

**Автоматическое выделение границ районов, нарушенных  
золотодобычей, на основе снимков Sentinel-2 в Магаданской  
области**

Исполнитель:  
Вяткин Е.Д.

## **Введение**

В Магаданской области в трех районах на месторождениях Колымы ведется добыча золота. На 2020 год насчитывалось более 150 предприятий, имеющих право осуществлять добычу золота в этих местах [Золотые месторождения Магаданской]. Основным способом добычи золота в этих местах является промывочный, который заключается в том, что грунт, содержащий золото, разрушается гидравлически, а затем промывается [Самый простой промывочный прибор]. При этом золото и золотоносная руда извлекаются из грунта, а отработанный грунт складируется в русле реки. Хотя этот способ считается самым простым и доступным, он имеет массу негативных последствий для экологии, так как при такой добычи разрушаются большие площади русел рек, а сами реки загрязняются грунтом и взвешенными частицами [Пакусина, и др.]. Мониторинг экологического воздействия золотодобывающей деятельности включает в себя оценку нарушений грунта, вызванных данной деятельностью.

Целью данной работы является разработка алгоритма для автоматизированного выделения границ районов, нарушенных золотодобывающей на основе снимков Sentinel-2.

Анализ динамики изменения площади нарушенных золотодобывающей земель позволит оценить масштабы и интенсивность золотодобычи в регионе.

## **Подбор исходных данных**

В качестве исходных данных было решено использовать космические многозональные снимки Sentinel-2, поскольку они имеют лучшее разрешение, чем Landsat (10 метров против 30). Для сравнения были выбраны три даты: 2017, 2020 и 2023 годы. Основным требованием к исходным данным было отсутствие облачности и покрытие исследуемого района. Кроме того, для большей точности снимки должны быть сделаны в один сезон.

Таблица 1 – исходные данные

| Спутник    | Уровень обработки | Дата       | Разрешение |
|------------|-------------------|------------|------------|
| Sentinel-2 | 1C                | 2017-08-16 | 10m        |
| Sentinel-2 | 2A                | 2020-09-22 | 10m        |
| Sentinel-2 | 2A                | 2023-07-19 | 10m        |

## **Коррекция снимков**

Поскольку в дальнейшем предполагается работа с индексами вегетации NDVI, для снимков должны быть выполнена коррекция снимков. Два из трех снимков (2020 г. и 2023 г.) уже имеют коррекцию, а снимок 2017 года – нет.

Для атмосферной коррекции была использована программа Sen2cor, которая разработана Европейским Космическим Агентством для обработки снимков Sentinel уровня 1С до уровня 2А. Программа выполняет коррекцию атмосферы, рельефа, и перистых облаков [sen2cor]. В результате был получен скорректированный снимок на 2017 г.

## **Расчет NDVI и подбор порогового значения**

Для визуализации районов, нарушенных золотодобычей, был рассчитан индекс вегетации NDVI, поскольку при добыче золота происходит разрушение растительного покрова, а следовательно, NDVI в этом случае является наиболее эффективным способом выделения таких районов.

Следующим шагом была классификация и подбор порогового значения, при котором будут выделены нарушенные золотодобычей территории и при этом не будут затронуты окружающие.

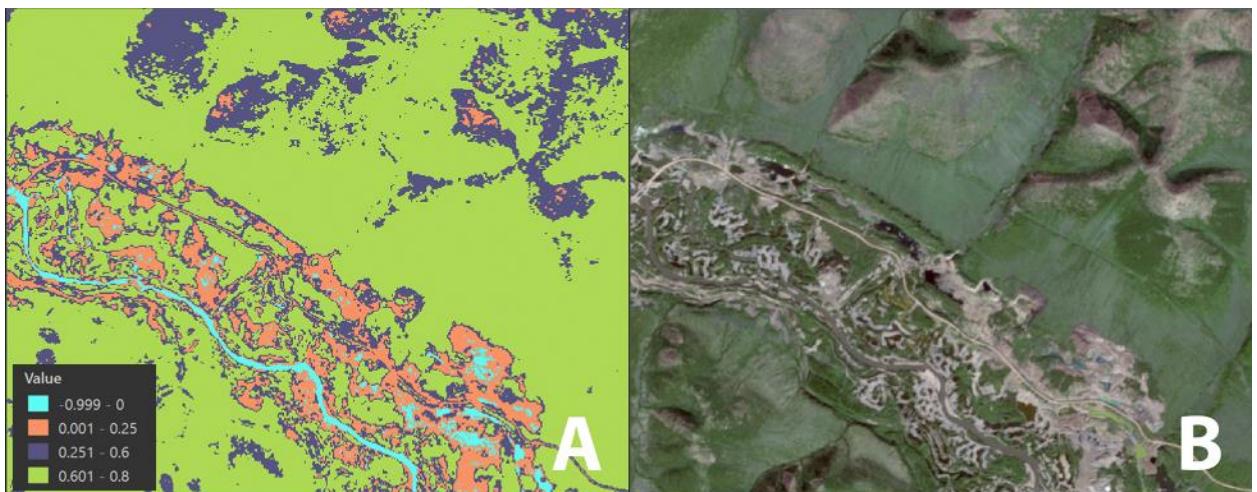


Рисунок 1. Классифицированный NDVI (А) и синтезированный RGB снимок (В) за 2017 год

Подбор значений при классификации выполнялся вручную с визуальным контролем на основании RGB растра (рисунок 1). При подборе значения учитывалась получаемая картинка на всех трех растрах.

Оптимальным пороговым значением NDVI, при котором эффективно выделяются нарушенные золотодобычей территории и не затрагиваются окружающие было выбрано значение 0.3. Все что ниже этого значения было отнесено к нарушенным территориям, включая водную поверхность, поскольку значительная часть приисков затоплена водой, а все что выше этого значения – к другим территориям.

### **Маскирование похожих территорий**

После установления порогового значения NDVI, помимо грунтов, затрагиваемых добычей, также выделились скалистые области, поскольку исследуемая территория представляет собой горный район. Поскольку не удалось подобрать значение таким образом, чтобы выделялись только районы золотодобычи, было принято решение создать маску, которая отделит территории приисков от окружающих их гор.

В качестве подложки при создании маски использовался снимок за 2023 год. Мaska создавалась таким образом, чтобы охватить визуально наблюдаемую золотодобывающую деятельность. Для лучшего контроля использовался также растр NDVI.

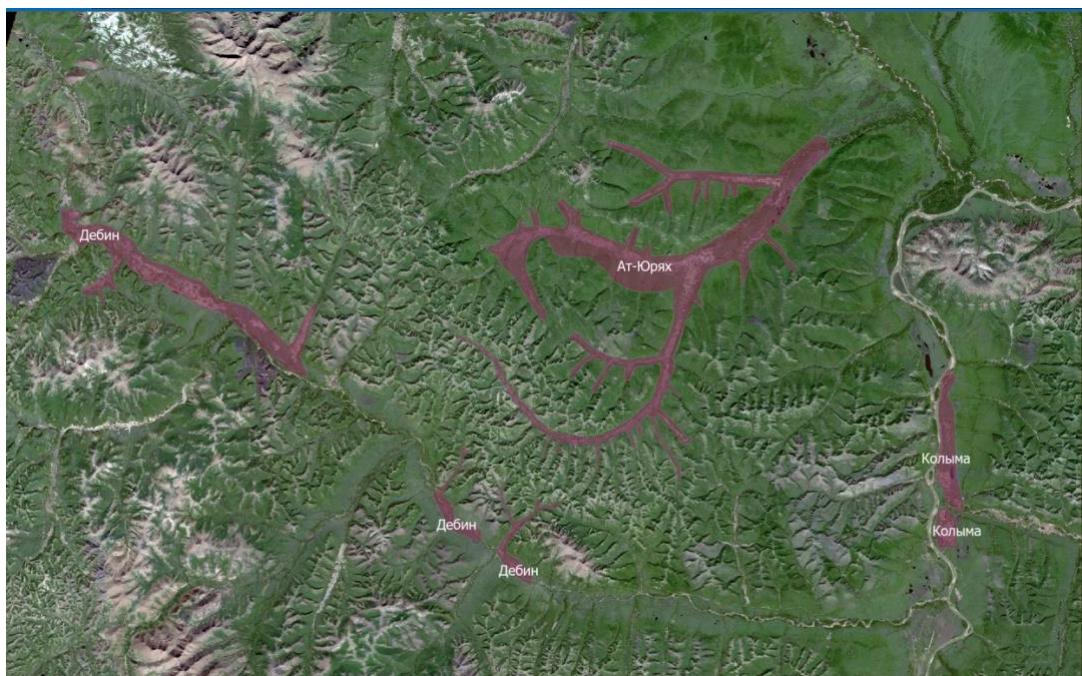


Рисунок 2. Выделенные маской прииски

В результате создания маски было выделено шесть приисков (рисунок 2), которым для удобства присвоено название в зависимости от того, на какой реке и притоках они расположены: 3 участка на реке Дебин, 2 участка на реке Колымы и один участок на реке Ат-Юрях и ее притоках.

Следующим шагом была обрезка растров NDVI по созданной маске и переклассификация растра с учетом найденного порогового значения индекса вегетации (0.3).

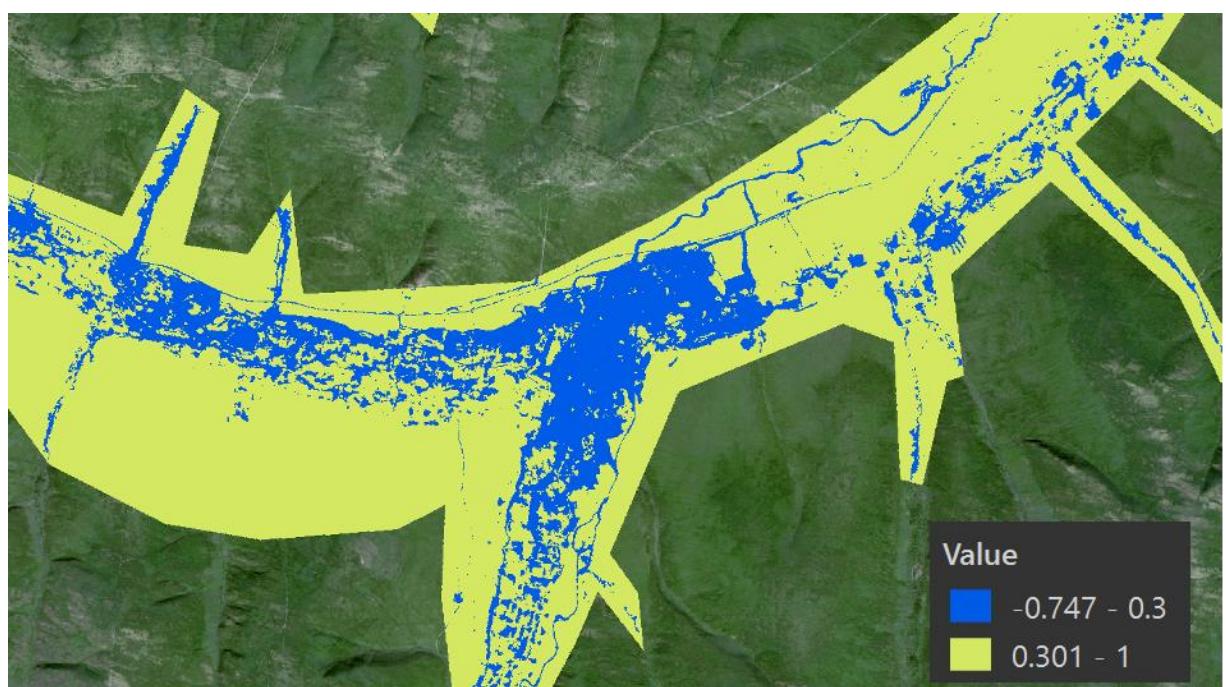


Рисунок 3. Обрезанный растр NDVI 2017 года по маске

На рисунке 3 видно, что в результате обрезки раstra по маске на растре остались только территории приисков включая реки, дороги и другие антропогенно преобразованные территории нарушением растительного покрова.

### **Выявление изменений между раstrами**

Для визуализации изменений между периодами было выполнено вычитание раstrов за 2017 и 2020 гг.

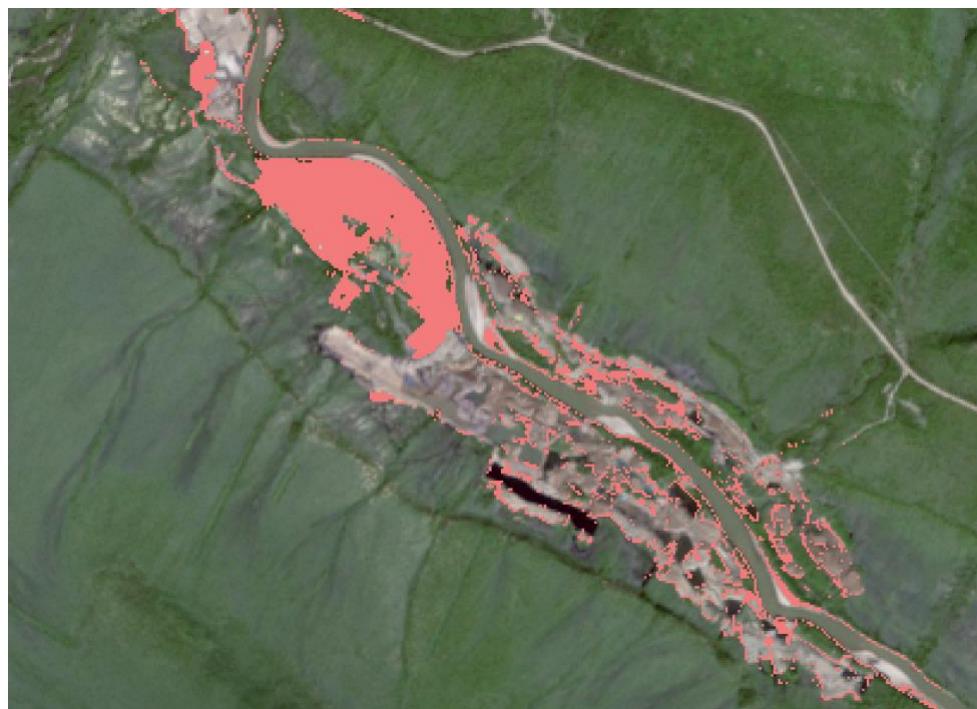


Рисунок 4. Результат вычитания раstrов 2017-2020 гг.

На рисунке 4 видно, что в результате вычитания раstrов за 2017 и 2020 гг. выделились изменения, произошедшие за этот период. В северо-западной части рисунка отмечается значительная площадь нарушенных территорий, появившаяся в период с 2017 по 2020 г. Однако, помимо этого, появился различный шум (небольшие участки пикселей).

После этого полученные раstry были преобразованы в полигоны с помощью инструмента «Растр в полигоны».

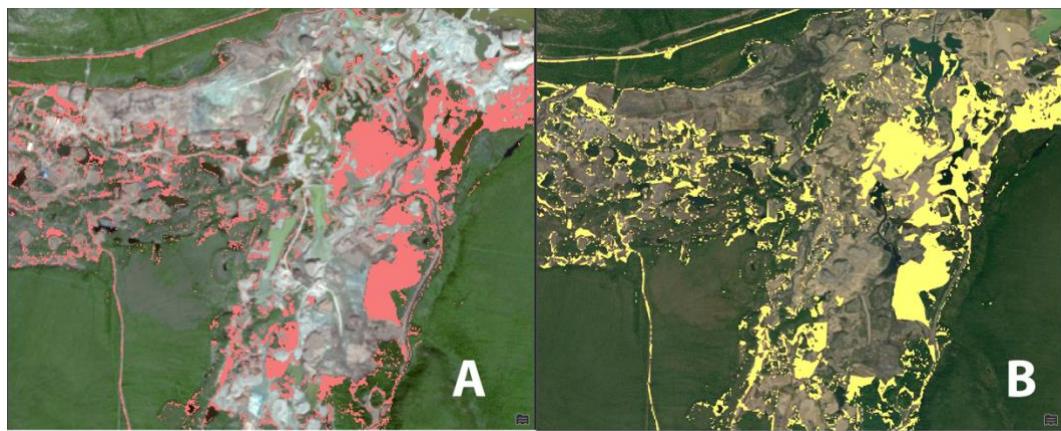


Рисунок 5. Преобразование раstra 2017-2020 (А) в полигоны (В)

Для устранения небольших участков пикселей для полигонального слоя была рассчитана площадь полигонов гектарах, после чего был подобран порог фильтрации, при котором большая часть «шума» будет устранена.

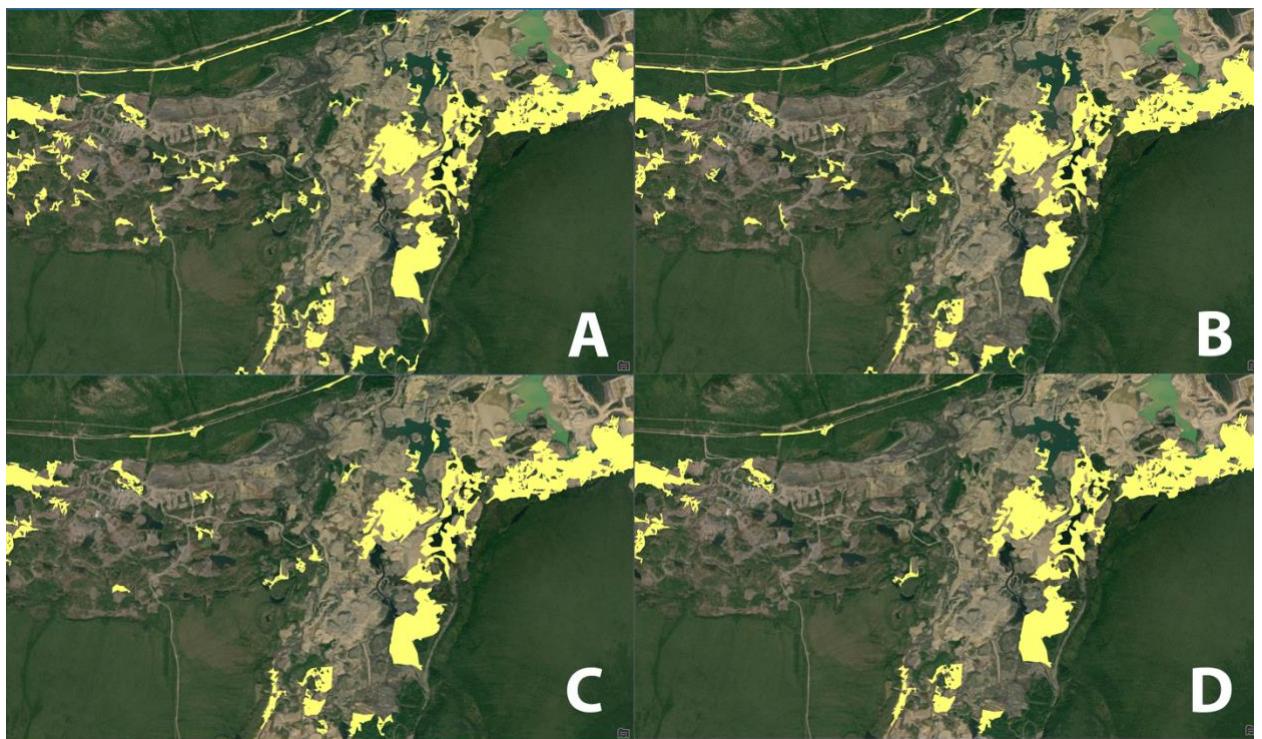


Рисунок 6. Результат фильтрации при пороговом значении 0.3 га (А) и 0.5 га (Б), 0.7 га (С) и 1 га (Д)

Из рисунка 6 видно, что при увеличении порога фильтрации удаляется больше мелких полигонов, похожих на шум. При этом сохраняются более крупные изменения. Таким образом порог фильтрации полигонов был принят в 1 га.

Также, был опробован другой подход в устраниении мелких участков, который заключается в агрегировании полигонов и присоединении мелких участков к более крупным с разным пороговым значением расстояния, при котором соседние полигоны соединяются.

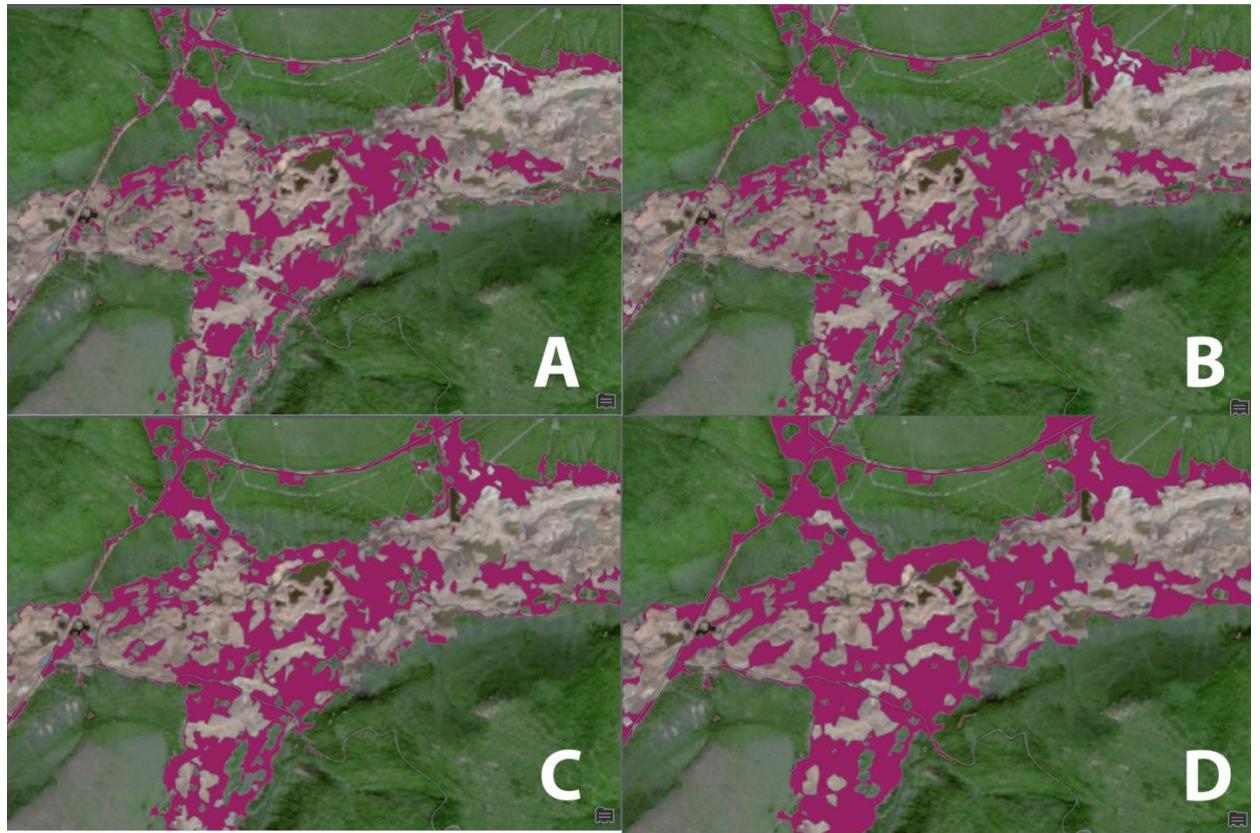


Рисунок 8. Результат агрегирования полигонов с разными пороговыми значениями расстояния: 10 м (А), 20 м (Б), 30 м (С) и 50 м (Д).

На рисунке 9 видно, что с повышением порога расстояния инструмента агрегирования мелкие полигоны соединяются в более крупные полигоны, однако возрастает зона покрытия полигонов, распространяясь на территории, на которые не происходит воздействия от деятельности по золотодобыче. Для сравнения на рисунке 9 представлен тот же участок, что на рисунке 8, но с фильтрацией мелких полигонов по пороговому значению площади 1 га.

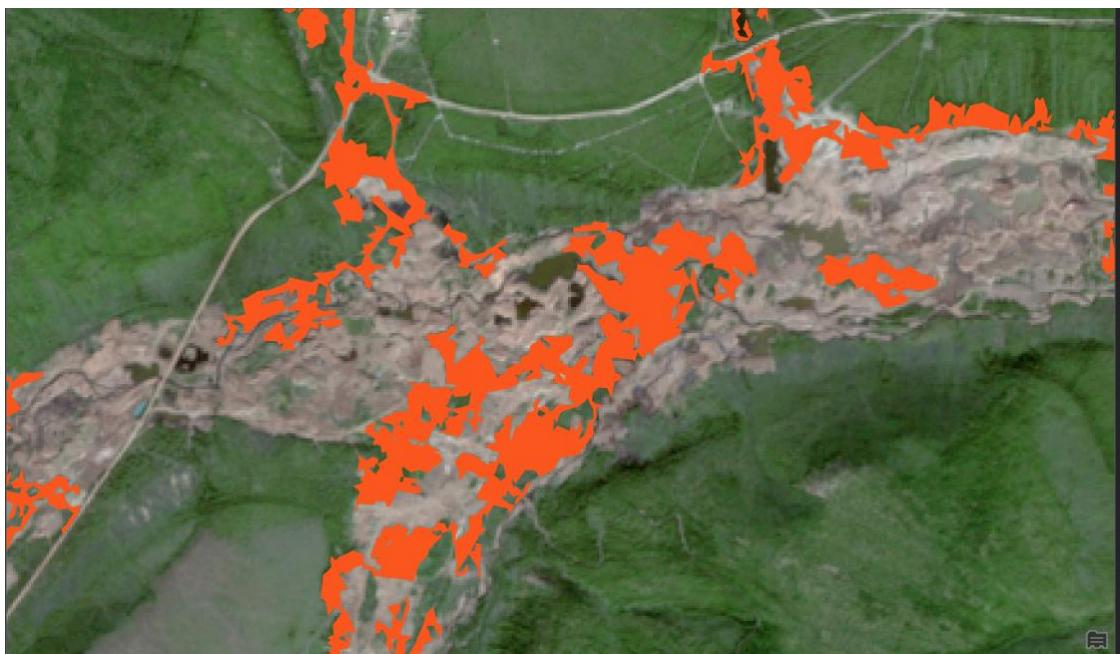


Рисунок 9. Результат фильтрации полигонов по пороговому значению площади

Сравнивая эти два подхода, можно отметить, что подход, при котором происходит фильтрация по пороговому значению площади, является более точным с точки зрения выделяемых границ территорий, подверженным изменениям, хотя и отсеиваются более мелкие участки. Таким образом, выбор был сделан в пользу этого подхода.

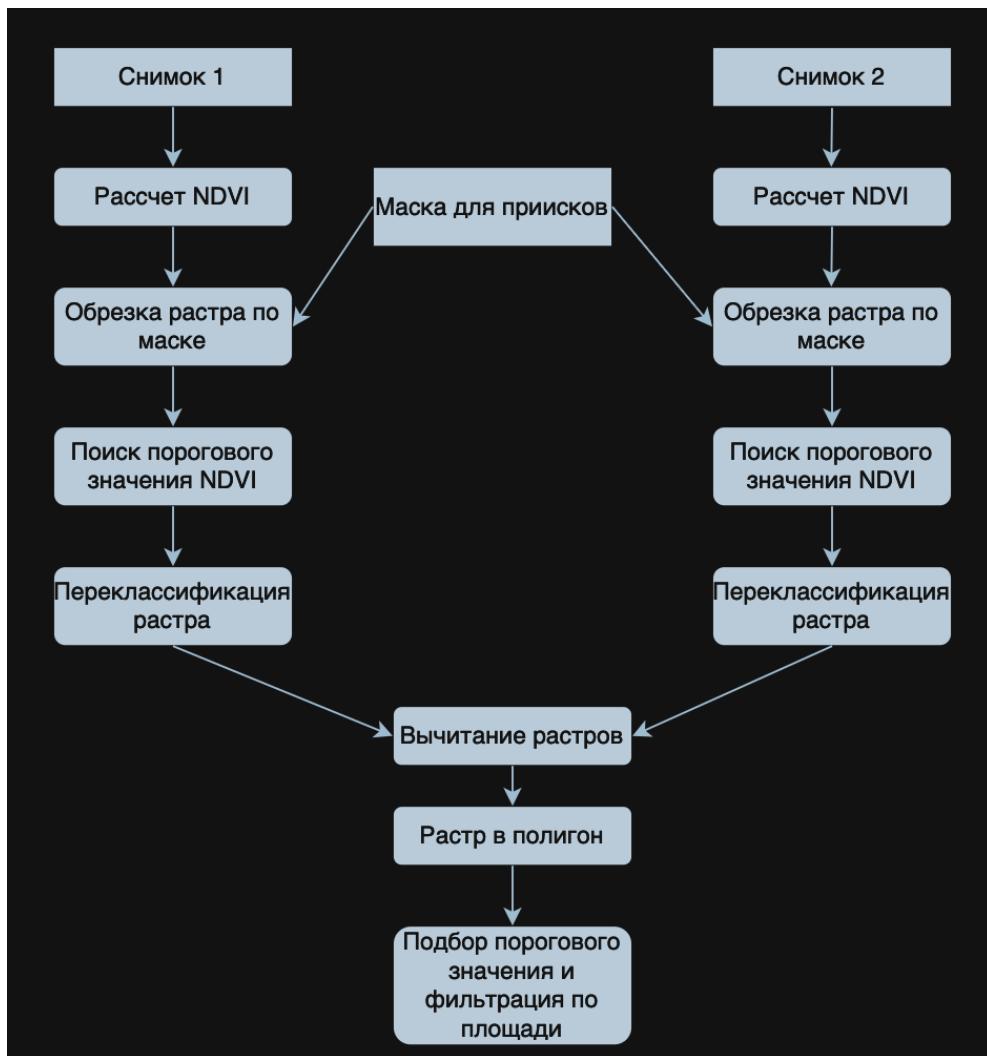


Рисунок 10. Алгоритм для выявления измененных золотодобычей территорий

На рисунке 10 представлена итоговая алгоритмическая для выявления изменений границ районов, нарушенных в результате золотодобычи. Модель принимает на вход два раstra, и маску. Также необходимо подобрать пороговые значения для фильтрации мелких полигонов по площади, а также пороговое значение NDVI для выделения территорий приисков.

### **Анализ динамики изменения площади нарушенных золотодобычей территорий**

Таблица 2. Изменение площади нарушенных золотодобычей территорий в гектарах на различных участках

|           | Ат-Юрях | Дебин | Колыма | Суммарно, га |
|-----------|---------|-------|--------|--------------|
| 2017-2020 | 1403.1  | 755.9 | 58.7   | 2217.7       |
| 2020-2023 | 477.1   | 360.4 | 315.4  | 1152.9       |

Из таблицы 2 видно, что с 2017 по 2020 годы площадь нарушенных территорий в результате золотодобывающей деятельности составила 2217.7 гектар, а за следующие три года с 2020 по 2023 годы площадь составила 1152.9 гектар. Самый большой показатель отмечается на приисках на реке Ат-Юрах и ее притоках: с 2017 по 2020 год он составил 1403 га, а с 2020 по 2023 гг. 477 га, то есть динамика нарушений целостности земель уменьшилась на 926 га. На реке Дебин динамика также стала меньше на 395 га. А вот на реке Колыма отмечается увеличение площади территории, затрагиваемых золотодобывающей деятельностью на 256 га.

## **Вывод**

В ходе данной работы был разработан алгоритм для автоматизированного выделения границ районов, нарушенных золотодобывающей, на основе снимков Sentinel-2. Были подобраны оптимальные пороговые значения для индекса NDVI и фильтра полигонов по площади. Результат работы алгоритма был также проверен путем визуального выявления различий на разновременных снимках и сравнения этих различий с теми, что были выделены автоматическим способом.

Анализ динамики изменения площади нарушенных золотодобывающей территорий на трех участках (р. Ат-Юрях, р. Дебин, р. Колыма) показал, что с 2020 по 2023 гг. прирост площади таких территорий уменьшился в сравнении с периодом 2017-2023 гг. суммарно, а также на участках Ат-Юрях и Дебин, однако увеличился на участке на р. Колыма.

Результаты работы могут быть использованы для:

- Мониторинга экологического воздействия золотодобывающей деятельности.
- Оценки масштабов и интенсивности золотодобычи в регионе.
- Разработки мероприятий по рекультивации отвалов золотодобычи.
- Снижения негативного воздействия золотодобычи на окружающую среду.

Дальнейшее развитие работы может быть направлено на:

- Совершенствование алгоритма для повышения его точности и надежности.
- Расширение области применения алгоритма на другие регионы и типы золотодобычи.
- Интеграцию алгоритма с другими системами мониторинга окружающей среды.

## **Источники**

1. Sen2Cor. SNAP SUPPORTED PLUGINS ESA [Электронный ресурс] // URL: <https://step.esa.int/main/snap-supported-plugins/sen2cor/>
2. Золотые месторождения Магаданской области [Электронный ресурс] // URL: <https://innoter.com/articles/zolotye-mestorozhdeniya-magadanskoy-oblasti/>
3. Самый простой промывочный прибор (промприбор) для промышленной добычи россыпного золота [Электронный ресурс] URL: <https://zolotodb.ru/article/12570>
4. Пакусина, А. П. (б. д.). ВЛИЯНИЕ ДОБЫЧИ ЗОЛОТА НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МАЛЫХ РЕК ЗЕЙСКОГО РАЙОНА АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2023-1-82-86>