

**Семнадцатая Всероссийская Открытая конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
ИКИ РАН 11 – 15 ноября 2019 г.**

Метод дистанционного контроля нарушенности в процедурах обнаружения и мониторинга антропогенного воздействия на растительность

Саворский В.П.^{1,2 *}, Горный В.И.³, Лупян Е.А.², Ермаков Д.М.¹, Панова О.Ю.^{1,2}, Константинова А.М.²

***savor@inbox.ru**

¹Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязинский филиал (ФирЭ им. В.А. Котельникова РАН), Фрязино, Московская обл., Россия

²Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

³Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург, Россия

Цели

- 1. Выявление механизмов влияния типовых ИТОО на потенциально наблюдаемые изменения растительных покровов.**
- 2. Обоснование методов выявления изменений в растительном покрове, вызываемых влиянием ИТОО, по данным спутникового мониторинга.**
- 3. Разработка предложений по модернизации и доработке сервисов ВЕГА, обеспечивающих анализ долговременной изменчивости растительных покровов.**

Объемы горнодобывающей промышленности



Одним из наиболее значимых источников загрязнений является горнодобывающая промышленность, поскольку, как отмечается в (Gardner, Sampat P., 1998), «добыча минералов и металлов ... оказывает длительное и разрушительное воздействие на окружающую среду». Вызванные добычей минералов и металлов «движения материала в настоящее время превышают те, которые вызваны природными системами: одна лишь

добыча полезных ископаемых ежегодно удаляет большую часть поверхности Земли, чем естественная эрозия рек» (Gardner, Sampat P., 1998).

Gardner G. and Sampat P. Mind Over Matter: Recasting the Role of Materials in Our Lives. Worldwatch Paper 144. Worldwatch Institute, 1998, 60 p.

Объемы отвалов (добыча меди)



По докладу (U.S. Geological Survey, 2019) в США за год выплавляется 1260 т меди. На одну тонну меди приходится 200 т отвалов и 110 т пустой породы (Dirty Metals Mining, 2004), поэтому в отвалы и хвостохранилища в США ежегодно опадает около 360 тыс. т отходов.

В глобальном масштабе при общемировом производстве около 20 тыс. т меди в год отвалы и хвостохранилища пополняются ежегодно 6,2 млн. т отходов.

При этом наблюдается тенденция извлечения металлов из более бедных пород, что с использованием открытых карьеров существенно увеличивает скорость роста отвалов и хвостохранилищ.

Токсичность отвалов

Наряду со скальными породами в отвалы попадает значительное количество вредных веществ, существенно влияющих на экологическое состояние окружающей природной среды.

К таким загрязнителям относятся, в частности, тяжелые металлы, окислы серы, а также цианиды, используемые при добыче золота и серебра. Агентство охраны окружающей среды США считает, что до 40% отходов горнодобывающей промышленности являются токсичными (Metals from the Forest, 1999).

Востребованность масштабных инструментов контроля ИТОО

Важно при этом отметить, что масштабность данной проблемы предполагает применение соответствующих инструментов контроля. А именно, необходимость проводить измерения не только непосредственно в карьерах и отвалах, но также и на примыкающих к ним территориях, в том числе лесных и сельскохозяйственных.

Объект контроля влияния ИТОО - растительность

Масштабность проблемы, а также возможность дистанционного контроля характеристик растительного покрова определяют выбор в качестве объектов контроля растительных сообществ, прежде всего, участков леса, а также средств контроля, инструментов спутникового мониторинга.

Основные факторы (механизмы) влияния техногенных отходов и отвалов на экологию окружающей среды, приводящего к изменениям характеристик (параметров состояния) растительного покрова

Основные факторы загрязнений ИТОО

Основные факторы
(механизмы) влияния
техногенных отходов и
отвалов на экологию
окружающей среды,
приводящего к изменениям
характеристик (параметров
состояния) растительного
покрова

Пылевые и газообразные загрязнители (тяжелые металлы: свинец, кадмий, и т.п.)

Газообразные загрязнители (например, SO_2 , NO , NO_2 , NO_x)

Жидкокапельные загрязнители (кислотные дожди, туманы и росы)

Дождевой дренаж (дефицит минералов в почве, зачастую вызываемый кислотными дождями)

Гидрология (наземный и подземный кислый дренаж)

Основные механизмы влияния загрязнителей на физиологические процессы растений

Результаты анализа (Титов и др., 2014) позволяют выделить основные механизмы влияния тяжелых металлов на физиологические процессы растений, а именно влияния на



Аналогичные результаты были получены и при исследовании влияния двуокиси серы

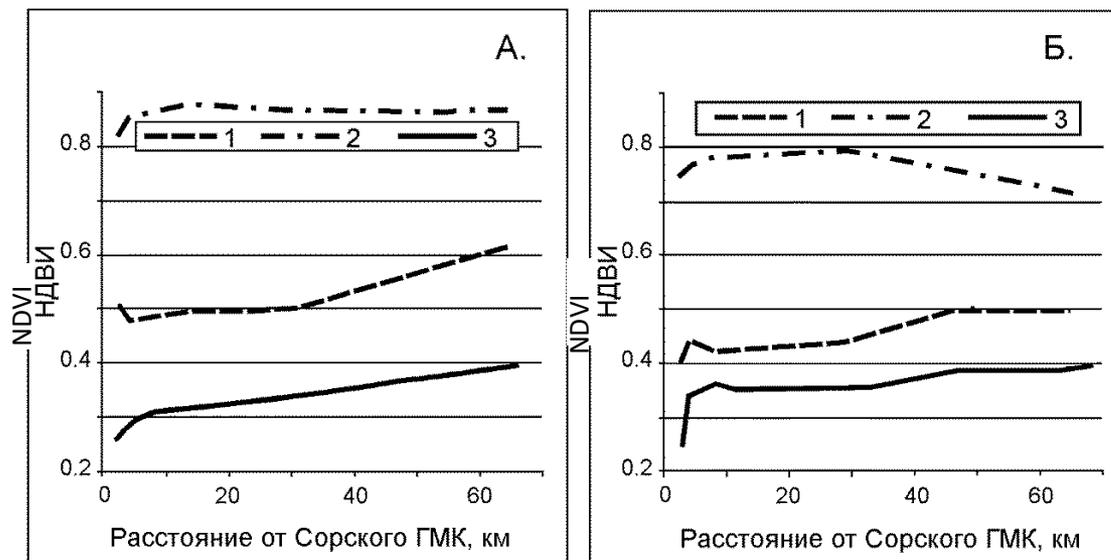
Видовые и погодно-климатические особенности влияния загрязнителей на физиологические процессы растений

Результаты анализа (Титов и др., 2014) показывают, что влияние загрязнителей ИТОО существенным образом зависит от

- 1) таксономических характеристик растительности;
- 2) погодно-климатических условий развития растительности;
- 3) наличия прочих загрязнителей (синергетический эффект).

Влияние на рост растений

Графики (многолетние профили) биомассы экспериментального (предположительно загрязненного) и контрольного (предположительно чистого) участков растительности с одинаковой исходной таксономией и сходными погодно-климатическими условиями



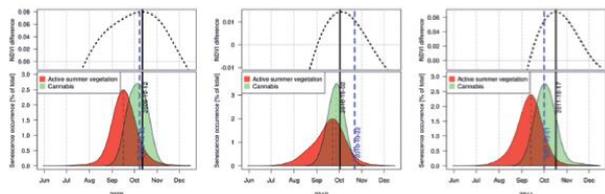
Условные обозначения:
1 - Первая половина мая 2007 г;
2 - Вторая половина июля 2007 г;
3 - Вторая половина сентября 2007 г.

Характерные для всего периода с 2000 по 2012 г.
изменения NDVI в зависимости от удаления от Сорска.

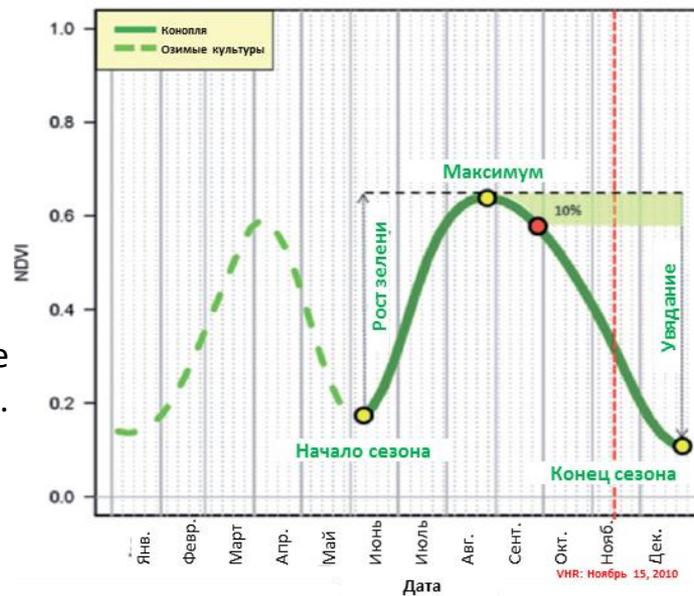
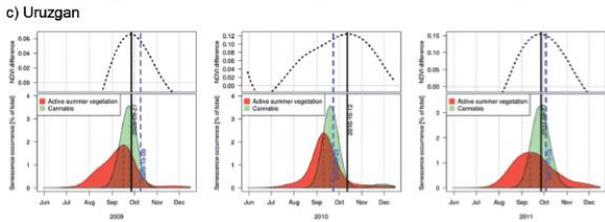
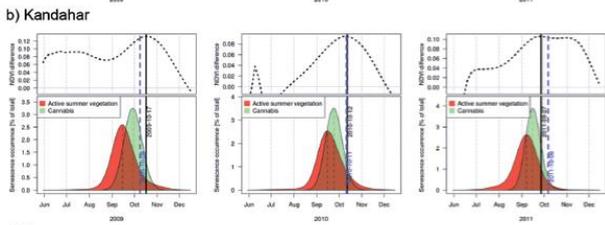
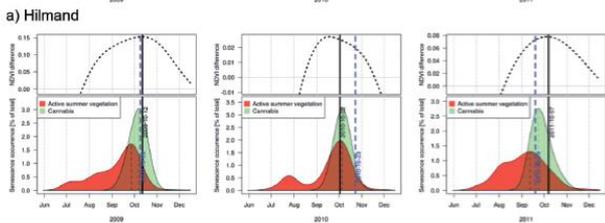
А. Лиственные леса. Б. Степи.

Влияние на развитие растений

Однолетние (в пределах вегетационного сезона) профили значений, отражающий показатели циклического развития (фенологию) растений на экспериментальном (предположительно загрязненного) и контрольном (предположительно чистом) участках растительности



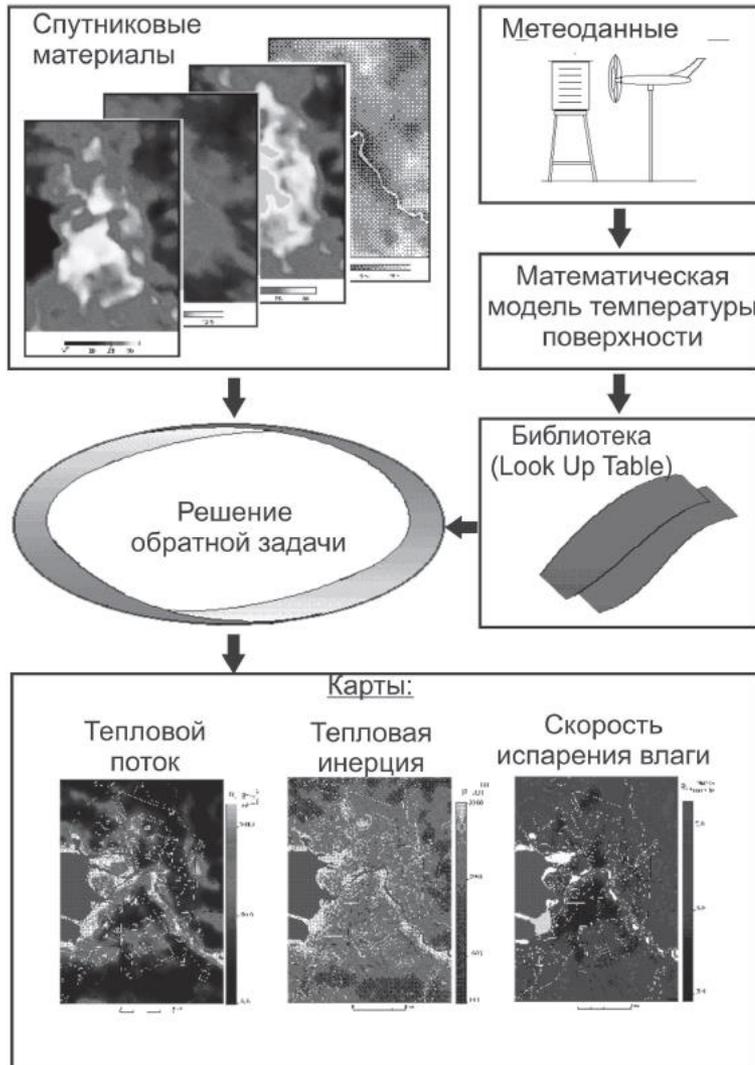
Разность значений NDVI двух культур (линии: сплошная черная - дата наблюдаемого максимума разности, синяя пунктирная - дата рассчитанного максимума разности). (Mattiuzzi et al., 2014)



Типовые сезонные профили NDVI.

Mattiuzzi M., Bussink C., Bauer T. Analysing Phenological Characteristics Extracted from Landsat NDVI Time Series to Identify Suitable Image Acquisition Dates for Cannabis Mapping in Afghanistan, Photogramm Fernerkun, 2014, Vol. 5, pp. 383-392.

Алгоритм картографирования ТИ , среднесуточной скорости испарения \bar{E} и теплового потока по данным дистанционных съемок и наземных метеонаблюдений



$$I_T \approx (Ex_c^\circ - Ex_c) / Ex$$

I_T - термодинамический индекс нарушенности экосистем (ТИНЭ)

Горный В.И., Крицук С.Г., Латыпов И.Ш. Термодинамический подход для дистанционного картографирования нарушенности экосистем. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. №2. С. 179-194.

Анализ возможностей использования спутниковых данных для определения характеристик растительного покрова, чувствительных к загрязнениям (ухудшению экологического состояния)

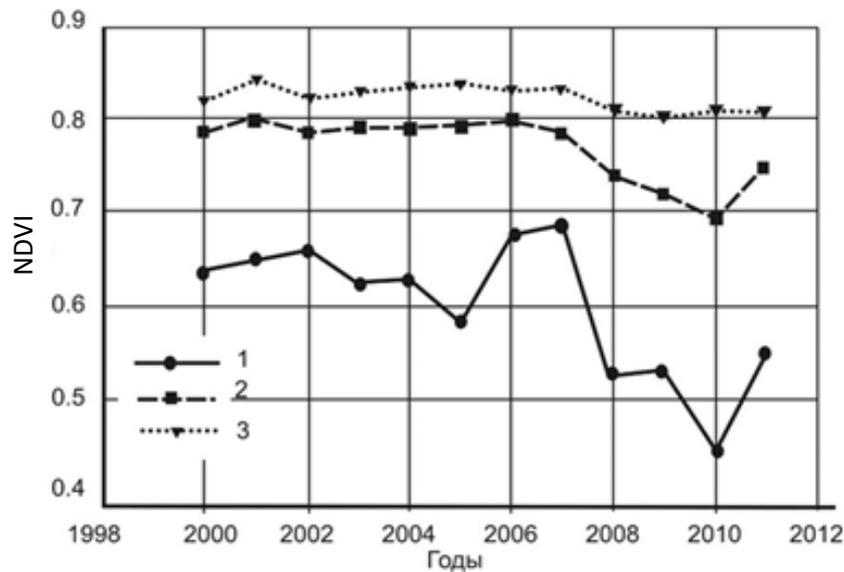
Потенциальные возможности спутниковых средств выявления основных видов нарушения лесных экосистем



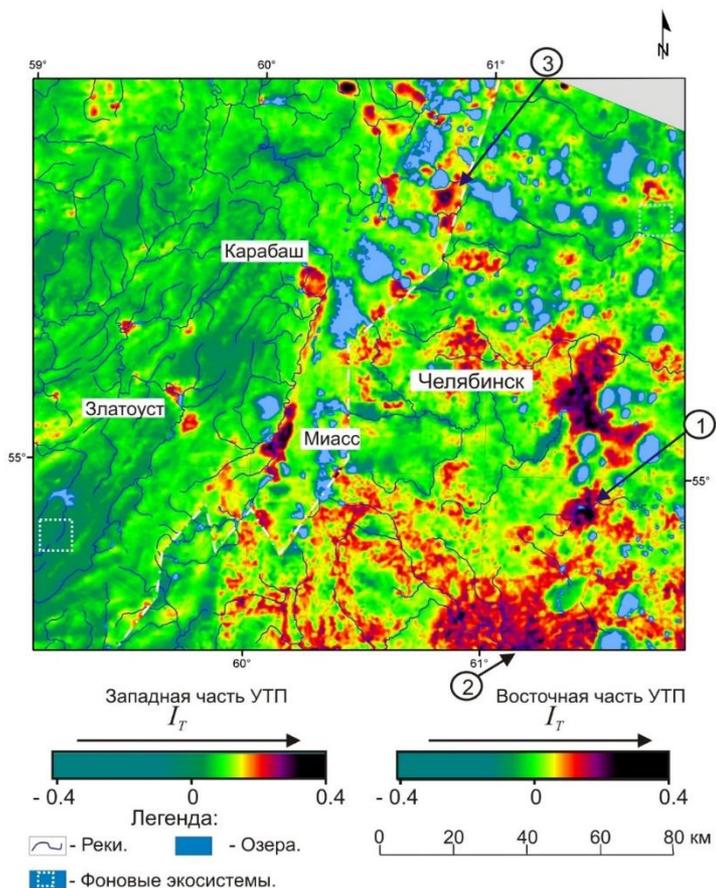
Использование наблюдений в видимом и ближнем ИК диапазонах спектра для картирования реакции растительности на загрязнители

Многолетние изменения в июле понижений значений NDVI относительно фона (внешней зоны), рассчитанные в пределах кольцевых зон диаметрами:

1. От 60 км до 120 км; 2. От 5 км до 8 км; 3. От 0 км до 5 км



Картирование термодинамической реакции растительности на воздействие со стороны ИТОО: термодинамический

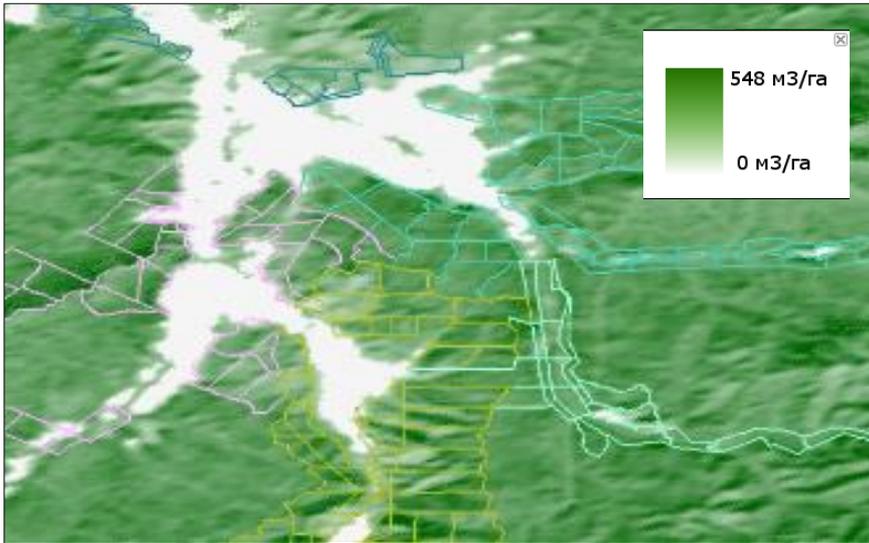


Карта ТИНЭ Челябинской области по данным спутниковым съемок. Белой пунктирной линией показана граница западной и восточной частей.

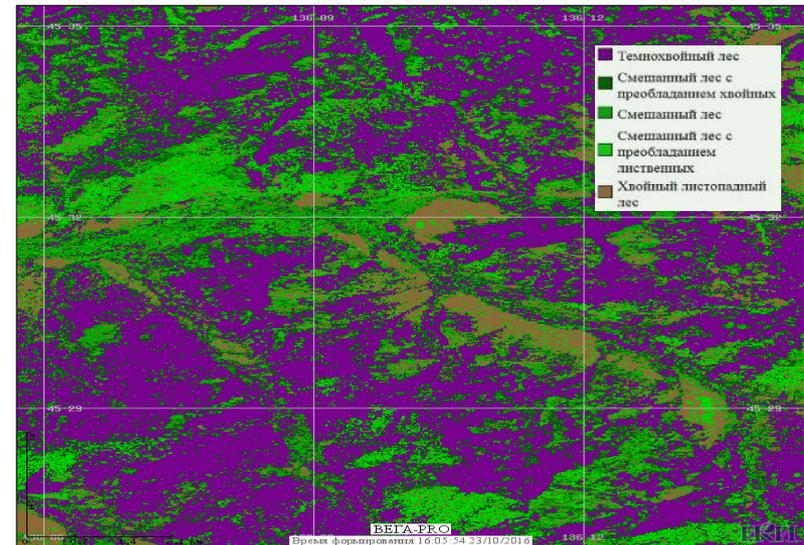
1. Буроугольный разрез Коркино.
2. Местоположение Южно-Уральской и Троицкой ГРЭС.
3. Химкомбинат «Маяк» (Горный и др., 2011). УПТ-Уральский тестовый полигон.

Лесотаксационные характеристики

Удельный запас. Приморский край



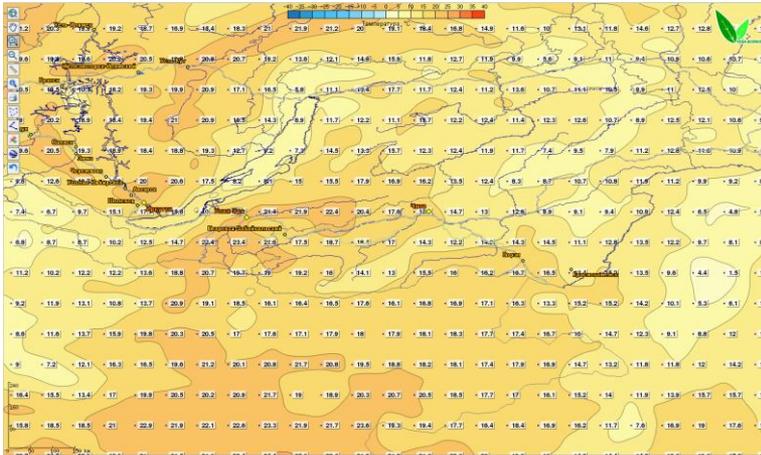
Карта преобладающих пород. Приморский край



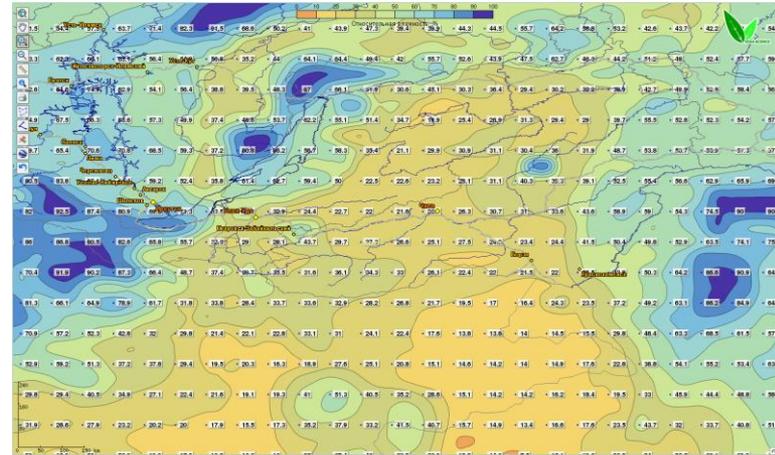
Интегрированные карты метеопараметров

Карты метеопараметров, доступные в сервисах ВЕГА: температура и влажность воздуха, интенсивность осадков, влажность почвы. Забайкальский край (10.06.2017, 12:00 GMT)

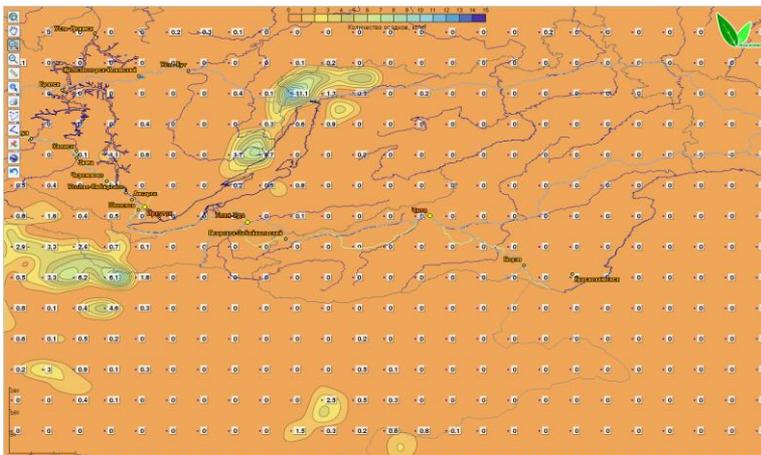
Температура воздуха, °C



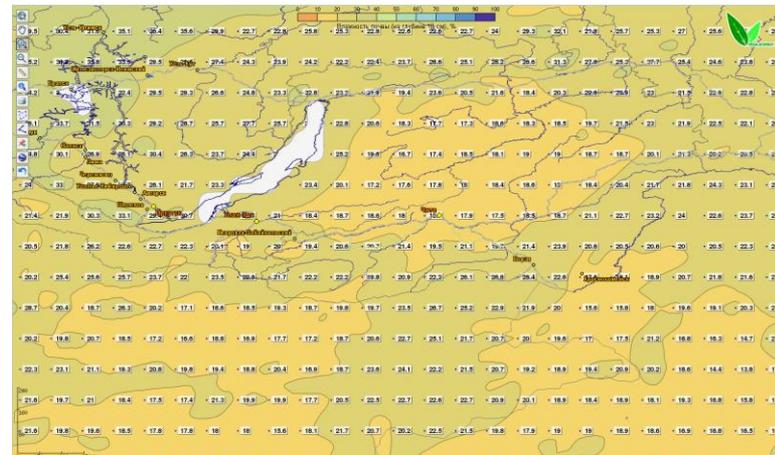
Относительная влажность воздуха, %



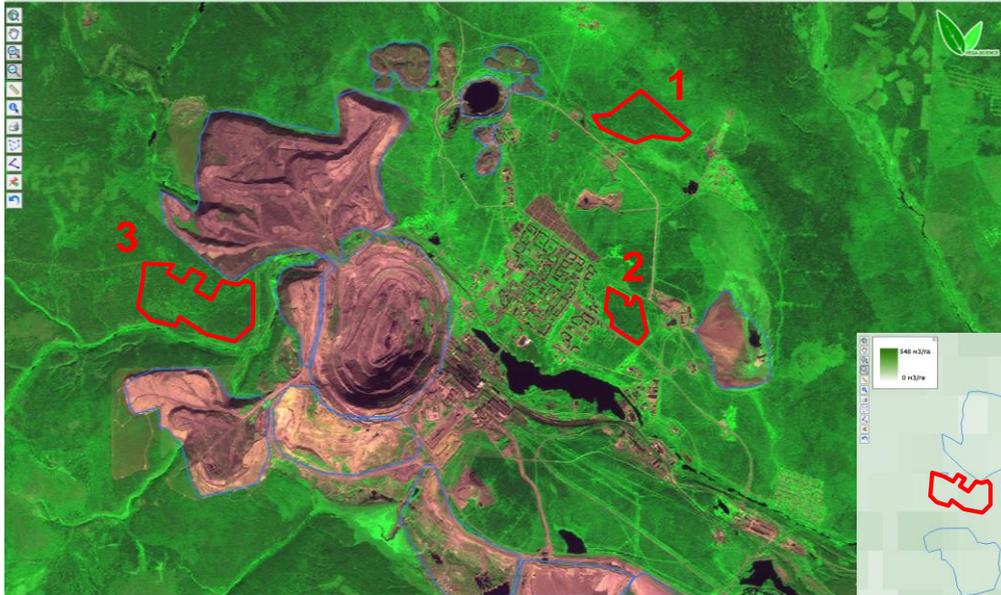
Интенсивность осадков, кг/м2



Влажность почвы (на глубине 10 см), %



Выделение однородных участков растительного покрова



Ковдорский горно-обогатительный комбинат, Мурманская область, г. Ковдор



Интерактивный интерфейс картографического приложения. Включает панель инструментов, меню слоев, легенду и кнопки для расчета данных.

Леса

Карты

- Карта растительности
- Запасы насаждений
- Запасы стволовой древесины (2010)
- Карта гундровой растительности Пайхой

Преобладающие древесные породы (легенда)

- Не отображать
- Преобладающие древесные породы (2017)
- Преобладающие древесные породы (2016)
- Преобладающие древесные породы (2015)
- Преобладающие древесные породы (2014)
- Преобладающие древесные породы (2013)
- Преобладающие древесные породы (2012)
- Преобладающие древесные породы (2011)
- Преобладающие древесные породы (2010)
- Преобладающие древесные породы (2009)
- Преобладающие древесные породы (2008)
- Преобладающие древесные породы (2007)
- Преобладающие древесные породы (2006)

Данные Hansen Global Forest Change 2017 v 1.5 (легенда)

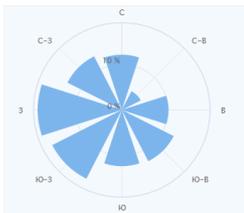
- Процент покрытия лесом
- Появление леса
- Исчезновение леса
- Лесные территории
- Год исчезновения леса
- По годам

Карты (Иркутская область)

- Карта растительности
- Запасы насаждений

Расчет запасов насаждений по полигону

Расчитать | Расчитать с учетом Hansen loss year



С ▼ Северный	С-В ▲ Северо-Восточный	В ◀ Восточный	Ю-В ▼ Юго-Восточный
12.1%	4.6%	10.1%	12.6%
Ю ▲ Южный	Ю-З ▼ Юго-Западный	З ▶ Западный	С-З ▲ Северо-Западный
12.3%	16.9%	18.2%	13.2%

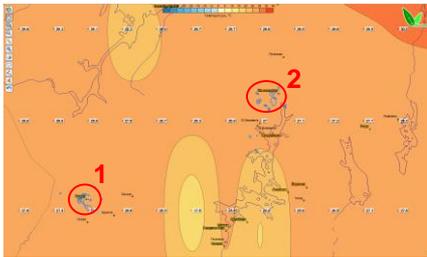
Однородные участки растительного покрова отмечены красным контуром:

1. Сосна, площадь : 50.22 га.
2. Сосна, площадь : 24.77 га.
3. Сосна, площадь : 105.62 га.

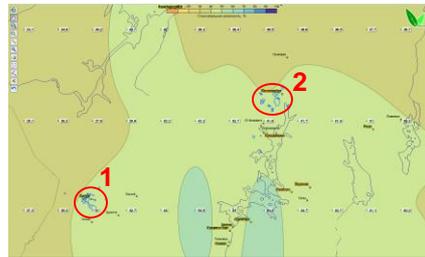
Метеопараметры и лесотаксационные характеристики

Северо-Западный федеральный округ, Мурманская область. 1- Ковдорский горно-обогатительный комбинат, 2 - Оленегорский горно-обогатительный комбинат (19.07.2018, 12:00 GMT)

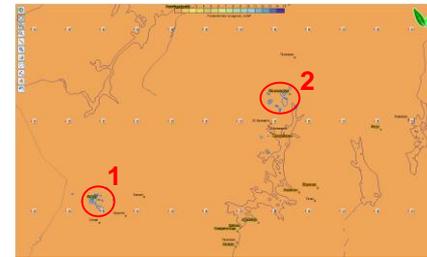
Температура воздуха, °C



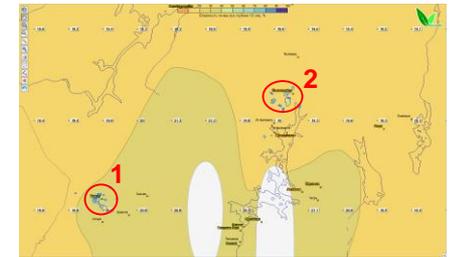
Относительная влажность воздуха, %



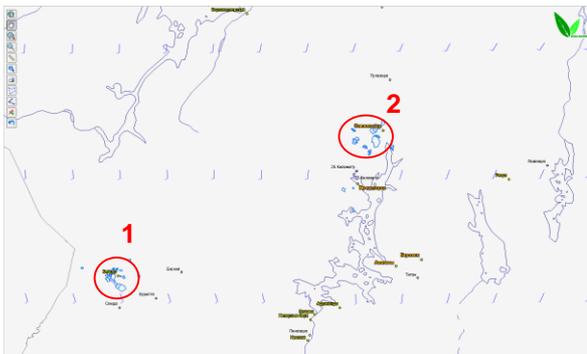
Интенсивность осадков, кг/м2



Влажность почвы (на глубине 10 см), %



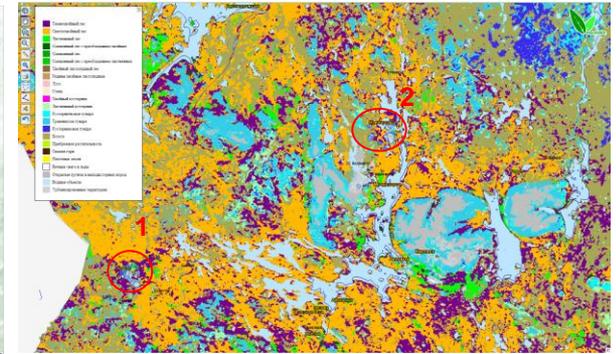
Ветер



Удельный запас



Карта преобладающих пород



Требования к исходным спутниковым и вспомогательным данным для выявления влияния ИТОО на растительный покров

1. База данных с описаниями ИТОО (координаты, вид, срок формирования, загрязняющий фактор).
2. База данных близких по параметрам близких по таксономии (основные породы, запас, бонитет) участков леса (выделов) в окрестности отдельных ИТОО.
3. База данных поиска и отбора участков леса (выделов) с близкими погодно-климатическими характеристиками в окрестности отдельных ИТОО (температура, влажность воздуха, влажность почвы, скорость и направление ветра).
4. Архив исторических спутниковых данных наблюдений среднего и высокого пространственного разрешения для выделенных контрольных участков леса.
5. Оперативный архив текущих спутниковых данных наблюдений среднего и высокого пространственного разрешения для выделенных контрольных участков леса.

Требования к сервисам выявления влияния ИТОО на растительный покров по данным спутниковых наблюдений - I

1. Сервис формирования списка близких по таксономии (основные породы, запас, бонитет) участков леса (выделов) в окрестности отдельных ИТОО.
2. Сервис формирования списка участков леса (выделов) с близкими погодноклиматическими характеристиками в окрестности отдельных ИТОО (температура, влажность воздуха, влажность почвы, скорость и направление ветра).
3. Сервис формирования пар («контролируемый участок» – «референсный участок») из однородных по таксономии и погодноклиматическим условиям участков участков леса (выделов) для каждого контролируемого ИТОО (с учетом розы ветров и удаленности участков от ИТОО).
4. Сервис расчета спектральных индексов, характеризующих состояние растительного покрова, в том числе NDVI (Калабин и др., 2010; 2013; 2014; 2016; 2018; Крицук и др., 2013), AVFI1600, DWSI5, EVI, NDNI, OSAVI, PEI, TCARI (Саворский и др., 2016) и ТИНЭ (Gornyy et al., 2010; Горный и др., 2011, 2013, 2019), по данным исторических и текущих спутниковых наблюдений среднего и высокого пространственного разрешения, для пар («контролируемый участок» – «референсный участок») участков леса (выделов).

Требования к сервисам выявления влияния ИТОО на растительный покров по данным спутниковых наблюдений - II

5. Сервис оценок разности зарегистрированных в одних и тех же погодноклиматических условиях пар спектральных индексов для пар участков («контролируемый участок» – «референсный участок») с одинаковой в начале мониторинга таксономией.
6. Сервис анализа фенологических сезонных циклов пар спектральных индексов для пар участков («контролируемый участок» – «референсный участок») с одинаковой в начале мониторинга таксономией.
7. Сервис выделения и мониторинга многолетних кумулятивных трендов разностей спектральных индексов для пар («контролируемый участок» – «референсный участок») участков.
8. Сервис оценок различимости (статистической меры различимости) для пар («контролируемый участок» – «референсный участок») в одних и тех же погодноклиматических условиях, в частности, с использованием расстояния Джефриса-Мацуситы (Richards, Jia, 2006).

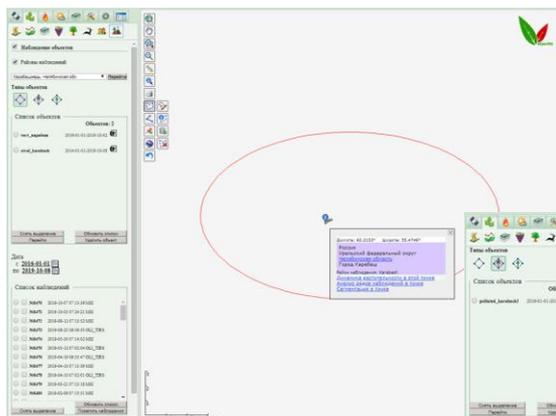
Требования к комплексу информационных инструментов, обеспечивающему мониторинг экологической обстановки ИТОО- I

1. Интерфейс системы управления базой данных с описаниями ИТОО (координаты, вид, срок формирования, загрязняющий фактор).
2. Интерфейс системы поиска и отбора близких по таксономии (основные породы, запас, бонитет) участков леса (выделов) в окрестности отдельных ИТОО.
3. Интерфейс системы поиска и отбора участков леса (выделов) с близкими погодно-климатическими характеристиками в окрестности отдельных ИТОО (температура, влажность воздуха, влажность почвы, скорость и направление ветра).

Требования к комплексу информационных инструментов, обеспечивающему мониторинг экологической обстановки ИТОО- II

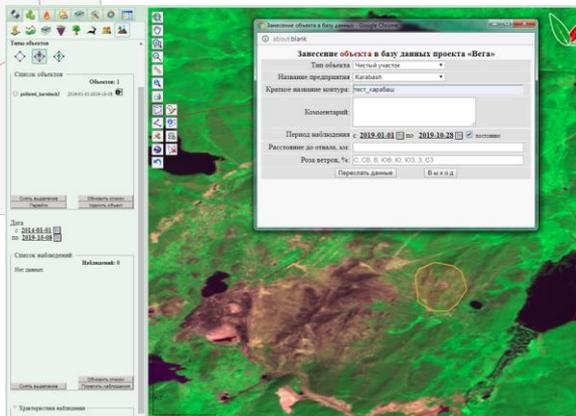
4. Интерфейс системы формирования пар («контролируемый участок» – «референсный участок») из однородных по таксономии и погодноклиматическим условиям участков леса (выделов) для каждого контролируемого ИТОО (с учетом розы ветров и удаленности участков от ИТОО).
5. Аналитический интерфейс анализа сезонных (годовых) циклов пар спектральных индексов и их разностей, для пар («контролируемый участок» – «референсный участок») участков леса (выделов), включающий оценки статистической меры их различимости (в частности, по расстоянию Джефриса-Мацуситы).
6. Аналитический интерфейс анализа многолетних трендов пар спектральных индексов и их разностей, для пар («контролируемый участок» – «референсный участок») участков леса (выделов), включающий оценки статистической меры их различимости (в частности, по расстоянию Джефриса-Мацуситы).

Вега-Science – информационная система, потенциальные возможности и ресурсы которой целесообразно использовать для решения задач мониторинга свалок и отвалов техногенных отходов

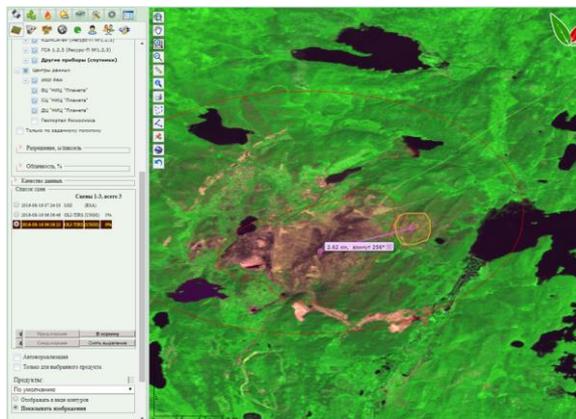


Выбор интересующего района наблюдения

Занесение контура объекта (отвала, загрязнённого или чистого участка)



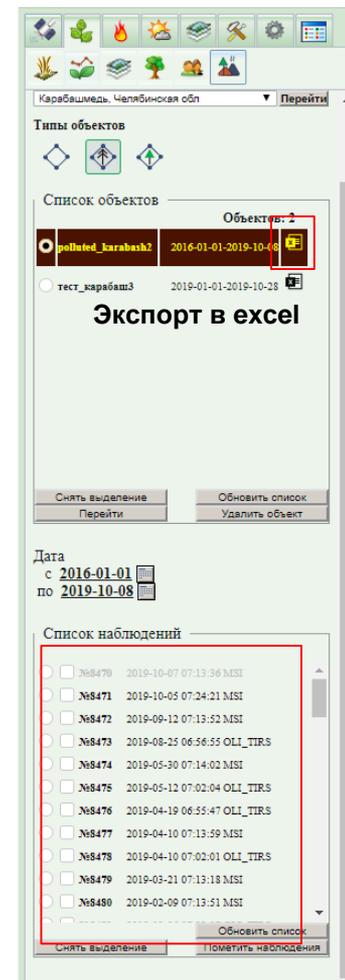
Расстояние до отвала



Расчёт проводится по двум индексам: NDVI и PVI для Landsat 8 и Sentinel 2A,B

1	polluted_karabash2				
2		v_pi_toa	v_ndvi_toa		
3	Дата	average	std	average	std
4	2016-02-15 07:13:56	0.06	0.03	0.22	0.11
5	2016-02-22 06:56:38	0.07	0.02	0.12	0.04
6	2016-03-09 06:56:13	0.06	0.02	0.12	0.03
7	2016-03-09 07:23:20	0.04	0.02	0.18	0.08
8	2016-04-17 07:02:06	0.04	0.01	0.15	0.02
9	2016-04-25 07:14:23	0.04	0.01	0.35	0.07
10	2016-04-26 06:55:52	0.05	0.02	0.17	0.04
11	2016-05-03 07:02:09	0.05	0.01	0.2	0.02
12	2016-05-05 07:14:28	0.05	0.01	0.4	0.04
13	2016-05-12 06:55:52	0.08	0.01	0.27	0.02
14	2016-05-12 06:56:16	0.08	0.01	0.27	0.02
15	2016-05-18 07:24:20	0.07	0.01	0.52	0.03
16	2016-07-27 07:24:08	0.09	0.01	0.59	0.03
17	2016-08-16 06:56:25	0.11	0.01	0.32	0.02
18	2016-08-16 06:56:49	0.11	0.01	0.32	0.02
19	2016-08-16 07:24:03	0.08	0.01	0.6	0.04
20	2016-08-23 07:14:25	0.08	0.01	0.55	0.03
21	2016-09-01 06:56:32	0.1	0.01	0.27	0.01
22	2016-09-01 06:56:56	0.1	0.01	0.27	0.01
23	2016-09-25 07:24:30	0.07	0.02	0.46	0.05
24	2016-11-20 06:56:41	0.08	0.04	0.09	0.04
25	2016-12-13 07:02:48	0.02	0	0.04	0
26	2016-12-22 06:56:35	0.08	0.01	0.08	0.01
27	2017-01-14 07:02:41	0.12	0.06	0.12	0.05
28	2017-01-30 07:02:35	0.1	0.04	0.12	0.04
29	2017-03-11 07:13:24	0.03	0.03	0.17	0.1
30	2017-03-19 07:02:12	0.04	0.03	0.11	0.05
31	2017-07-18 06:56:36	0.11	0.04	0.33	0.07
32	2017-08-11 07:24:00	0.11	0.02	0.67	0.04
33	2017-08-26 07:02:37	0.11	0.02	0.3	0.03
34	2017-09-20 06:56:54	0.1	0.02	0.27	0.03
35	2017-09-20 07:24:13	0.08	0.02	0.52	0.04
36	2017-10-10 07:24:32	0.07	0.02	0.42	0.05
37	2018-01-05 07:13:56	0.09	0.04	0.26	0.13
38	2018-01-10 07:14:08	0.09	0.03	0.27	0.09
39	2018-01-13 07:24:12	0.09	0.04	0.3	0.14
40	2018-01-17 07:02:34	0.11	0.05	0.12	0.05
41	2018-01-20 07:14:08	0.06	0.02	0.19	0.07
42	2018-02-14 07:13:52	0.07	0.02	0.23	0.09
43	2018-03-09 07:24:20	0.06	0.02	0.21	0.1
44	2018-04-07 07:01:55	0.04	0.03	0.12	0.05
45	2018-05-13 07:23:45	0.05	0.01	0.35	0.07

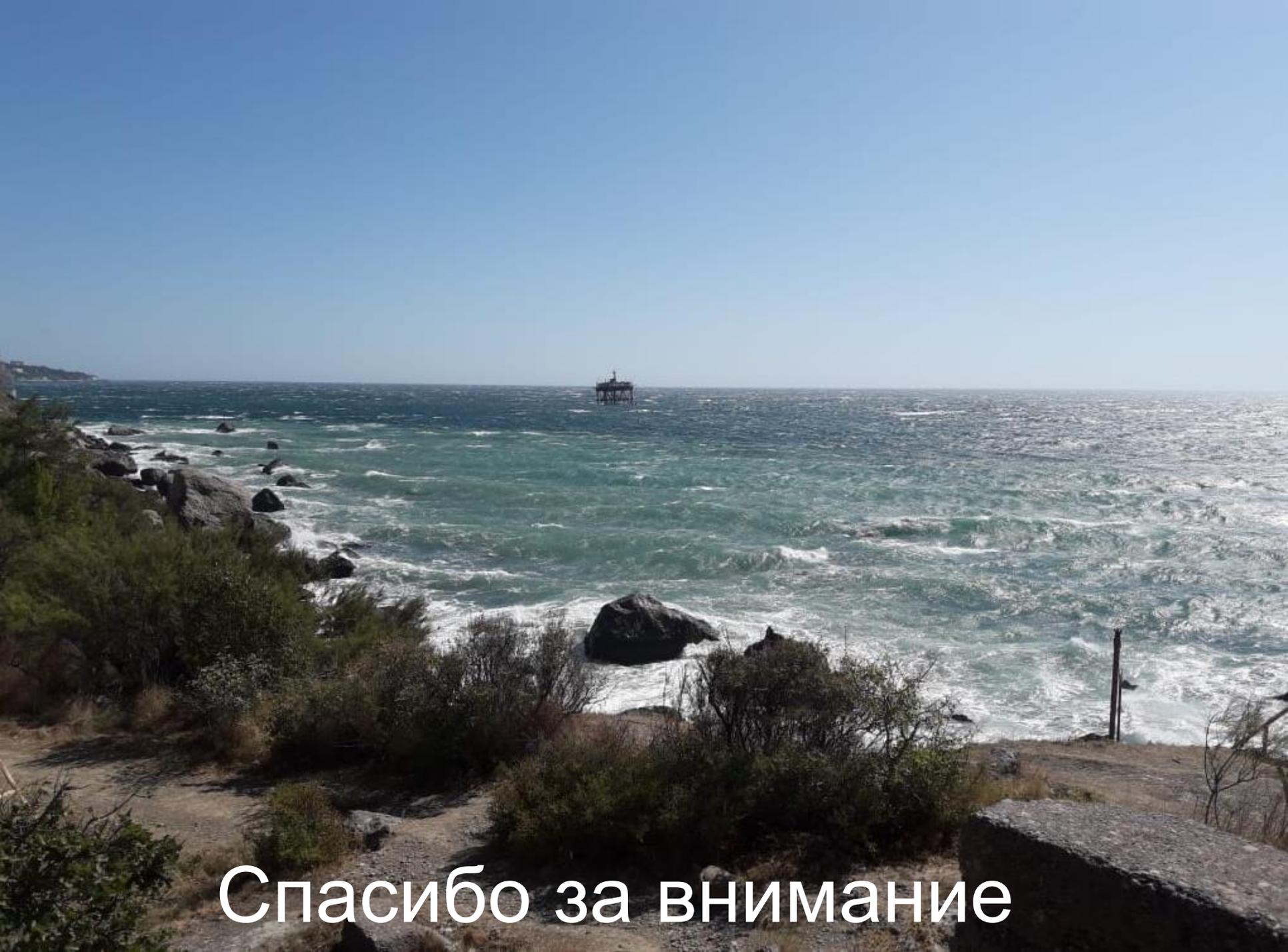
Спутниковые сцены, по которым производилось наблюдение



Заключение

- 1. Описаны основные механизмы влияния типовых вредных выбросов ИТОО на растительные покровы.**
- 2. Описаны методы и подходы, позволяющие выявить изменения в растительном покрове, вызываемые влиянием ИТОО.**
- 3. Сформулированы предложения по модернизации и доработке сервисов ВЕГА, необходимую для организации и анализа долговременной изменчивости растительных покровов.**

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-29-09615 офи_м, 18-29-24121 мк



Спасибо за внимание