

# МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ЗАШУМЛЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИСТАНЦИОННОГО ОБЪЕКТНОГО МОНИТОРИНГА

Константинова А.М., Лупян Е.А.  
ИКИ РАН, Москва

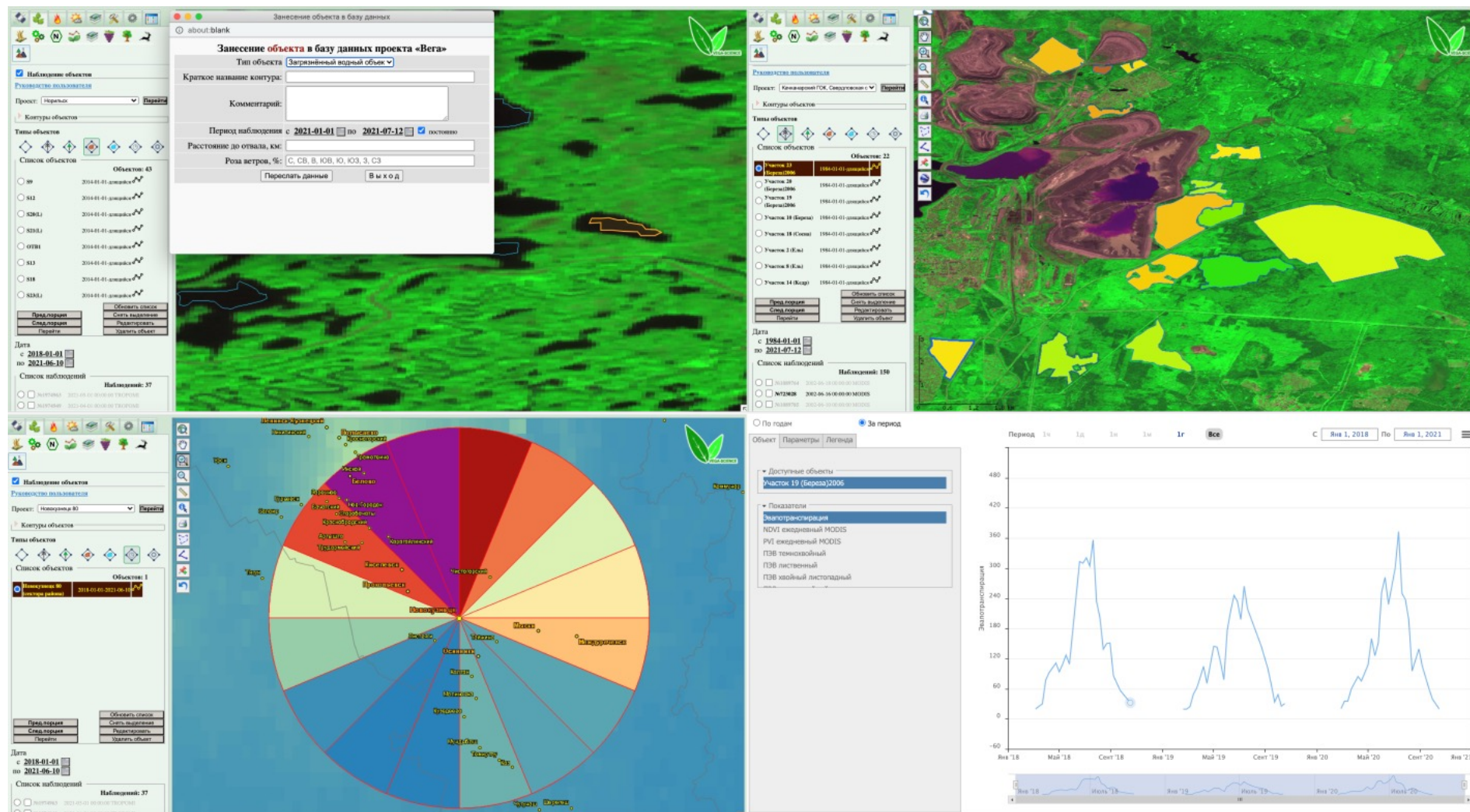
Двадцатая международная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ  
ИЗ КОСМОСА»

14 - 18 ноября 2022 г., Москва





# Технология «объектного» мониторинга



# Проблема

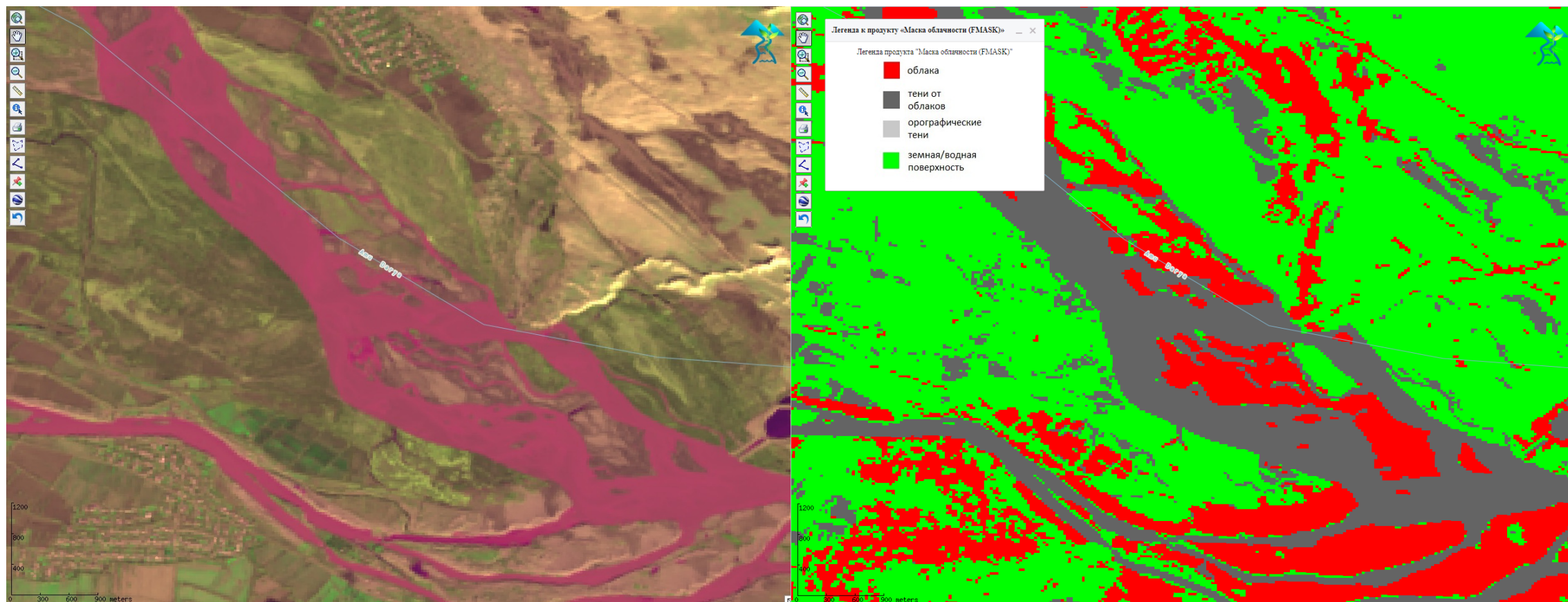
Наличие недостаточно точных масок облачности или их отсутствие



Невозможность получить ряды характеристик объектов, очищенных от различных шумов, связанных с наличием облачности на конкретных спутниковых изображениях

# Мониторинг космических гидропостов

Алгоритм Fmask (для коллекции Landsat) (Zhe Zhu et al., 2015; Yunan Luo et al., 2020)



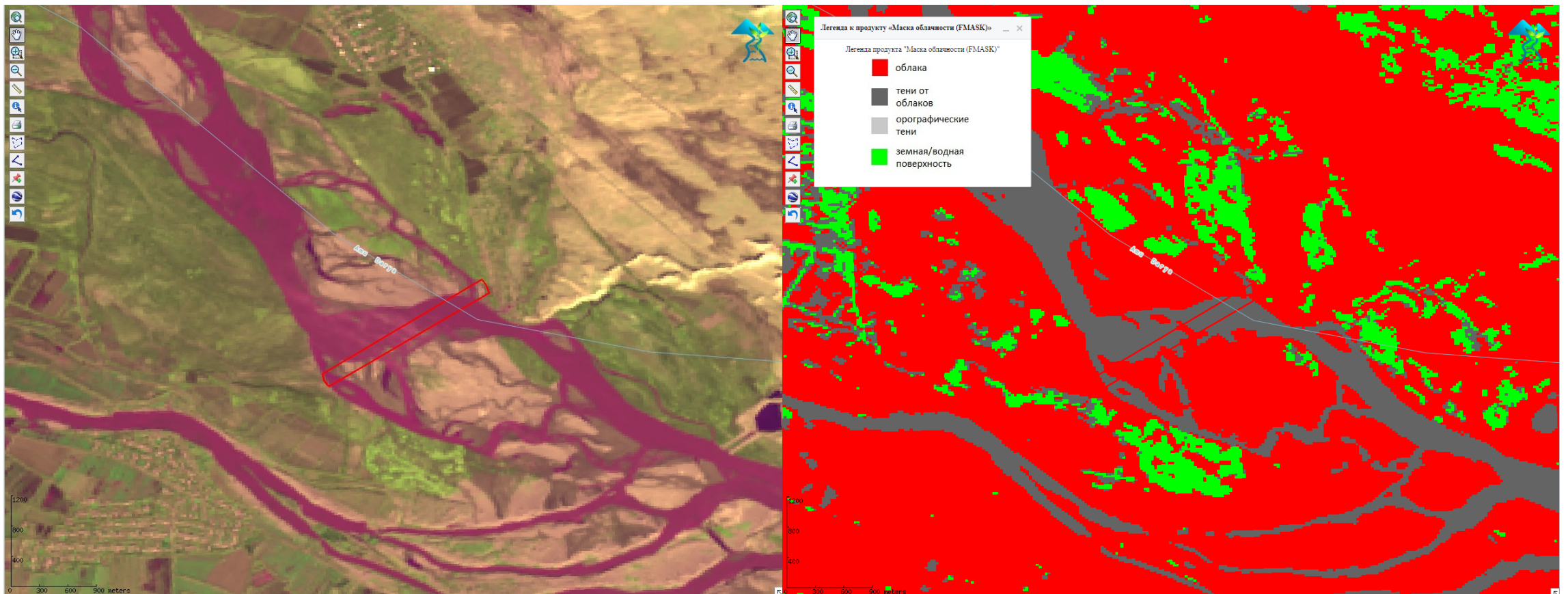
Zhu Z., Wang S., Woodcock C. Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images // *Remote Sensing of Environment*. 2015. Vol. 159. P. 269-277. DOI: 10.1016/j.rse.2014.12.014

Luo Y., Guan K., Peng J., Wang S., Huang Y. STAIR 2.0: A Generic and Automatic Algorithm to Fuse Modis, Landsat, and Sentinel-2 to Generate 10 m, Daily, and Cloud-/Gap-Free Surface Reflectance Product // *Remote Sens.* 2020. Vol. 12(19). P. 3209. DOI: 10.3390/rs12193209.



# Мониторинг космических гидропостов

Алгоритм Fmask (для коллекции Landsat) (Zhe Zhu et al., 2015; Yunan Luo et al., 2020)

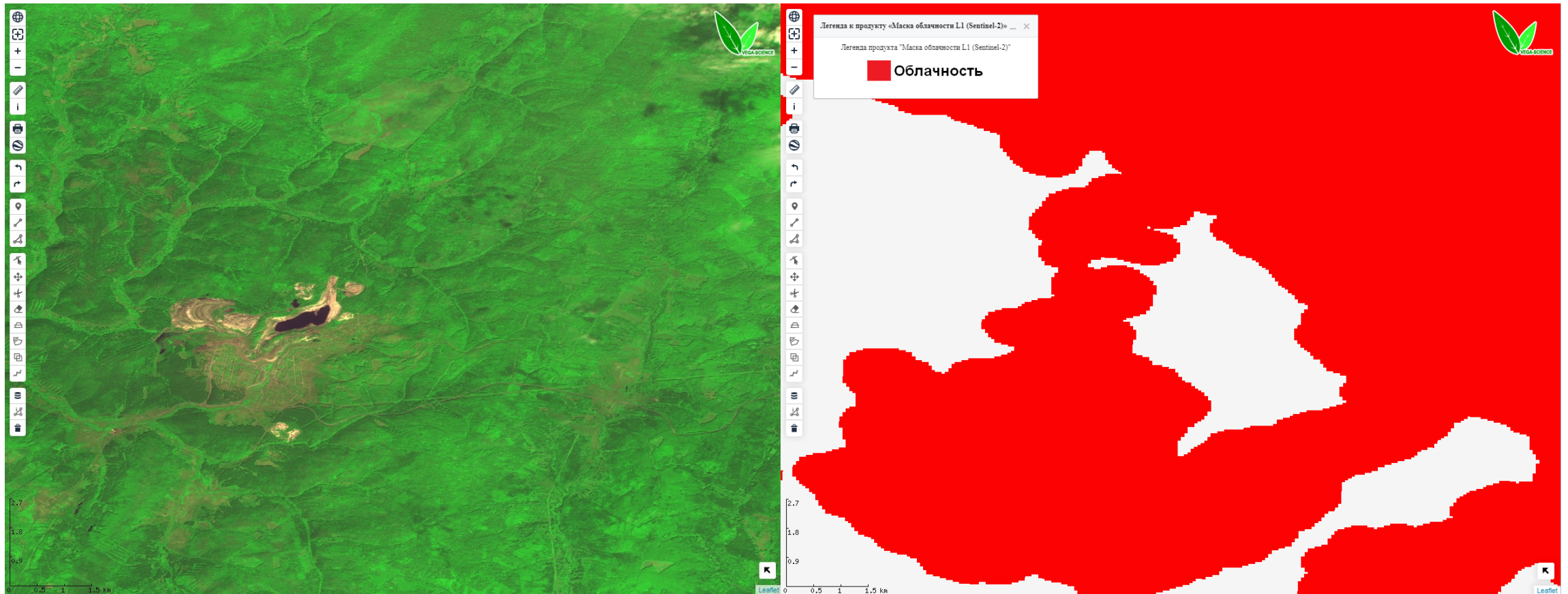


Zhu Z., Wang S., Woodcock C. Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images // *Remote Sensing of Environment*. 2015. Vol. 159. P. 269-277. DOI: 10.1016/j.rse.2014.12.014

Luo Y., Guan K., Peng J., Wang S., Huang Y. STAIR 2.0: A Generic and Automatic Algorithm to Fuse Modis, Landsat, and Sentinel-2 to Generate 10 m, Daily, and Cloud-/Gap-Free Surface Reflectance Product // *Remote Sens.* 2020. Vol. 12(19). P. 3209. DOI: 10.3390/rs12193209.

# Другие примеры масок облачности

Level-1C cloud detection algorithm для коллекции Sentinel 2 без атмосферной коррекции (Copernicus Sentinel-2 (processed by ESA), 2021)



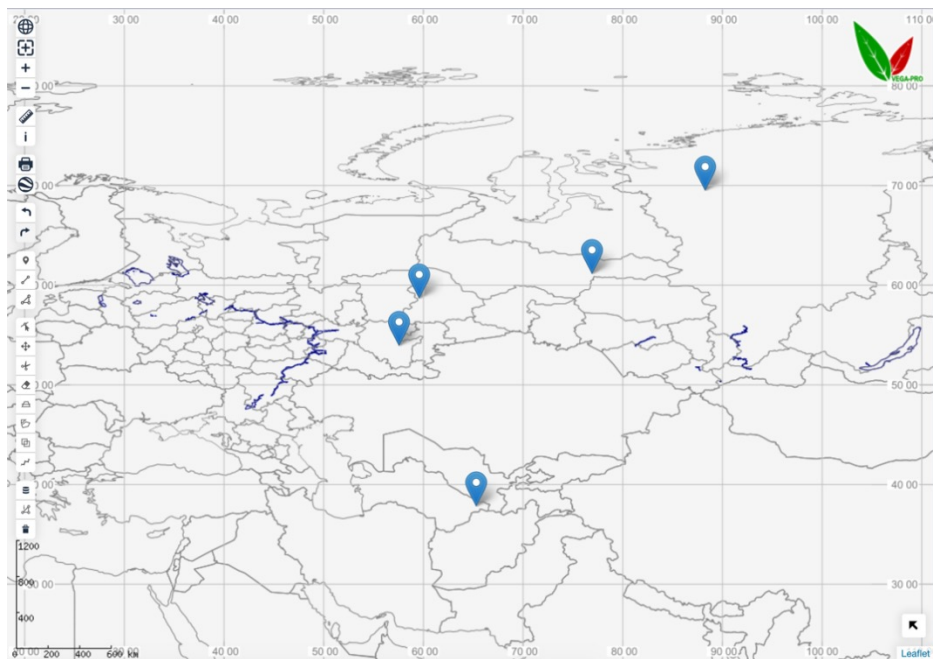
# Предлагаемый подход

Заменить результат наложения маски облачности на фильтрацию спутниковых сцен **по порогу облачности (проценту облачных пикселей) в окрестности** анализируемого объекта.

Предполагается, что, начиная с определённого порога, можно с большой вероятностью сказать, что на рассматриваемой сцене объект будет в основном покрыт облачностью и её можно не брать в расчёт.



# Используемые данные



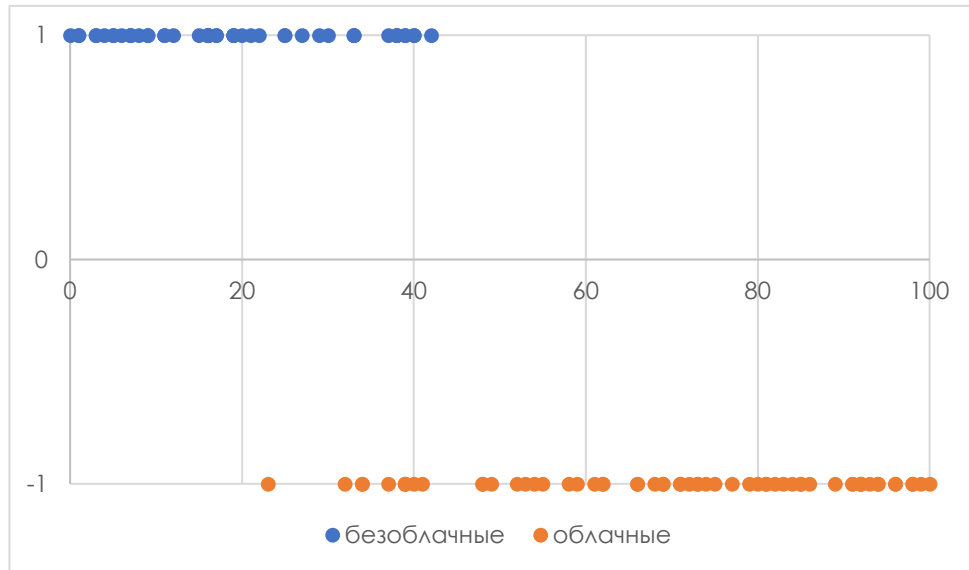
Карта зон расположения анализируемых объектов

Наборы данных:

- 18 объектов, наблюдаемых в период с 2013 по 2021 года по данным приборов MSI (Sentinel 2) и OLI (Landsat 8);
- ряды характеристик наблюдений объектов, размеченные вручную на облачные и безоблачные;
- 6300 спутниковых сцен для объектов, по которым проводились наблюдения (из них 2400 облачные на объектах);
- маски облачности, построенные на окрестности объектов для используемых сцен.



# Определение оптимального порога облачности



Модельное распределение облачных и безоблачных изображений в зависимости от процента облачных пикселей в окрестности объекта

$$\varepsilon^* = \arg \min_{\varepsilon} \left( \sum_{i=1}^n \varphi_+(\varepsilon_{a_i} - \varepsilon) + \sum_{j=1}^m \varphi_-(\varepsilon_{b_j} - \varepsilon) \right): a_i \in A, b_j \in B$$

где:  $A$  – множество облачных изображений,  $B$  – множество безоблачных изображений,  $n = |A|$  – количество облачных изображений,  $m = |B|$  – количество безоблачных изображений,  $\varphi_+$  и  $\varphi_-$  – функции потерь (ФП) при классификации,  $\varepsilon_{a_i}$  – порог облачности на  $i$ -ом облачном изображении,  $\varepsilon_{b_j}$  – порог облачности на  $j$ -ом безоблачном изображении,  $\varepsilon^*$  – оптимальное значение порога облачности.

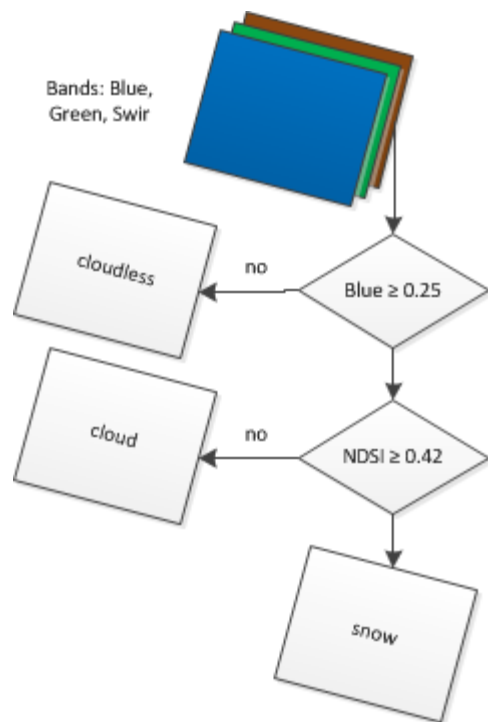
$$\varepsilon^* = \arg \min_{\varepsilon} \left( \frac{N_m(\varepsilon) + N_e(\varepsilon)}{N} \right)$$

где:  $N_m$  – количество пропущенных (missed) в результате фильтрации качественных изображений,  $N_e$  – количество лишних (extra) некачественных изображений, попавших в выборку после фильтрации,  $N$  – размер выборки.

# Упрощённый алгоритм детектирования облачности

За основу была взята фильтрация эффектов маскирующего влияния облаков по данным MODIS из работы (Барталев и др., 2016).

Используются коэффициент спектральной яркости (КСЯ) в голубом канале  $R_{blue}$  и нормализованный разностный индекс снега NDSI:



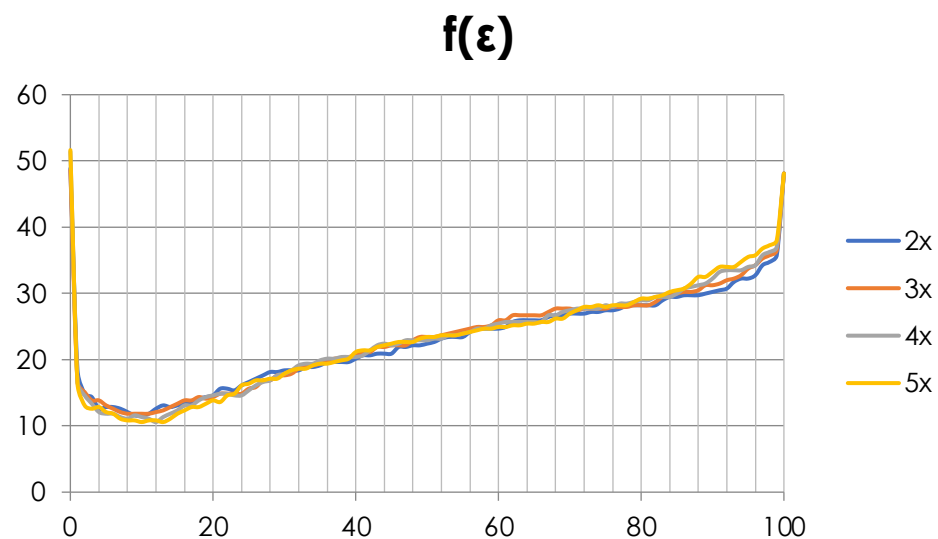
$$NDSI = \frac{R_{green} - R_{swir}}{R_{green} + R_{swir}}$$

где:

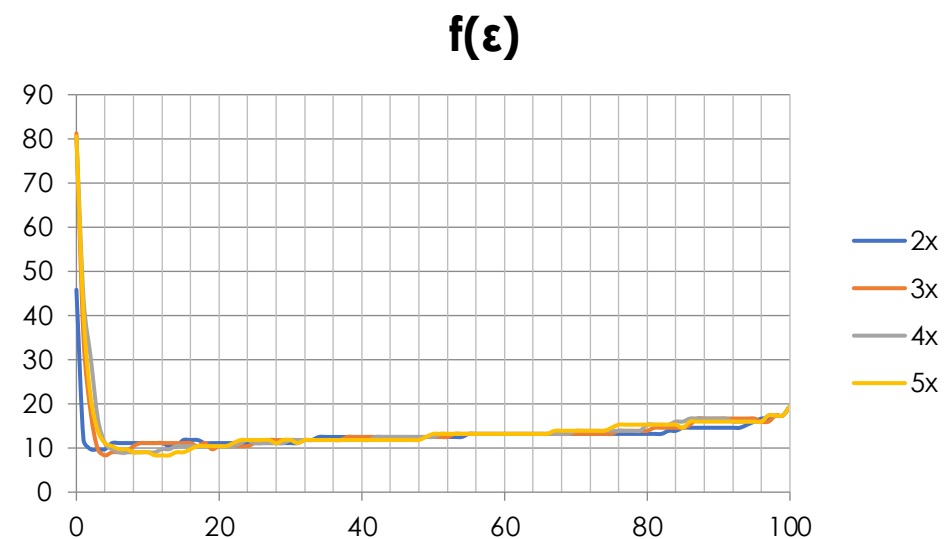
$R_{green}$  - КСЯ в зелёном канале (542-577 мкм и 530-590 мкм для MSI (Sentinel-2) и OLI (Landsat 8) соответственно),

$R_{swir}$  - КСЯ в SWIR канале (1565-1655 мкм и 1570-1650 мкм для MSI (Sentinel-2) и OLI (Landsat 8) соответственно).

# Зависимость суммарной ошибки от порога облачности



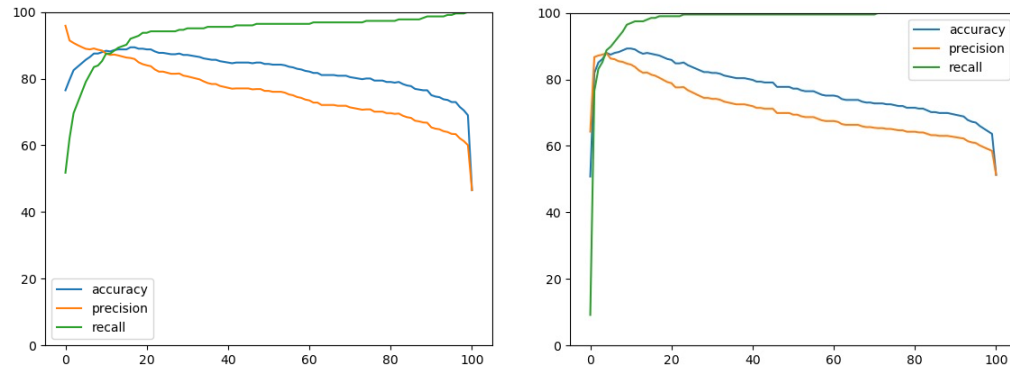
Пример функции суммарной ошибки для объекта, расположенного в зоне, для которой процент облачных дней в году составляет 50%. Получены по данным MSI (Sentinel-2)



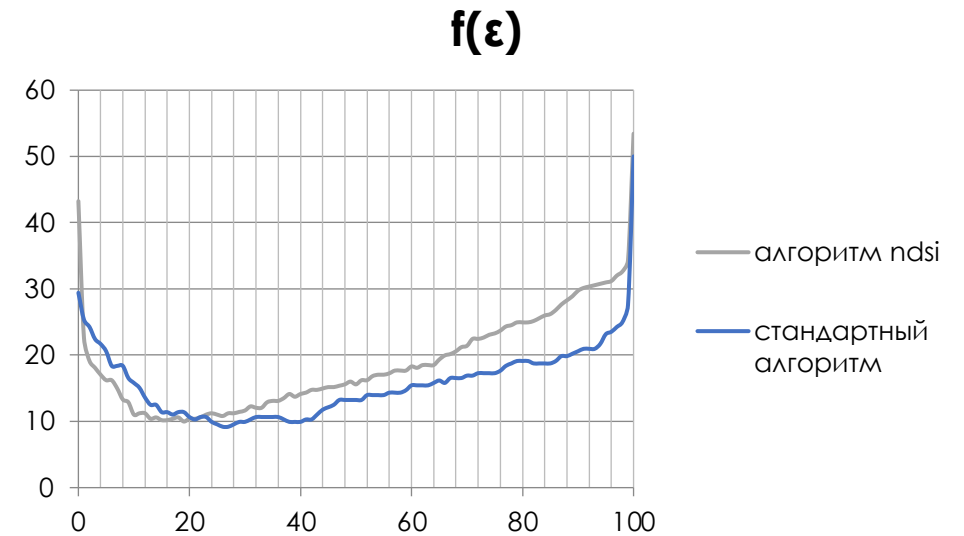
Пример функции суммарной ошибки для объекта, расположенного в зоне, для которой процент облачных дней в году составляет менее 20%. Получены по данным MSI (Sentinel-2)



# Проверка устойчивости предлагаемого подхода

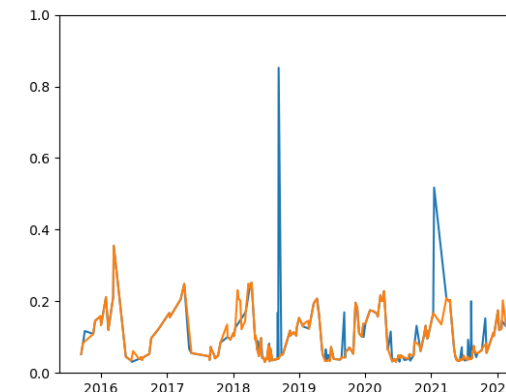
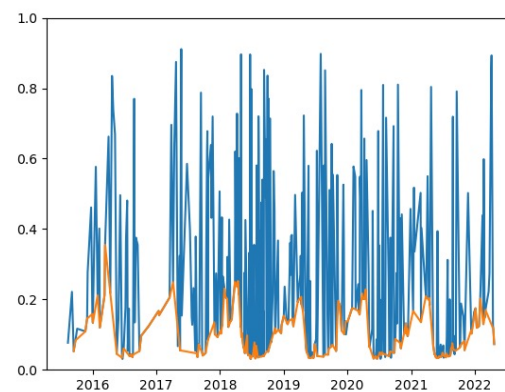
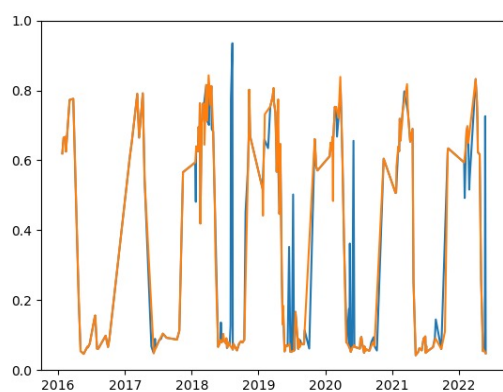
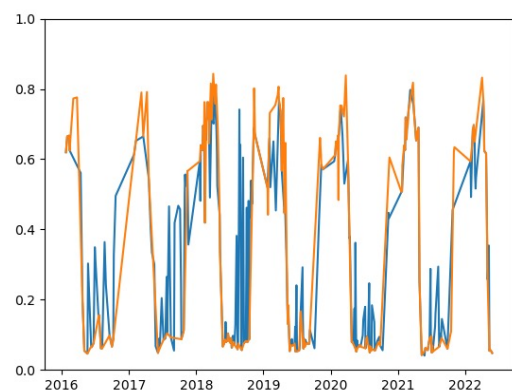
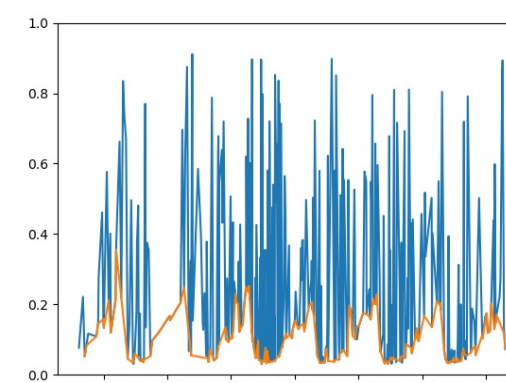
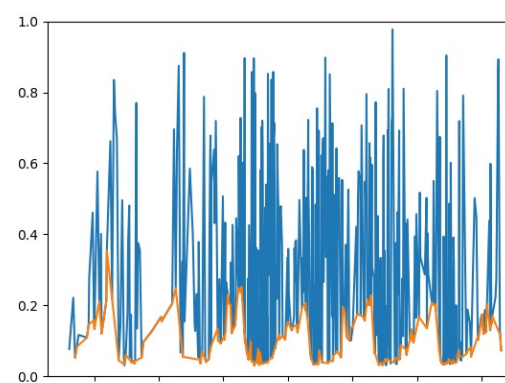
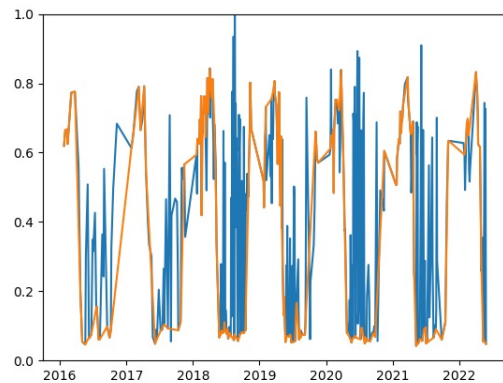
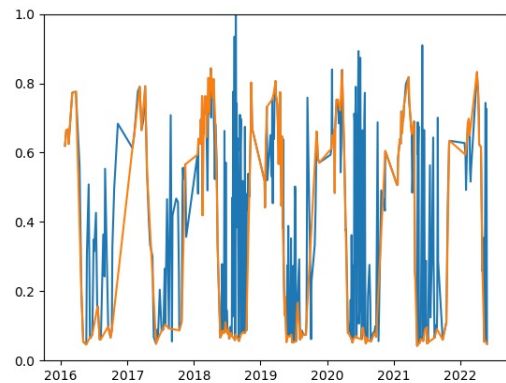


Метрики accuracy, precision и recall в зависимости порога облачности для рассматриваемых объектов



Функции ошибки для различных алгоритмов выделения облачности

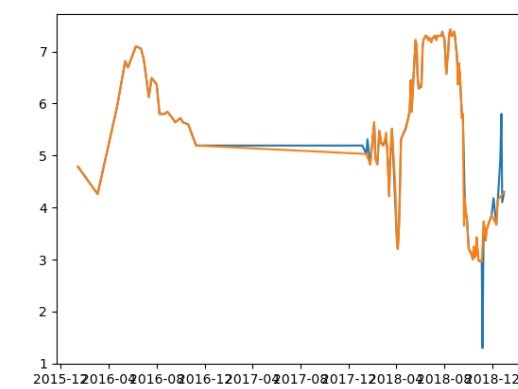
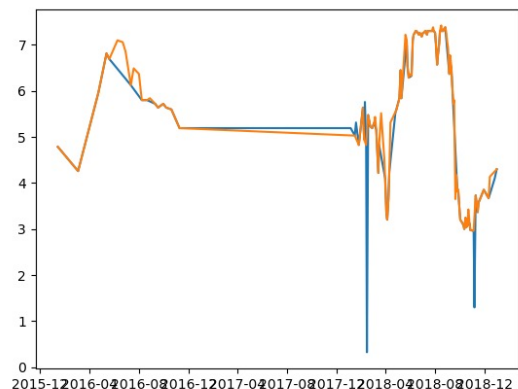
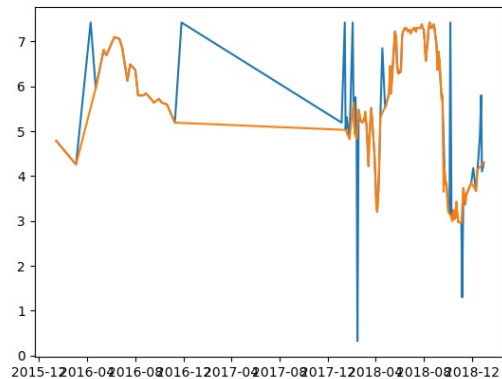
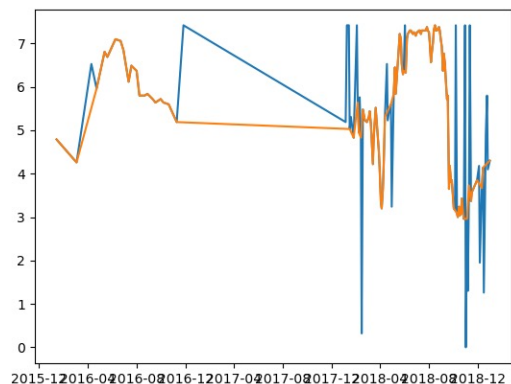
# Примеры



*Ряды со значениями конечного показателя для объекта, расположенного в Западной Сибири (оранжевый цвет – очищенные вручную ряды, синий цвет – ряды на различных этапах фильтрации): до фильтрации, после «маскирования» по маске облачности, после фильтрации выбросов для «маскированных» данных, после фильтрации «маскированных» данных по порогу облачности*

*Ряды со значениями конечного показателя для объекта, расположенного на Южном Урале (оранжевый цвет – очищенные вручную ряды, синий цвет – ряды на различных этапах фильтрации): до фильтрации, после «маскирования» по маске облачности, после фильтрации выбросов для «маскированных» данных, после фильтрации «маскированных» данных по порогу облачности*

# Примеры



Ряды со значениями конечного показателя для объекта, расположенного в регионе с малым количеством облачных дней (Узбекистан) (оранжевый цвет – очищенные вручную ряды, синий цвет – ряды на различных этапах фильтрации): до фильтрации, после «маскирования» по маске облачности, после фильтрации выбросов для «маскированных» данных, после фильтрации «маскированных» данных по порогу облачности

Процент суммарной ошибки, рассчитанной по результатам использования различных видов фильтрации

Объект	Кол-во изображений	Фильтрация выбросов	Фильтрация по порогу
1	344	44%	17%
2	394	29%	11%
3	129	28%	12%



# Результаты

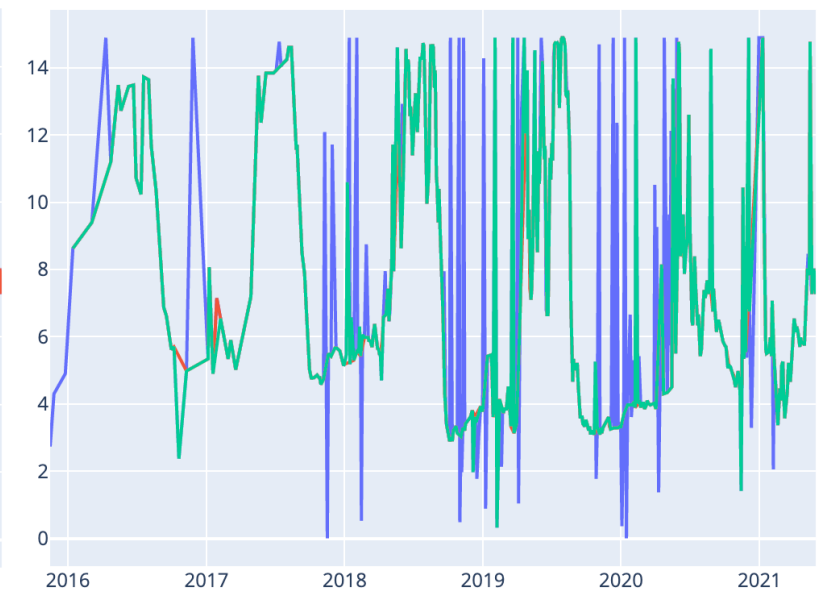
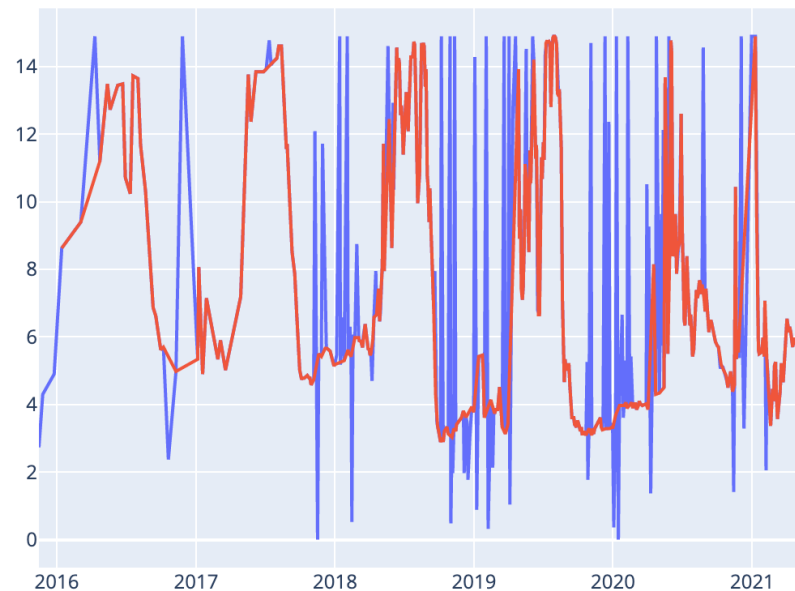
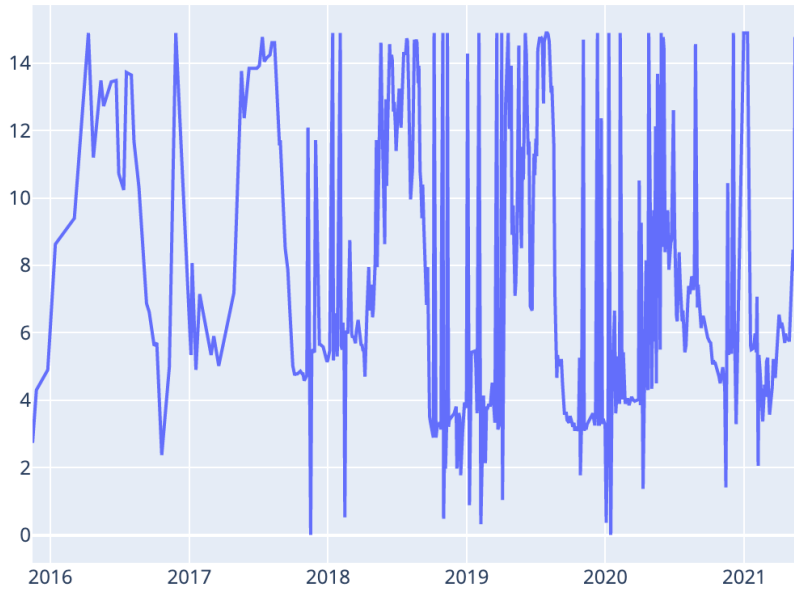
## Плюсы подхода:

- позволяет фильтровать данные при наличии недостаточно точных масок облачности;
- оставшиеся после применения подхода данные могут быть дофильтрованы различными алгоритмами фильтрации выбросов.

## Минусы подхода:

- в выборке остаются некачественные данные;
- часть качественных данных не попадает в выборку;
- для большей точности необходимо находить оптимальный порог для каждого конкретного объекта;
- есть недостатки детектирования облачности при использовании алгоритма по NDSI.

# Результаты



An aerial photograph of a landscape, possibly a coastal or riverine area, with a semi-transparent green and blue overlay. The overlay appears to be a map or data visualization, with green covering most of the land and blue covering water bodies. The background is a dark, slightly blurred aerial view.

# Спасибо за внимание

[konstantinova.anouk@gmail.com](mailto:konstantinova.anouk@gmail.com)

Работа выполнена при поддержке темы «Мониторинг»  
(госрегистрация № 122042500031-8) с использованием  
ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг»