

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ИНСТИТУТ НАУК О ЗЕМЛЕ  
Кафедра геоэкологии и природопользования

Заведующий кафедрой  
*д.б.н., доцент*  
*А.В. Синдирева*

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

магистра

**«ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ПЛОЩАДЕЙ ОЗЕР ПРИ ТЕХНОГЕННОМ  
ВОЗДЕЙСТВИИ И КРИОГЕННЫХ ПРОЦЕССАХ НА ПОЛУОСТРОВЕ ЯМАЛ  
И ПУР-ТАЗОВСКОМ МЕЖДУРЕЧЬЕ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ»**

05.04.06 Экология и природопользование  
Профиль «Геоэкология нефтегазодобывающих регионов»

Выполнил работу  
студент 2 курса  
очной формы обучения

Данько  
Михаил  
Михайлович

Научный руководитель  
к.г. – м.н.

Хомутов  
Артем  
Валерьевич

Рецензент  
Российский университет  
дружбы народов, м.н.с., к.г.-  
м.н.

Дворников  
Юрий  
Александрович

Тюмень, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ВОПРОСА .....	5
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ОЗЕР .....	7
2.1. ОБЩАЯ МЕТОДИЧЕСКАЯ СХЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ОЗЕР .....	7
2.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИССЛЕДОВАНИЯ .	10
2.3 ВЫБОР И ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ.....	13
2.4. ЭТАП ДЕШИФРИРОВАНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ .....	16
2.5. ЭТАП ВЫЯВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПЛОЩАДИ ОЗЕР .....	24
2.6 АНАЛИЗ ВЫЯВЛЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ.....	29
ГЛАВА 3. ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ЯМАЛ .....	30
3.1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ.....	30
3.2 ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ.....	33
3.3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ЦЕНТРАЛЬНОМ ЯМАЛЕ .....	35
ГЛАВА 4. ПУР-ТАЗОВСКОЕ МЕЖДУРУЧЬЕ.....	44
4.1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ.....	44
4.2 ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ.....	47
4.3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПУР-ТАЗОВСКОМ МЕЖДУРЕЧЬЕ	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	55
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	57
ПРИЛОЖЕНИЯ 1-6 .....	60

## ВВЕДЕНИЕ

Большое внимание зарубежных и отечественных ученых и практиков привлекает изучение изменений площадей озер потому, что это может служить показателем влияния антропогенных и природных факторов на окружающую среду и ее объекты. Поэтому данная тема актуальна в настоящее время, потому что она может приблизить к ответу, почему происходит деградация вечной мерзлоты, происходит это из-за потепления современного климата или существуют еще какие-нибудь причины.

Объектом исследования являются озера участков на Центральном Ямале и Пур-Тазовском междуречье.

Предметом исследования является изменение площадей озер при воздействии техногенного воздействия и криогенных процессов.

Целью данной работы является оценка влияния техногенного воздействия и криогенных процессов на площади озер на Центральном Ямале и Пур-Тазовском междуречье дистанционными методами.

Для достижения поставленной цели были выбраны следующие задачи:

- проанализировать состояние имеющихся исследований динамики изменения площадей озер
- установить методику исследований динамики изменений площадей озер по космическим снимкам
- охарактеризовать физико-географические условия исследуемых территорий
- выявить главные особенности и факторы, которые влияют на изменения площадей озер по космическим снимкам Landsat и снимкам высокого разрешения.

Защищаемые положения.

1. Количественная оценка изменений площадей озер должна соответствовать составленным картографическим материалам, по которым можно провести визуальный анализ.

2. Изменение озер определяется рядом факторов. Уменьшение площадей озер в некоторых случаях связано с перераспределяющей деятельностью водотоков, эрозией и зарастанием водных объектов. Небольшое увеличение площади создается активизацией термоденудационными процессами на Центральном Ямале, и вытаиванием полигонально-жильных льдов на Пур-Тазовском междуречье. В местах освоения территорий под нефтегазодобывающую промышленность присутствует влияние антропогенного воздействия.

Новизной работы можно считать использование и анализ исходных материалов за последние 10 лет (2009 - 2019 гг.). Последние опубликованные работы, связанные с динамикой изменения, датируются 2012-2013 годами, в которых используются снимки с 70-х или 80-х годов до 2009-2010 годов. Также в работе использовалось программное обеспечение QGIS, которое еще не использовалось для изучения динамики изменений озер.

## ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ВОПРОСА

Большой интерес к динамике изменений озер наблюдается с начала 2000-х годов, когда отечественными и зарубежными учеными были сделаны многочисленные исследования в этом направлении.

В Западной Сибири был выполнен ряд исследований. Одно из первых было проведено в США L.C. Smith, Y. Sheng, G.M. Macdonald и L.D. Hinzman (2005). Ими был сделан анализ большой территории Западной Сибири и рассмотрены изменения озер площадью более 40 га. Исследование показало, что в условиях сплошного распространения мерзлых пород происходит увеличение площади и количества озер, а в зоне прерывистого распространения наоборот происходит уменьшение. В качестве основной причины сокращения площади озер в зоне прерывистого распространения ММП рассматривается деградация многолетнемерзлых пород под влиянием потепления климата и просачивание воды из озер в оттаявший грунт. Увеличение площади озер в зоне сплошного распространения ММП также связывается с таянием многолетнемерзлых пород, вызывающим на первых этапах увеличение объема воды, что впоследствии может привести к исчезновению озера [Smith L.C., 2005, v. 308, p. 1429].

Помимо исследования L.C. Smith с соавторами (2005) на территории Западной Сибири в пределах эталонных участков, начиная с 2006 года, ряд исследований выполнили Ю.М. Полищук, Н.А. Брыксина, С.Н. Кирпотин и В.П. Днепровская. Ими был сделан анализ эталонных участков как в зоне сплошной, так и в зоне прерывистой вечной мерзлоты.

В результате этих исследований, аналогично L.C. Smith с соавторами (2005) было установлено, что в зоне сплошной вечной мерзлоты наблюдается увеличение площади озер (от 7 до 12%). В более позднем исследовании было уточнено, что в зоне сплошного распространения ММП лишь на половине участков наблюдалось увеличение площади озер и отмечено, что с увеличением географической широты наблюдается переход от сокращения площади к ее увеличению (в качестве границы указывается 70 с.ш.).

Сокращение площади озер в условиях потепления климата объясняется ускорением дренажа озер в результате увеличения глубины протаивания грунта при повышении температуры. В качестве дополнительной причины изменения площади озер также рассматривается спуск озер под влиянием эрозионной деятельности, когда вода из мелких озер, расположенных на более высоком уровне, стекает в большие озера [Kirpotin S., 2008, v. 65, p. 631-635].

Однако при сравнении результатов отечественных исследований наблюдаются расхождения. В одних работах утверждается, что на территории Западной Сибири в районе сплошного распространения многолетнемерзлых пород происходит уменьшение площадей озер, а в других работах утверждается, что происходит увеличение площадей озер.

Таким образом, вопрос о выявленных расхождениях в результатах исследований остается открытым и требует дополнительных исследований.

Все исследования по изучению изменений площадей озер, основывались на анализе и оценке двух или более космических снимков съемочной системы Landsat за разные даты, а именно, выделение исследуемых водных объектов, выделение изменений этих водных объектов и подсчет количественных данных - площади водных объектов за разные даты.

## ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ОЗЕР

### 2.1. ОБЩАЯ МЕТОДИЧЕСКАЯ СХЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ОЗЕР

В настоящее время есть два метода, которые используются для изучения динамики изменений исследуемых территорий.

Первый метод - раздельное или последовательное дешифрирование, суть его заключается в обычном визуальном дешифрировании объектов. При использовании этого метода не нужно делать предварительную подготовку и обработку снимков.

Второй метод - совместное или одновременное дешифрирование, при этом методе используется два или больше разновременных снимков, которые в дальнейшем будут накладываться друг на друга для получения информации об произошедших изменениях. При использовании этого метода необходимо проводить подготовку и обработку снимков.

При совместном наблюдении разновременных снимков возможны следующие методические приемы: [Лабутина И.А. ,2004, с. 184]

- сложение собственно снимков или изображений, полученных в результате их яркостных преобразований или классификации; □

- сложение переходных карт, составленных по разновременным аэрокосмическим данным.

При изучении изменений площади озер возможны оба приема, однако несомненным преимуществом обладают переходные карты, создаваемые специально для обеспечения сопоставимости разновременных материалов [Лабутина И.А. ,2004, с. 184].

На рисунке 2.1 представлена методическая схема исследования динамики озер на основе разновременных аэрокосмических снимков.

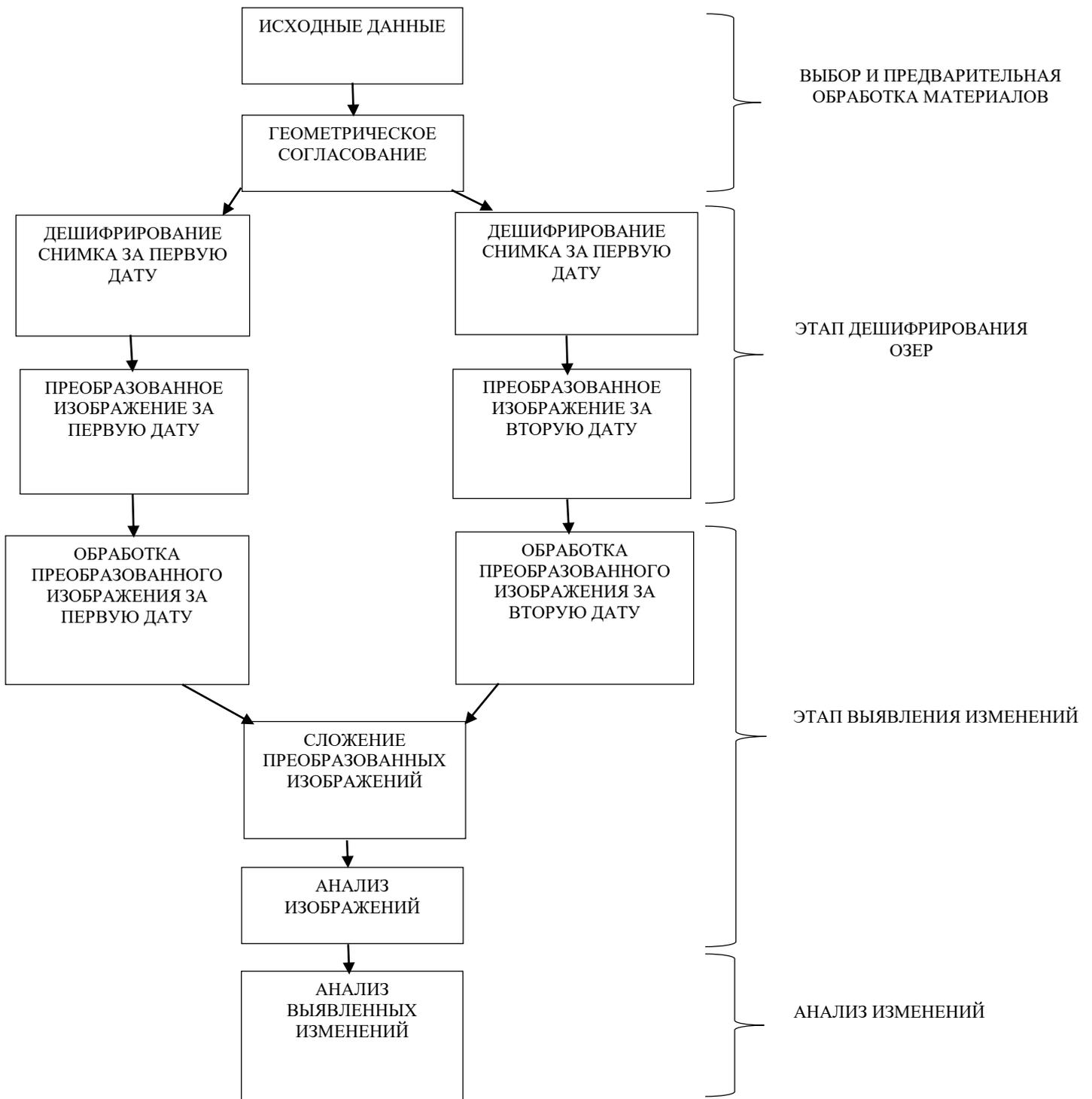


Рис. 2.1 - Методическая схема исследования динамики термокарстовых озер

Согласно представленной схеме методика исследования динамики озер включает в себя несколько этапов:

1. Выбор и предварительная обработка материалов
2. Этап дешифрирования водных объектов
3. Этап выявления изменений площади озер
4. Анализ наблюдаемых изменений

## 2.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основные материалы, которые используются для изучения динамики изменений площадей озер - космические снимки со спутника Landsat. Эти снимки имеют некоторые преимущества по сравнению с другими космическими снимками. К главным преимуществам этих снимков следует отнести: □

- наличие снимков в фондах от начала 1970-х годов до настоящего времени, что позволяет сделать анализ многолетних изменений площадей озер.

- высокая регулярность съемки, снимки на одну и ту же территорию можно получить с интервалом в 16 дней; даже учитывая неизбежные потери информации из-за облачности, это позволяет сделать анализ не только многолетних изменений, но также годовых и сезонных изменений.

- наличие снимков в свободном доступе ([www.glovis.usgs.gov](http://www.glovis.usgs.gov)), что позволяет получить нужные материалы без трудностей, временных и финансовых затрат.

- наличие снимков в ближней инфракрасной зоне (а для съемочных систем TM/ETM+ – также в средней инфракрасной зоне), которые показывают четкое выделение водной поверхности озер по яркостным признакам в автоматизированном режиме. □

- хороший охват территории одним снимком (185\*185 км), который позволяет дать анализ изменениям площадей большого количества озер, распределенных на большей территории.

При использовании снимков системы Landsat нужно помнить, что у него есть несколько ограничений, о которых нельзя забывать. Одно из основных ограничений связано с пространственным разрешением снимков. С 1982 года разрешение полученных снимков сканирующими системами TM и ETM+, составляет 30 м, а снимков, которые получают сканирующей системой MSS, функционировавшей в 1970-е годы – 80 м. При анализе многолетних изменений нужно помнить о пространственном разрешении. Сравнение снимков с разным разрешением может привести к ошибкам в анализе и неправильным выводам об динамике изменений площадей.

Другая проблема появляется при подборе современных космических снимков со спутника Landsat-7, у съемочной системы в 2003 году произошел сбой, из-за которого на снимках появляются пустые места в виде параллельных линий (Рисунок 2.2).

Использовать такие снимки можно, но нежелательно, потому что по таким исходным данным, имеющие пропуски, дать полный анализ и хорошую характеристику территории невозможно. Даже если на снимках присутствуют участки без потери данных, они не дадут полную картину, которая происходит на этой территории. Лучше всего при выборе снимков использовать те, где отсутствуют потери данных, а снимки с пропусками – использовать для проверки и уточнения выявленных изменений с помощью визуального просмотра.

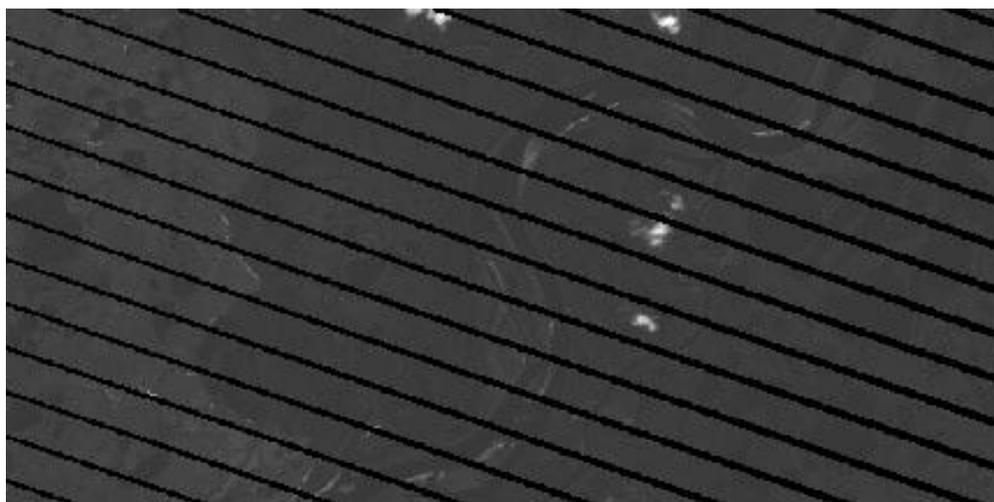


Рис 2.2 - Наличие пропусков в регистрации изображения ETM+

Использование топографических карт может стать помощником в анализе изменений площадей озер. В некоторых случаях с помощью топографической карты можно выявить причину изменения площади водного объекта. На рисунке 2.3 дан показан снимок Landsat MSS 1973 г. (с пространственным разрешением 80 м) и топографической карты масштаба 1:200 000, составленной по материалам аэрофотосъемки 1973-1974 гг.

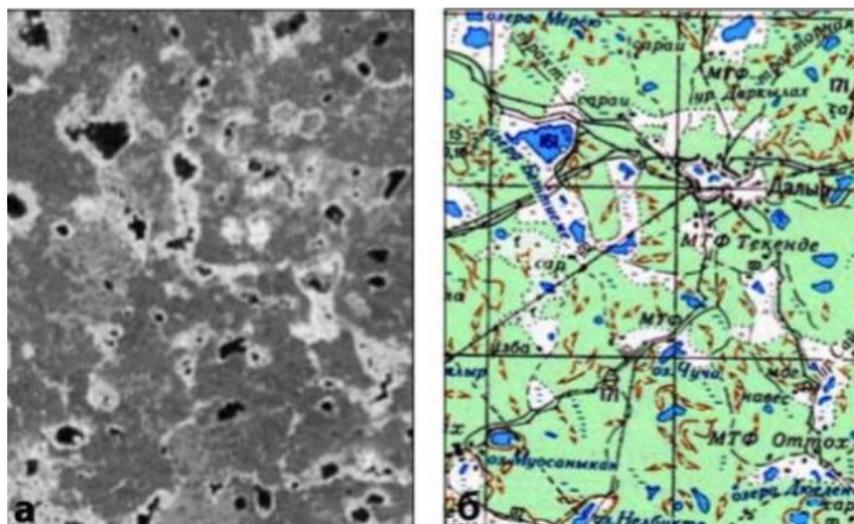


Рис 2.3 - Соответствие изображения озер на космическом снимке со спутника Landsat 1973 г. (слева) и топографической карте масштаба 1:200 000 1973-1974 гг. (справа)

Использование топографических карт при изучении изменений площадей озер можно, так как границы озер, показанные на космическом снимке и топографической карте практически совпадают, что говорит о возможности выявления изменений площадей по топографическим картам. Но использовать карты рекомендуется как дополнительный источник материалов, так как карты показывают ситуацию на время и сезон выполнения съемки, а не на год издания карты. При использовании топографических карт нужно проводить дополнительные проверки. Кроме того, проблема может возникнуть с подбором карт нужного масштаба (желательно крупнее 1:100 000) и нужной территории. В связи с особыми условиями их использования это не всегда удастся.

### 2.3 ВЫБОР И ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

Один из важных этапов в изучении динамики изменений площадей это правильный выбор и обработка исходных материалов. При подборе снимков необходимо исключить те снимки, на которых присутствуют облака и их тени, и на которых они занимают почти всю исследуемую территорию. Использовать снимок с облаками можно, если они присутствуют на снимке очень редко. При этом места с облачностью нужно убрать из анализа, как и их тени. Потому что у теней от облаков и водных объектов почти одинаковая спектральная яркость, и при автоматическом дешифрировании программа будет объединять в один класс, из-за чего могут быть допущены ошибки в анализе (Рисунок 2.4).

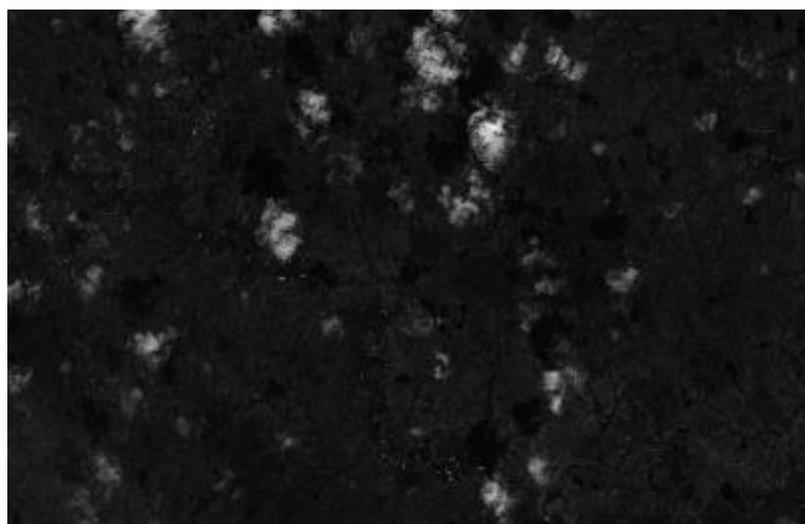


Рис. 2.4 - Изображение теней от облаков на снимках: сверху – в комбинации каналов RGB 321, снизу – в ближней инфракрасной зоне

Время года съемки также является одним из ключевых атрибутов изучения многолетних изменений, и который нужно учитывать при подборе исходных материалов. Использование материалов за разные сезоны и разные даты усложнит работу по изучению динамики изменений площадей, потому что сезонные изменения можно принять за многолетние, и в дальнейшем допустить ошибки в анализе. Сезонные изменения могут проявляться по-разному. На севере в начале лета некоторые водные объекты длительный период находятся под льдом (Рисунок 2.5).



Рис. 2.5 - Лед на озерах в начале летнего сезона

Также в начале летнего периода происходит увеличение уровня воды у водных объектах, которое возникает при таянии снега, что может служить сильному увеличению площади водных объектов (Рисунок 2.6).

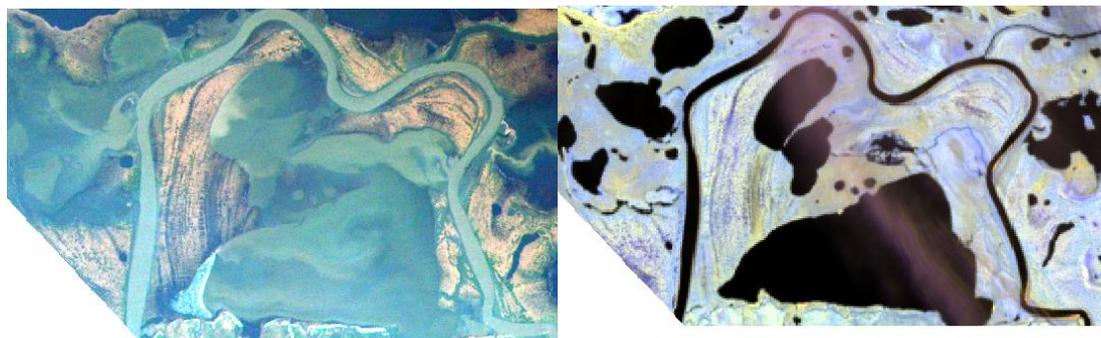


Рис. 2.6 - Изменение площади озер от начала к концу лета (начало июня 2019 года - середина августа 2019 года)

В течение вегетационного периода на мелких озерах развивается водная растительность: в июне, в начале лета, на озерах почти нет растительности, а в августе не полностью зарастают осокой, которая осенью отмирает и в начале следующего года ее не видно (Рисунок 2.7).

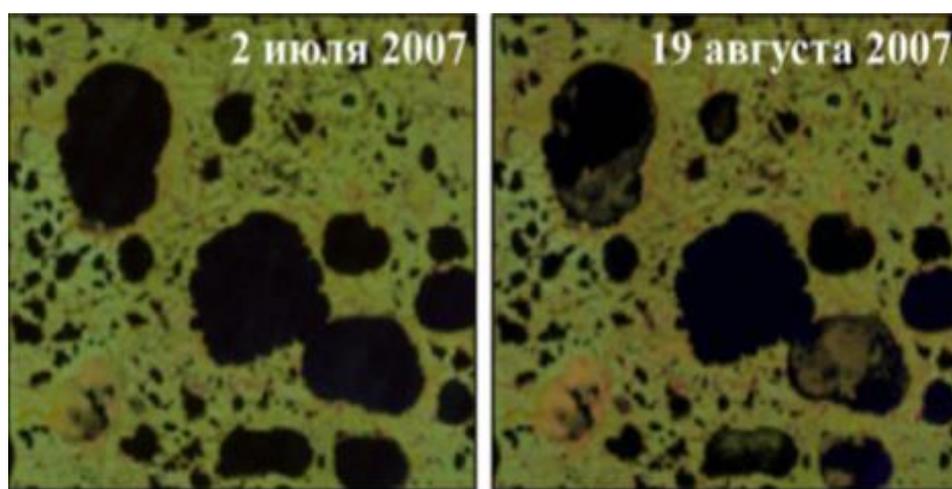


Рис. 2.7 - Изменение водной растительности в течение сезона вегетации в разные годы

Использование разновременных снимков в разные сезоны съемки может привести к ошибкам в анализе многолетних изменений площадей озер. Чтобы избежать принятия сезонных изменений за многолетние нужно брать снимки за близкие даты, которые были получены желательно в августе – сентябре.

## 2.4. ЭТАП ДЕШИФРИРОВАНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Один из основных этапов выявления изменений площадей озёр является этап дешифрирования водных объектов. Его суть заключается в выделении водных объектов на разных по времени снимках в пределах исследуемой территории. Существует два основных метода дешифрирования, применяемые при дешифрировании разных географических объектов. Это автоматизированное и визуальное дешифрирование, у которых есть свои плюсы и минусы.

Бесспорно больше плюсов в использовании автоматизированного метода дешифрирования при работе с аэрокосмическими снимками, а именно со снимками спутника Landsat. На снимках Landsat захватываются различные сектора электромагнитного спектра, в том числе и невидимые для человеческого глаза. Диапазоны длин волн называются спектральными каналами. Каналы описаны в следующей таблице 1:

Таблица 1

Характеристика спектральных каналов спутника Landsat 8

Номер канала	Название	Что этот канал лучше показывает
1	CoastalAerosol	Мелководья, тонкие частицы пыли
2	Blue	Глубоководья, атмосфера
3	Green	Растительность
4	Red	Антропогенные объекты, почвы, растительность
5	Near Infrared	Береговые линии, растительность
6	ShortWaveInfrared_1	Проницаемость облачности, влажность почв и растительности
7	ShortWaveInfrared_2	Улучшенная проницаемость облачности, влажность почв и растительности
8	Panchromatic	Чёрно-белые снимки, чёткие детали
9	Cirrus	Перистые облака
10	Thermal Infrared 1	Термальное картографирование, оценочная влажность почв
11	Thermal Infrared 2	Улучшенное термальное картографирование, оценочная влажность почв

Очень хорошо показывает себя такое дешифрирование при выделении огромного количества озер на большой исследуемой территории по снимкам, которые были получены в инфракрасной зоне, где водные объекты хорошо дешифрируются. На снимках, которые были получены в ближней инфракрасной (0,85-0,88 мкм) и средней инфракрасной (1,57-1,65 мкм) зонах позволяют хорошо выделить границу между сушей и водой. Водные объекты имеют маленькую спектральную яркость и показаны черным цветом на таких изображениях (Рисунок 2.9).

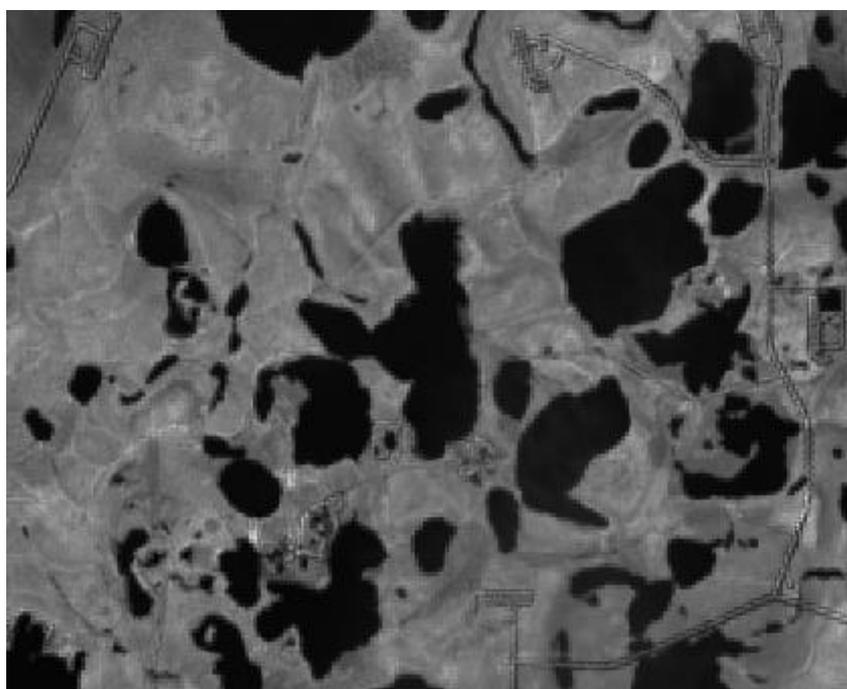


Рис. 2.9 - Изображение водных объектов на снимках в ближней инфракрасной зоне со спутников Landsat

При выделении водных объектов можно использовать разные интерпретации цветовых каналов. Такие интерпретации нужно делать для улучшения видимости и различимости тех или иных дешифрируемых объектов. В данной работе для получения таких изображений использовалась программа QGIS, но можно использовать любое программное обеспечение, которое поддерживает эту функцию.

У снимков съемочной системы Landsat существует много разных интерпретаций каналов. Основные интерпретации каналов, которые были использованы в работе:

1. RGB 321
2. RGB 451

Комбинация «естественные цвета». Комбинация каналов 3-2-1. В этой комбинации используются каналы видимого диапазона, поэтому объекты земной поверхности выглядят похожими на то, как они воспринимаются человеческим глазом. Здоровая растительность выглядит зеленой, убранные поля – светлыми, нездоровая растительность – коричневой и желтой, дороги – серыми, береговые линии – белесыми. Эта комбинация каналов дает возможность анализировать состояние водных объектов и процессы седиментации, оценивать глубины. Также используется для изучения антропогенных объектов. Облака и снег выглядят одинаково белыми и трудноразличимы (Рисунок 2.10).

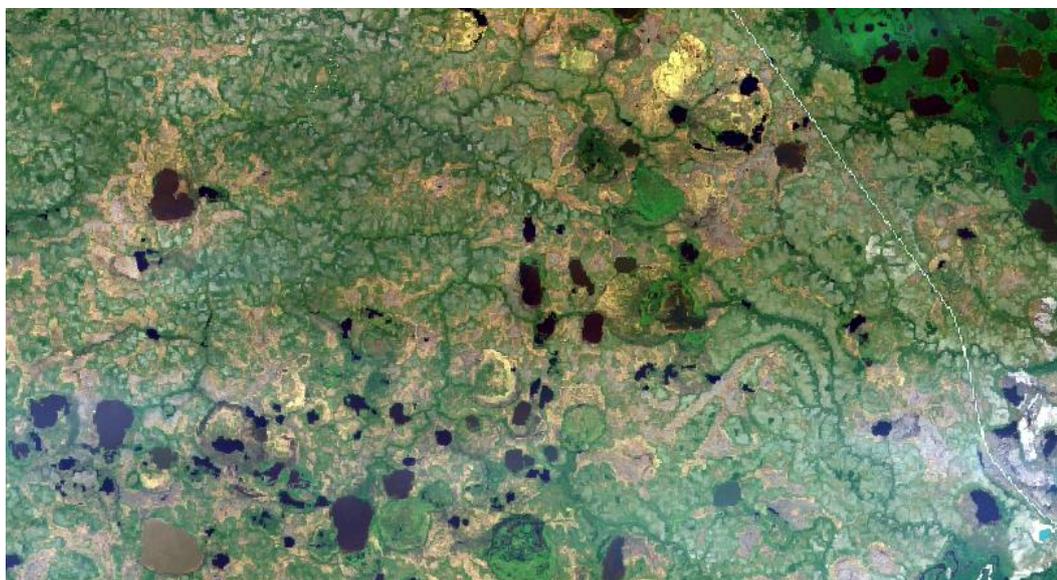


Рис. 2.10 - Комбинация каналов Landat (3-2-1)

Комбинация каналов 5-6-2. Здоровая растительность отображается в оттенках красного, коричневого, оранжевого и зеленого. Почвы могут выглядеть

зелеными или коричневыми, урбанизированные территории – белесыми, серыми и зелено-голубыми, ярко голубой цвет может детектировать недавно вырубленные территории, а красноватые – восстановление растительности или разреженную растительность. Чистая, глубокая вода будет выглядеть очень темно синей (почти черной), если же это мелководье или в воде содержится большое количество взвесей, то в цвете будут преобладать более светлые синие оттенки. Использование комбинации 3-2-1 параллельно с этой комбинацией позволяет различать затопляемые территории и растительность. Эта комбинация малопригодна для детектирования дорог и шоссе (Рисунок 2.11).

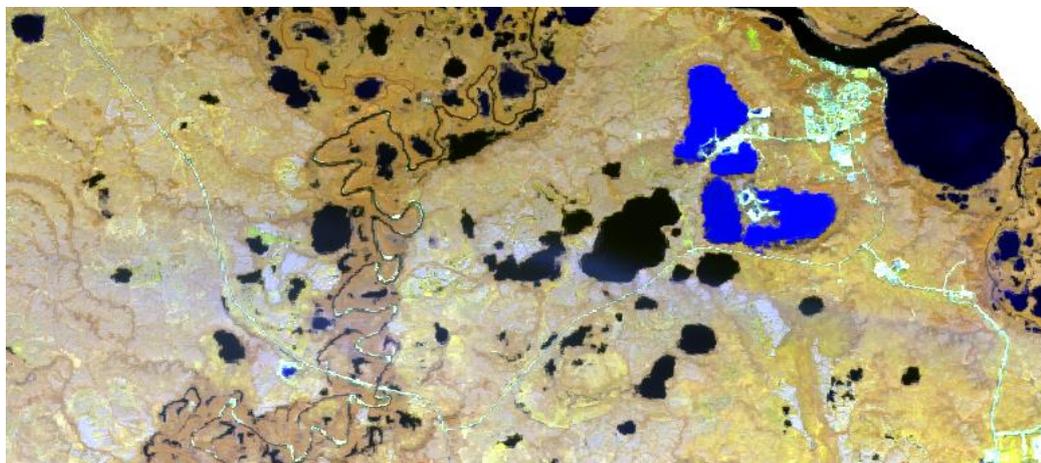


Рис. 2.11 - Комбинация каналов Landat (5-6-2)

Автоматизированное дешифрирование заключается, в том чтобы каждый пиксель был отнесен к определенным классам объектов, в зависимости от подхода классификации. Существует два основных метода: контролируемая классификация (классификация с обучением) и неконтролируемая классификация (кластеризация). В данной работе была использована неконтролируемая классификация.

Существует большое количество алгоритмов неконтролируемой классификации, которые могут быть использованы для получения спектральных классов. Наиболее популярным из них является алгоритм K-means.

Альтернативным является Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques (ISODATA), который представляет собой модификацию базового алгоритма K-means. Целью алгоритма K-means является группировка некоего количества векторов данных в predetermined количество кластеров. Векторы центров кластеров иницируются произвольным образом. Каждый вектор центра тяжести кластера представляет собой среднее всех векторов, принадлежащих кластеру. Для классификации изображения вектор данных представляет собой пиксел изображения. Далее, каждый пиксел присваивается ближайшему среднему, т.е. центру кластера. После того как все пиксели присвоены ближайшим к ним кластерам, среднее каждого класса пересчитывается на основе всех векторов, вошедших в кластер. Процесс повторяется до тех пор, пока средние кластеров не перестанут в значительной степени изменяться.

В качестве способа кластеризации в этой работе выбран способ кластеризации ISODATA. Модуль Semi-Automatic Classification Plugin (SACP) в программе QGIS позволяет проводить данные кластеризации снимков. Выбирается метод K-means или ISODATA. После выбора метода относительно уже известной информации о ландшафтах территории, а точнее их количества, выставляем значения количества получаемых классов "Number of classes" и количество итераций для улучшения каждого последующего результата за один процесс расчета "Max number of iterations". Отдельно для метода ISODATA выставляем значение минимального количества пикселей в классе, чтобы избежать значительной разбивки территории на сильно мелкие площади вплоть до одного пикселя. Выбираем алгоритм расчета дистанции между значениями для их объединения: алгоритм минимального расстояния "Minimal Distance" либо алгоритм спектрального отображения угла приема датчика спутника "Spectral Angle Mapping" (Рисунок 2.12).

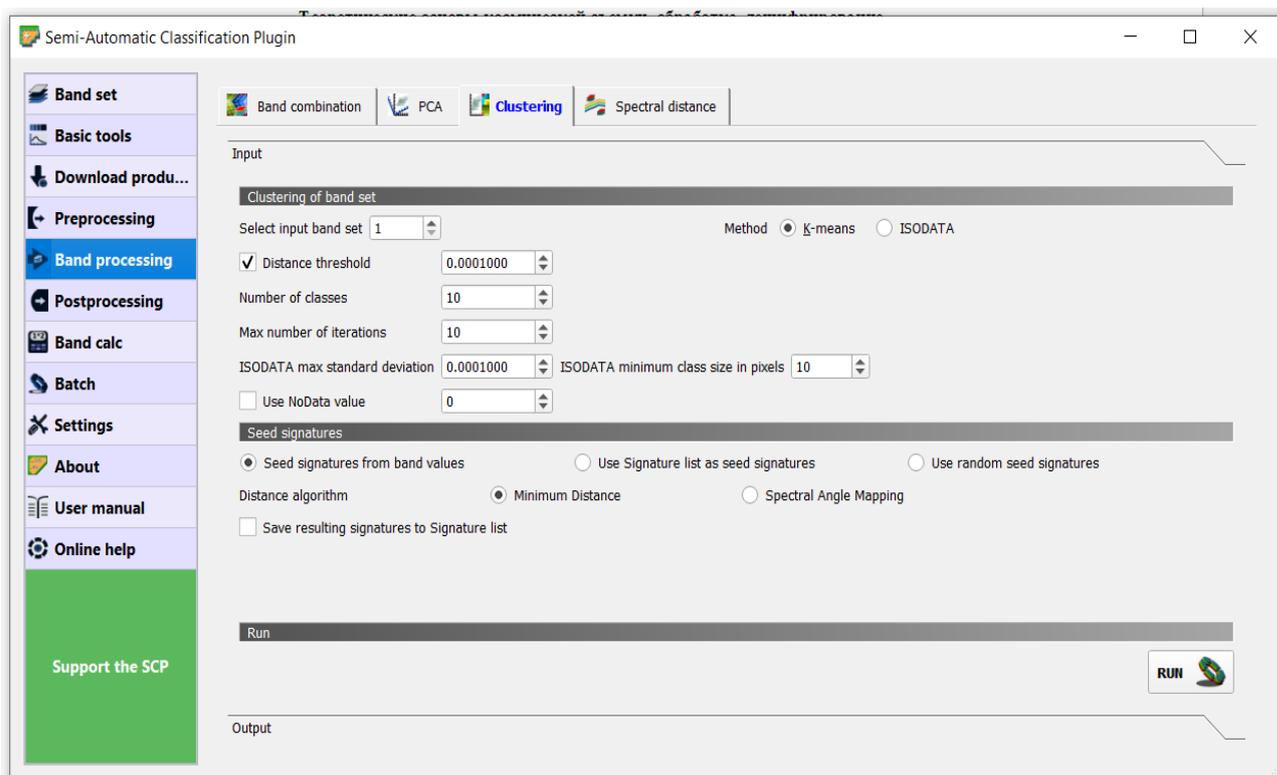


Рис. 2.12 - Ввод параметров для кластеризации в модуле Semi-Automatic Classification Plugin

Для более хорошего выделения водных объектов при дешифрировании результат кластеризации нужно проверять и если кластер водных объектов не показывает необходимого результата, пробовать делать кластеризацию, изменяя исходные параметры (например, увеличить или уменьшить количество выделяемых кластеров).

При получении необходимого результата, из выделенных кластеров нужно выбрать класс водных объектов, а все остальные удалить. В результате, по каждому снимку, который будет проанализирован на изменения площади озер, должна быть получена растровая модель полученных данных, в которой содержится изображение водных объектов – озер, рек и морей (Рисунок 2.13).

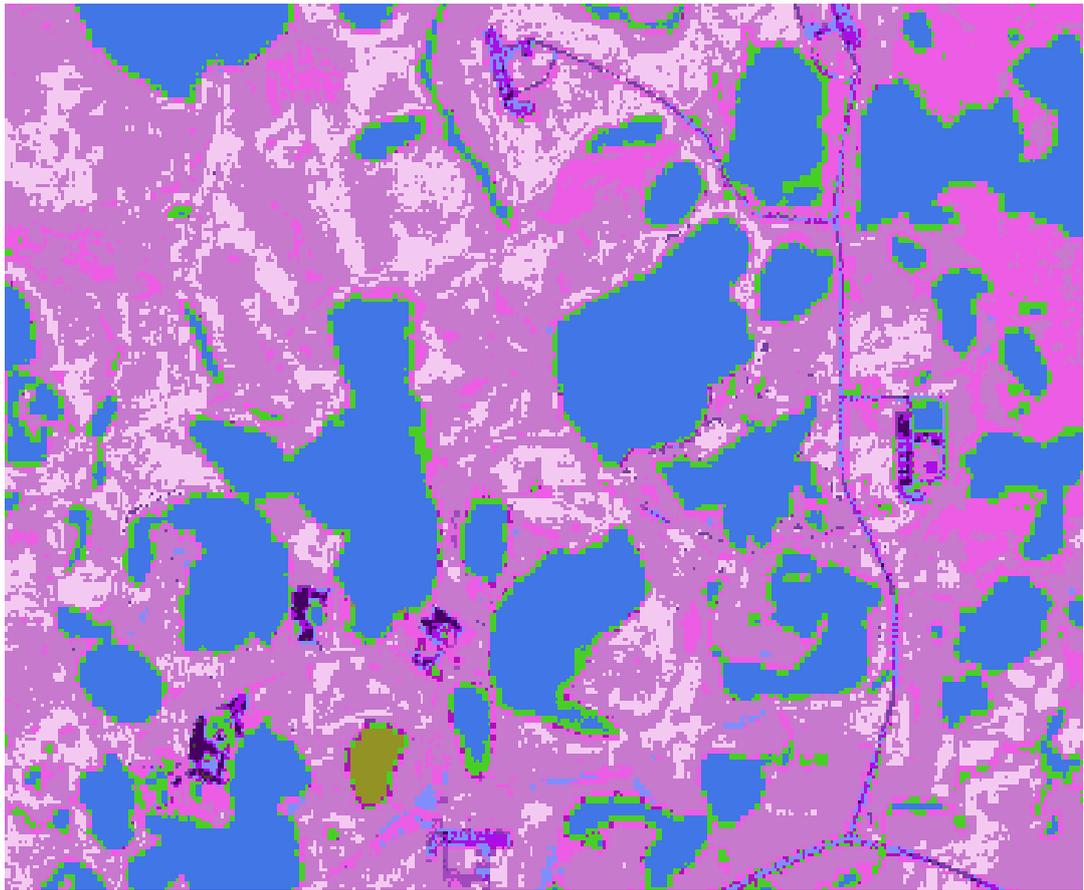


Рис. 2.13 - Результат автоматизированного дешифрирования водных объектов по снимкам со спутника Landsat на основе кластеризации ISODATA

Кроме выделения водных объектов на космических снимках в результате кластеризации ISODATA можно также сделать дешифрирование озер на основе модифицированного стандартизованного индекса различий воды MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)(Рисунок 2.14):

$$MNDWI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR) \square \square$$

, где SWIR – значения пикселей из коротковолнового инфракрасного канала

GREEN – значения пикселей из зеленого канала

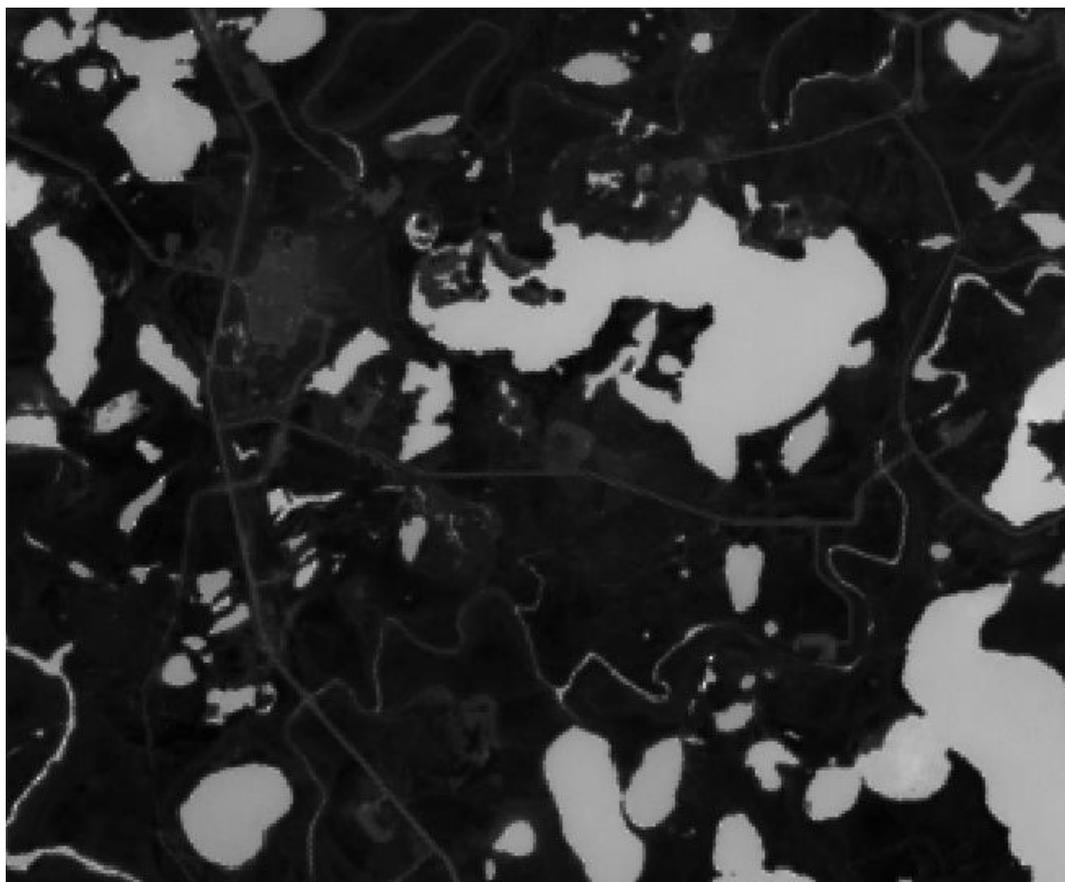


Рис. 2.14 - автоматизированное дешифрирование озер на основе модифицированного стандартизованного индекса различий воды MNDWI

Модифицированный стандартизованный индекс различий воды (MNDWI) использует зеленый канал и канал SWIR для улучшения отображения объектов открытых водных пространств. Он также снижает значения областей застройки, которые часто коррелированы с открытыми водными пространствами в других индексах. Светлым цветом показаны открытые водные объекты(озера). Более темные участки показаны места, которые находятся в близи водных объектов (болота, антропоген и т.д.)

Однако на значение индекса может влиять, некоторые факторы, например, качество воды в озере, мутность, и помимо этого небольшая площадь водной поверхности, что приводит к плохому отображению озера.

## 2.5. ЭТАП ВЫЯВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПЛОЩАДИ ОЗЕР

Этап выявления изменений площадей озер является главным этапом при изучении динамики озер. На этом этапе необходимо обработать результаты дешифрирования, а именно, перевести изображение из растра в вектор (векторизация); объединить водные объекты, которые состоят из нескольких векторных объектов; сложить обработанные и отдешифрированные изображения с местоположением изменившихся озер для выявления изменений площадей, основанных на количественной и визуальной оценки.

При дешифрировании озер по паре разновременным аэрокосмоснимкам было получено два растровых изображения. Для того чтобы провести сравнение площадей и проследить динамику изменений, необходимо посчитать площади, что в растровом изображении сделать нельзя. Нужно провести растрово-векторное преобразование – векторизацию, чтобы непрерывные группы пикселей растра объединить и сформировать в полигоны. Данную операцию можно сделать в любой программе, поддерживающей эту функцию, например в программном обеспечении ArcGIS (Рисунок 2.15).

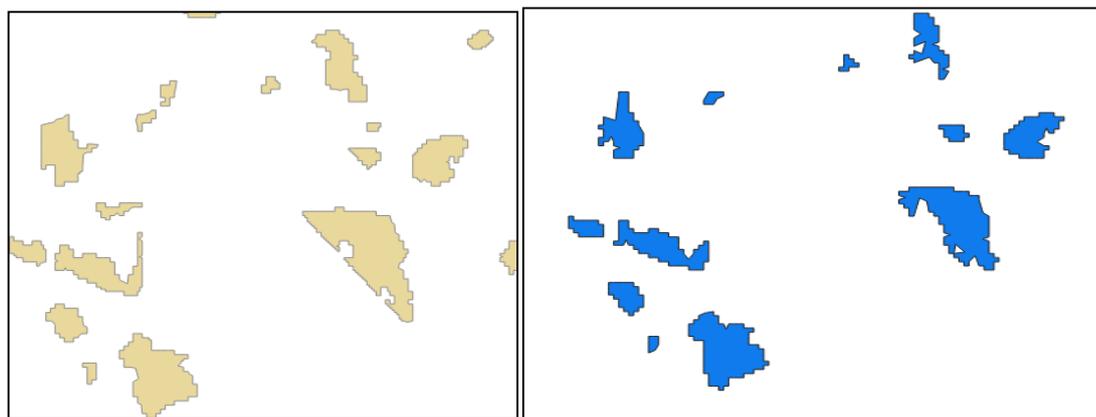


Рис. 2.15 - Результат векторизации растровой модели представления данных  
(2009 год; 2019 год)

В результате векторизации почти все озера стали отдельными объектами кроме тех озер, которые состоят из нескольких частей и имеют общие точки.

Возможные примеры таких объектов представлены на рисунке 2.16 - А., где водоемы обведены разными цветными линиями и отнесены к разным векторным объектам. Группы объектов “а” и “б”; “в” и “г”; “д” и “е”; “ж”, “з” и “и” имеют общие точки и являются частями единых водных объектов, поэтому каждую из них группу нужно объединить в один водоем. Объединение таких объектов нужно сделать для каждого векторного слоя из двух сравниваемых одновременных данных (Рисунок 2.16 - Б).

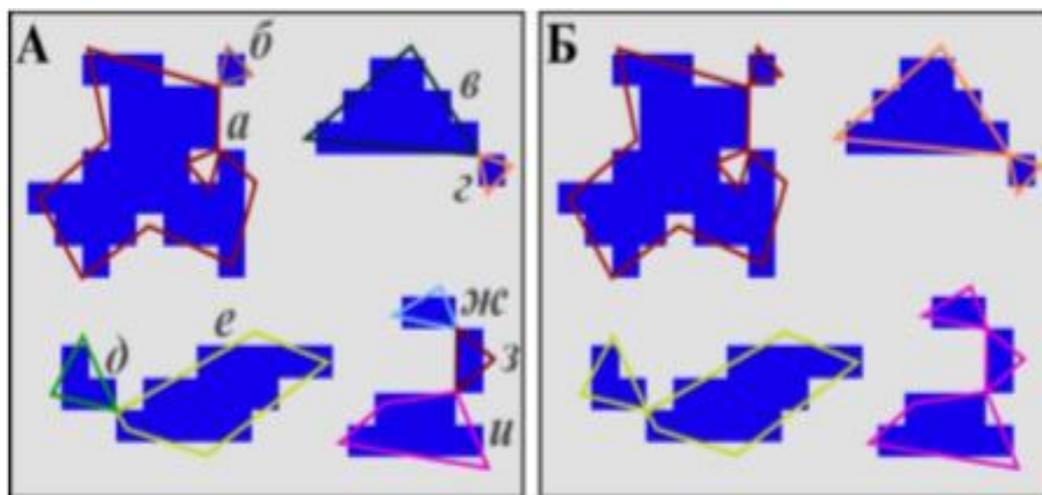


Рис. 2.16 - Озера, состоящие из нескольких частей, имеющих общие точки: А – до операции объединения, Б – после операции объединения

Также нужно брать во внимание, что со временем водный объект может быть сформирован из нескольких частей. Или наоборот может быть разделен на несколько водоемов. Для того чтобы не было в дальнейшем ошибок в определении изменений площадей озер, нужно объединить отдельные части озера в один объект, которые раньше были одним озером, образовавшиеся при уменьшении площади озера, а также отдельные части озер, которые слились в одно при увеличении площади озер.

Для того чтобы выявить те или иные изменения объектов можно использовать различные программные особенности. В данной работе

использовался инструмент “Результат”, который складывает выбранные слои в одно изображение (Рисунок 2.17).

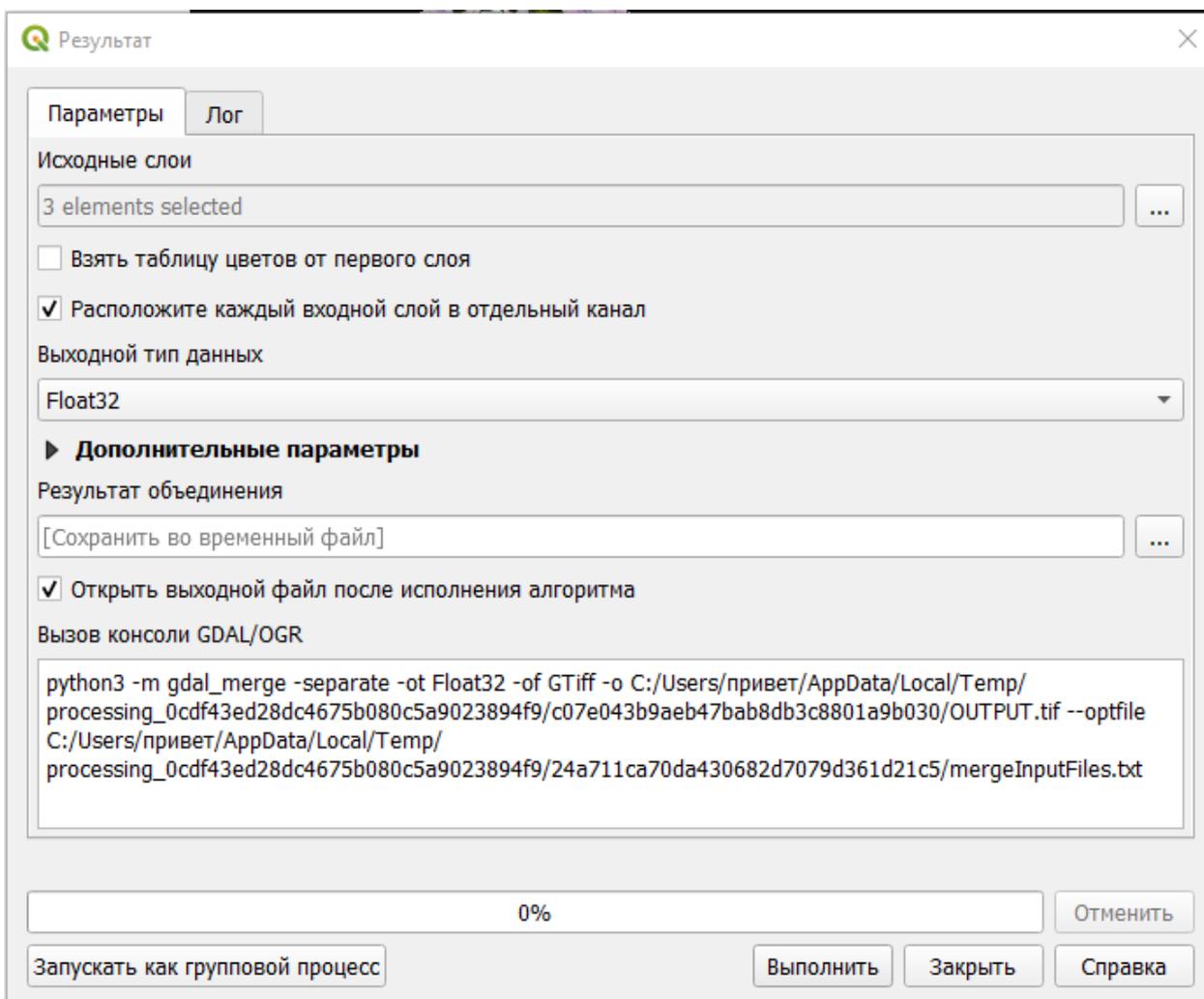


Рис. 2.17 - Выбор слоев в инструменте “Результат” в программе QGIS

Благодаря уже упомянутым свойствам каналов данных, их расположение в правильном порядке позволяет получать различного рода информацию, среди которой являются и разновременные композиты. Выставляя каналы по различным спектрам из снимков разных дат, можно выявлять участки, которые испытали изменения: заболачивание, пожары, освоение территории человеком и так далее.

В данной работе, чтобы проследить изменения водных объектов использовалось сложение каналов за 2009 и 2019 год, NIR2019 - NIR2009 - SWIR\_1 2019. В результате получилось изображение (Рисунок 2.17), на котором можно проследить как изменились водные объекты за 10 лет. На данном изображении желтым цветом выделяются водные объекты, которые уменьшились в размере, а синим цветом, которые увеличились. Также не стоит забывать, что если облака присутствуют на снимке, то их программа будет относить к водным объектам. Для этого чтобы не было ошибок в анализе, нужно проверять себя с исходными снимками.

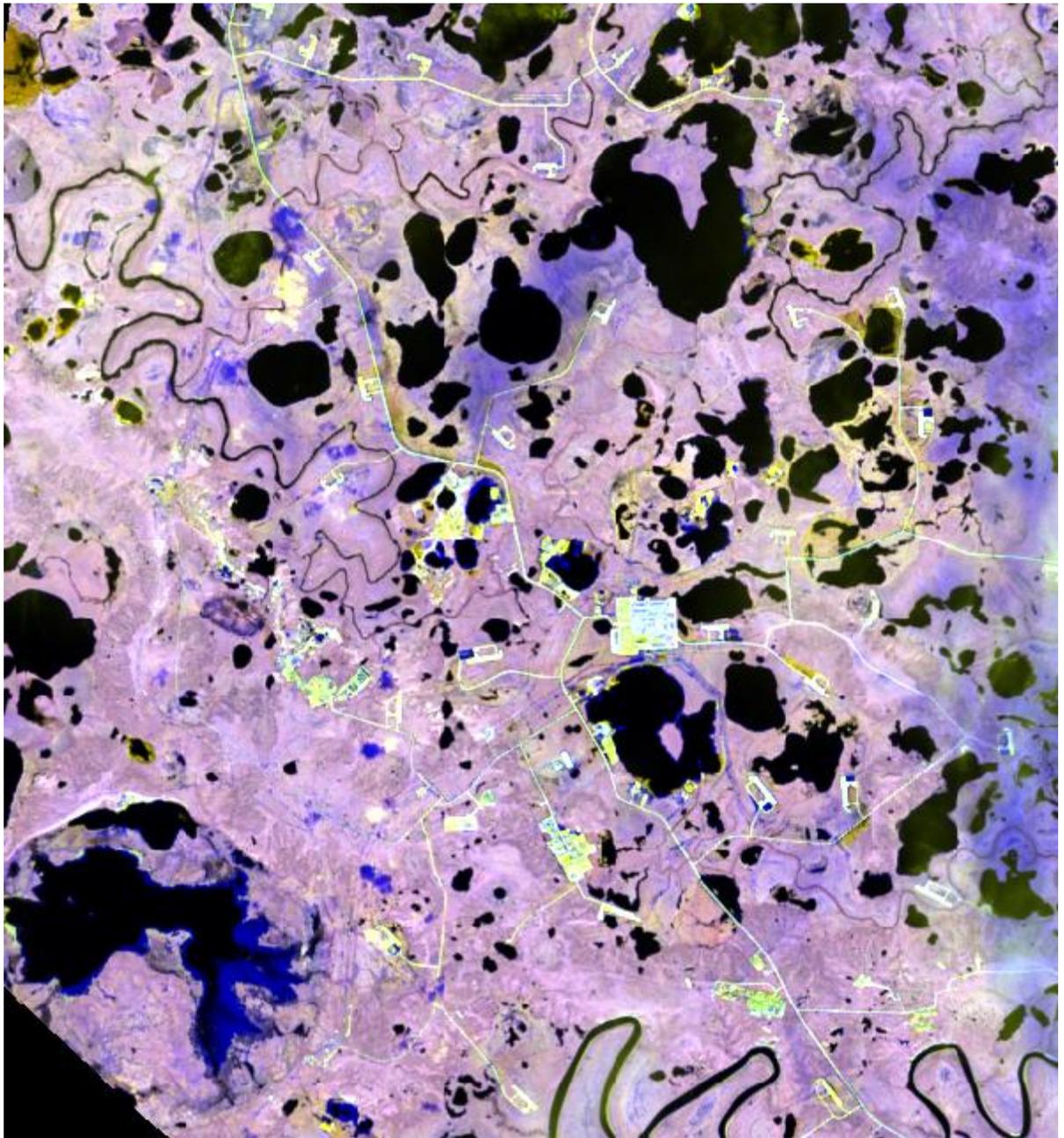


Рис. 2.18 - Фрагмент временного композита

## 2.6 АНАЛИЗ ВЫЯВЛЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

Анализ выявленных изменений площадей озер заключается в поиске причин этих изменений. В основе этого анализа лежит выявление причин и появление последствий, которые происходят с водными объектами на исследуемой территории. В данном случае озеро принимается уже не как объект, который выражен как вектор или раст, не как часть аэрокосмоснимка, а как географический водный объект, который имеет связь с другими объектами и окружающей средой.

Согласно обзору литературы на развитие изменений площади, увеличение или уменьшение, влияет ряд некоторых факторов. К этим факторам можно отнести: изменение теплового баланса (например, при потеплении климата), наличие высокольдистых многолетнемерзлых пород, влияние на которые будет активизировать криогенные процессы (например, термокарст или термоцирк), изменение водного баланса (например, изменение количества атмосферных осадков), влияние техногенных процессов.

Чтобы проследить изменения водного и теплового баланса в анализе должны быть учтены метеоданные с метеостанций, которые характеризуют исследуемые участки (количество атмосферных осадков, изменение температуры воздуха и др.). Нужно рассматривать изменения в течение всего периода исследования.

Чтобы выявить влияние техногенного воздействия нужно оценивать наличие объектов антропогенной деятельности, особенно, которая связана с разработкой и обустройством нефтяных и газовых месторождений, в близости от озер, площадь, которых подверглась изменениям.

Анализ возможного влияния перечисленных факторов на изменения площадей озер, который был выполнен в северных районах Западной Сибири, описаны в главах, посвященные результатам исследований динамики озер.

## ГЛАВА 3. ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ЯМАЛ

### 3.1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Первая область исследования расположена на Центральном Ямале в районе Бованенковского НГКМ и научно-исследовательского стационара «Васькины Дачи» (Рисунок 3.1).

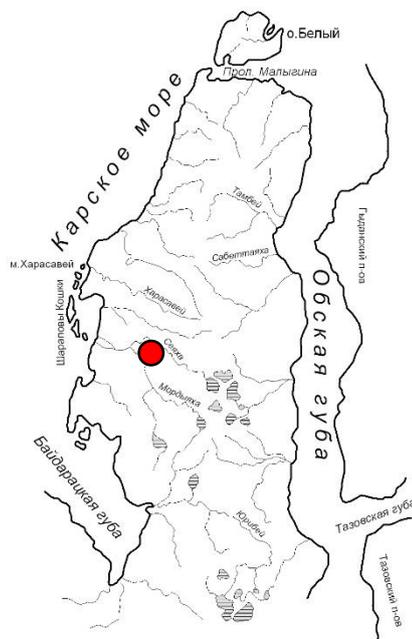


Рис. 3.1 - Расположение первого участка проводимых исследований

Территория представляет собой эрозионно-аккумулятивную морскую равнину, плоскую и холмисто-увалистую. Рельеф образован системой уровней морских равнин и террас, абсолютные отметки которых колеблются от 1-5м на лаиде, до 80-90м на равнине плейстоценового возраста. Поверхность территории местами сильно изрезана речными долинами и овражной сетью с максимальной глубиной расчленения до 50-70м. В условиях избыточного увлажнения, недостаточной теплообеспеченности, сплошного развития ММП широко развиты криогенные процессы, которые приводят к образованию полигональных и пучинных форм рельефа, термокарстовых западин, способствуют активизации овражной термоэрозии и склоновых криогенных процессов. Характерным типом рельефа являются днища спущенных озёр (хасыреев).

Поймы занимают более половины территории. Они имеют плоскую, сильно заозеренную и заболоченную поверхность с абсолютными отметками от 0,5 до 9,0 м. Основными формами рельефа на поймах являются русла рек и ручьев, многочисленные озерные котловины, спущенные или занятые водой.

Озера региона характеризуются морфологическим и генетическим разнообразием. Большинство озер на поймах являются старичными и термокарстовыми, а на морской террасе - термокарстовыми и подпрудными. Большая часть озер района - сточные, для них характерно незначительное колебание уровня воды, максимальный подъем которого отмечается весной. Большинство озер связаны между собой протоками и ручьями, что обуславливает стабильность их уровнённого режима.

Один из важных элементов во всей гидрологической сети являются болота, так как они находятся на половине площади региона. Наиболее важными в гидрологическом отношении следует считать травяные низинные болота на поймах. Эти болота имеют прямую гидравлическую связь с озерами, что увеличивает площадь поверхности, реагирующей на выпадение дождей, приводит к быстрому подъему уровня воды в ручьях и реках. Большой стабилизирующий эффект имеют полигонально-валиковые болота на поймах, а также плоско-бугристые торфяно-минеральные болота на водоразделах, которые обладают максимальной водоудерживающей способностью. Временная аккумуляция болотами части жидких осадков обуславливает медленный спад паводков на реках и обеспечивает их устойчивое питание при отсутствии дождей.

Высокоширотное расположение района обуславливает низкие среднегодовые температуры воздуха, небольшую испаряемость, избыточное увлажнение, неустойчивость погодных условий. Здесь формируется климат с холодным летним периодом и умеренно суровой малоснежной зимой. Среднегодовая температура воздуха составляет  $-9...-8,8^{\circ}\text{C}$ . Переход среднесуточной температуры через  $0^{\circ}$  весной происходит в конце мая – начале июля, осенью – в конце третьей декады сентября. Наиболее характерные в

зимнее время температуры воздуха  $-20\dots-30^{\circ}\text{C}$ . Максимальные среднемесячные температуры воздуха отмечаются в июле-августе и составляют  $6-7^{\circ}\text{C}$  (Рисунок 3.2) [Геокриология СССР. Западная Сибирь, с. 169].

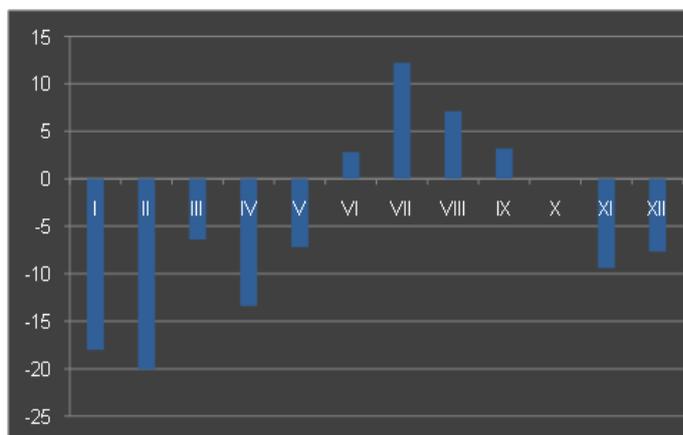


Рис. 3.2 - Среднемесячная температура: данные ГМС – пункт Марре-Сале

Сумма осадков около 300-350 мм, сильные ветры, сдувающий снежный покров в понижения рельефа и овраги, способствует развитию разреженного растительного покрова на возвышенных участках, редкого кустарника на склонах холмов, небольших моховых болот в днищах и озерных термокарстовых котловин (Рисунок 3.3) [Геокриология СССР. Западная Сибирь, с. 169].

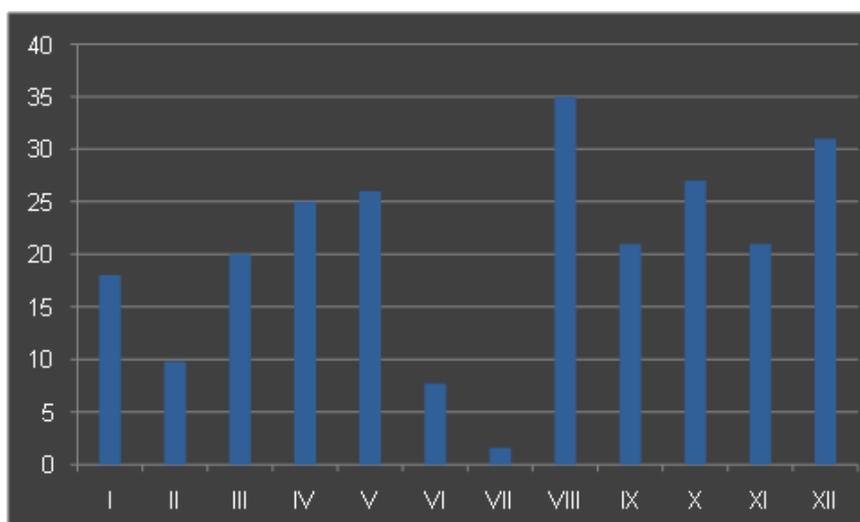


Рис. 3.3 - Количество атмосферных осадков: данные ГМС – пункт Марре-Сале

### 3.2 ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

На всей изучаемой территории развит сплошной и мощный покров четвертичных отложений слагающий различные геоморфологические уровни.

Район относится к Западно-Ямальскому району развития низких плоских позднечетвертичных морских террас.

Генезис этих отложений преимущественно морской. В геологическом строении основная роль принадлежит четвертичным морским отложениям, которые образуют в рельефе морские равнины и террасы разной высоты. Континентальные, преимущественно озерно-аллювиальные, отложения имеют подчиненное значение и формировались после регрессии морского бассейна. Эта точка зрения обоснована многочисленными исследованиями, обладает стройностью и логичностью.

Наиболее древними четвертичными отложениями в этом районе, являются среднечетвертичные гляциально-морские отложения салехардской свиты. Мощность их не менее 50-60 м. Из верхнечетвертичных отложений наибольшее распространение получили морские и прибрежно-морские отложения казанцевской свиты (mIII1) [Трофимов В.Т., 1975, с.72].

Верхнечетвертичные и голоценовые отложения представлены песками, суглинками морского генезиса. Лишь незначительная доля молодых верхнечетвертичных и голоценовых отложений имеет континентальное происхождение. Формирование их происходило в небольших речных долинах и озёрных котловинах. Мощность аллювиальных и озёрных отложений изменяется от 2-5 м до 8-10 м. На всех уровнях в пониженных заболоченных участках формируются биогенные отложения мощностью 0,5-2 м.

Важнейшей особенностью природной обстановки района является широкое развитие многолетнемёрзлых пород. Район расположен в зоне сплошного распространения ММП, что обусловлено малыми величинами радиационного баланса, низкими среднегодовыми температурами воздуха, незначительной мощностью снежного покрова и т.п.

Вне акваторий ММП залегают непосредственно под слоем сезонно-талых пород на всех элементах рельефа. Под большинством озёр формируются несквозные талики мощностью несколько десятков метров. Мощность ММП изменяется в достаточно широких диапазонах – от менее чем 50 (в пределах первой террасы) до 100-150 м (на второй и третьей морских террасах) [Трофимов В.Т., 1975, с.72].

В районе работ широко развиты криогенные процессы и явления. Однако не все они получили здесь достаточное развитие. Это связано с различными местными условиями такими как состав пород, их влажность, глубины сезонного оттаивания и т.п.

Широким распространением сильнольдистых мёрзлых пород на территории обусловлено столь же широкое развитие термокарста и термоэрозии, во многом создающих основные черты современной морфоструктуры рельефа поверхности как междуречных морских равнин, так и террас морского, лагунно-морского, озёрного и аллювиального происхождения. Изменение термического режима мёрзлых грунтов – главная причина развития термокарста, т.к. оно ведёт к увеличению глубины сезонного протаивания, что влечёт за собой таяние льда и просадку поверхности. Последовательное увеличение просадки поверхности неизбежно приведёт к изменению внешних условий – накоплению снега, увлажнению пород, изменению растительного покрова и т.д. Многообразие форм термокарста в целом на полуострове обычно обусловлено морфологией ледяных включений разного генезиса, особенностями рельефа земной поверхности. При вытаивании ПЖЛ в массивах породы, прилегающих к обрывистым берегам озёр, в воду оползают целые блоки-полигоны [Геокриология СССР. Западная Сибирь, с. 173].

### 3.3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ЦЕНТРАЛЬНОМ ЯМАЛЕ

В пределах из участка были выделены и проанализированы многолетние изменения площади озер по паре разновременных космических снимков со спутника Landsat (Таблица 2).

Таблица 2

Космические снимки, использованные для анализа многолетних изменений площадей

Дата съемки	Съемочная система
25.08.2009	Landsat - 5
21.08.2019	Landsat - 8

Снимки за первую дату были использованы снимки со спутника Landsat - 5 за конец августа 2009 года (Приложение 1). За конечную дату были использованы космические снимки со спутника Landsat - 8 за середину-конец 2019 года (Приложение 2). Также на некоторые места участков были использованы снимки высокого разрешения.

На участке исследований в районе Бованенковского нефтегазакондаенсатного месторождения и научно-исследовательского стационара «Васькины Дачи» было выделено и проанализировано 830 озер (Таблица 3)

Таблица 3

Характеристика озер по современным снимкам спутника Landsat за 2009 год

малые озера	менее 0,1 га	0	0%
	0,1-0,5 га	33	4%
средние озера	0,5-1 га	126	15%
	1-10 га	449	54%
крупные озера	10-100 га	195	24%
	более 100 га	27	3%

На участке преобладают озера среднего размера, в основном от 1-10 га, которые составляют больше половины выделенных озер (54%). Крупные озера,

больше 10 га, составляют 27% от всех озер. Мелких озер, меньше 0,5 га было выделено 33, что составляет 4%. В результате было определено количество озер, площадь которых уменьшилась, количество озер, площадь которых увеличилась и изменение площади озер в км<sup>2</sup> (Таблица 4).

Согласно полученным данным в пределах участка наблюдаются как увеличение, так и уменьшение количества озер разной площади (Приложение 3). Уменьшение количества происходит в каждом из видов озер на 1-2%, увеличение прослеживается только у средних озер размером от 0,5-1 га, увеличение количества наблюдается на 3-5%. Уменьшение преобладает над увеличением как по количеству изменившихся озер, так и по величине изменения площади озер (Таблица 5).

Таблица 4

Изменение площади озер, выявленные в пределах первого участка исследований

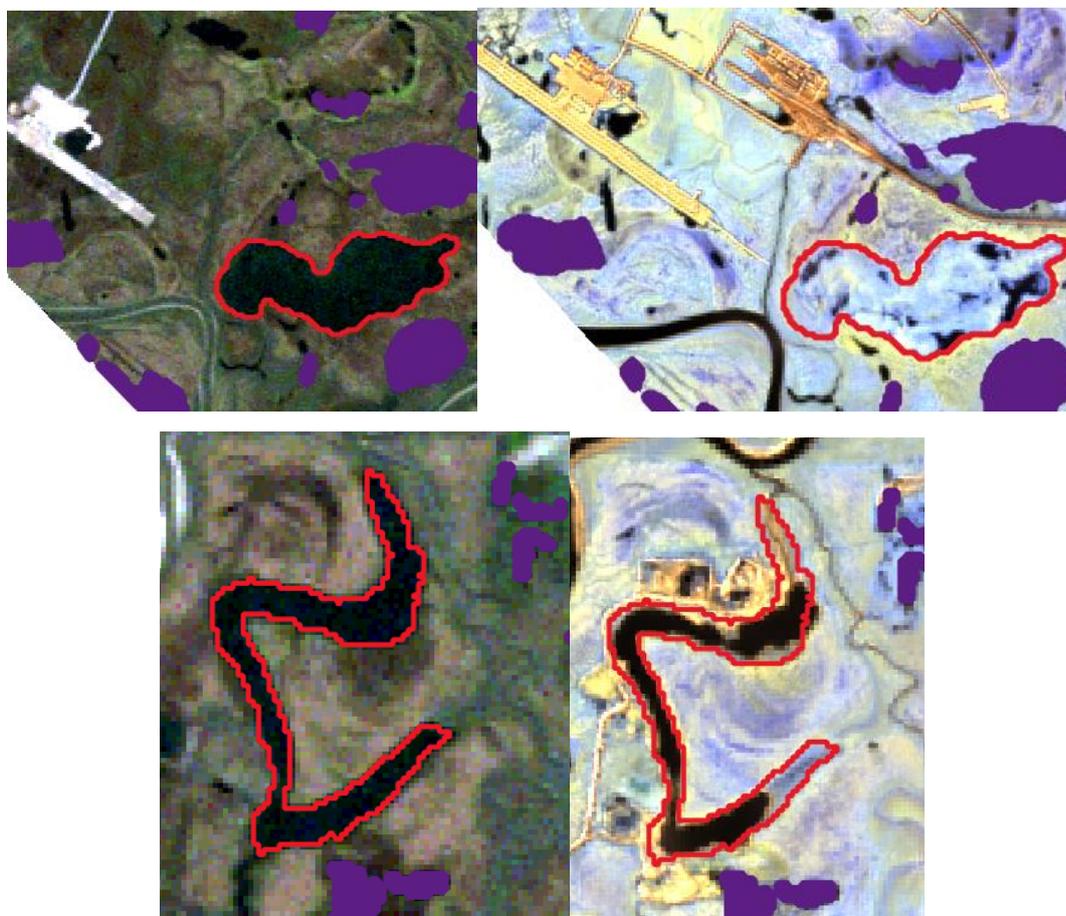
Количество уменьшившихся озер			Изменение площади уменьшившихся озер	Количество увеличившихся озер			Изменение площади увеличившихся озер
Техногенное воздействие	8	25	-11,07 км <sup>2</sup>	Техногенное воздействие	9	15	+4,1 км <sup>2</sup>
Природные процессы	17			Природные процессы	6		

## Характеристика озер по современным снимкам спутника Landsat за 2019

год

малые озера	менее 0,1 га	0	0%
	0,1-0,5 га	29	3%
средние озера	0,5-1 га	144	18%
	1-10 га	440	53%
крупные озера	10-100 га	190	23%
	более 100 га	27	3%

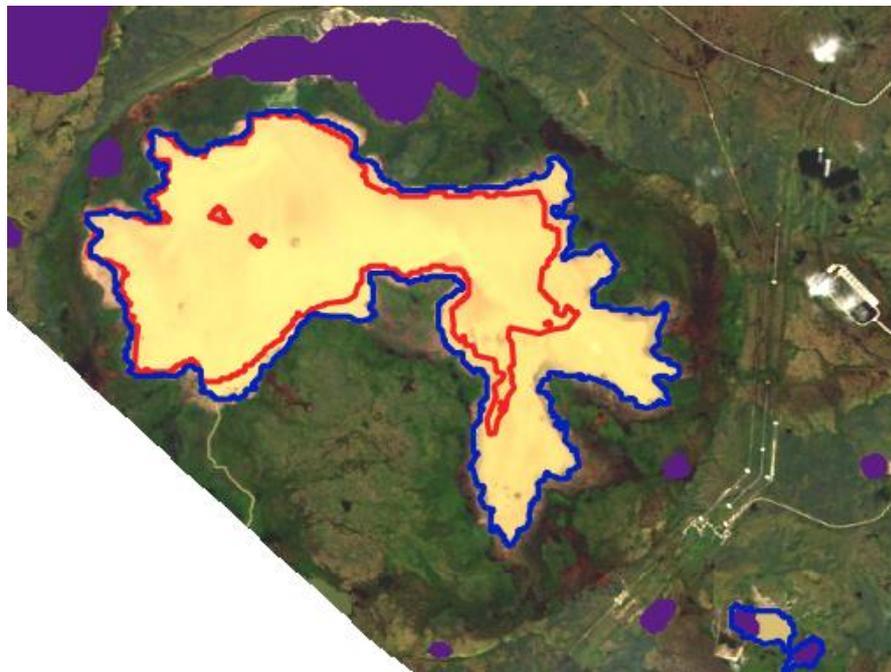
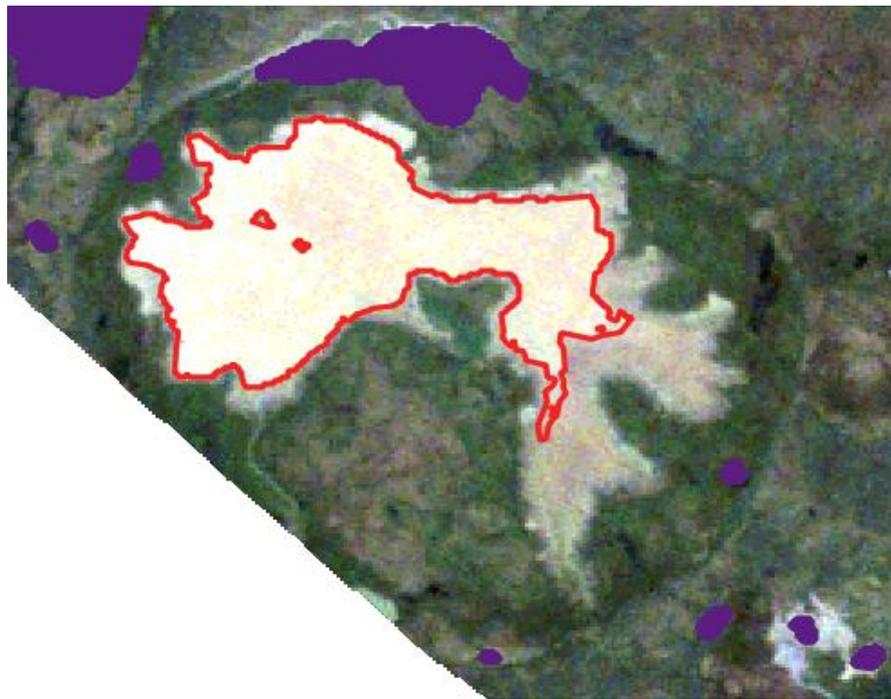
В пределах этого участка отмечается уменьшение озер, которые расположены рядом с объектами инфраструктуры. Антропогенная деятельность по откачке подземных вод, закачке растворов в пласты приводит к изменению уровня грунтовых вод. Сооружение многочисленных дамб для дорог, нефтепроводов, вызывает нарушение поверхностного стока, заболачивание, изменение направления или характера течения ручья, дополнительно питающего озеро, что в свою очередь приводит к изменению площади озер (Рисунок 3.4).



- озера, не изменившиеся
  - уменьшение площади

Рис. 3.4 - Уменьшение площади озера из-за влияния антропогенной деятельности (август 2009 года - август 2019 года)

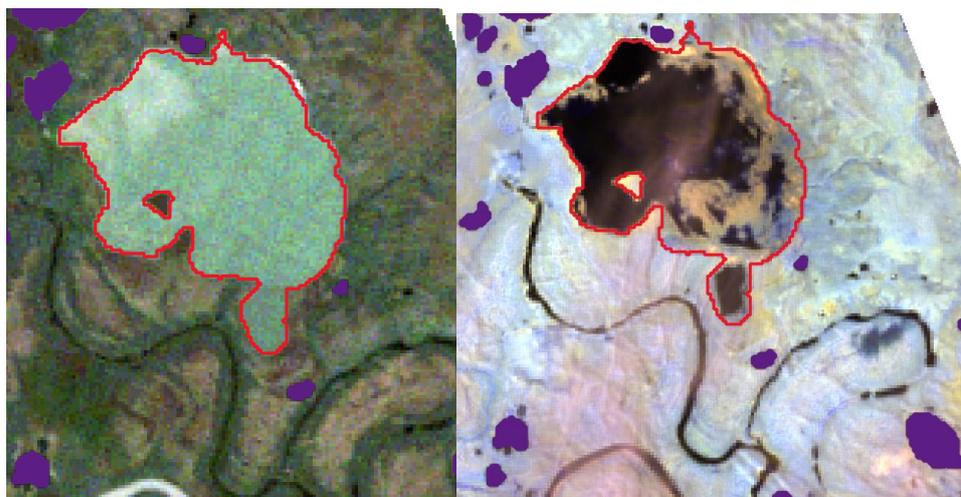
На представленном участке процесс уменьшения площадей озер преобладает над увеличением. Однако антропогенное воздействие проявляется не только в уменьшении площади озер, но и в увеличении. Изменения представляет собой результат антропогенной деятельности, связанной с разработкой нефтегазовых месторождений. Увеличившиеся озера, как правило, расположены рядом с дорогами или насыпными кустовыми площадками скважин (Рисунок 3.5)



- - 
  -
- озера, не изменившиеся
  - увеличение площади и появление озер
  - граница озера в 2009 году

Рис. 3.5 - Увеличение площади озера из-за влияние антропогенной деятельности (август 2009 года - август 2019 года)

На участке присутствуют озера, которые уменьшились в размерах, эти изменения площадей мало зависят от деятельности человека. Основными причинами является эрозионная деятельность рек, очень часто спущенные озера расположены рядом с водотоками; часто также происходит зарастание озер растительностью. Возможно, имеются и другие причины, но для выявления причин уменьшения площади каждого конкретного озера требуется дополнительные исследования (Рисунок 3.6).

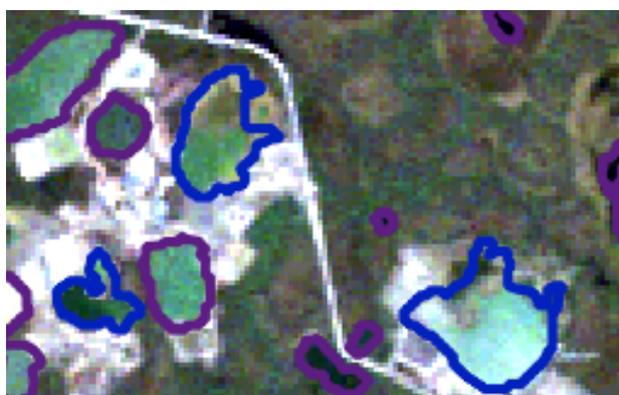


 - озера, не изменившиеся  - уменьшение площади

Рис. 3.6 - Уменьшение площади озера из-за влияния деятельности реки  
(август 2009 года - август 2019 года)

На основе сопоставления разновременных снимков для этого участка наблюдается, что у некоторых озер, у которых произошли изменения в площади, также были изменения и в цвете воды. Замечено, что у некоторых озер, которые находятся рядом с дорогами и кустовыми площадками произошло увеличения площади озер и изменение цвета воды. Также есть озера, площадь которых не изменилась, а цвет поменялся. Судя по снимкам Landsat, предполагается, что изменение площади и цвета связаны с обустройством площадок. И если по окончании обустройства площадки площадь озера вернуть в его первоначальное состояние нельзя, то цвет озера постепенно возвращается в то состояние, которое

было до освоения этой местности. Для того, чтобы более точно знать, что влияет на цвет озера, нужно проводить дополнительные исследования (Рисунок 3.7).



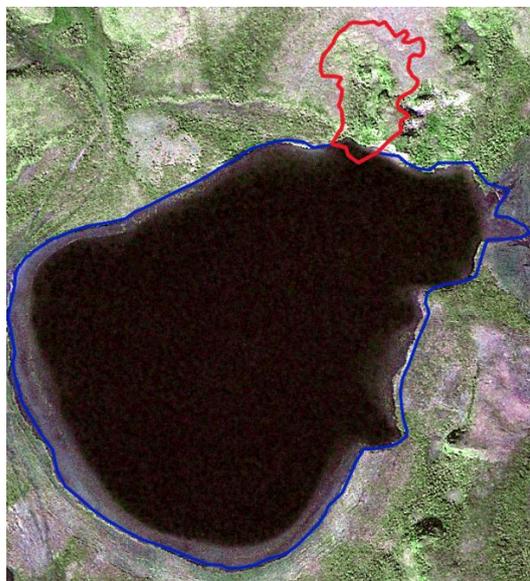
 - изменение цвета и площади

 - изменение цвета

Рис. 3.7 - Изменения площадей и цвета воды озер на территории техногенного воздействия (август 2009 года - август 2019 года)

Если по космическим снимкам Landsat можно проследить как изменилась площадь и цвет озера при антропогенной деятельности, то изменения, где главную роль играют криогенные процессы, можно только на снимках высокого разрешения. При сопоставлении таких снимков наблюдается, что у некоторых озер в течение времени начинается изменяться цветность озера, хотя техногенного воздействия так такого нету. После анализа снимков, было выявлено, что одна из причин изменения цвета является активизация

термоденудационных процессов, которые вносят разного типа вещества в водоем, из-за чего происходит изменение цвета. В связи с тем, что активизируются термоденудационные процессы, начинают образовываться термоцирка, которые хоть и в малой степени влияют на площадь озера (Рисунок 3.8).

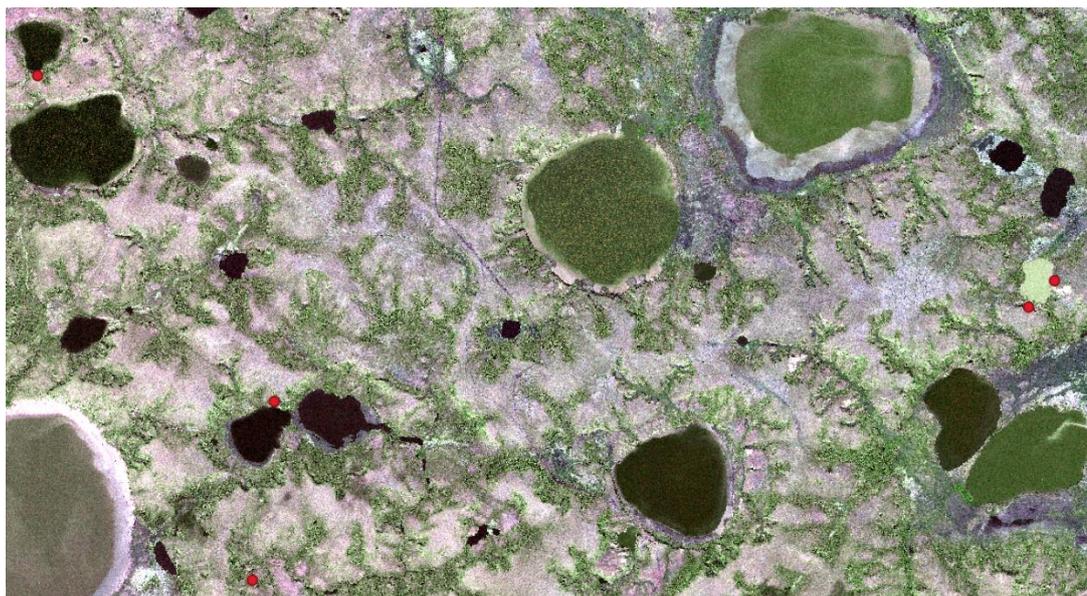


-  - изменение цвета и площади
-  - образование термоцирка

Рис. 3.8 - Изменение площади и цвета воды из-за активизации термоденудационных процессов

По данным дистанционного зондирования после 2009 года на берегах озер активизировалось 5 термоцирков, что предполагается влияет на цветность водоемов. (рисунок 3.9).

Из всего этого, можно сделать предположение, что изменение цветности озера является индикатором активизации и увеличения активности термоденудационных процессов по берегам озера.



● - образование термоцирка

Рис. 3.9 - Изменения цвета озер из-за влияния термоденудационных процессов (2009 год - 2018 год)

## ГЛАВА 4. ПУР-ТАЗОВСКОЕ МЕЖДУРУЧЬЕ

### 4.1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

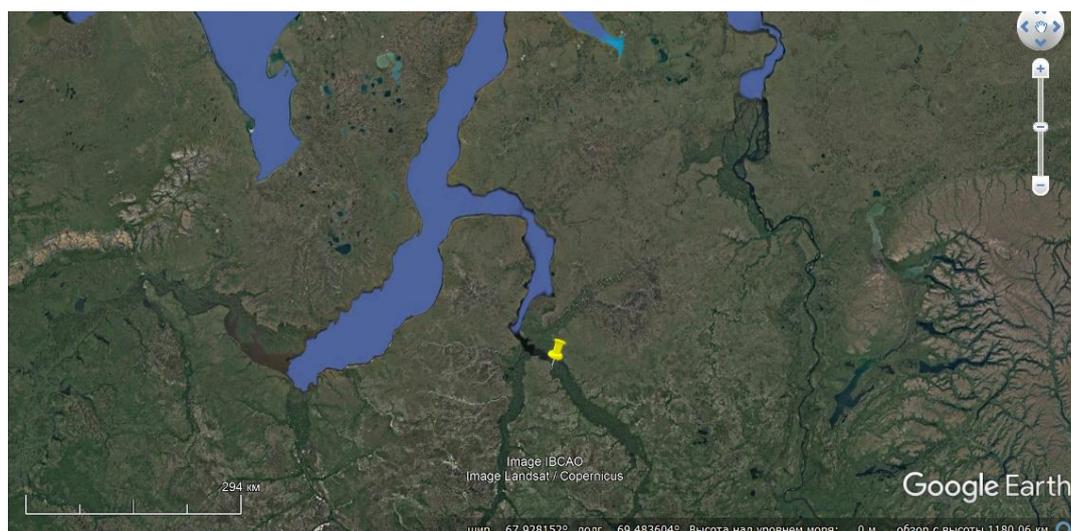


Рисунок 4.1 - Расположение второго участка проводимых исследований  
(на основе данных Google Earth)

Второй участок исследования находится в районе поселка Тазовский и северной части автодороги Заполярное-Тазовский. Район занимает северную часть Пур-Тазовского междуречья и целиком располагается севернее Северного полярного круга. С севера, запада и востока область ограничена долинами рек Пур и Таз, южная ее граница примерно совпадает с Северным полярным кругом (Рисунок 4.1).

Климат области суровый, среднегодовые температуры воздуха в пос. Тазовский достигают -9,3 градуса Цельсия, средние температуры января -25...-28 градусов Цельсия (Рисунок 4.2).

Количество выпадающих осадков невелико: в теплый период 200-250 мм, в холодный - 100-150 мм (Рисунок 4.3) [Геоэкология СССР. Западная Сибирь, с. 250].

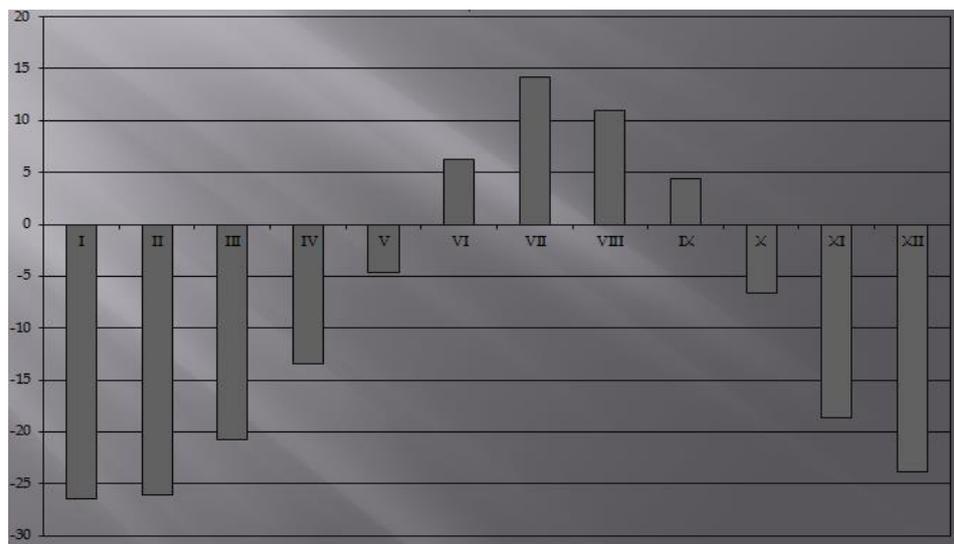


Рис. 4.2 - Среднемесячная температура: данные ГМС – пункт Тазовский

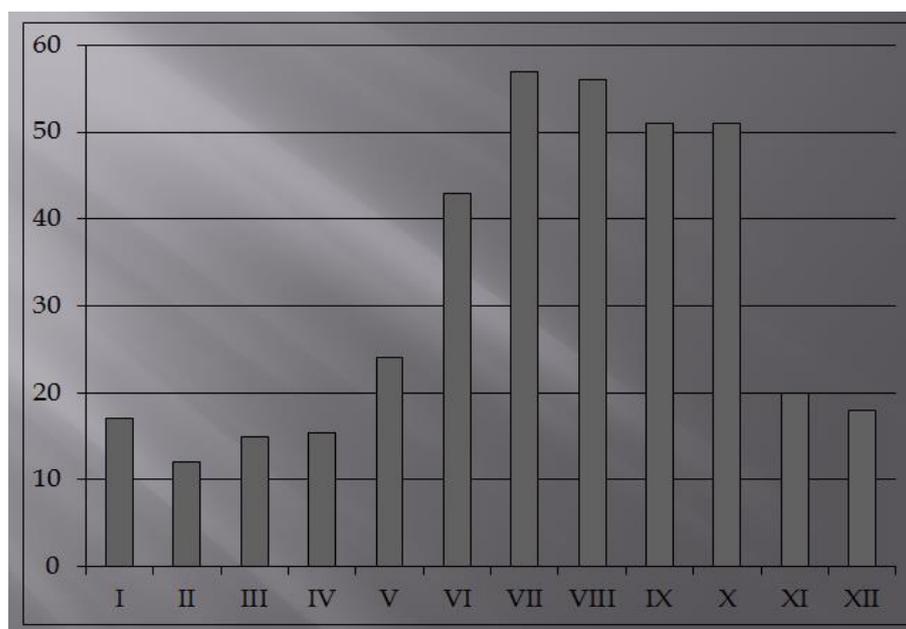


Рис. 4.3 - Количество атмосферных осадков: данные ГМС – пункт Тазовский

На незащищенных от ветра пространствах средняя мощность снега лишь 10-12 см при плотности 0,3-0,35 г/см<sup>3</sup>. Суровые климатические условия обуславливают практически повсеместное распространение тундровой растительности и лишь в верховьях рек Юредейха, Бол. Хэяха,

Надосалехадыта, на поймах и отдельных частях террас и склонов развиты кустарники или лиственничные редины. Территория области представляет собой Пур-Тазовскую возвышенность, совпадающую в плане с Тазовским сводом [Геокриология СССР. Западная Сибирь, с. 169].

## 4.2 ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Поверхность возвышенности - достаточно расчлененная, слабо заболоченная междуречная равнина с абсолютными отметками 50-80 м, прорезанная долинами мелких рек. Верхние горизонты разреза представлены супесчано-суглинистыми морскими и прибрежно-морскими верхне-среднечетвертичными отложениями казанцевой и салехардской свит. Первая из них сложена серыми и серо-коричневыми супесями и суглинками с подчиненными прослоями песков, салехардская свита - чаще всего средними и тяжелыми суглинками сизого и серого цвета с прослоями супесей и песков. Мощность последних местами достигает 5-7 м.

Для области характерно сплошное распространение ММП. Они развиты на всех уровнях, вплоть до пойм средних и мелких рек - Лукьяхи, Бол. и Мал. Хеяхи и др. Лишь под руслами рек и акваториями озер распространены талики, однако мощность их сейчас не ясна. Несквозные талики небольшой мощности (до 6 м) зафиксированы на расчлененных участках салехардской равнины, сложенных с поверхности песками и покрытых листовничными рединами. Однако такие талики занимают крайне незначительную часть территории области.

На основной ее части развиты горные породы со среднегодовыми температурами от -3 до -4 градусов Цельсия. Подобные температуры отмечаются как на участках с торфяным покровом, так и на супесчано-суглинистых породах. Анализ данных со скважин Тазовской, Заполярной и Русской площадей, а также электроразведочных работ позволяет сказать, что мощности и типы вертикального строения мерзлых толщ в пределах области достаточно однообразны. Мерзлые толщи залегают непосредственно ниже слоя сезонного оттаивания, за исключением редких случаев, описанных выше. Мощность их составляет 300-400 м, иногда несколько более. В поймах мелких и средних рек мощность мерзлых пород уменьшается до 130-150 м.

Ведущим криогенным процессом, развитым практически на всей территории площади описываемой области, является сезонное оттаивание пород. Глубины сезонного оттаивания пород в целом изменяются от 0,5 до 1,2 - 1,3 м,

редко более. Мощности сезоннооттаивающего слоя в 0,5-0,6 м фиксируются на плоских торфяниках. На крупных торфяных буграх пучения они увеличиваются до 0,7-0,8 м. Максимальные глубины сезонного оттаивания формируются на пятнах -медальонах и сильно расчлененных преимущественно прибрежных участках озерно-аллювиальных террас и междуречных равнин. Значительно распространены в пределах области формы рельефа, связанные с полигональным растрескиванием грунтов - полигональные и валиковые тундры и особенно пятна-медальоны. Здесь также весьма развиты эрозионные формы рельефа - короткие крутостенные овраги и промоины. Скорость их развития часто достигает 200-300 м в год [Ершов Э.Д., 1990, с. 260].

#### 4.3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПУР-ТАЗОВСКОМ МЕЖДУРЕЧЬЕ

В пределах из участка были выделены и проанализированы многолетние изменения площади озер по паре разновременных космических снимков со спутника Landsat (Таблица 6).

Таблица 6

Космические снимки, использованные для анализа многолетних изменений площадей

26.08.2009	Landsat - 5
15.08.2019	Landsat - 8

В качестве основных снимков за первую дату были использованы космические снимки Landsat - 5 за конец августа 2009 года (Приложение 4). Основные снимки за конечную дату были использованы космические снимки Landsat - 8 за середину-конец 2019 года (Приложение 5). Также на некоторые места участков были использованы снимки высокого разрешения.

На участке исследований в районе Пур-Тазовского междуречья было выделено и проанализировано 204 озера (Таблица 7).

Таблица 7

Характеристика озер по современным снимкам спутника Landsat за 2009 год

малые озера	менее 0,1 га	0	0%
	0,1-0,5 га	0	0%
средние озера	0,5-1 га	7	3%
	1-10 га	132	65%
крупные озера	10-100 га	62	31%
	более 100 га	3	1%

На участке преобладают озера среднего размера, в основном от 1-10 га, которые составляют больше половины выделенных озер (65%). Крупные озера, больше 10 га, составляют 32% от всех озер. Мелких озер, меньше 0,5 га выделено не было. В результате было определено количество озер, площадь которых уменьшилась, количество озер, площадь которых увеличилась и изменение площади озер в км<sup>2</sup> (Таблица 8).

Согласно полученным данным в пределах участка наблюдаются как увеличение, так и уменьшение количества озер разной площади (Приложение 6). Уменьшение количества происходит у озер среднего размера от 0,5-1 га на 2%, увеличение прослеживается у средних озер размером от 0,5-1 га и крупных озер от 10-100 га на 1%. Уменьшение преобладает над увеличением как по количеству изменившихся озер, так и по величине изменения площади озер (Таблица 9).

Таблица 8

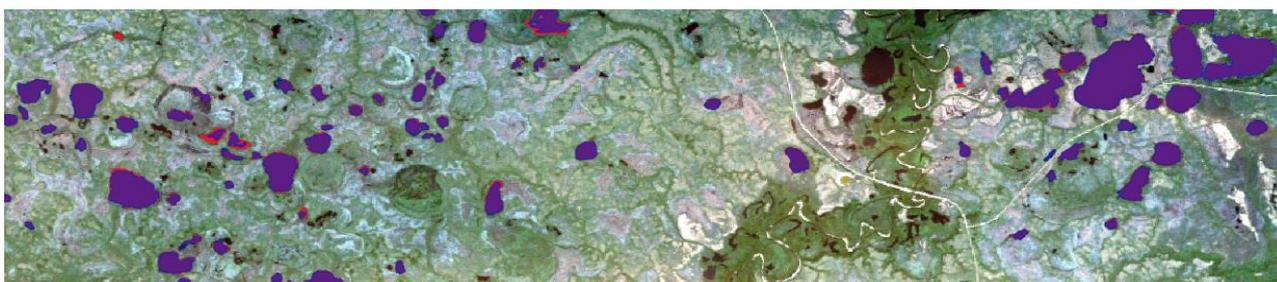
Изменение площади озер, выявленные в пределах первого участка исследований

Количество уменьшившихся озер			Изменение площади уменьшившихся озер	Количество увеличившихся озер			Изменение площади увеличившихся озер
Техногенное воздействие	0	6	- 0.8 км <sup>2</sup>	Техногенное воздействие	2	4	+ 0.3 км <sup>2</sup>
Природные процессы	6			Природные процессы	2		

Характеристика озер по современным снимкам спутника Landsat за 2019  
год

малые озера	менее 0,1 га	0	0%
	0,1-0,5 га	0	0%
средние озера	0,5-1 га	2	1%
	1-10 га	133	66%
крупные озера	10-100 га	64	32%
	более 100 га	3	1%

В пределах всего участка изменения незначительны, а изменившиеся озера распространены локально (Рисунок 4.4).



 - озера, не изменившиеся       - уменьшение площади

Рис. 4.4 - Фрагмент участка

Однако, несмотря на незначительное количество изменившихся озер, уменьшение их преобладает. На севере и центральной частях участка наблюдается уменьшение озер, отмечается как частичное уменьшение озер (Рисунок 4.5) с зарастанием обмелевшей части дна, так и полный спуск озер (Рисунок 4.6). Основными причинами является эрозионная деятельность рек, очень часто спущенные озера расположены рядом с водотоками; часто также происходит зарастание озер растительностью. Возможно, имеются и другие

причины, но для выявления причин уменьшения площади каждого конкретного озера требуется дополнительные исследования.

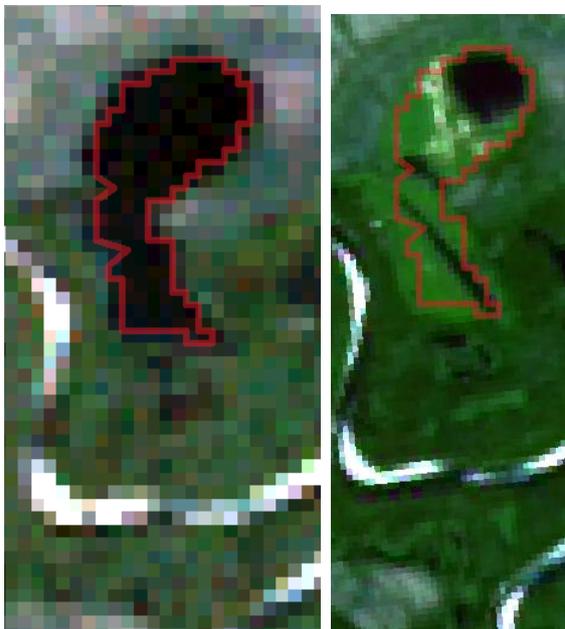


Рис. 4.5 - Частичный спуск озера рекой (август 2009 года - август 2019 года)

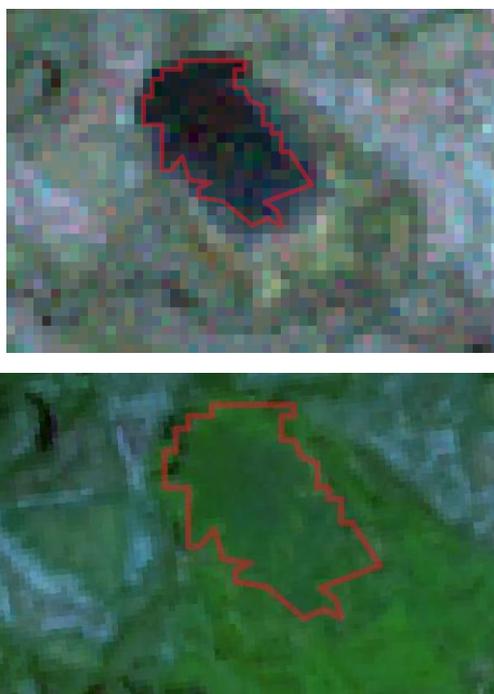


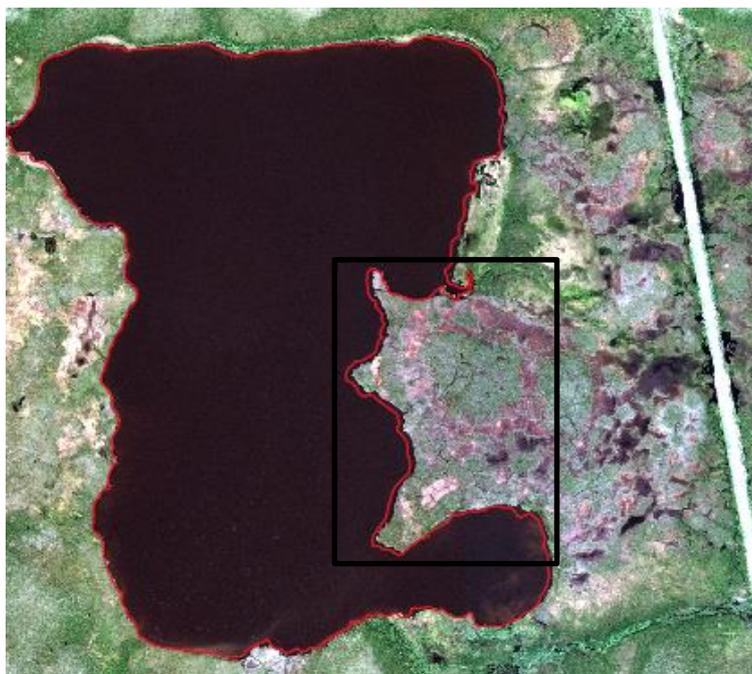
Рис. 4.6 - Полный спуск озера (август 2009 года - август 2019 года)

Влияние антропогенной деятельности отмечается в юго-восточной части участка в районе поселка Газ - Сале. В этой части рядом с объектами хозяйственной деятельности - дорогами и ли насыпными кустовыми площадками скважин произошло увеличение озер и их появление (Рисунок 4.7).



Рис. 4.7 - Увеличение и появление озер из-за антропогенной деятельности (август 2009 года - август 2019 года)

На основе сопоставления разновременных снимков высокого разрешения, было выделено одно озеро, которое немного увеличилось в размере с одной стороны, там где находятся полигонально-жильные льды. Предполагается, что таяние происходит из-за того, что рядом находится автомобильная дорога или из-за потепления климата. Возможно, имеются и другие причины, но для выявления причин требуется дополнительные исследования (Рисунок 4.8).



 - граница озера в 2009 году

Рис. 4.8 - Увеличение площади озера за счет вытаивания полигонально-  
жильных льдов

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования были сделаны: анализ состояния имеющихся исследований по динамике изменений озер; установлена методика, по которой возможно уверенно дешифровать водные объекты и провести анализ изменений; охарактеризованы физико-географические условия исследуемых территорий; выявлены факторы и особенности исследуемых территорий, которые влияют на изменение площадей озер.

Получены следующие результаты:

1.С 2000-х годов было выполнено много исследований как отечественными, так и зарубежными учеными. Во всех исследованиях были выявлены разнонаправленные изменения площадей водных объектов, как уменьшение и исчезновение, так и увеличение площади и появление новых озер. Однако проблема заключается в том, что исследования показывают сильно различимые результаты, что скорее всего связано с разными методическими подходами.

2.Использование снимков съемочной системы Landsat имеет ряд плюсов, по сравнению с другими космическими снимками, но также имеются ограничения, о которых нельзя забывать.

3.Изменчивость озер определяется целым рядом сложно взаимодействующих факторов. Помимо повышения температуры воздуха, которое могло бы вызывать активизацию термоденудационных процессов и оттаивание полигонально-жильных льдов, действуют гидрологические факторы и антропогенная деятельность.

Гидрологические – деятельность соединяющих озера водотоков, по которым осуществляется спуск озер или наполнение озерных котловин, эрозионная деятельность рек вблизи озерных котловин, вызывающая прорывы озер или их наполнение. Гидрологические факторы вызывают как уменьшение, так и увеличение площади озер. В результате их деятельности могут наблюдаться циклические изменения площади озер от года к году.

Антропогенная деятельность, особенно в районах разработки месторождений нефти и газа, а также строительстве нефтегазопроводов, которая проявляется в искусственном изменении гидрологической сети и тепловом воздействии технических сооружений на мерзлые породы. Эта деятельность может вызывать как сокращение, так и увеличение площади озер.

По полученным результатам в период с 2009 по 2019 годы можно сказать, что на исследуемых участках на Центральном Ямале и Пур-Тазовском междуречье уменьшение площади озер составляет примерно около 11% и по количеству около 3%. Увеличение по площади - 4%, по количеству - на 2%.

Наблюдаемое на территории сокращение площади озер обусловлено, главным образом, гидрологическими факторами (деятельность рек) и зарастанием водоемов растительностью. В отдельных случаях отмечается влияние антропогенной деятельности.

Выявленное увеличение площади и количества озер в основном обусловлено термоденудационными процессами и образованием термоцирков на Центральном Ямале, и таяние полигонально-жильных льдов на территории Пур-Тазовского междуречья. А также присутствует влияние антропогенной деятельности, так как на эти территории являются нефтегазодобывающими.

Таким образом, для надежного выявления изменений площади озер по аэрокосмическим снимкам необходимо учитывать некоторые ограничения, которые обусловлены пространственным разрешением используемых снимков, особенно, если используются снимки с разным разрешением, а также учитывать факторы, которые влияют на изменения площади озер. Для более точного выявления изменений площадей рекомендуется производить детальные исследования с анализом сезонных и межгодовых изменений, а также можно использовать снимки высокого разрешения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архив космических снимков [www.glovis.usgs.gov](http://www.glovis.usgs.gov)
2. Викторов С.В. Индикация природных процессов / В сб. Теоретические вопросы фитоиндикации, Л., Наука, 1971, с. 156–161.
3. Геокриология СССР. Западная Сибирь / под редакцией Ершова Э.Д. – М.: Недра, 1989. – 454 с.
4. Геокриологическое районирование Западно-Сибирской плиты/Трофимов В.Т., Бадю Ю.Б., Васильчук Ю.К. и др. АН СССР, Науч совет по геол. и гидрогеол. М., Наука, 1987, 219 с.
5. Геокриологические условия освоения Бованенковского месторождения / В.В.Баулин, В.И. Аксенов, Г.И.Дубиков и др. Инженерно-геологический мониторинг промыслов Ямала. Т.2. Тюмень, ИПОС СО РАН, 1996, 240 с.
6. Гравис Г.Ф., Гречищев С.Е., Невечеря В.Л. и др. Методические рекомендации по стационарному изучению криогенных физико-геологических процессов. М., 1979, 72 с.
7. Гравис Г.Ф., Дроздов Д.С., Конченко Л.А. и др. Комплект мелкомасштабных электронных карт севера России // Экстремальные криогенные явления: Фундаментальные и прикладные аспекты. Пушино, 2002, с. 28–29.
8. Гречищев С.Е., Чистотинов Л.Г., Шур Ю.Л. Криогенные физико-геологические процессы и их прогноз. М., Недра, 1980, 332 с.
9. Гречищев С.Е., Мельников Е.С., Москаленко Н.Г. и др. Мелкомасштабная ландшафтно-индикационная карта криолитозоны Западной Сибири как основа для составления геокриологического прогноза и планирования природоохранных мероприятий. В сб.: Охрана геологической среды в районах Тюменской Субарктики. Тюмень, 1984, с. 23–25.
10. Гречищев С.Е., Москаленко Н.Г., Шур Ю.Л. и др. Геокриологический прогноз для Западно-Сибирской газоносной провинции. Новосибирск, Наука, 1983, 180 с.

11. Ершов Э.Д. Общая геокриология / Ершов Э.Д. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 2002. – 682 с.
12. Земцов А.А. Геоморфология Западно-Сибирской равнины (северная и центральная части) / Земцов А.А. . – Томск: Изд-во Томск. Ун-та, 1976. – 342 с.
13. Кирпотин С.Н. Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления / Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А. // Вест. Томск. Госуд. Ун-та. – 2008. – № 311. – С. 185–189
14. Корниенко С.Г. Космический мониторинг водных объектов и растительных покровов в районе Бованенковского газоконденсатного месторождения (Западный Ямал) / Корниенко С.Г, Якубсон К.И. // Десятая всероссийская открытая ежегодная конференция “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”. Москва. ИКИ РАН. 12-16 ноября 2012 г.
15. Кравцова В.И. Распространение термокарстовых озер в России / Кравцова В.И. // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. География. – 2009. – №3. – С. 33–42
16. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: Учебное пособие для студентов вузов / Лабутина И.А. – М.: Аспект Пресс, 2004. – 184 с.
17. Мельников В.П., Павлов А.В., Малкова Г.В. Геокриологические последствия современных изменений глобального климата/ В.П. Мельников, А.В. Павлов , Г.В. Малкова // География и природные ресурсы. – 2007. – № 3. – С. 19–27.
18. Озера криолитозоны Сибири. – Новосибирск: “Наука” Сибирское отделение, 1974. – 126 с.
19. Попов А.И. Вечная мерзлота в Западной Сибири. // М., изд-во АН СССР, 1960.

20. Трофимов В.Т., Бадю Ю.Б., Дубиков Г.Н. Криогенное строение и льдистость многолетнемерзлых пород Западно-Сибирской плиты., М., МГУ, 1980, 286 с.

21. Шполянская Н.А. Вечная мерзлота и глобальные изменения климата / Шполянская Н.А. – М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2010. – 200 с.

22. Smith L.C. Disappearing Arctic Lakes / Smith L.C., Sheng Y., Macdonald G.M., Hinzman L.D. // Science. – 2005. – v. 308. – №5727. – P. 1429

23. Kirpotin S. One of possible mechanisms of thermokarst lakes drainage in West-Siberian North [Текст] / Kirpotin S., Polishchuk Yu., Zakharova E., Shirokova L., Pokrovsky O., Kolmakova M., Dupre B. // International Journal of Environmental Studies. – 2008. – vol. 65. – № 56. – P. 631–635

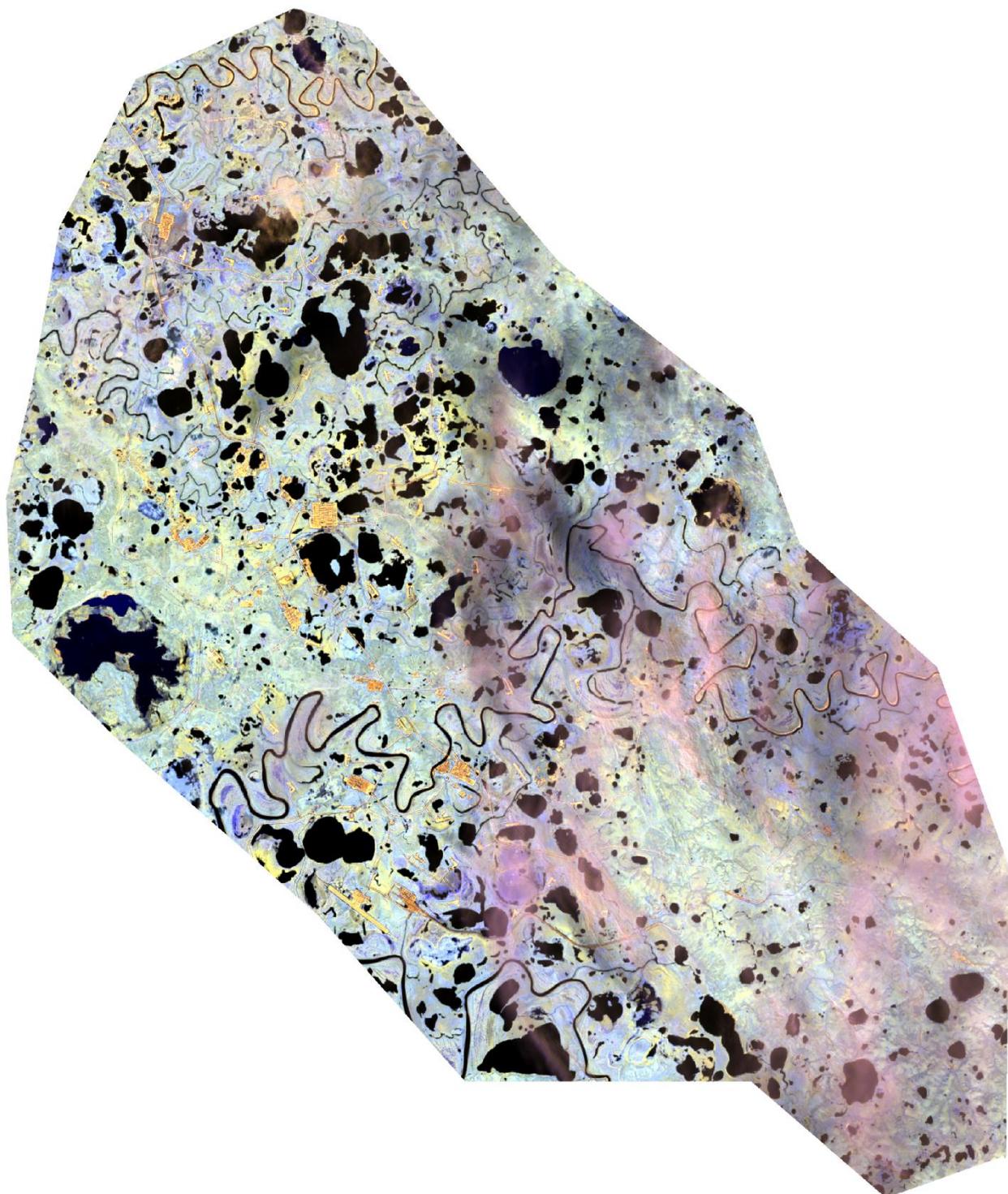
ПРИЛОЖЕНИЯ 1-6

Приложение 1

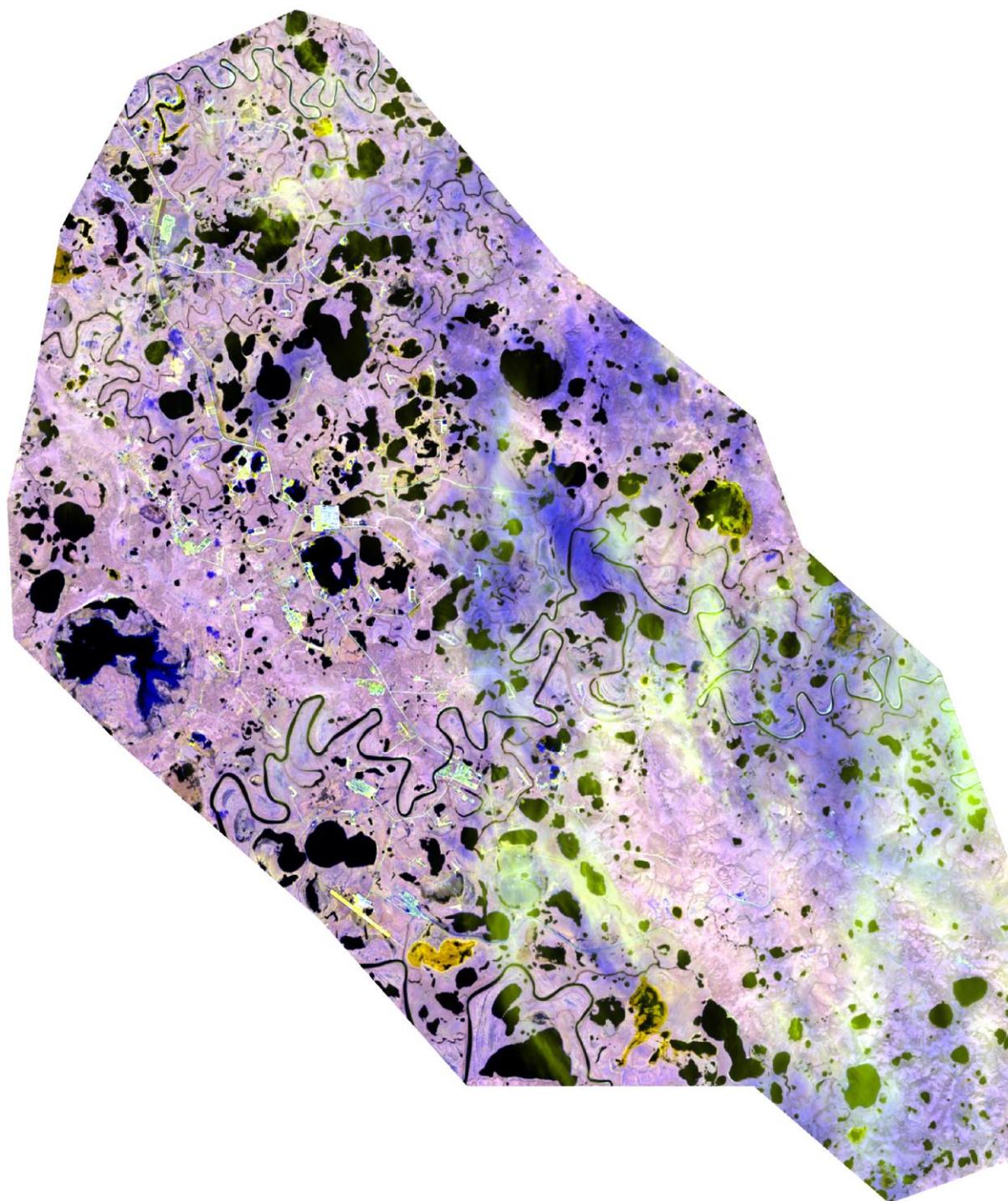
Исследуемый участок на Центральном Ямале за 2009  
год



Исследуемый участок на Центральном Ямале за 2019  
год



Выявление изменений на Центральном Ямале при использовании временных композитов (желтый цвет - уменьшение или исчезновение, синий - увеличение или появление)



Исследуемый участок на Пур-Тазовском  
междуречье за 2009 год



Исследуемый участок на Пур-Тазовском  
междуречье за 2019 год



Выявление изменений на Пур-Тазовском междуречье при использовании временных композитов (оранжевый цвет - уменьшение или исчезновение, светло-зеленый - увеличение или появление)

