ИКИ РАН, 2026

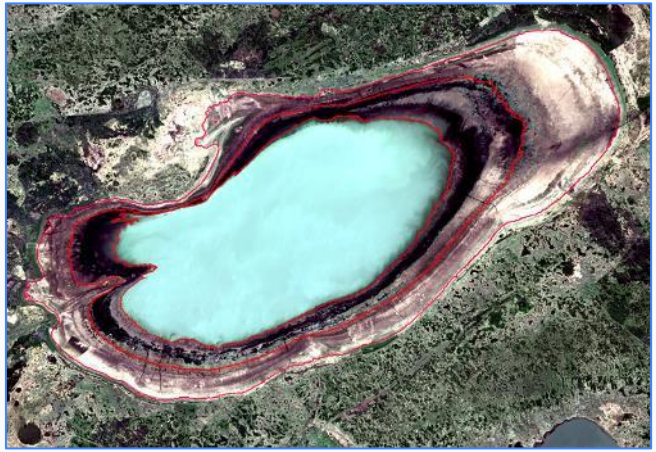
Особенности автоматического определения границ и площадей озер по спутниковым снимкам в рамках геоинформационной системы мониторинга

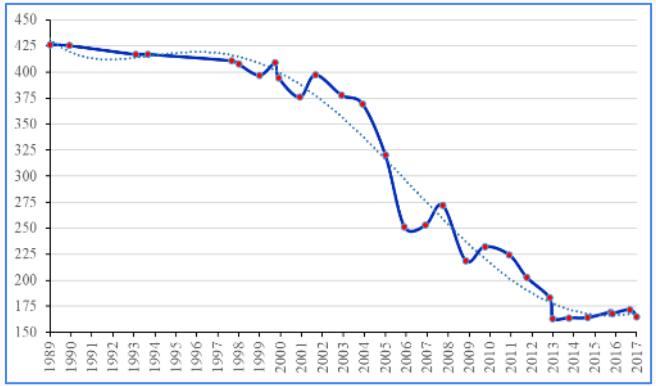
Сергей Александрович Рылов, ФИЦ ИВТ, Новосибирск
Александр Сергеевич Лапушинский, ФИЦ ИВТ, НГУ

Актуальность

Площадь акватории озера Убинское с 1989 по 2017 год сократилась в 2.5 раза (с 425 до 165 км^2), оно уступило вторую позицию по площади акватории озеру Сартлан.

- Оценка изменения площадей озер с помощью спутниковых данных за длительный период времени – большой объем работ
- Такие работы часто проводятся только по отдельным озерам





1) Лукерина Г.В., Лукерин А.Ю. Водный режим озера **Кулундинское** Алтайского края за последние 20 лет: гидрологические, гидрохимические и экологические аспекты // Рыбное хозяйство. – 2025
2) Пыгамов Ш.О., Аразгелдиева С. Мониторинг водных объектов с использованием ГИС-технологий на примере озера **Сарыгамыш** // Современные проблемы рационального природообустройства и водопользования. – Красноярск, 2025.
3) Истомин С.А., Истомин А.П. Оценка влияния природоохранных мероприятий на обводнение территории Волго-Ахтубинской поймы на примере **озерных систем Жестково** и песчаное (Горбатое) // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2025.
4) A. Tolepbayeva, D. Abiyeva, R. Karagulova [et al.] Identification of small lakes in **Kazakhstan** using remote sensing data // Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA. – 2025.

Цель работы

Разработка геоинформационной системы для автоматизированного мониторинга озер по спутниковым снимкам

Задачи:

1. Реализация взаимодействия с внешними источникам
2. Разработка серверной части, базы данных
3. Разработка клиентской части
4. Реализация алгоритмов автоматического выделения воды на изображениях
5. Разработка метода выделения целевого водоема (из всех водных пикселей)
6. Реализация методов выделения облачности для выбора пригодности снимков и определения потенциальных ошибок сегментации водной поверхности
7. Разработка методов обнаружения и восстановления ошибок при автоматическом выделении контуров водоемов

Источники данных

Спутники:

- Sentinel-2:
  - Разрешение основных каналов – 10 м
  - Регулярность съемки – 5 дней
- Landsat-8/9
  - Разрешение – 30 м.
  - Регулярность съемки – 8 дней
- Другие (высокое разрешение)

Ресурсы:

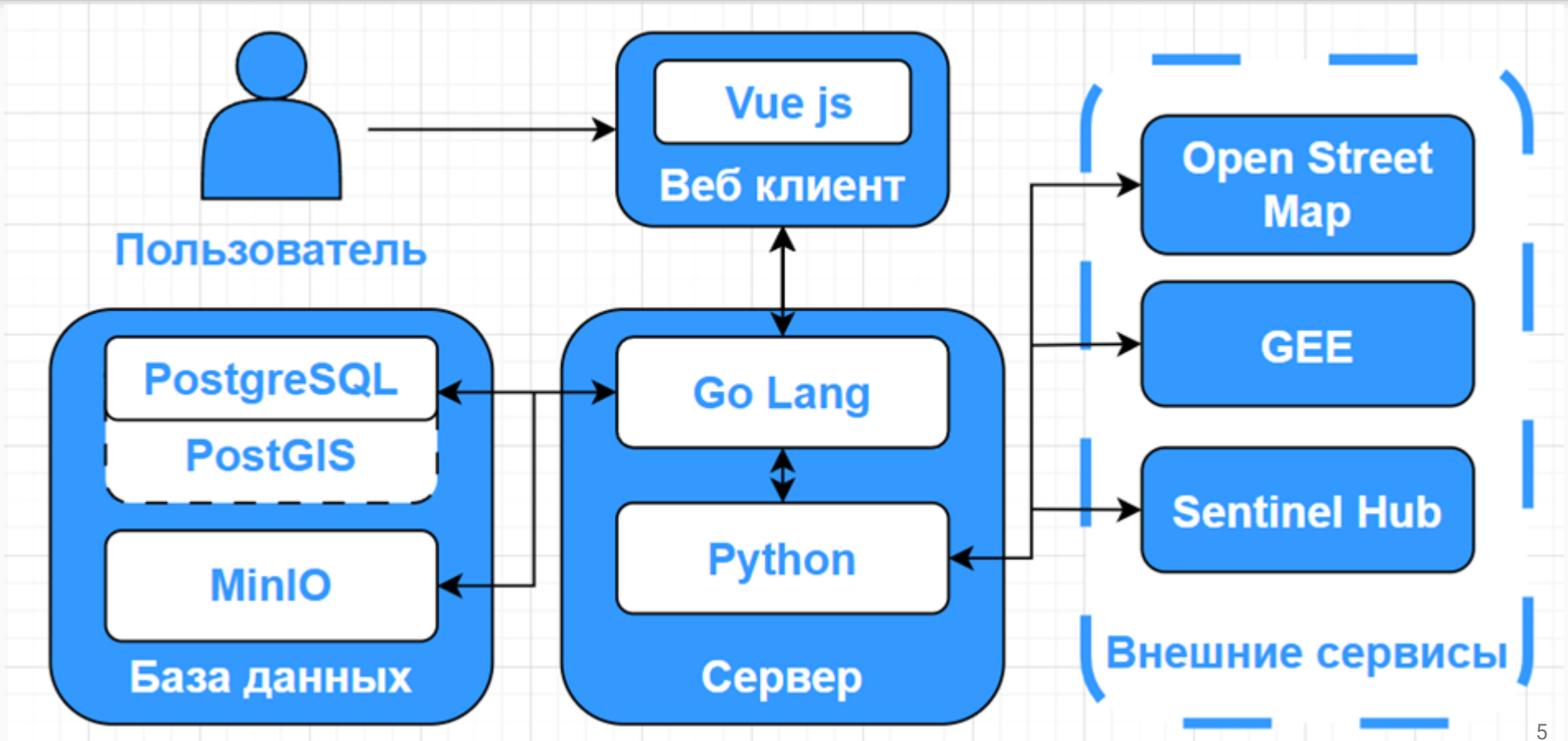
- Sentinel hub
- Google Earth Engine
- Open Street Map
- Microsoft Planetary Computer







Архитектура системы

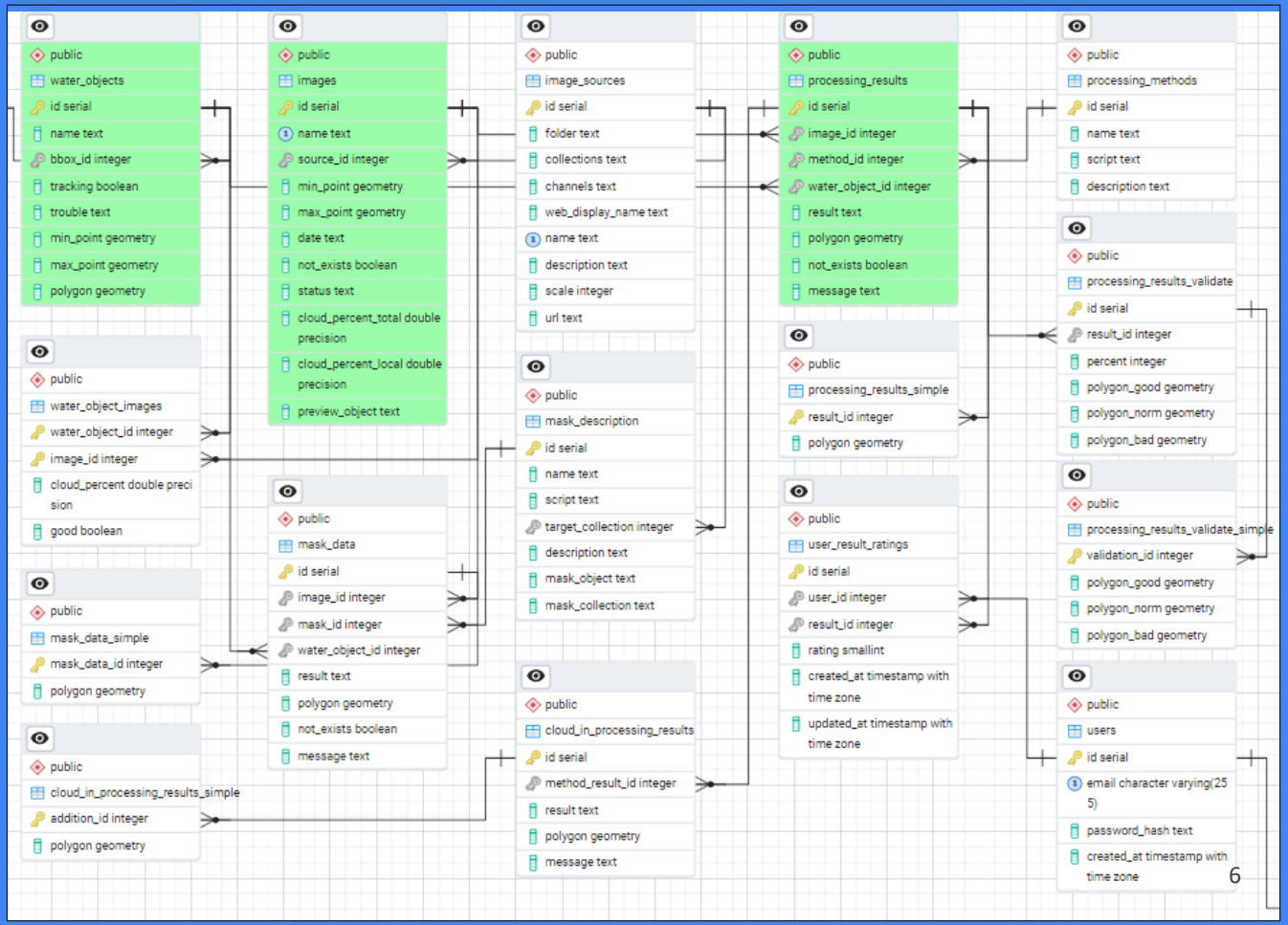


База данных

MinIO - лучше подходит для хранения больших изображений.

PostgreSQL - позволяет хранить остальную информацию

PostGIS - позволяет хранить векторные данные



Серверная часть

Go

- Основной элемент сервера
- Обработка клиентских запросов
- Взаимодействие с базой данных
- Вызов Python скриптов

Python-скрипты

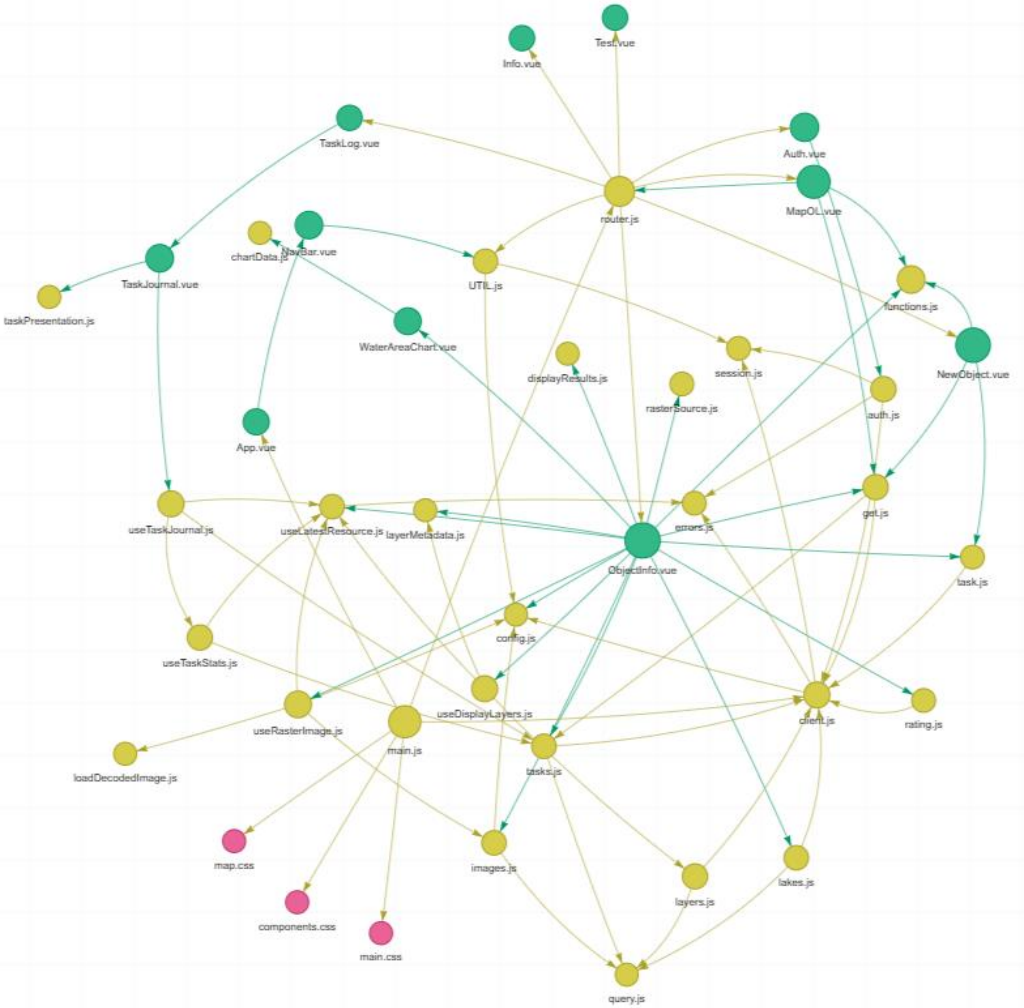
- API внешних сервисов для получения данных
- Алгоритмы обработки снимков
- Алгоритмы постобработки результатов выделения воды

Клиентская часть

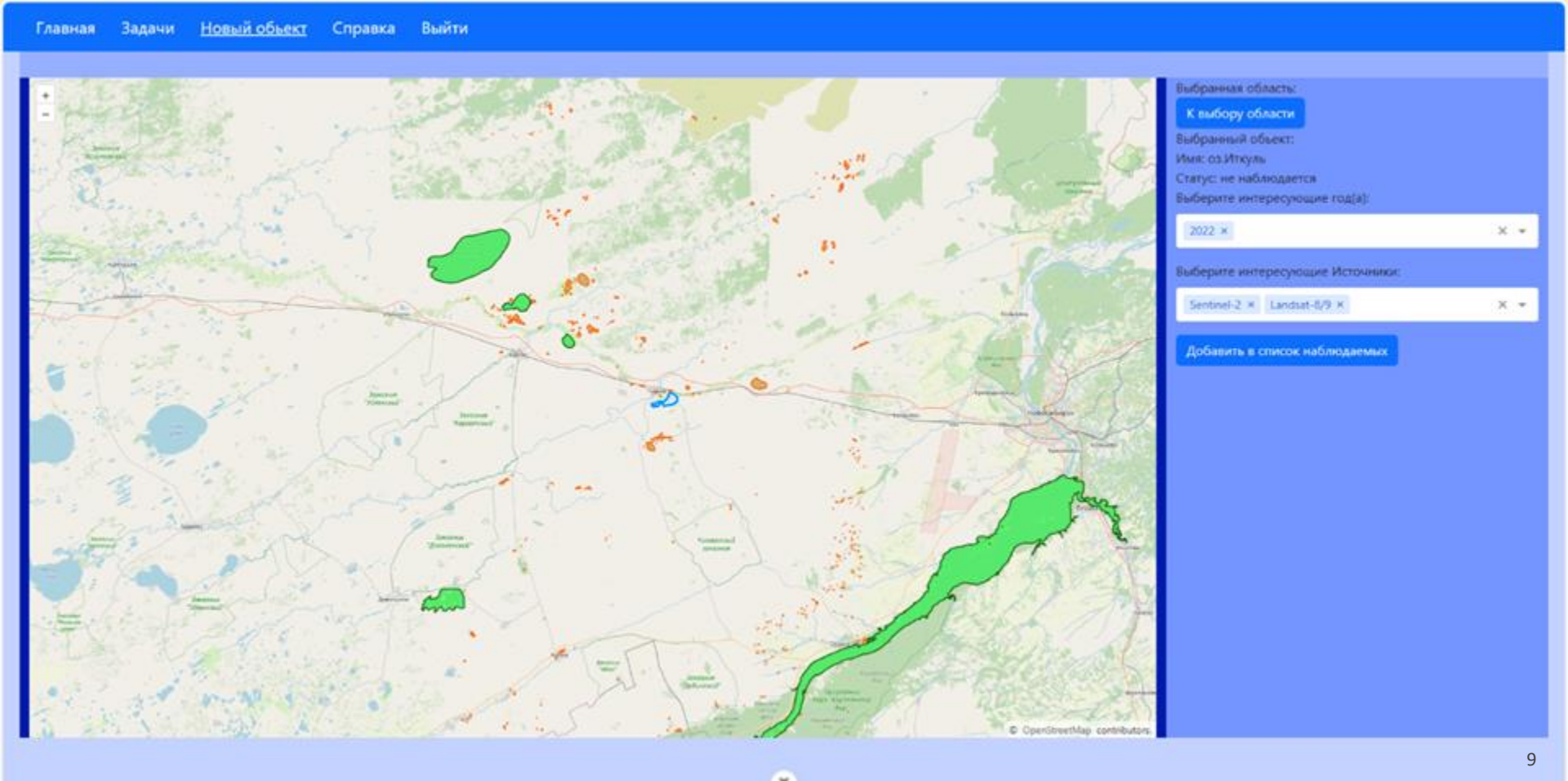
Vue - фреймворк javascript. Содержит обширный функционал, активно развивается и имеет хорошую документацию.

OpenLayers - отрисовка карт

Axios - отправка запросов



Добавление водоема для мониторинга



Основные этапы работы

1) Поиск подходящих снимков (по дате и контуру)

2) Получение масок облачности, определение пригодности снимка

3) Загрузка пригодных снимков (фрагментов и каналов)

4) Выделение водной поверхности на изображении (классификация доступными и подходящими методами)

5) Выделение целевого водоема, расчет площади

6) Обнаружение и восстановление ошибок сегментации

Поиск и скачивание подходящих снимков

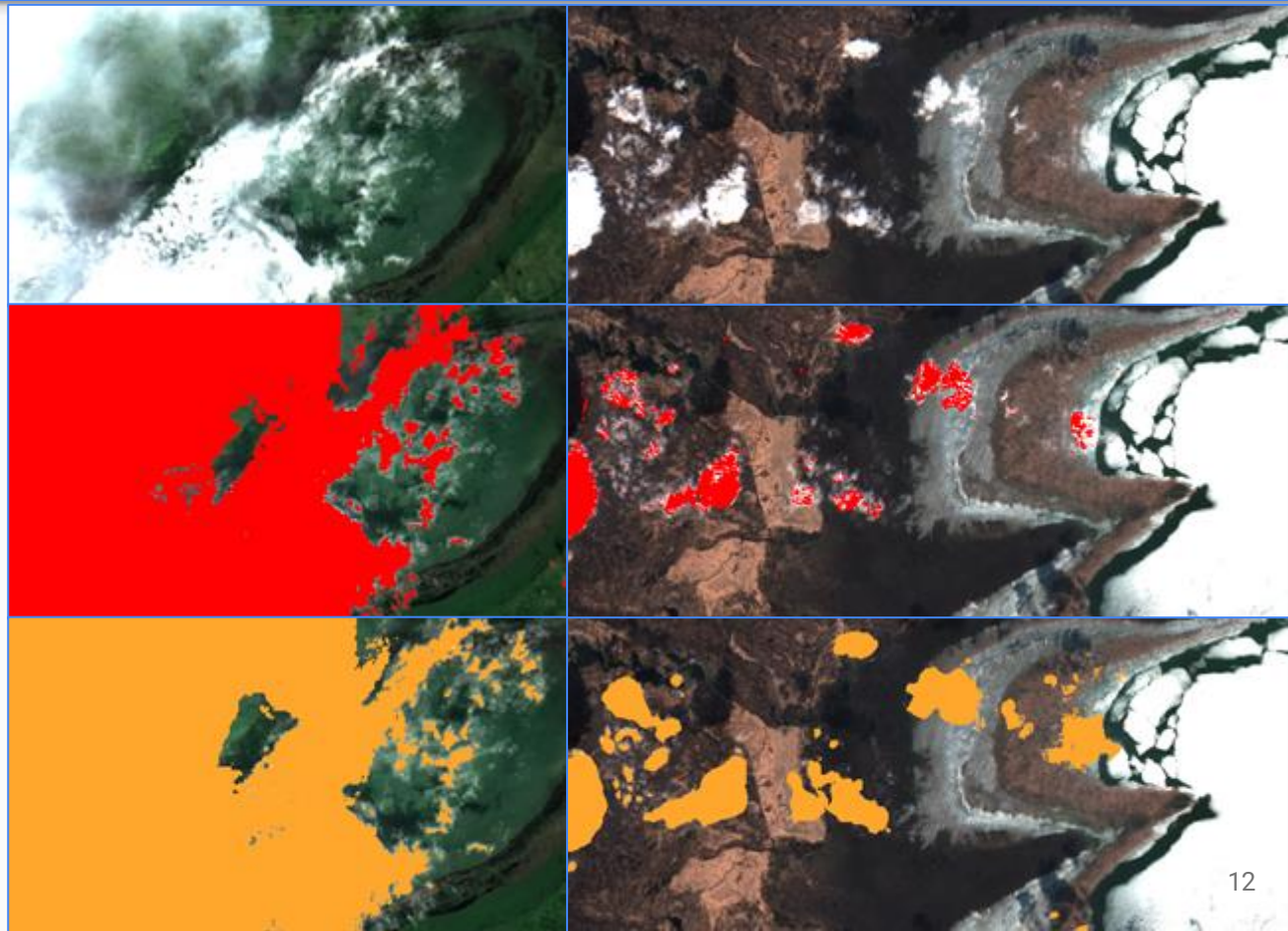
- Автоматически ищутся снимки Sentinel-2 и Landsat-8/9
- Выбираются снимки, которые полностью покрывают объект интереса
- Дополнительная фильтрация по облачности – пересечение OSM контура и маски облачности < 5%
- Загружаются фрагменты снимков, захватывающие исследуемый водный объект с запасом 25% с каждой стороны (по данным OSM)
- Сохраняются пять спектральных каналов: Red, Green, Blue, NIR, SWIR

Маски облачности Sentinel 2

Исходник

S2 Cloudless

SCL (Sen2Cor)

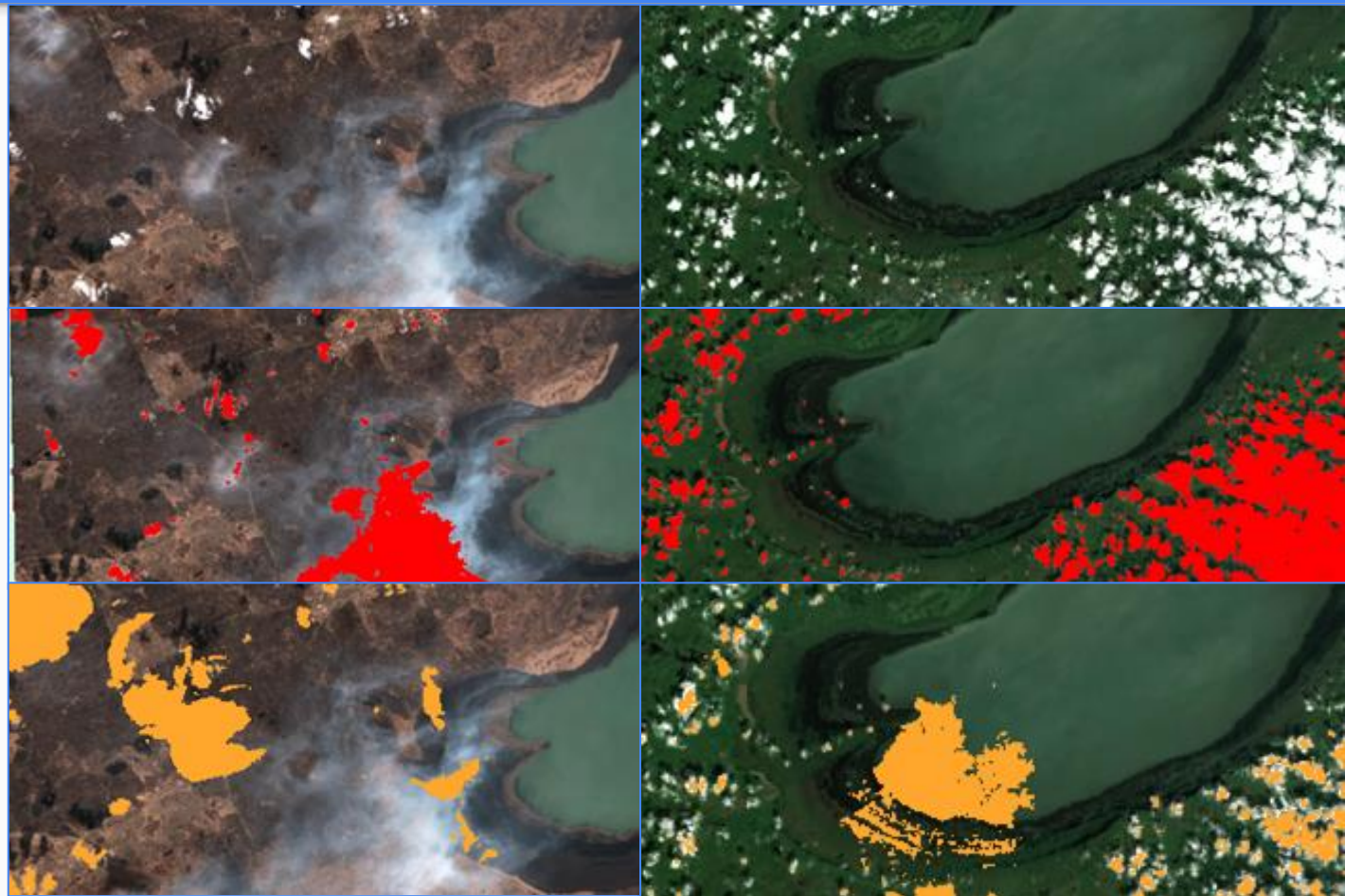


Маски облачности Sentinel 2

Исходник

S2 Cloudless

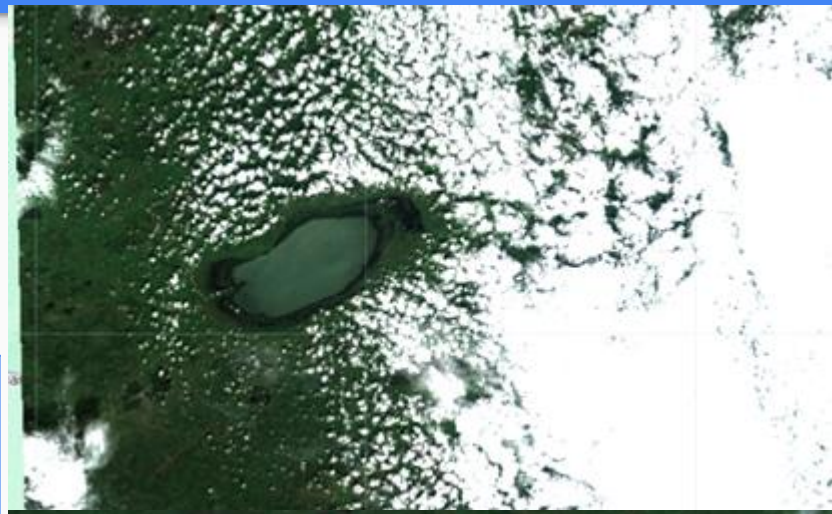
SCL (Sen2Cor)



Улучшение фильтрации снимков

- Для Landsat облачность определяется по QA_PIXEL
- Текущий способ отбора снимков учитывает границу водоема и маску облачности
- Лучше отсеиваются снимки с перекрытием водоема облаками

Озеро	количество подходящих снимков с учетом масок	снимков по общей облачности (10%)
Индерь	184	133
Убинское	248	173
Кулундинское	321	236
Малые Чаны	213	159
Салтаим	80	68





Выделение водной поверхности на изображении

- NDWI, MNDWI – спектральные индексы, для пороговой сегментации, работают попиксельно.
- K-means – алгоритм кластеризации, группирует пиксели по схожим спектральным характеристикам.

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)}$$

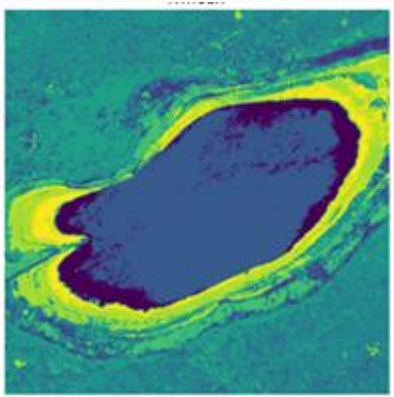
$$MNDWI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)}$$



Исходное изображение



NWDI





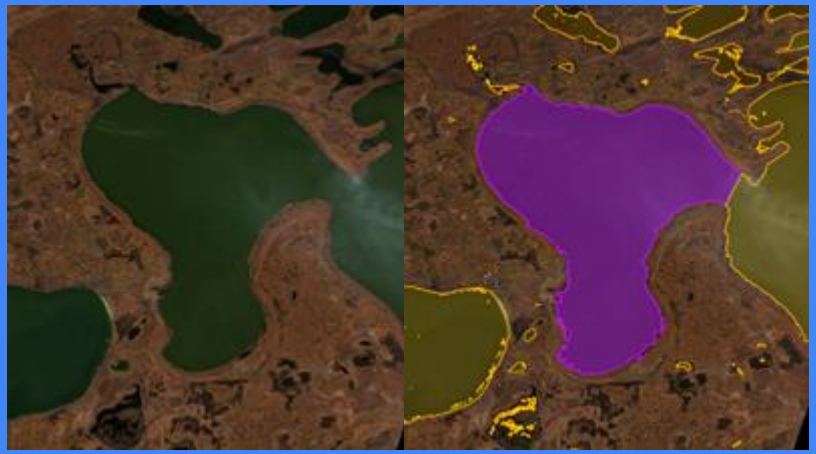
K-means

Выделение целевого водоема

- Водные пиксели разделяются на пространственно-связные области
- Области, пересекающиеся с контуром водоема (OSM), считаются принадлежащими этому водоему.

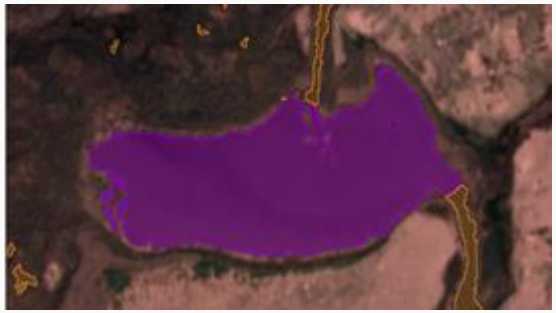
Проблема: на снимках существуют водоемы, которые могут

- соприкасаться
- поглощаться
- + реки



Проблемные случаи





река - озеро







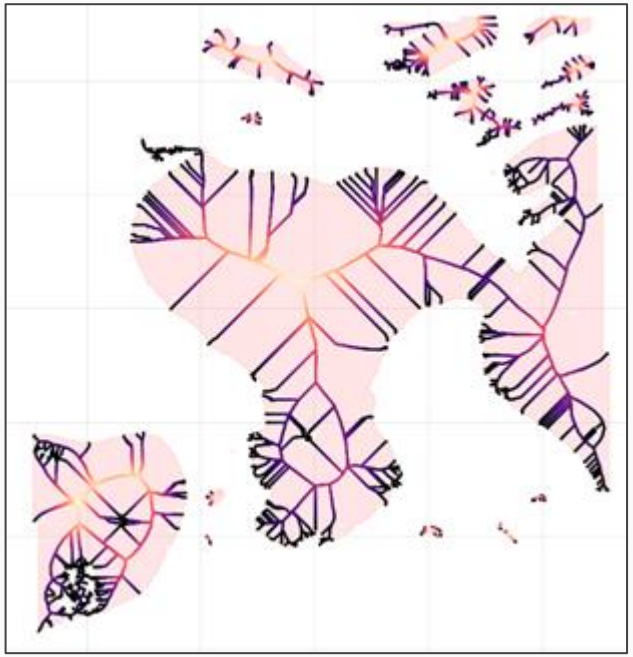


озеро - озеро

Скелетизация

- Медиальная ось - точки имеющие 2 ближайшие равноудаленные точки на границе водоема.
- Предобработка - сглаживание контура (морфологические опер.).
- Полученная ось отображает топологию и ширину водоема.





Привязка к картам

- Исходные карты получены с OpenStreet Map
- Узлы скелета классифицируются по принадлежности к водоемам



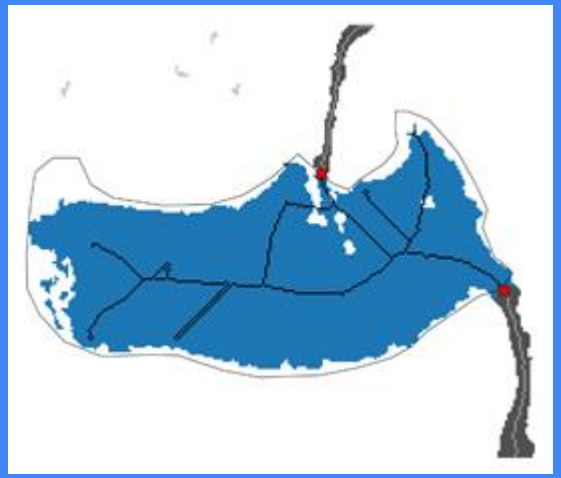


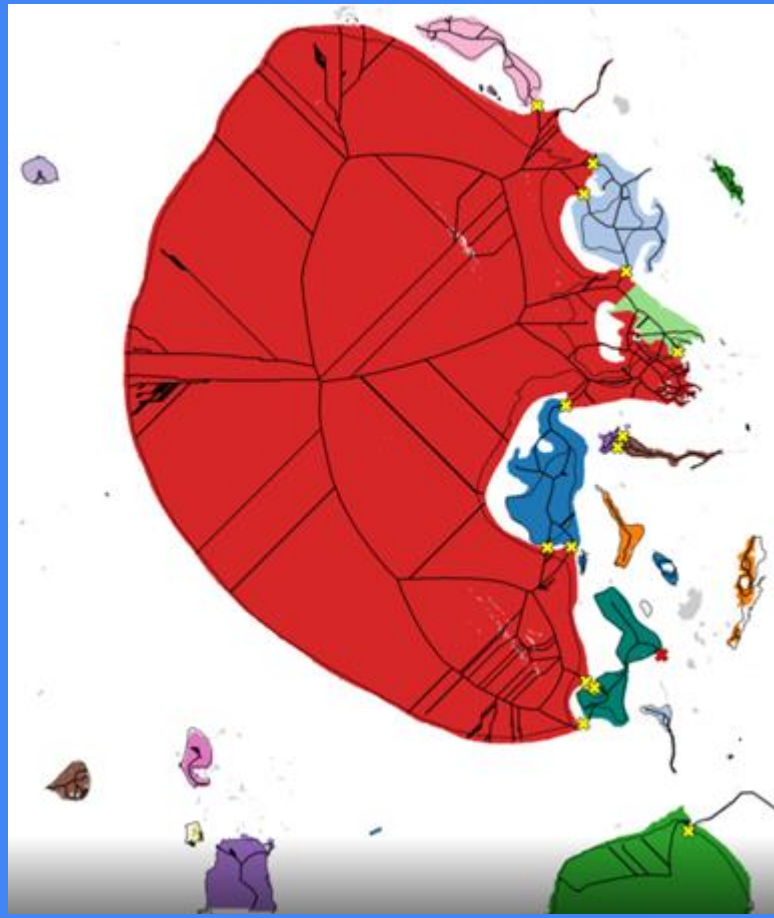
Разделение результатов

Реки. Ветка скелета вне озера считается рекой, если она узкая и длинная или уходит за край кадра. Отрезаем по границе озера.

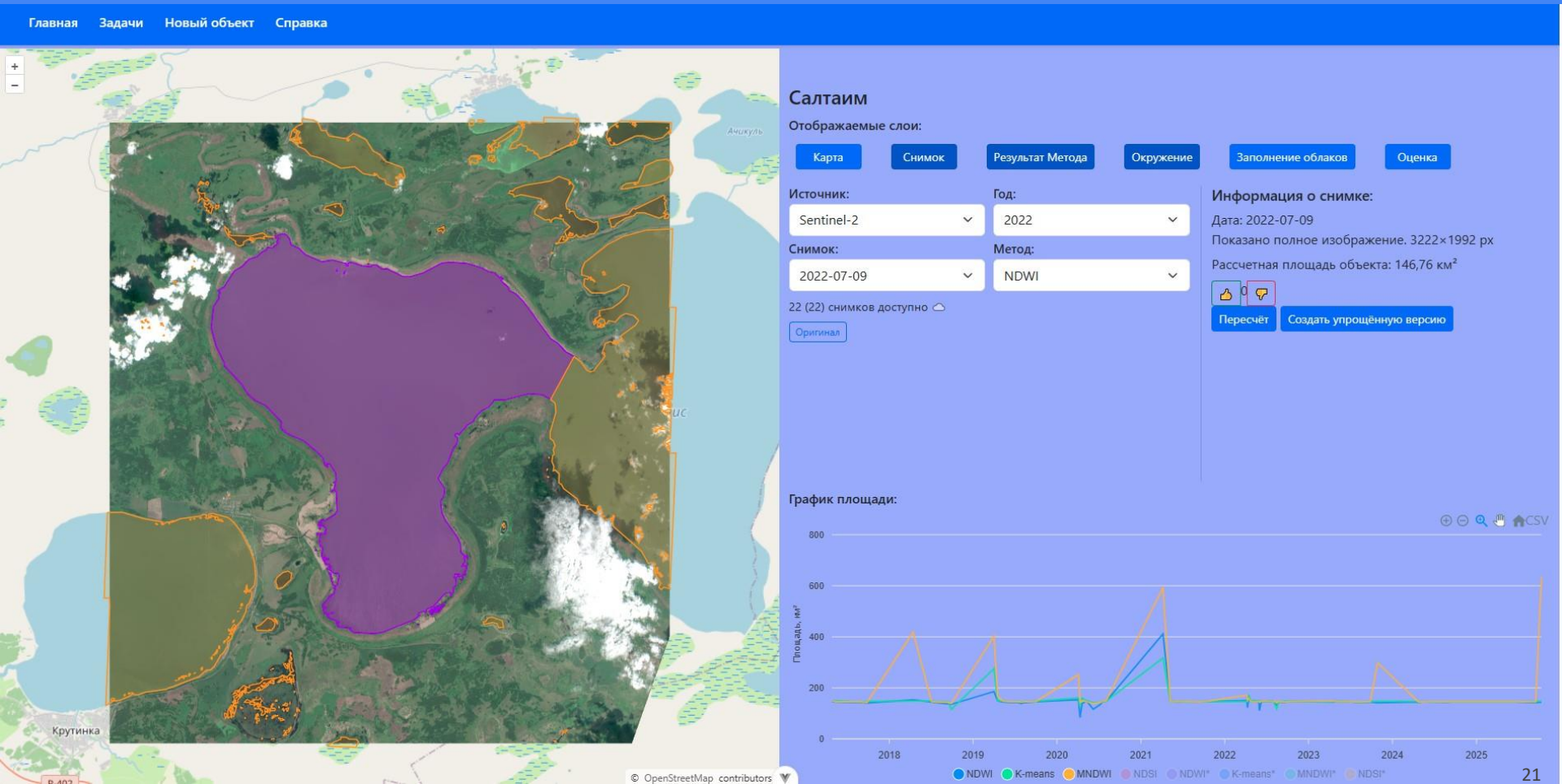
Соседние озера. По порядку применяется первое подходящее:

1. маски касаются — разрез по общей границе;
2. есть сужение — разрез в самом узком месте;
3. одно озеро меньше трети другого — поглощение;

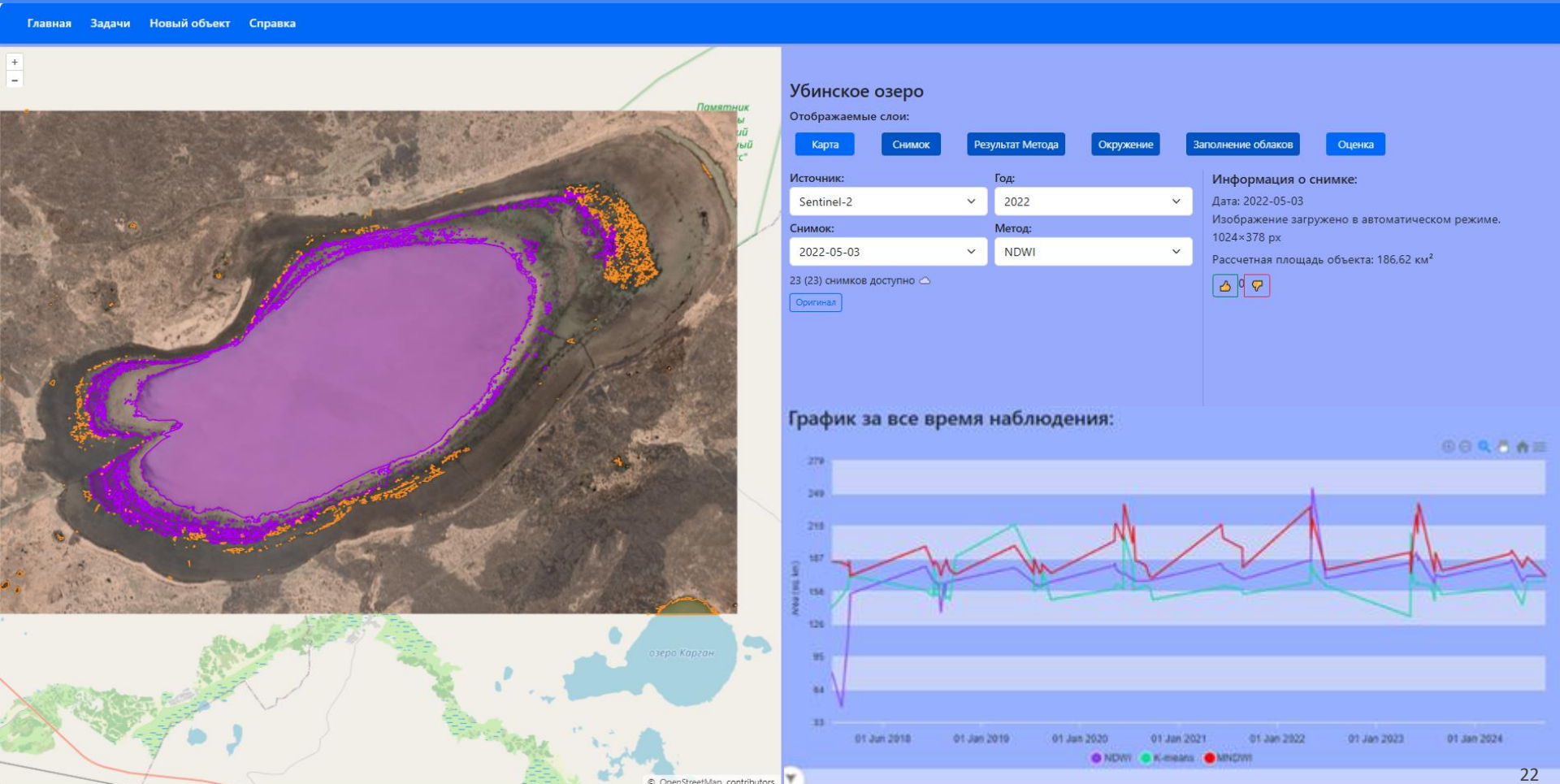




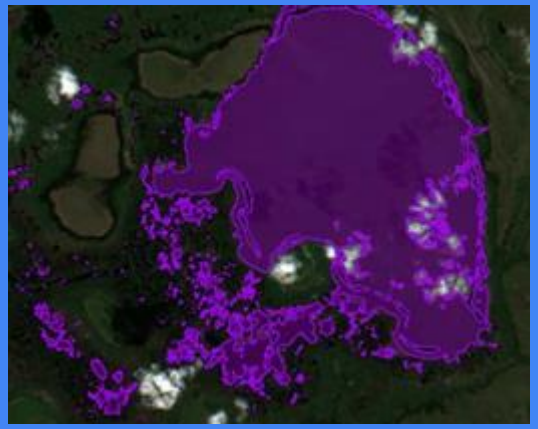
Озеро Салтаим и Тенис

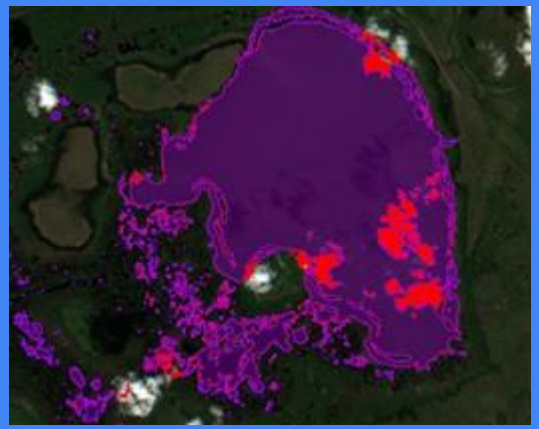


Озеро Убинское



Автоматическое выявление аномалий (возможных ошибок)



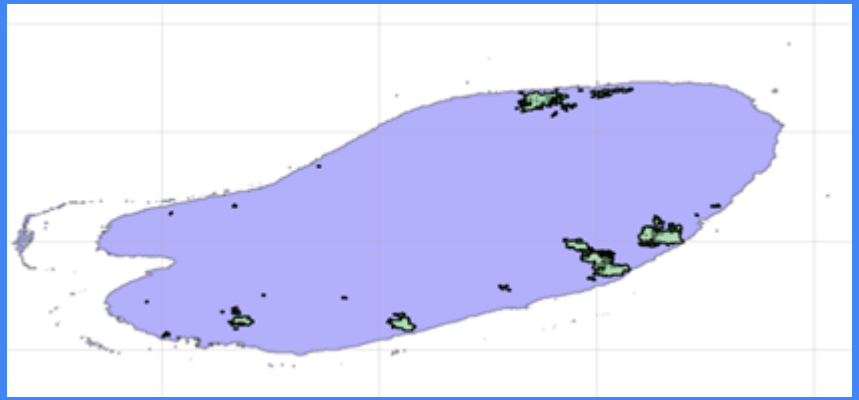


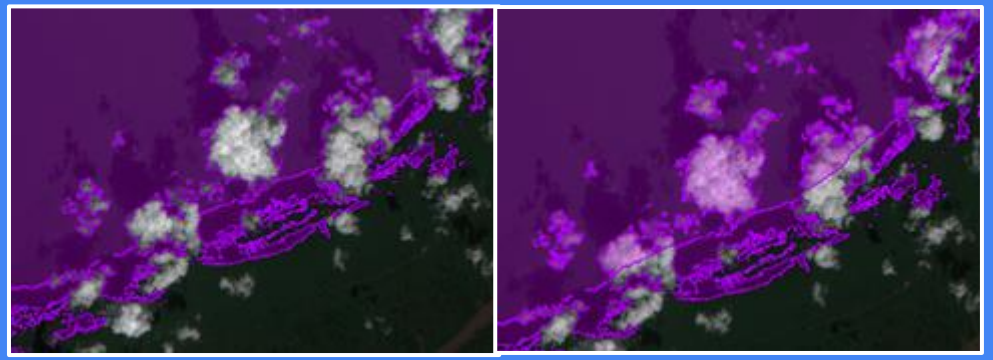
1. Построение карты встречаемости воды –
   все результаты выделения воды соединяются в общий массив.
2. Промежуточные маски – создаются векторные маски для пикселей с частотами покрытия <10% и >90%.
3. Оценка конкретных результатов – каждый результат сравнивается с полученными масками.

Алгоритм заполнения пробелов с учетом маски облачности

Шаги работы:

1. Выявляются области постоянной воды, не выделенные как вода
2. Ищутся пересечения этих областей с маской облачности
3. Заполняются внутренние пробелы в водоеме





Автоматическое выявление аномалий (возможных ошибок)

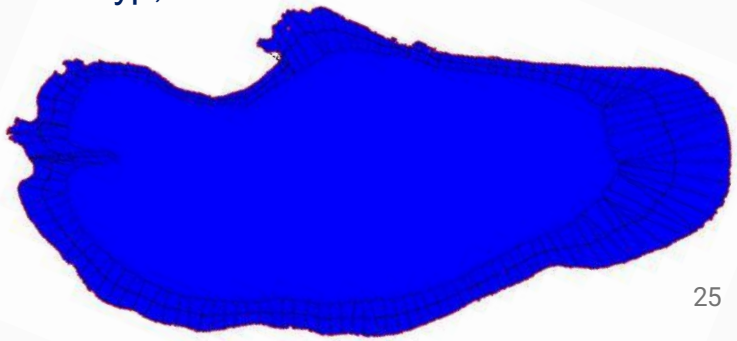
- Интерполяция контура исследуемого объекта по имеющимся данным

1. Исходные данные – верифицированные контуры объекта и новый контур, полученный в результате автоматического выделения
2. Выбираются контуры, ближайшие к новому, между ними устанавливается попиксельное соответствие (между всеми пикселями контуров)

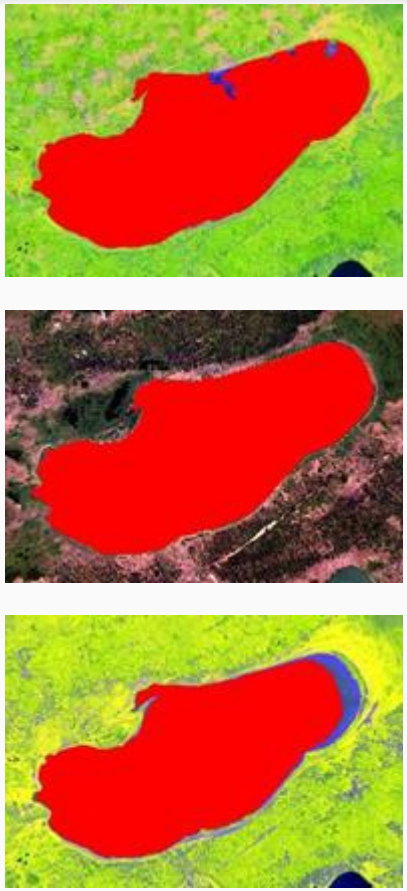
- С помощью установленного соответствия производится построение промежуточных вариантов контуров
- Близость контуров определяется с помощью сравнения соответствующих пиксельных масок по мере Жаккара (IoU) = $|A \cap B| / |A \cup B|$

4. С помощью алгоритма бисекций находится промежуточный контур, наиболее близкий к рассматриваемому

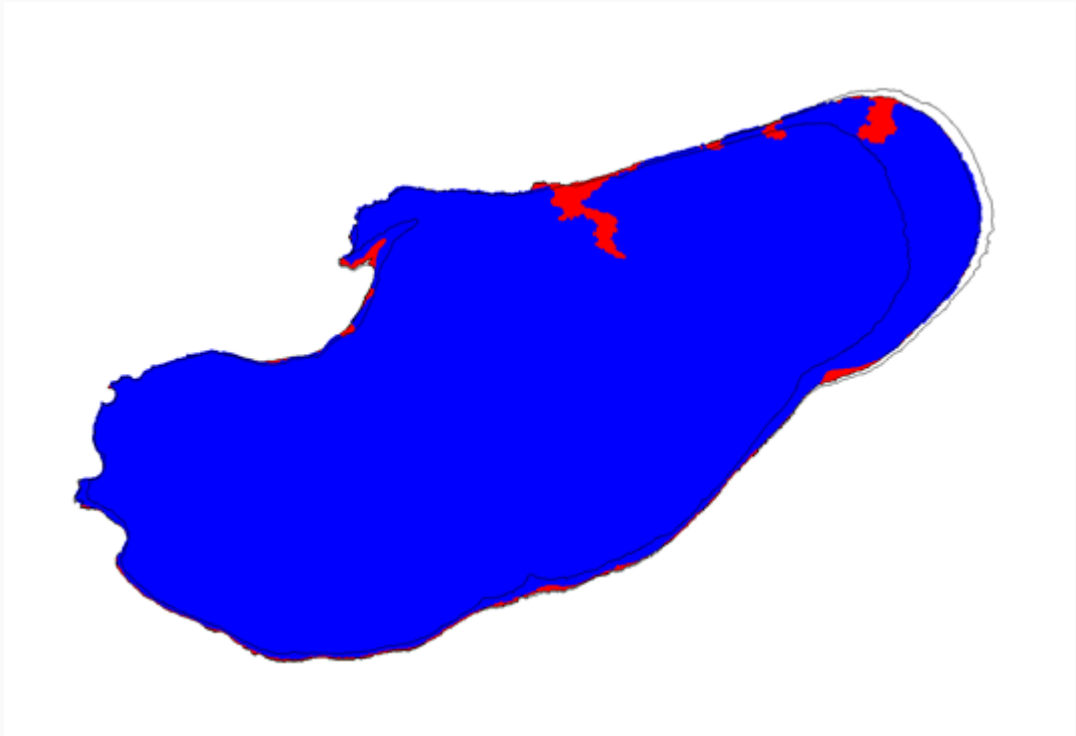
Значительные различия между найденным контуром и рассматриваемым могут указывать на возможные ошибки



Автоматическое выявление аномалий (возможных ошибок)



Новый контур
с помехами
в виде облаков



Красным цветом выделены различия между новым контуром и построенным с помощью интерполяции

Заключение

- Разработана геоинформационная система, позволяющая проводить автоматизированный мониторинг изменения площадей и границ выбранных водоемов по мультиспектральным спутниковым снимкам
- Разработан метод выделения целевого водоема (из всех водных пикселей)
- Разработаны методы учета масок облачности
- Разработаны методы обнаружения и восстановления ошибок при автоматическом выделении контуров водоемов
- Система развернута на серверах ФИЦ ИВТ и доступна онлайн

lakes.ict.nsc.ru

Дальнейшие планы

- Расширение числа источников данных
- Использование более совершенных методов выделения воды
- Использование алгоритма маскирования облачности OmniCloudMask – алгоритм глубокого обучения, позволяющий выделять облака и тени от них
- Внедрение автоматического определения и исправления ошибок сегментации и пропусков в данных
- Субпиксельный анализ для более точного определения площадей водоемов
- Предоставление доступа к функциональности системы заинтересованным организациям



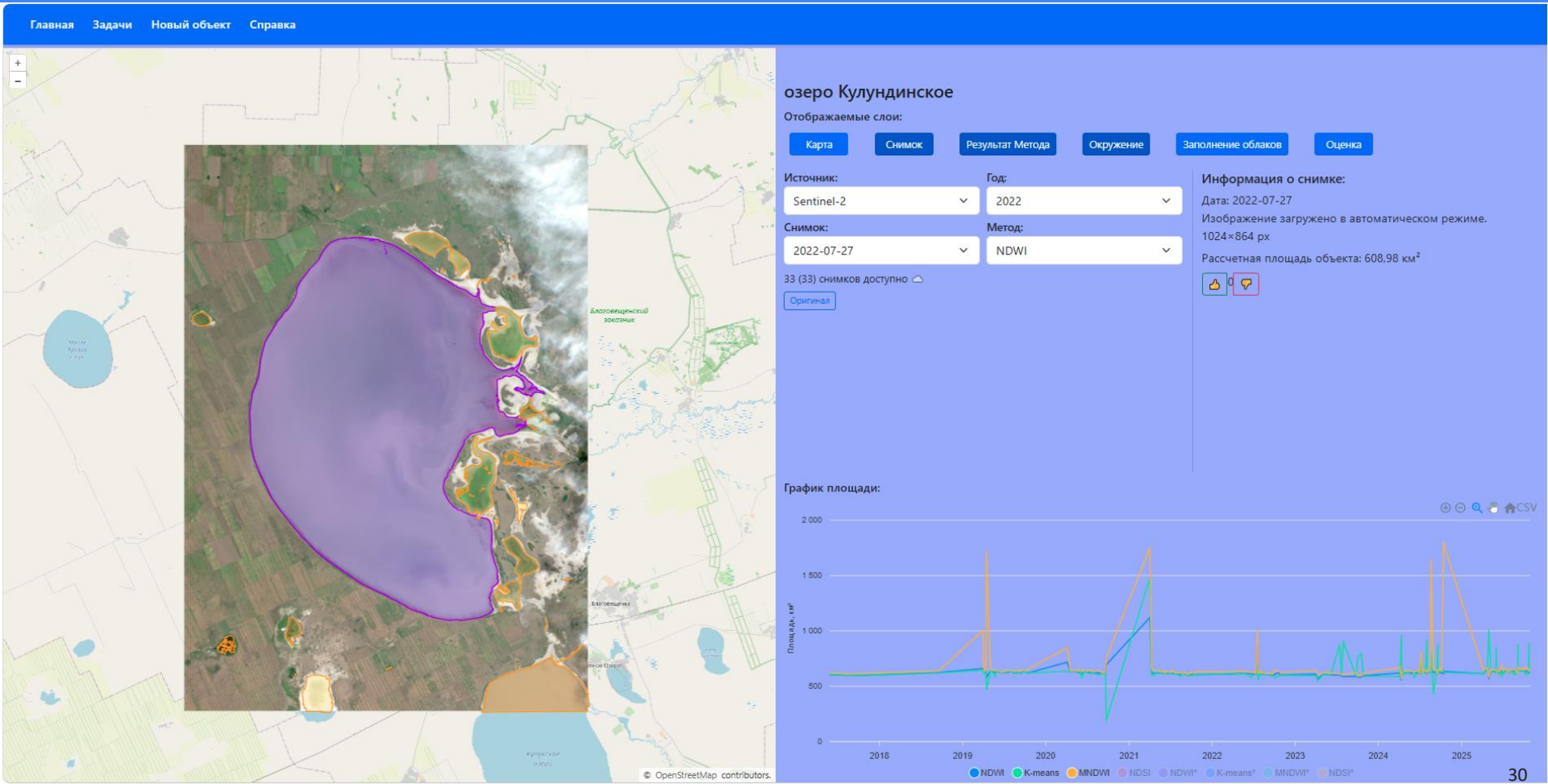
Спасибо за внимание!

Сергей Александрович Рылов

Александр Сергеевич Лапушинский

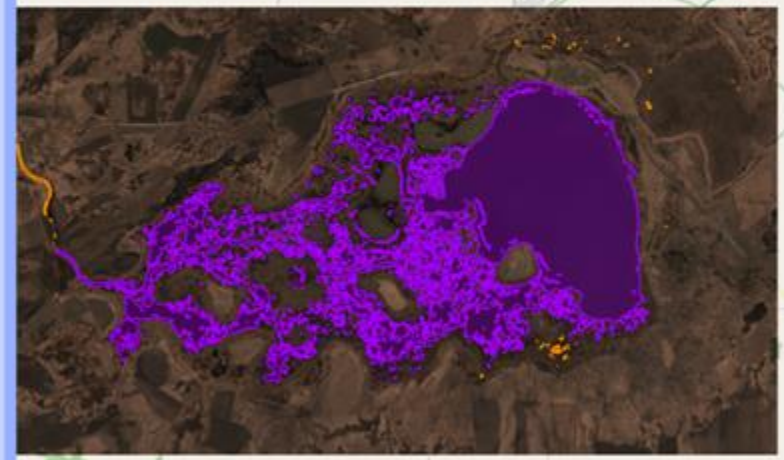
RylovS@mail.ru

Озеро Кулундинское



Озеро Индерь

Главная Задачи Новый обьект Справка Выйти



Выберите тип слоя:

Карта Снимок Водоем Окружение

Источник:

Sentinel-2

Выберите метод:

NDWI

Объект: Индерь

Выберите год:

2022

14 снимков доступно

Выберите снимок:

2022-04-30

Информация о снимке:

Дата: 2022-04-30

Рассчетная площадь объекта: 34.70км² Перерасчет

График за все время наблюдения:

