть использованы как фоновые характеристики при определении степени антропогенного влияния при нефтегазодобыче на экосистемы озер Тазовского полуострова.



## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

### Нормативные правовые акты

1. ГОСТ 17.1.5.05-85 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков (утв. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 25 марта 1985 г. N 774, дата введения установлена с 01.07.86);
2. Руководящий документ РД 52.24.497-2005. Цветность поверхностных вод суши. Методика выполнения измерений фотометрическим и визуальным методами (утв. Росгидрометом 15 июня 2005 г.).

### Методическая литература

3. Алекин, О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1953. – 296 с.;
4. Алисов Б.П., Климат СССР. М., Высшая школа, 1969. – 104 с.;
5. Анисимов О.А., Поляков В. Ю. К прогнозу изменения температуры воздуха для первой четверти XXI столетия // Метеорология и гидрология, 1999, № 2. – 31 с.;
6. Артаев, О. Н., Баянов Н.Г. Морфометрия мухтоловских озёр. Опыт построения моделей озёрных котловин в ГИС. Труды Мордовского государственного природного заповедника, 2015. – С. 199-211;
7. Атлас снежно-ледовых ресурсов Мира. М.: Рос. акад. наук, 1997. – 392 с.;
8. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим./ Под ред. К. Е. Иванов - Ленинград: Гидрометеиздат, 1976. – 447 с.;
9. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа/ гл. ред. С. И. Ларин. - Омск: Омская картографическая фабрика, 2004. – 303 с.;
10. Балаценко Мария Ионовна. Транзитно-аккумуляционные особенности озёр Якутии: диссертация кандидата Географических наук: 25.00.23 / Балаценко Мария Ионовна; [Место защиты: ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет], 2017. – 130 с.;
11. Белецкая Р.В. Морфометрические особенности озерных котловин и их влияние на экологическое состояние лимносистем: На примере равнинных озер ледникового происхождения: диссертация кандидата Географических наук: 25.00.27 / Белецкая, Раиса Васильевна: [Место защиты: Российский Государственный Гидрометеорологический Университет (РГГМУ)], 2004. – 183 с.;
12. Богословский Б. Б. Озероведение./-Москва: Изд-во МГУ, 1960. – 336 с.;

13. Богословский Б. Б. Основы гидрологии суши: Реки, озера, водохранилища/. - Минск: Изд-во Белорус. гос. ун-та, 1974. – 214 с.;
14. Богословский Б.Б. Морфология и морфометрия озер и водохранилищ. Л.: ЛПИ, 1977 – 32 с.;
15. Волохова Е.В. Формирование фонового состава природных вод и пород верхней части разреза территории Заполярного и Тазовского месторождений. М.: ИРЦ Газпром, 2000. – 78 с.;
16. Геокриология СССР. Западная Сибирь. Под. ред. Э.Д. Ершова. М., Недра, 1989. – 454 с.;
17. Голдина Л.П. География озер Большеземельской тундры. Л., Наука, 1972. – 100 с.;
18. Гравис Г.Ф. Цикличность термокарста на Приморской низменности в верхнем плейстоцене и голоцене [Текст] / Гравис Г.Ф. // III Междунар. конф. По мерзлотоведению: Доклады и сообщения. – Оттава, 1978. – С. 282–127;
19. Григорьев С.В. О некоторых определениях и показателях в озероведении. – Тр. Карельск. Фил. АН СССР, вып. XVIII, Петрозаводск, 1959. – С. 29-45.;
20. Даувальтер В.А., Кашулин Н.А. Тяжелые металлы в донные отложениях озер центральной и юго-западной частей Мурманской области / Вестник Кольского научного центра РАН 3/2016. – С. 73-88;
21. Даувальтер В.А., Хлопцева В.Е. Гидрологические и гидрохимические особенности озер Большеземельской тундры / Вестник МГТУ, том 11, №3, 2008. – С.: 407-414;
22. Ершов Э.Д. Общая геокриология [Текст] / Ершов Э.Д. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 2002. – 682 с.;
23. Ефимов А.И. К вопросу о развитии термокарстовых озер в Центральной Якутии [Текст] / Ефимов А.И. // Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике, выпуск 2. – Изд-во АН СССР, 1950. – С. 98–114;
24. Иванов П.В. Классификация озёр мира по величине и по средней глубине. – Научн. Бюл. ЛГУ, 1948, №21, С. 29-36.;
25. Катасонов Е.М. Аласные отложения и таберальные образования Якутии [Текст] / Катасонов Е.М. // Геология кайнозоя Якутии. – Якутск: Якутский филиал СО АН СССР, 1982. – С. 110–121;
26. Катасонов Е.М. Строение и абсолютная геохронология аласных отложений Центральной Якутии [Текст] / Катасонов Е.М. – Новосибирск: Наука, 1979. – 95 с.
27. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 395 с.;

28. Климат территории нефтегазовых месторождений на полуостровах Тазовский и Ямал [Текст] : специализир. справ. / Омское террит. упр. по гидрометеорологии, Амдермин. террит. упр. по гидрометеорологии ; [исполнители С. А. Ковба и др. ] ; под ред. Ц. А. Швер. - Ленинград : Гидрометеоиздат, 1991. – 220
29. Климатическая характеристика зоны освоения нефти и газа Тюменского Севера/под ред. К.К.Казачковой. - Л.: Гидрометеоиздат, 1982.- 200 с.;
30. Лопух П.С., Якушко О.Ф. Общая лимнология. Учебное пособие. Минск: БГУ, 2011. – 248 с.;
31. Максимович Г.А. / Карст: Знание, М., 1960. – 47 с.;
32. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А.. Гидрология: Учебник для вузов./ М.: Высш. шк., 2007. – 463 с.;
33. Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Родюшкин И.В. Геохимическая миграция элементов в субарктическом водоеме (на примере озера Имандра). Апатиты, КНЦ РАН, 1997. – 127 с.;
34. Мухин Н.И. Особенности возникновения и развития термокарстовых озер на территории Яно-Индигорской низменности [Текст] / Мухин Н.И. // Озера криолитозоны Сибири. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 18–26;
35. Нестерова М.И. Пространственные особенности строения разнотипных озерных котловин на территории Якутии // Общество. Среда. Развитие. - 2011, №4. – 230 с.
36. Никаноров А.М. Гидрохимия. СПб., Гидрометеоиздат, 2001. – 444 с.;
37. Общее мерзлотоведение (геокриология), изд. 2. Учебник. / Под ред. В.А. Кудрявцева. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 464 с.;
38. Переладова Л. В. Особенности морфологии и гидрологического режима озер территории Ямало-Ненецкого автономного округа / Л. В. Переладова, А. А. Кормильцева // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. - 2017. - № 1. – С. 35-46.;
39. Попов А.И. Криолитология: учебное пособие [Текст] / Попов А.И., Розенбаум Г.Э., Тумель Н.В. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 239 с.;
40. Природные условия освоения Тазовского нефтегазоносного района [Текст] / [Отв. ред. канд. геогр. наук Б. Н. Лиханов] ; АН СССР. Ин-т географии. - Москва : Наука, 1972. - 231 с.;
41. Романовский Н.Н. Основы криогенеза литосферы. М.: Изд-во МГУ, 1993. С. 336.
42. Родионова Т.В. Исследование динамики термокарстовых озер в различных районах криолитозоны России по космическим снимкам. Дис. ... канд. геогр. н. М., 2013. – 196 с.;

43. Романенко Ф. А. Особенности развития тундрового микрорельефа Таймыра / Ф. А. Романенко, А. П. Хольнов, Н. Е. Зарецкая // Геоморфология. – 1998. – № 1. – С. 100–107;
44. 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;
45. Суходровский В.Л. Экзогенное рельефообразование в криолитозоне. М.: Наука, 1979 – 280 с.;
46. Суходровский В.Л. Годы странствий и наблюдений. Записки географа – геоморфолога [Текст] / Суходровский В.Л. – М.: Экон-информ, 2012. – 253 с.;
47. Тагунова Л. Н. Этапы зарастания спущенных озер (хасыреев) в связи с мерзлотно-геологическими условиями. – Ускоренные методы инженерно – геокриол. изучения нефтегазоносных районов Западной Сибири на основе ландшафтной индикации. Тр. Всесоюз. НИИ гидрогеологии и инж. геологии, вып. 62, М.: 1973, С. 114- 123;
48. Хохлова Л.Г. Гидрохимическая изученность поверхностных вод Большеземельской тундры. Возобновляемые ресурсы водоемов Большеземельской тундры. Сыктывкар, КНЦ УрО РАН, 2002. – С. 5-14;
49. Чеботарев А.И. Общая гидрология (воды суши) / Учебное пособие. — 2-е издание/ Изд-во - Л.:Гидрометеиздат , 1975. – 530 с.;
50. Шигапов И.С., Мингазова Н.М., Мусин А.Г. Особенности морфологии котловин озер г. Казани/ Вестник Татарского государственного гуманитарно-педагогического университета. 2011. – 6 с.;
51. Ягафарова Г.Г.. Экологическая биотехнология в нефтегазодобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности: Учеб. пособие. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2001. – 214 с.

#### Литература на иностранных языках

52. Traen, T.S. The importance of Nitrogen in Acidification at ICP Water Sites. Draft Report. Programme Centre, NIVA, Oslo. NIVA-1994. 34 p.

## Интернет источники

53. Архив погоды в Тазовском [Электронный ресурс] URL:  
[http://rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Тазовском](http://rp5.ru/Архив_погоды_в_Тазовском) (дата обращения: 12.03.2019);
54. Общие и суммарные показатели качества вод [электронный ресурс] URL:  
[http://www.cawater-info.net/bk/water\\_land\\_resources\\_use/docs/hydrochem1.htm](http://www.cawater-info.net/bk/water_land_resources_use/docs/hydrochem1.htm) (дата обращения: 4.06.2019).

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### ПРИЛОЖЕНИЕ А

Фото озера 1-1 (фото сделано автором)



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Фото озера 1-2 (фото сделано автором)



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Фото озера 1-3 (фото сделано автором)





## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Фото озера 1-5 (фото сделано автором)



## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Фото озера 1-6 (фото сделано автором)



## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Фото озера 1-7 (фото сделано автором)



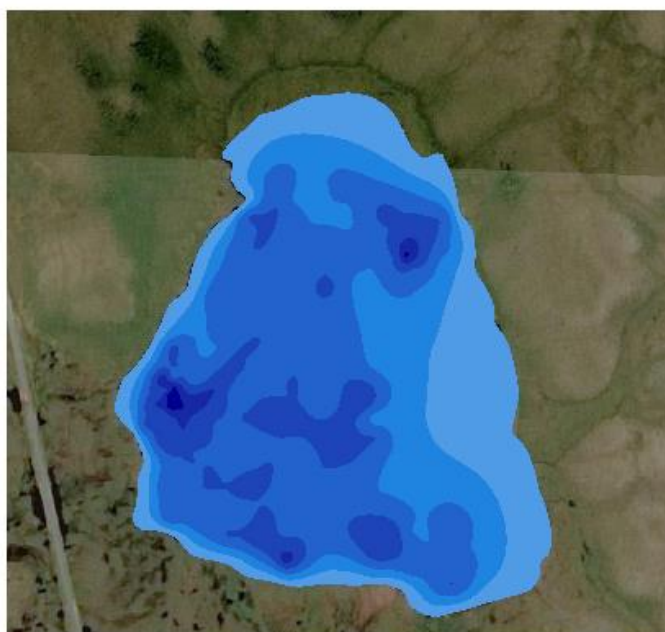
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Батиметрическая схема озера 1-1

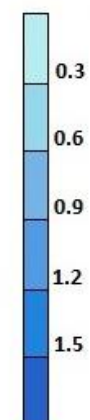
# Батиметрическая схема озера 1-1

Масштаб 1: 10 000

(составлено автором  
на основе снимка программы SAS.Planet, 2018 год)



Шкала глубин, м



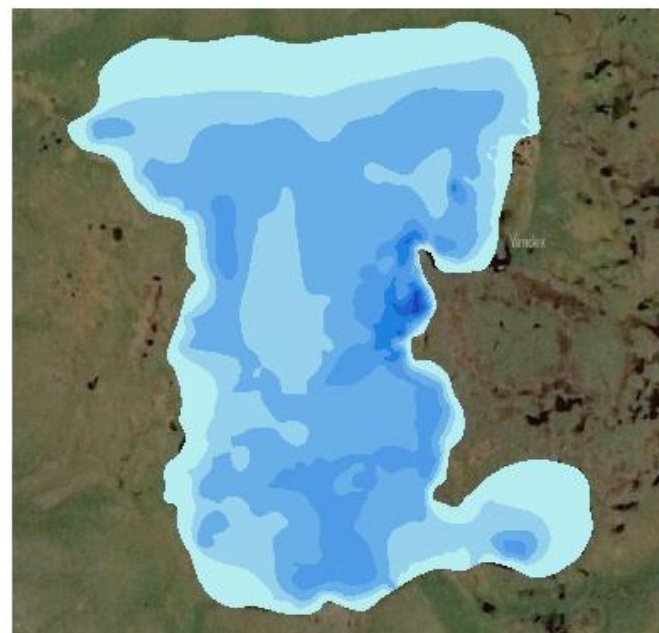
ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Батиметрическая схема озера 1-2

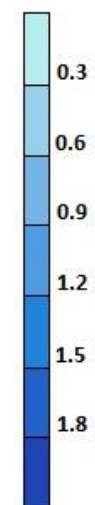
# Батиметрическая схема озера 1-2

Масштаб 1: 10 000

(составлено автором  
на основе снимка программы SAS.Planet, 2018 год)



Шкала глубин, м



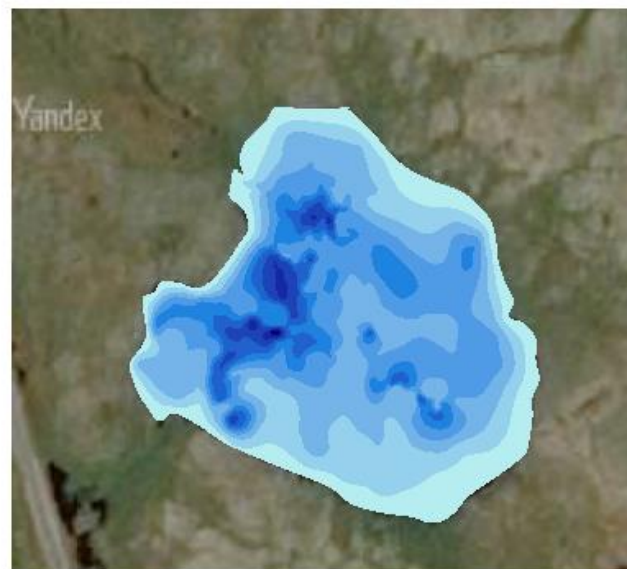
ПРИЛОЖЕНИЕ И

Батиметрическая схема озера 1-3

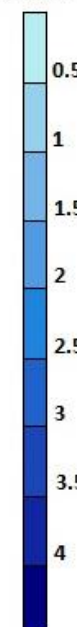
# Батиметрическая схема озера 1-3

Масштаб 1: 3 000

(составлено автором,  
на основе снимка программы SAS.Planet, 2018 год)



Шкала глубин, м



ПРИЛОЖЕНИЕ К

Батиметрическая схема озера 1-6

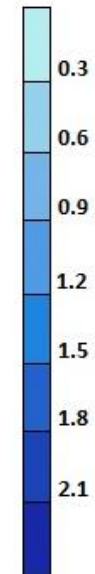
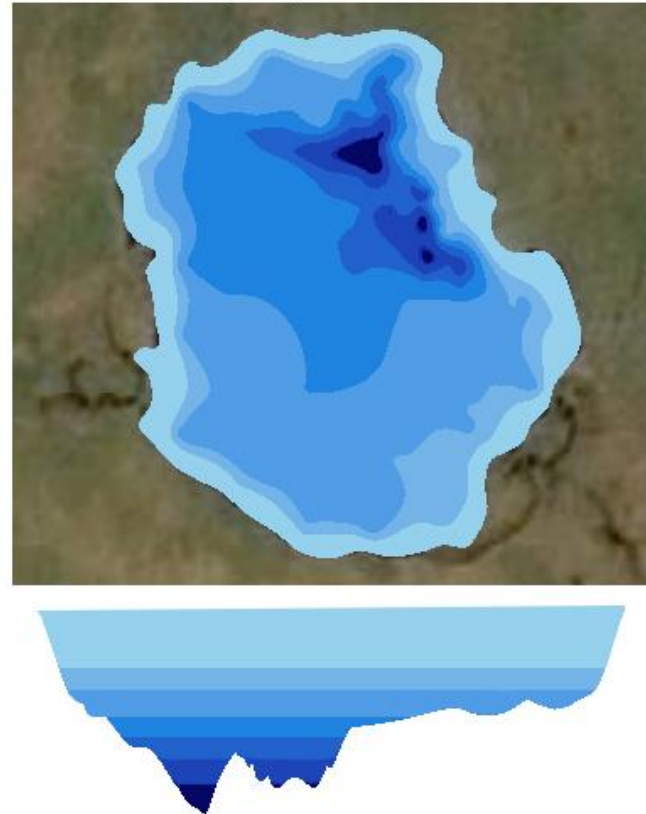
# Батиметрическая схема озера 1-6

Масштаб 1: 3 000

(составлено автором,  
на основе снимка программы SAS.Planet, 2018 год)



Шкала глубин, м



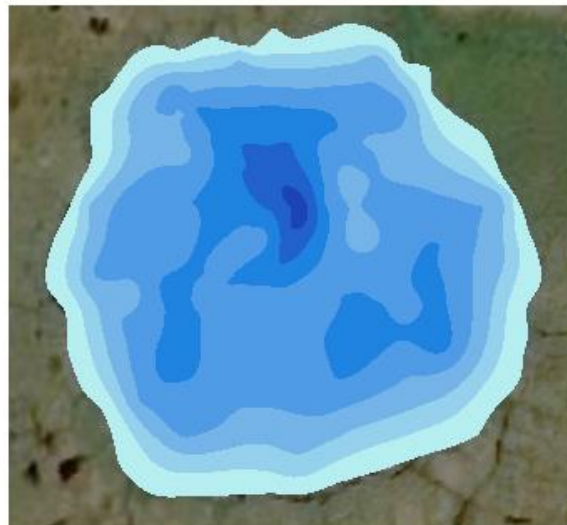
ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Батиметрическая схема озера 1-7

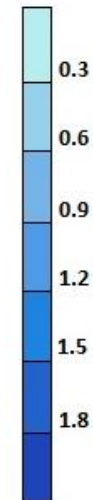
# Батиметрическая схема озера 1-7

Масштаб 1: 4 000

(составлено автором,  
на основе снимка программы SAS.Planet, 2018 год)



Шкала глубин, м







ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Корреляционная матрица содержания тяжелых металлов в снеговой талой воде исследованных малых термокарстовых озер Газовского полуострова

	V	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Ba	Pb	Be	Rb	Y	Zr	Mo	Sn	Sb	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Tl	Bi	Th	U		
V	1,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	V
Mn		1,00	--	--	0,84	-0,86	0,15	0,70	-0,71	0,89	--	0,84	--	--	0,76	0,76	-0,86	0,14	0,68	-0,33	0,43	0,24	0,76	--	0,76	--	--	--	--	--	--	--	--	0,01	0,61	-0,01	--	0,22	Mn	
Fe			1,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Fe
Co				1,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Co
Ni					1,00	<b>-1,00</b>	0,67	0,20	-0,22	0,49	--	0,41	--	--	0,28	0,28	-0,45	-0,42	0,97	-0,79	-0,13	-0,33	0,28	--	0,28	--	--	--	--	--	--	--	--	-0,54	0,08	-0,55	--	-0,35	Ni	
Cu						1,00	-0,63	-0,25	0,26	-0,53	--	-0,46	--	--	-0,33	-0,32	0,49	0,38	-0,96	0,76	0,08	0,29	-0,32	--	-0,32	--	--	--	--	--	--	--	--	0,50	-0,13	0,51	--	0,31	Cu	
Zn							1,00	-0,59	0,58	-0,32	--	-0,40	--	--	-0,53	-0,53	0,37	-0,96	0,83	-0,98	-0,82	-0,92	-0,53	--	-0,53	--	--	--	--	--	--	--	--	-0,99	-0,69	-0,99	--	-0,93	Zn	
Sr								1,00	<b>-1,00</b>	0,95	--	0,98	--	--	1,00	<b>0,99</b>	-0,97	0,80	-0,04	0,43	0,94	0,86	<b>0,99</b>	--	<b>0,99</b>	--	--	--	--	--	--	--	0,71	0,99	0,70	--	0,85	Sr		
Ba									1,00	-0,96	--	-0,98	--	--	<b>-1,00</b>	<b>-1,00</b>	0,97	-0,80	0,03	-0,42	-0,94	-0,85	<b>-1,00</b>	--	<b>-1,00</b>	--	--	--	--	--	--	--	-0,71	-0,99	-0,69	--	-0,84	Ba		
Pb										1,00	--	1,00	--	--	0,97	0,97	<b>-1,00</b>	0,58	0,26	0,14	0,80	0,66	0,97	--	0,97	--	--	--	--	--	--	0,47	0,91	0,45	--	0,64	Pb			
Be											1,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Be		
Rb												1,00	--	--	0,99	0,99	<b>-1,00</b>	0,65	0,18	0,23	0,85	0,72	0,99	--	0,99	--	--	--	--	--	--	0,54	0,94	0,53	--	0,71	Rb			
Y													1,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Y		
Zr														1,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Zr		
Mo															1,00	<b>0,99</b>	-0,98	0,75	0,04	0,36	0,92	0,81	<b>0,99</b>	--	<b>0,99</b>	--	--	--	--	--	--	0,65	0,98	0,64	--	0,80	Mo			
Sn																1,00	-0,98	0,76	0,03	0,36	0,92	0,81	<b>0,99</b>	--	1,00	--	--	--	--	--	0,66	0,98	0,65	--	0,80	Sn				
Sb																	1,00	-0,62	-0,21	-0,19	-0,83	-0,69	-0,98	--	-0,98	--	--	--	--	--	--	-0,52	-0,93	-0,50	--	-0,68	Sb			
Cs																		1,00	-0,63	0,89	0,95	1,00	0,76	--	0,76	--	--	--	--	--	0,99	0,87	0,99	--	<b>0,99</b>	Cs				
La																			1,00	-0,92	-0,37	-0,55	0,03	--	0,03	--	--	--	--	--	-0,73	-0,17	-0,74	--	-0,57	La				
Ce																				1,00	0,70	0,84	0,36	--	0,36	--	--	--	--	--	0,94	0,54	0,95	--	0,85	Ce				
Pr																					1,00	0,98	0,92	--	0,92	--	--	--	--	--	0,90	0,98	0,90	--	0,97	Pr				
Nd																						1,00	0,81	--	0,81	--	--	--	--	--	0,97	0,91	0,97	--	<b>0,99</b>	Nd				
Sm																							1,00	--	1,00	--	--	--	--	--	0,66	0,98	0,65	--	0,80	Sm				
Eu																								1,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Eu		
Gd																									1,00	--	--	--	--	--	0,66	0,98	0,65	--	0,80	Gd				
Tb																										1,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Tb			
Dy																											1,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Dy			
Ho																												1,00	--	--	--	--	--	--	--	--	Ho			
Er																													1,00	--	--	--	--	--	--	--	Er			
Tm																														1,00	--	--	--	--	--	--	Tm			
Yb																															1,00	--	--	--	--	--	Yb			
Lu																																1,00	--	--	--	--	Lu			
Hf																																		1,00	--	--	Hf			
W																																		1,00	0,80	<b>0,99</b>	--	0,98	W	
Tl																																			1,00	0,79	--	0,91	Tl	
Bi																																				1,00	--	0,97	Bi	
Th																																					1,00	--	Th	
U																																						1,00	U	

Примечание: **P < 0,05**

ПРИЛОЖЕНИЕ О

Корреляционная матрица содержания тяжелых металлов в минеральных донных отложениях исследованных малых термокарстовых озер Тазовского полуострова

	V	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Ba	Pb	Be	Rb	Y	Zr	Mo	Sn	Sb	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Tl	Bi	Th	U	
V	1,00	<b>0,95</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	0,51	0,17	-0,26	<b>0,99</b>	0,89	0,82	0,91	0,74	0,87	<b>0,99</b>	0,61	<b>0,97</b>	0,87	0,89	0,90	0,92	0,91	<b>0,96</b>	0,93	0,93	0,89	0,90	0,90	0,85	0,87	0,91	0,65	<b>0,96</b>	0,90	<b>0,96</b>	0,85	0,76	
Co		1,00	<b>0,97</b>	0,94	0,25	0,36	-0,12	<b>0,98</b>	0,93	0,85	<b>0,98</b>	0,87	0,88	0,94	0,66	0,86	0,92	0,92	0,93	0,95	<b>0,96</b>	<b>0,99</b>	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>	<b>0,98</b>	<b>0,95</b>	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	0,79	<b>0,95</b>	0,83	0,90	0,89	0,85	
Ni			1,00	<b>1,00</b>	0,49	0,17	-0,27	<b>0,99</b>	0,88	0,81	0,93	0,78	0,89	<b>0,99</b>	0,59	<b>0,96</b>	0,90	0,91	0,92	0,94	0,94	<b>0,97</b>	<b>0,95</b>	<b>0,95</b>	0,92	0,93	0,93	0,88	0,90	0,93	0,69	<b>0,97</b>	0,88	<b>0,97</b>	0,88	0,79	
Cu				1,00	0,54	0,15	-0,28	<b>0,98</b>	0,87	0,81	0,90	0,73	0,87	<b>0,99</b>	0,59	<b>0,98</b>	0,87	0,88	0,89	0,91	0,91	<b>0,95</b>	0,92	0,92	0,88	0,89	0,89	0,84	0,86	0,90	0,63	<b>0,96</b>	0,90	<b>0,96</b>	0,85	0,75	
Zn					1,00	-0,69	-0,77	0,42	0,09	0,04	0,23	0,11	0,49	0,55	-0,18	0,67	0,38	0,40	0,39	0,40	0,35	0,30	0,37	0,32	0,27	0,30	0,24	0,17	0,16	0,26	0,06	0,48	0,38	0,64	0,42	0,25	
Sr						1,00	0,87	0,22	0,61	0,68	0,28	0,19	-0,08	0,11	0,83	0,03	0,03	0,04	0,06	0,08	0,14	0,30	0,15	0,20	0,21	0,18	0,26	0,27	0,31	0,24	0,14	0,07	0,40	-0,08	-0,03	0,03	
Ba							1,00	-0,25	0,21	0,34	-0,23	-0,32	-0,57	-0,33	0,61	-0,33	-0,47	-0,46	-0,44	-0,42	-0,36	-0,19	-0,35	-0,30	-0,30	-0,33	-0,25	-0,25	-0,21	-0,27	-0,36	-0,41	0,10	-0,51	-0,52	-0,47	
Pb								1,00	0,89	0,81	<b>0,96</b>	0,84	0,91	<b>0,99</b>	0,59	0,93	0,93	0,94	0,95	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>	<b>0,99</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,95</b>	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>	0,92	0,94	<b>0,96</b>	0,75	<b>0,98</b>	0,85	<b>0,96</b>	0,91	0,84	
Be									1,00	<b>0,98</b>	0,85	0,67	0,65	0,85	0,89	0,80	0,70	0,72	0,74	0,76	0,79	0,91	0,81	0,83	0,81	0,80	0,84	0,80	0,83	0,83	0,56	0,80	0,92	0,73	0,66	0,61	
Rb										1,00	0,75	0,53	0,51	0,78	0,95	<b>0,75</b>	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,83	0,70	0,73	0,69	0,68	0,73	0,68	0,73	0,72	0,42	0,69	0,93	0,63	0,52	0,46	
Y											1,00	0,95	0,93	0,91	0,53	0,79	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	0,90	<b>0,96</b>	0,71	0,89	0,95	0,93
Zr												1,00	0,92	0,76	0,30	0,59	<b>0,96</b>	<b>0,95</b>	0,95	0,94	0,95	0,88	0,93	0,94	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>	<b>0,95</b>	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	<b>0,95</b>	0,99	0,88	0,45	0,79	0,95	<b>0,99</b>	
Mo													1,00	0,89	0,23	0,80	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,97</b>	0,91	<b>0,97</b>	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>	<b>0,97</b>	0,94	0,93	0,92	0,95	0,89	<b>0,97</b>	0,57	<b>0,95</b>	<b>0,99</b>	<b>0,96</b>	
Sn														1,00	0,55	<b>0,97</b>	0,89	0,90	0,91	0,93	0,92	<b>0,96</b>	0,94	0,93	0,90	0,91	0,91	0,85	0,87	0,91	0,66	<b>0,97</b>	0,87	<b>0,98</b>	0,88	0,78	
Sb															1,00	0,54	0,30	0,32	0,35	0,38	0,43	0,62	0,45	0,49	0,45	0,44	0,51	0,46	0,51	0,50	0,19	0,43	0,84	0,36	0,24	0,20	
Cs																1,00	0,78	0,80	0,81	0,83	0,82	0,87	0,84	0,83	0,78	0,79	0,79	0,72	0,74	0,79	0,48	0,90	0,90	0,94	0,77	0,63	
La																	1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	0,93	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,96</b>	<b>0,98</b>	0,92	<b>0,97</b>	0,59	0,93	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	
Ce																		1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	0,94	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,96</b>	<b>0,98</b>	0,91	<b>0,98</b>	0,61	0,94	<b>0,99</b>	<b>0,97</b>	
Pr																			1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,95</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	0,90	<b>0,99</b>	0,63	0,94	<b>0,99</b>	<b>0,97</b>
Nd																				1,00	<b>0,99</b>	<b>0,96</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,99</b>	0,89	<b>0,99</b>	0,66	<b>0,95</b>	<b>0,99</b>	<b>0,95</b>
Sm																					1,00	<b>0,97</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	0,90	<b>0,99</b>	0,67	0,94	<b>0,98</b>	<b>0,95</b>	
Eu																						1,00	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	<b>0,96</b>	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	0,81	<b>0,97</b>	0,82	0,92	0,91	0,87	
Gd																							1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	0,88	<b>0,99</b>	0,71	0,95	<b>0,98</b>	0,94	
Tb																								1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	0,88	<b>0,98</b>	0,72	0,93	<b>0,96</b>	0,93	
Dy																									1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	0,92	<b>0,97</b>	0,66	0,90	<b>0,97</b>	<b>0,96</b>	
Ho																										1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	0,91	<b>0,98</b>	0,66	0,92	<b>0,98</b>	<b>0,96</b>	
Er																											1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	0,90	<b>0,97</b>	0,69	0,90	<b>0,96</b>	0,94	
Tm																												1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	0,94	0,94	0,61	0,85	<b>0,95</b>	<b>0,96</b>	
Yb																													1,00	<b>0,99</b>	0,92	0,94	0,66	0,86	0,94	0,94	
Lu																														1,00	0,90	<b>0,97</b>	0,69	0,90	<b>0,96</b>	0,94	
Hf																															1,00	0,82	0,32	0,72	0,92	<b>0,98</b>	
W																																1,00	0,74	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	0,91	
Tl																																	1,00	0,75	0,55	0,42	
Bi																																		1,00	0,93	0,84	
Th																																			1,00	<b>0,98</b>	
U																																					1,00

Примечание: **P < 0,05**

ПРИЛОЖЕНИЕ П

Корреляционная матрица содержания тяжелых металлов в органических донных отложениях исследованных малых термокарстовых озер Тазовского полуострова

	V	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Ba	Pb	Be	Rb	Y	Zr	Mo	Sn	Sb	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Tl	Bi	Th	U	
V	1,00	-0,79	-0,99	-0,64	<b>1,00</b>	0,82	0,87	0,96	0,78	0,93	0,11	0,85	-0,94	0,98	0,73	0,99	0,94	0,87	0,86	0,81	0,77	0,80	0,66	0,70	0,34	0,56	0,34	0,57	0,46	0,40	0,85	0,97	0,97	0,95	0,98	0,66	
Co		1,00	0,68	0,03	-0,81	-0,30	-0,38	-0,59	-0,23	-0,51	0,52	-0,36	0,53	-0,64	-0,17	-0,87	-0,54	-0,40	-0,36	-0,28	-0,22	-0,26	-0,06	-0,12	0,31	0,07	0,30	0,04	0,18	0,24	-0,35	-0,63	-0,62	-0,94	-0,64	-0,07	
Ni			1,00	0,75	-0,98	-0,90	-0,94	-0,99	-0,87	-0,98	-0,27	-0,93	0,98	<b>-1,00</b>	-0,83	-0,96	-0,98	-0,94	-0,93	-0,89	-0,86	-0,88	-0,77	-0,81	-0,49	-0,68	-0,49	-0,70	-0,59	-0,54	-0,92	<b>-1,00</b>	<b>-1,00</b>	-0,89	<b>-1,00</b>	-0,78	
Cu				1,00	-0,61	-0,96	-0,94	-0,83	-0,98	-0,88	-0,84	-0,95	0,86	-0,79	-0,99	-0,52	-0,86	-0,93	-0,94	-0,97	-0,98	-0,97	<b>-1,00</b>	-1,00	-0,94	-1,00	-0,94	<b>-1,00</b>	-0,98	-0,96	-0,95	-0,80	-0,80	-0,36	-0,79	<b>-1,00</b>	
Zn					1,00	0,81	0,85	0,95	0,76	0,92	0,08	0,84	-0,93	0,97	0,72	0,99	0,93	0,86	0,84	0,79	0,75	0,78	0,63	0,68	0,31	0,53	0,31	0,55	0,43	0,37	0,83	0,97	0,96	0,96	0,97	0,64	
Sr						1,00	1,00	0,95	1,00	0,98	0,65	<b>1,00</b>	-0,97	0,93	0,99	0,74	0,97	1,00	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	1,00	<b>1,00</b>	0,97	0,98	0,81	0,93	0,82	0,94	0,88	0,85	<b>1,00</b>	0,93	0,93	0,60	0,93	0,97	
Ba							1,00	0,97	0,99	0,99	0,59	<b>1,00</b>	-0,99	0,95	0,98	0,79	0,98	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,99	0,99	0,99	0,95	0,96	0,76	0,90	0,77	0,91	0,84	0,80	<b>1,00</b>	0,96	0,96	0,66	0,95	0,95	
Pb								1,00	0,92	1,00	0,38	0,97	<b>-1,00</b>	<b>1,00</b>	0,90	0,91	<b>1,00</b>	0,98	0,97	0,94	0,92	0,94	0,84	0,87	0,59	0,77	0,59	0,78	0,69	0,64	0,96	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,82	<b>1,00</b>	0,85	
Be									1,00	0,95	0,71	0,99	-0,95	0,89	<b>1,00</b>	0,68	0,94	0,98	0,99	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,99	0,99	0,86	0,96	0,86	0,96	0,92	0,89	0,99	0,90	0,90	0,54	0,89	0,99	
Rb										1,00	0,47	0,99	<b>-1,00</b>	0,99	0,93	0,87	<b>1,00</b>	0,99	0,99	0,97	0,95	0,97	0,89	0,92	0,67	0,83	0,67	0,84	0,76	0,71	0,98	0,99	0,99	0,76	0,99	0,90	
Y											1,00	0,61	-0,44	0,32	0,75	-0,03	0,44	0,58	0,60	0,67	0,72	0,68	0,82	0,78	0,97	0,89	0,97	0,88	0,93	0,95	0,62	0,33	0,34	-0,21	0,32	0,81	
Zr												1,00	-0,98	0,95	0,98	0,77	0,98	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	1,00	0,99	1,00	0,95	0,97	0,78	0,91	0,78	0,92	0,85	0,82	<b>1,00</b>	0,95	0,95	0,64	0,94	0,96	
Mo													1,00	-0,99	-0,92	-0,88	<b>-1,00</b>	-0,99	-0,98	-0,96	-0,94	-0,96	-0,88	-0,90	-0,64	-0,81	-0,64	-0,82	-0,74	-0,69	-0,98	-0,99	-0,99	-0,78	-0,99	-0,88	
Sn														1,00	0,86	0,94	0,99	0,96	0,95	0,92	0,89	0,91	0,80	0,84	0,53	0,72	0,54	0,74	0,64	0,59	0,94	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,86	<b>1,00</b>	0,81	
Sb															1,00	0,63	0,92	0,97	0,98	0,99	<b>1,00</b>	1,00	0,99	<b>1,00</b>	0,89	0,97	0,89	0,98	0,94	0,91	0,98	0,87	0,87	0,48	0,86	1,00	
Cs																1,00	0,88	0,80	0,78	0,72	0,67	0,71	0,54	0,59	0,21	0,44	0,21	0,46	0,33	0,27	0,77	0,93	0,93	0,98	0,94	0,55	
La																	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,96	0,87	0,90	0,64	0,81	0,64	0,82	0,73	0,69	0,98	0,99	0,99	0,78	0,99	0,88	
Ce																		1,00	<b>1,00</b>	0,99	0,98	0,99	0,94	0,96	0,75	0,89	0,76	0,90	0,83	0,79	<b>1,00</b>	0,96	0,96	0,68	0,96	0,94	
Pr																			1,00	1,00	0,99	0,99	0,95	0,97	0,78	0,90	0,78	0,91	0,85	0,81	<b>1,00</b>	0,95	0,95	0,65	0,95	0,95	
Nd																				1,00	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,97	0,99	0,83	0,94	0,83	0,95	0,89	0,86	<b>1,00</b>	0,92	0,92	0,58	0,92	0,98	
Sm																					1,00	<b>1,00</b>	0,99	0,99	0,86	0,96	0,86	0,96	0,92	0,89	0,99	0,90	0,90	0,53	0,89	0,99	
Eu																						1,00	0,98	0,99	0,84	0,94	0,84	0,95	0,90	0,87	1,00	0,92	0,92	0,57	0,91	0,98	
Gd																							1,00	<b>1,00</b>	0,93	0,99	0,93	0,99	0,97	0,95	0,96	0,81	0,82	0,38	0,80	<b>1,00</b>	
Tb																								1,00	<b>1,00</b>	0,91	0,98	0,91	0,99	0,96	0,93	0,97	0,85	0,85	0,44	0,84	<b>1,00</b>
Dy																									1,00	0,97	<b>1,00</b>	0,96	0,99	<b>1,00</b>	0,79	0,55	0,55	0,02	0,53	0,93	
Ho																										1,00	0,97	<b>1,00</b>	0,99	0,98	0,91	0,73	0,74	0,26	0,72	0,99	
Er																											1,00	0,97	0,99	<b>1,00</b>	0,79	0,55	0,56	0,03	0,53	0,93	
Tm																												1,00	0,99	0,98	0,92	0,75	0,75	0,29	0,74	0,99	
Yb																													1,00	<b>1,00</b>	0,86	0,65	0,66	0,15	0,64	0,97	
Lu																														1,00	0,82	0,60	0,60	0,09	0,58	0,95	
Hf																															1,00	0,95	0,95	0,64	0,94	0,96	
W																																1,00	<b>1,00</b>	0,85	<b>1,00</b>	0,82	
Tl																																	1,00	0,85	<b>1,00</b>	0,82	
Bi																																		1,00	0,86	0,39	
Th																																			1,00	0,81	
U																																				1,00	

Примечание: **P < 0,05**

Выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация) выполнена мной самостоятельно. Использованные в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них. Материалов, содержащих информацию ограниченного доступа, не содержится.

Отпечатано в 1 экземпляре

Библиография содержит 54 наименования

На кафедру сдан 1 экземпляр

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_

(дата)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О)