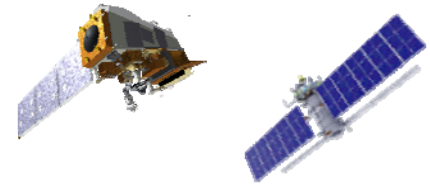


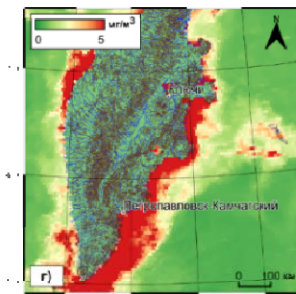
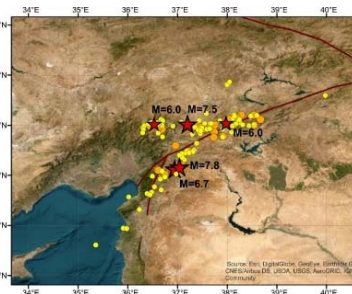
Научно-исследовательский институт  
аэрокосмического мониторинга "АЭРОКОСМОС"



# КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ ДЛЯ ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И СНИЖЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ

**Академик РАН В.Г. БОНДУР**  
Научный руководитель НИИ «АЭРОКОСМОС»,  
председатель Научного совета РАН по комплексной проблеме «Гидрофизика»,  
Сопредседатель Научного совета РАН по проблемам климата Земли

г. Москва, 19 февраля 2025 г.



# АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ И КАТАСТРОФ



Рост количества опасных природных явлений и катастроф приводит к угрозам для жизни людей, существенному экономическому ущербу и негативным воздействиям на окружающую среду.

При этом на прогнозирование и предупреждение чрезвычайных ситуаций тратится лишь около 10% от затрат на ликвидацию их последствий.

**Такую тенденцию необходимо изменить!**

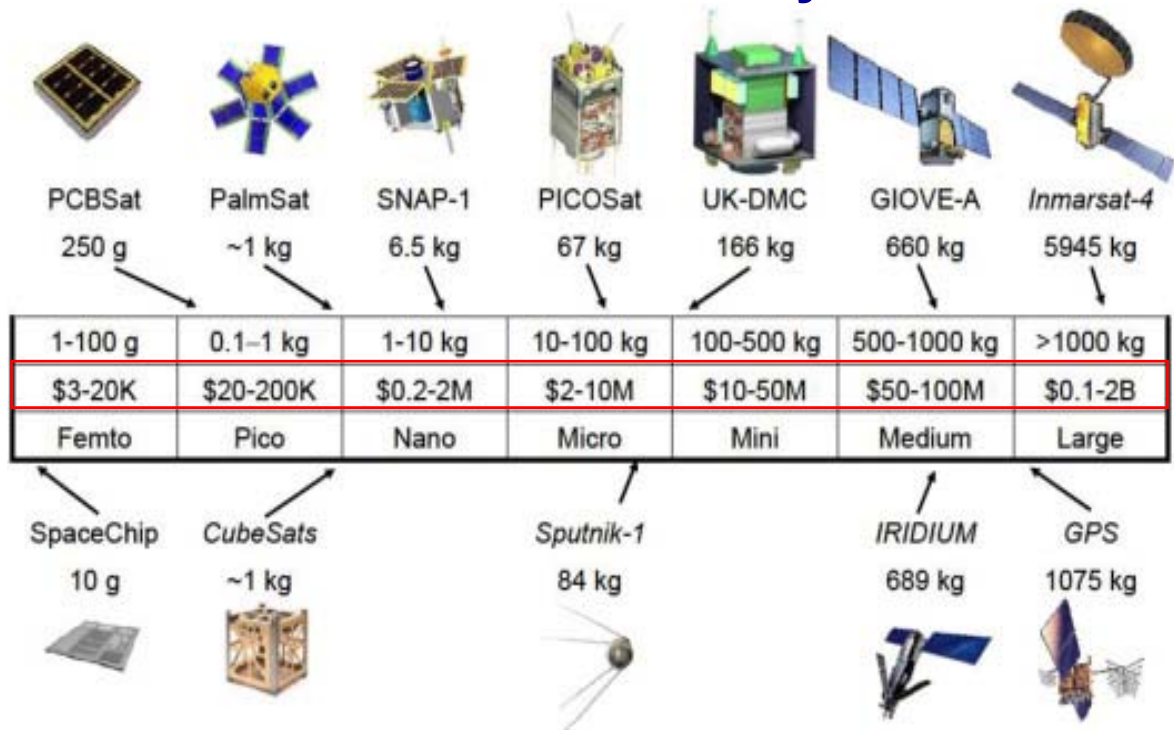
Это вызывает необходимость полномасштабного внедрения в практику прогнозирования и предупреждения опасных природных явлений и катастроф новых наукоёмких методов и технологий.

Важную роль в решении проблем прогноза и предупреждения чрезвычайных ситуаций играют достижения современной науки и разработанные на их основе методы, технологии и средства мониторинга, **прежде всего, аэрокосмические.**

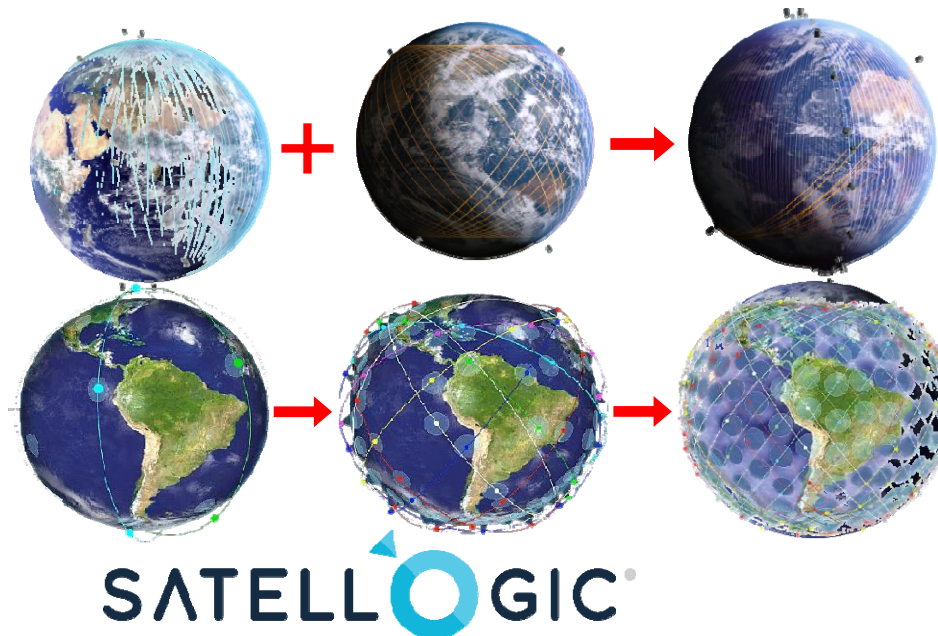


# ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ДЗЗ

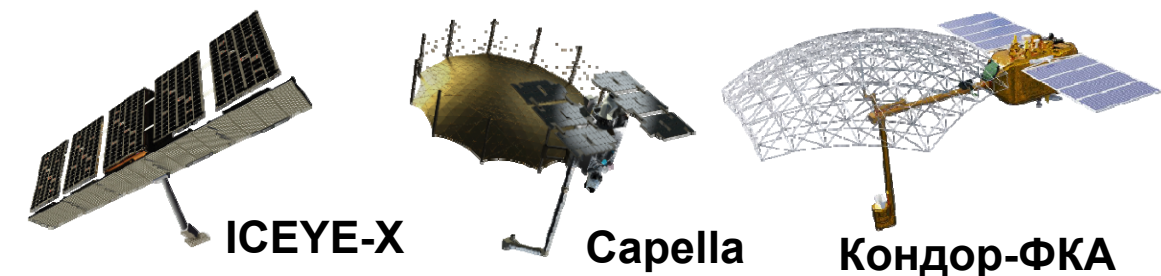
## 6. Снижение массы спутников



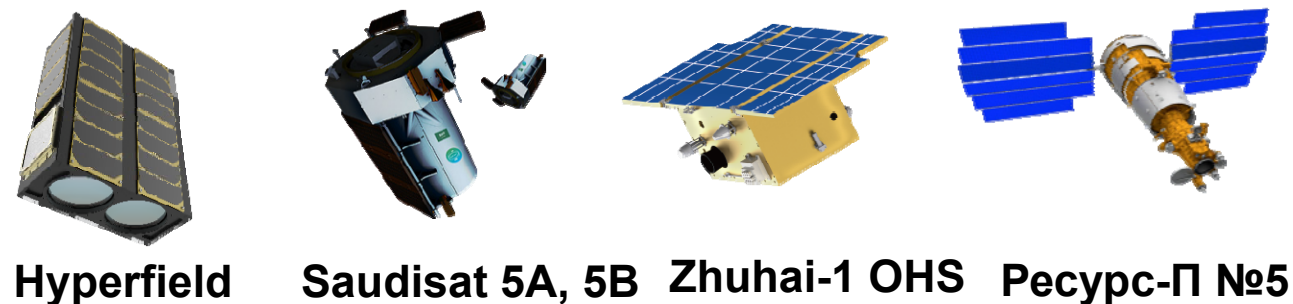
## 9. Развитие многоспутниковых систем



## 7. Увеличение числа спутников с РСА высокого разрешения



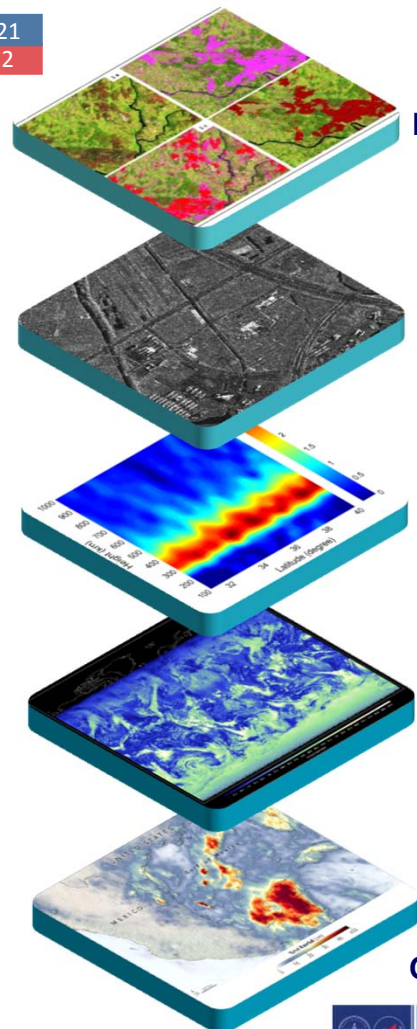
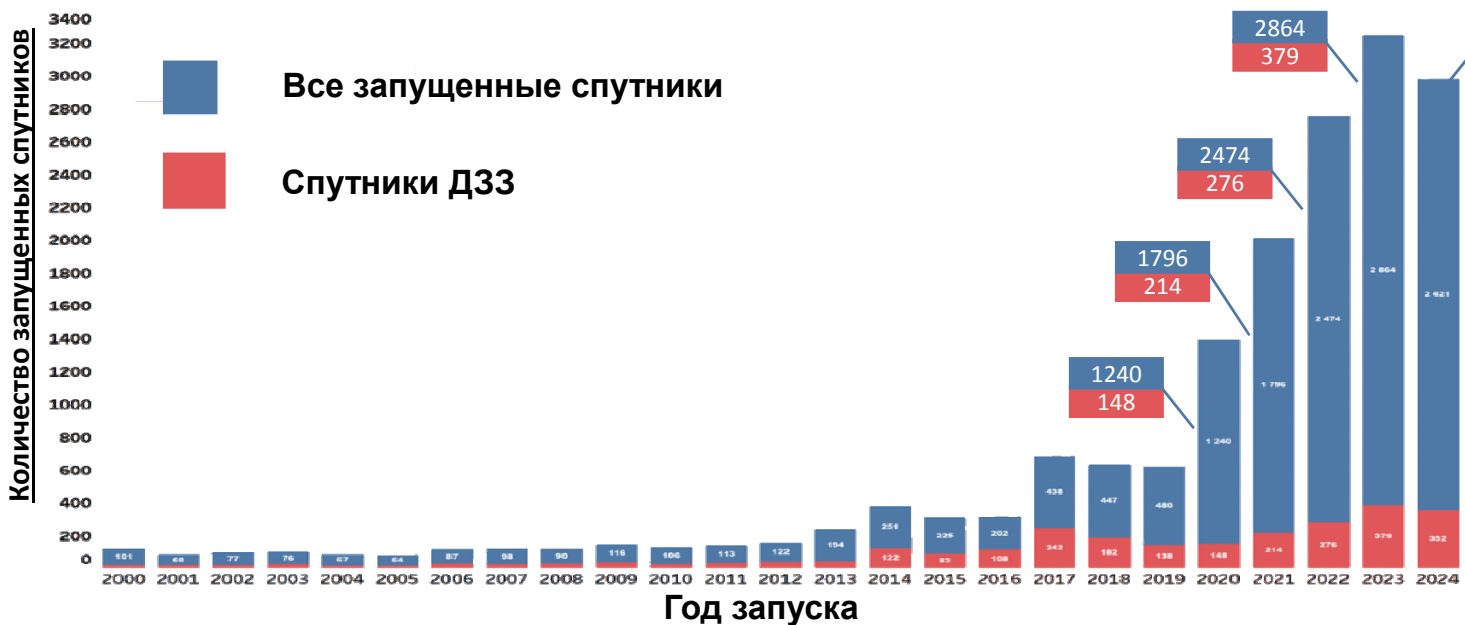
## 10. Увеличение числа спутников с гиперспектральной аппаратурой ДЗЗ



## 8. Активное использование БПЛА

## 11. Взрывной рост объемов данных, формируемых средствами ДЗЗ (> 300 эксабайт)

# ДИНАМИКА ЗАПУСКОВ (с 2000 по декабрь 2024 гг.) И ТИПЫ СПУТНИКОВ



## Оптические

Изображения в видимом и ИК-диапазонах  
Разделяются на мультиспектральные и гиперспектральные

## Радиолокационные

Круглосуточные наблюдения за поверхностью Земли, не зависящие от погодных условий

## ГНСС

Передача радиосигналов, используемых для определения координат

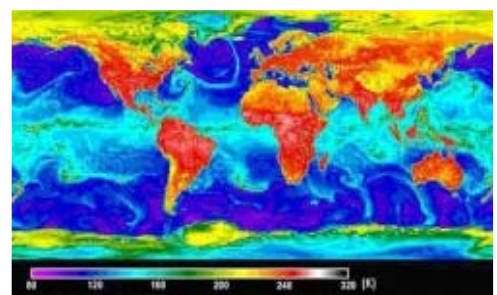
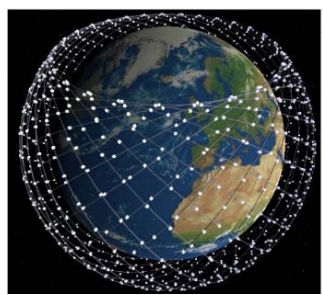
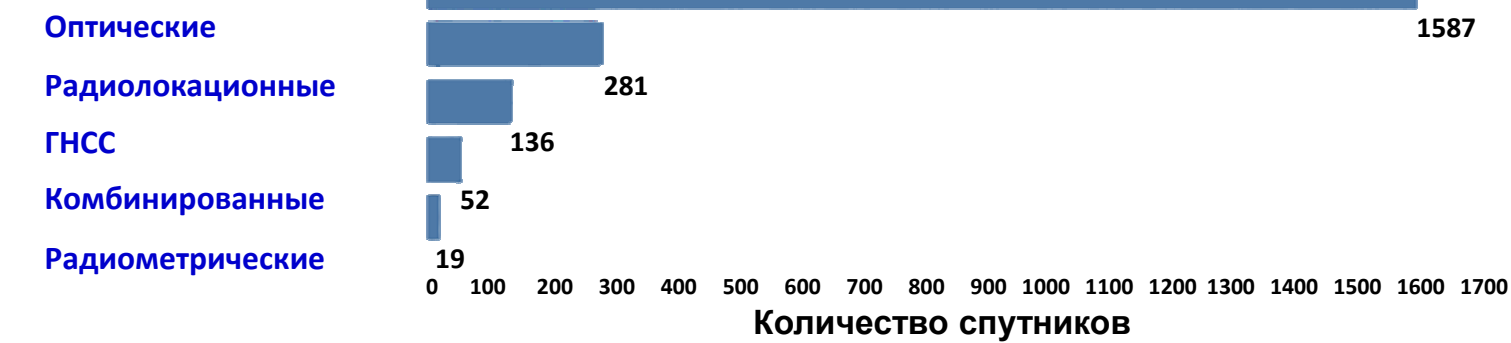
## Комбинированные

Наличие как оптической аппаратуры, так и СВЧ-радиометра

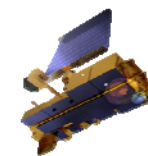
## Радиометрические

Оперативная метеорология и океанология

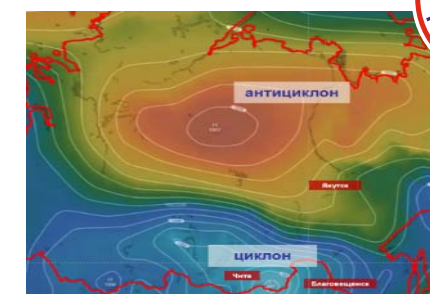
## Типы спутников ДЗЗ



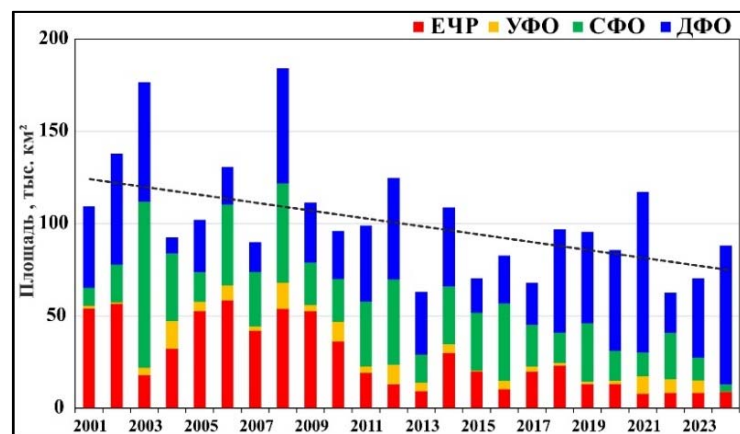
# РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ИНТЕНСИВНЫХ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ



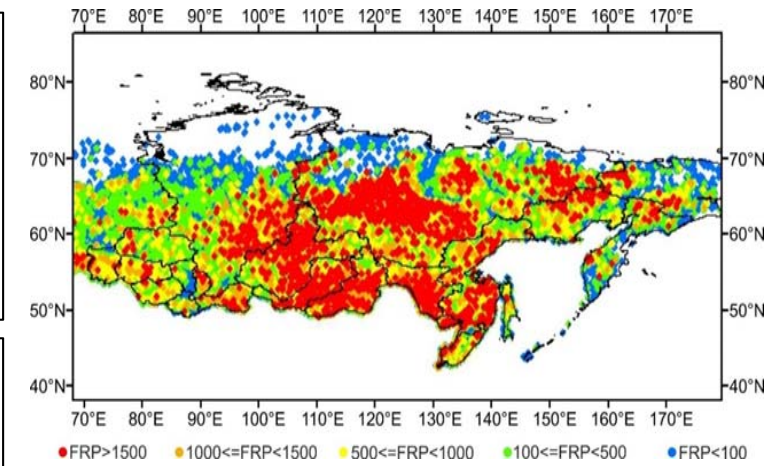
- На основании результатов обработки около 7.0 млн. спутниковых изображений исследована 24-летняя динамика площадей и радиационных мощностей (FRP) пожаров, а также объемов эмиссий вредных примесей на территории России и ее крупных регионов;
- Выявлены тренды к снижению площадей пожаров при возрастании средних значений FRP;
- Установлено, что риск природных пожаров возрастает в теплые сезоны в условиях блокирующих антициклонов, в результате которых устанавливается теплая и сухая погода.



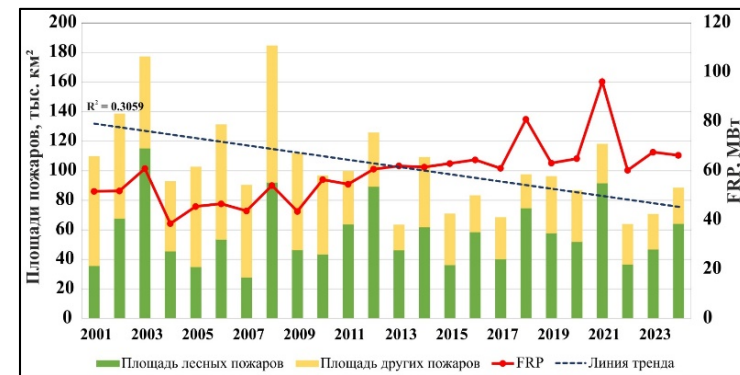
Блокирующий антициклон и циклон в Сибири (данные Росгидромета)



Ежегодные площади пожаров на всей территории России и ее крупных регионов.

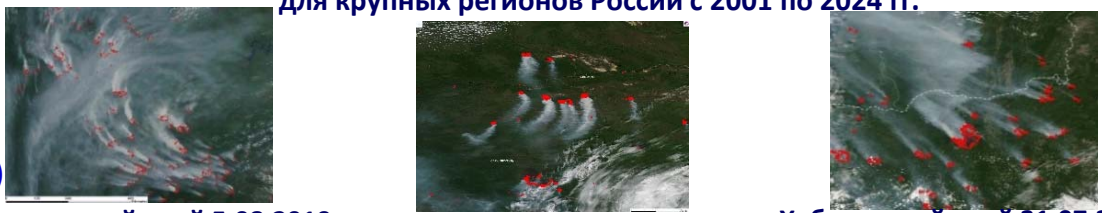


Распределение очагов пожаров разной интенсивности с 2001 по 2024 гг.



Ежегодные площади лесных (зеленый) и других (желтый) типов пожаров в России и значения радиационной мощности пожаров (FRP) с 2001 по 2024 гг.

Площадь выгоревших территорий для разных типов растительного покрова для крупных регионов России с 2001 по 2024 гг.



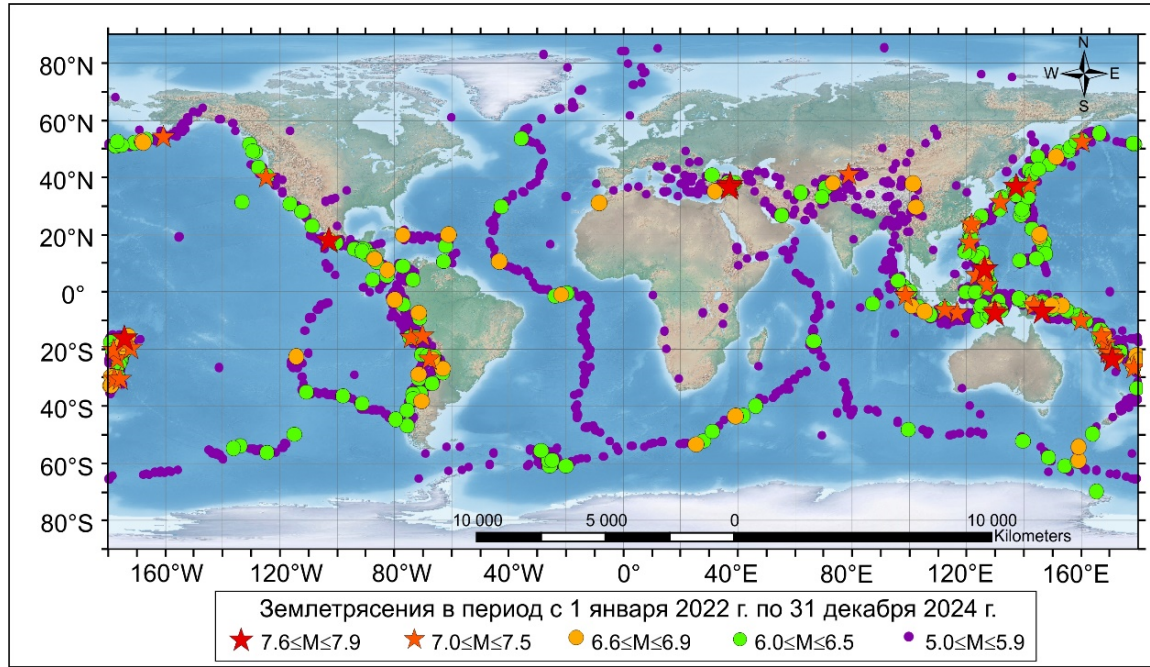
Красноярский край 5.08.2019 г. Саха (Якутия) 20.07.2022 г. Хабаровский край 21.07.2024 г.

МВт	Кол-во очагов	Среднее значение, МВт	STD
FRP < 100	6391961	26.7	21.2
100 ≤ FRP < 500	622583	187.4	89.1
500 ≤ FRP < 1000	42382	675.8	135.1
1000 ≤ FRP < 1500	9050	1198.4	139.3
FRP ≥ 1500	7158	2226.6	921

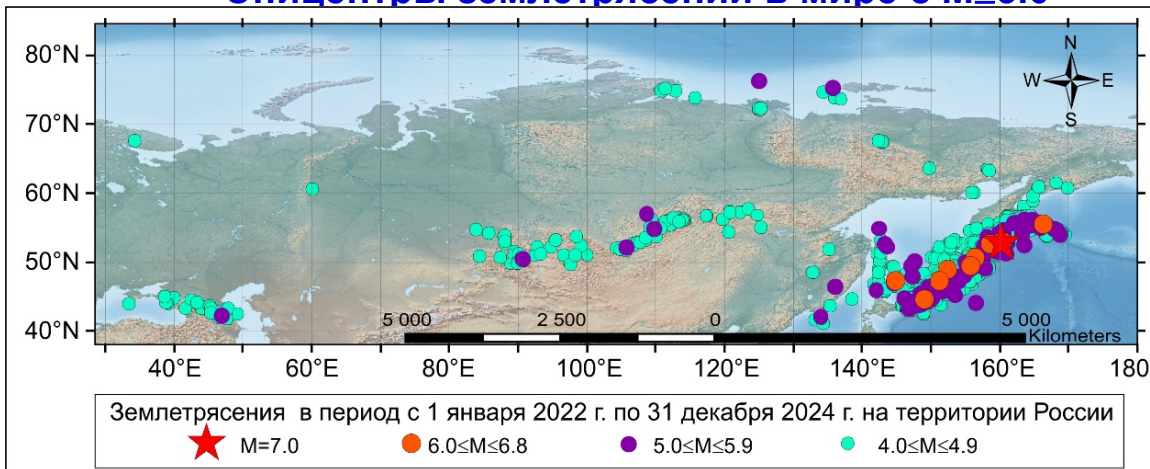
Для 90% очагов пожаров в России FRP < 100 МВт. Доля пожаров с FRP > 1500 МВт - 0.1% (в основном в СФО и ДФО).



# СТАТИСТИКА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ПРОИЗОШЕДШИХ В ПЕРИОД С НАЧАЛА 2022 Г. ПО КОНЕЦ 2024 Г.



**Эпицентры землетрясений в мире с M ≥ 5.0**



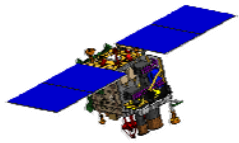
**Эпицентры землетрясений на территории России с M ≥ 4.0**

Магнитуда	Количество землетрясений	
	Весь мир	Россия
M=4-4.9	41038	1308
M=5-5.9	4639	118
M=6-6.9	333	10
M=7-7.8	42	1

В период с начала 2022 по конец 2024 г. произошло **41038** землетрясений с **M = 4.0-4.9** и **375** с **M ≥ 6.0**.

В 2023 г. произошло два разрушительных землетрясения в Турции и Сирии, а также в Марокко, в результате которых было множество погибших и пострадавших. Экономический ущерб от Турецкого землетрясения составил **103.6 млрд.** долларов США.

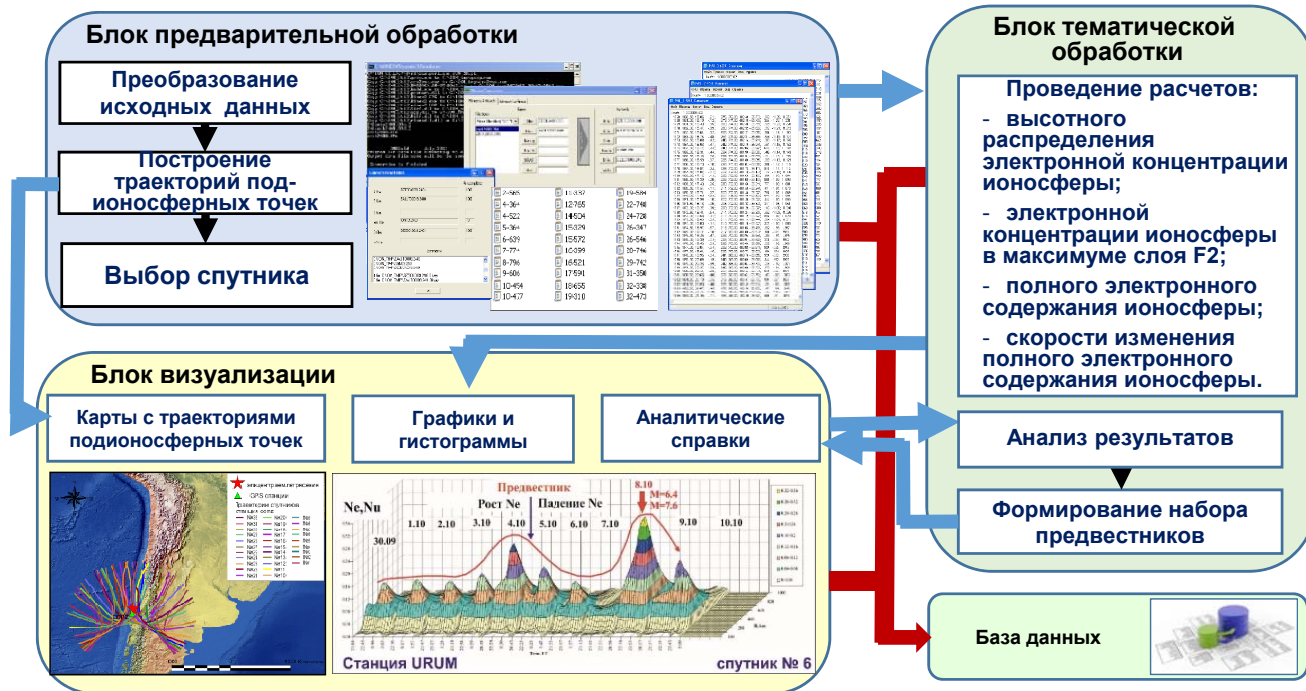
Государство	Погибшие	Пострадавшие
Турция и Сирия M=7.6-7.8	Более 59000 человек	Более 36000 человек
Марокко M=6.8	2946 человек	5530 человек



# МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРЕДВЕСТНИКОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ( $M \geq 6$ )

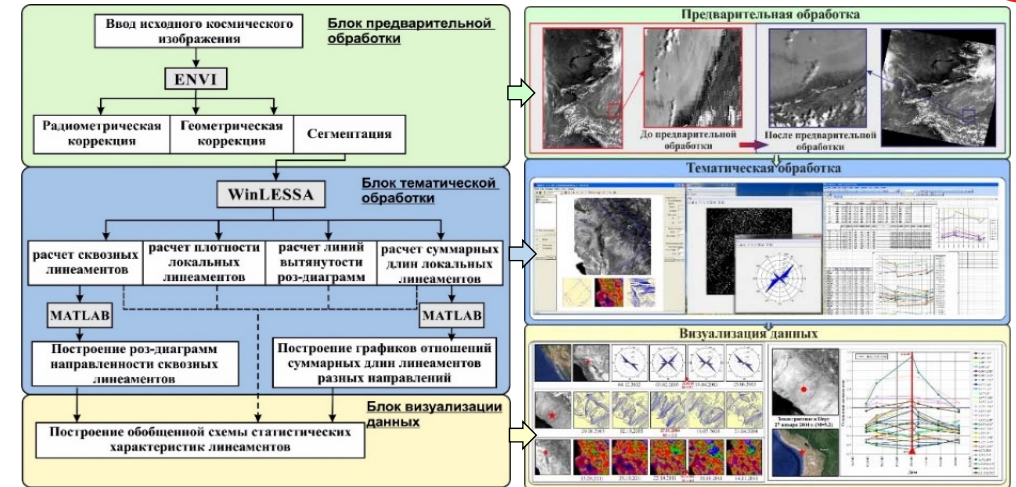


Разработаны методы регистрации из космоса предвестников сильных землетрясений ( $M \geq 6$ ), проявляющихся в аномалиях параметров ионосферы, геодинамических особенностей и вариаций тепловых полей при подготовке и протекании сейсмических событий.

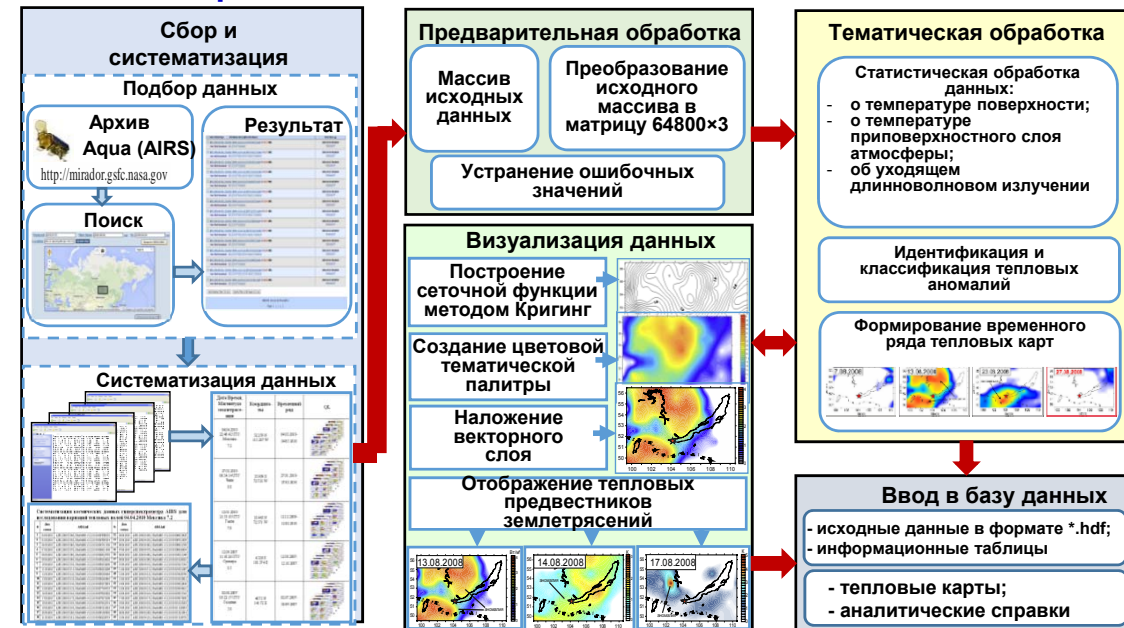


Регистрация из космоса аномалий параметров ионосферы

Регистрируются аномалии: линейментных систем; электронной концентрации в слое F2 и полного электронного содержания (TEC) ионосферы, а также скорости его изменений; аномалии высотных распределений электронной концентрации; вариации температур земной поверхности и приповерхностного слоя атмосферы; мощности уходящего длинноволнового излучения.



Регистрация из космоса изменений систем линейментов



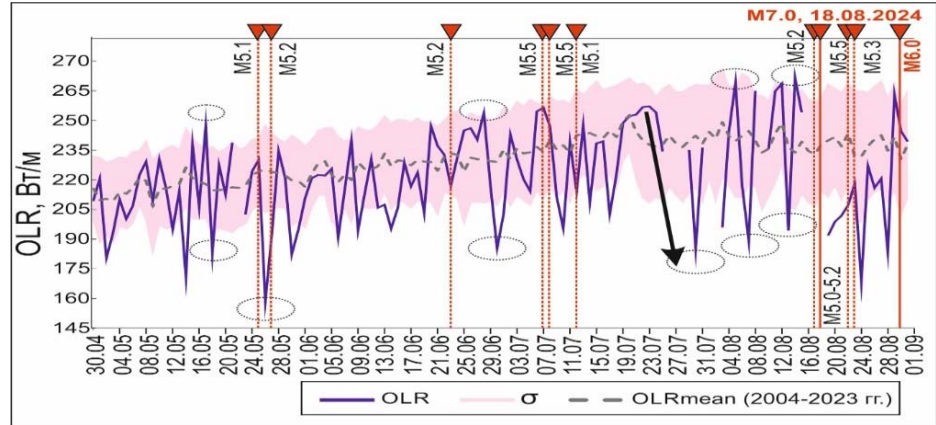
Регистрация из космоса аномалий тепловых полей

# АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ И ПРОТЕКАНИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С M=6.0-7.0 НА КАМЧАТКЕ В АВГУСТЕ 2024 г.

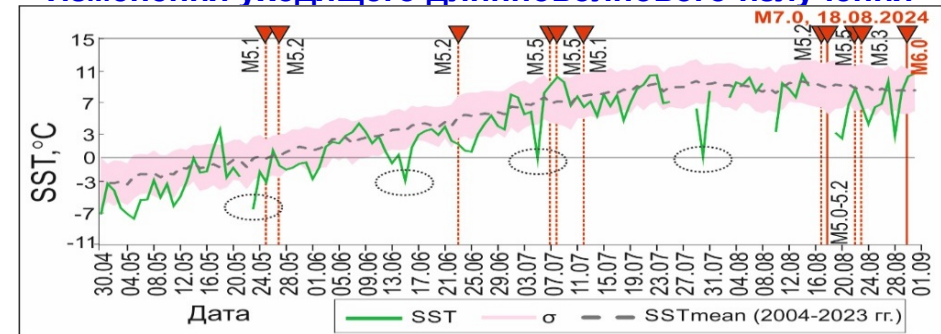


**Зарегистрированы аномальные вариации:**

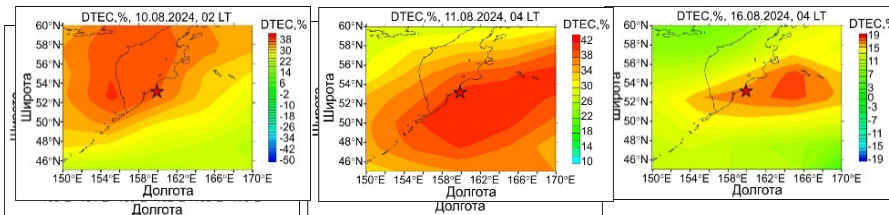
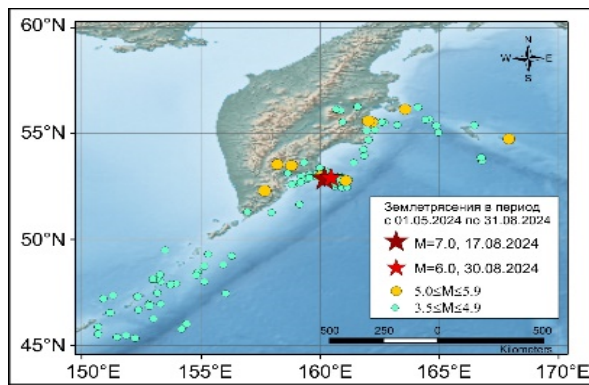
- систем линеаментов за 7 дней до землетрясения 18.08.2024 г. (M=7.0), за 19 дней до землетрясения 30.08.2024 г. (M=6.0);
- тепловых полей за 19 и 8 дней до землетрясения 18.08.2024 г. (M=7.0), за 6 дней до землетрясения 30.08.2024 г. (M=6.0);
- параметров ионосферы за 5-9 дней до землетрясения 18.08.2024 г. (M=7.0), за 2 дня до землетрясения 30.08.2024 г. (M=6.0).



**Изменения уходящего длинноволнового излучения**

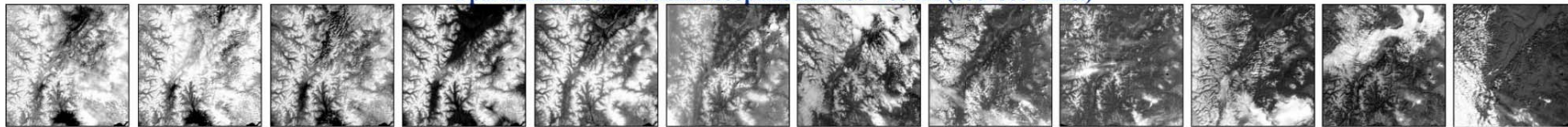


**Изменения температуры земной/морской поверхности**

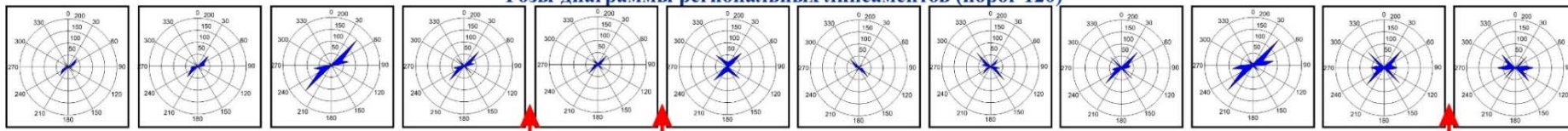


**Локальные аномалии DTEC в эпицентральной зоне**

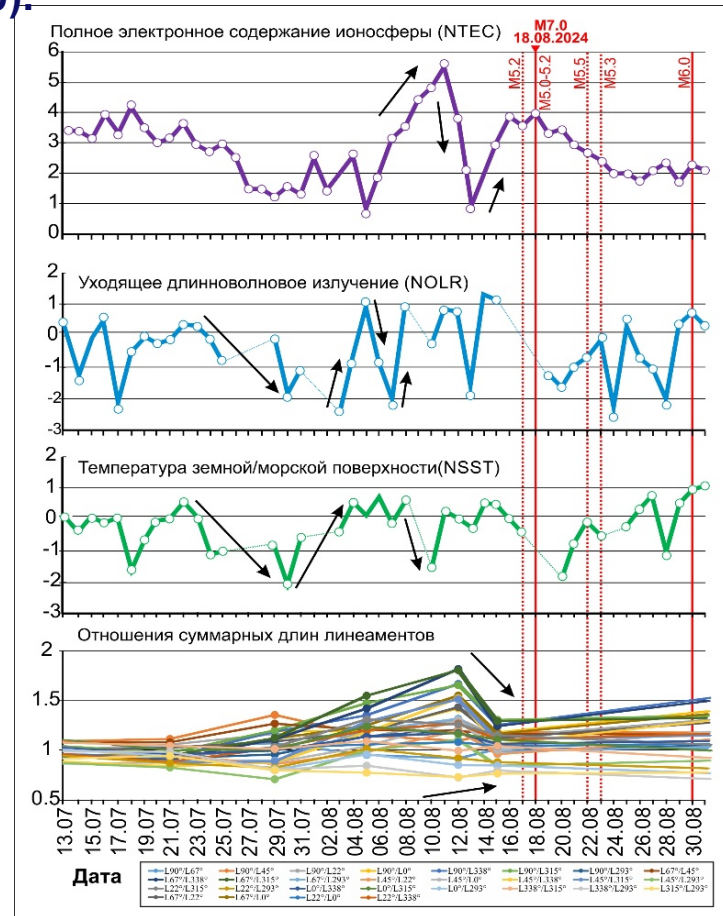
**Фрагменты космических изображений 200\*200 км (800\*800 пикс.)**



**Розы-диаграммы региональных линеаментов (порог 120)**



**Изменения систем линеаментов**



**Изменений нормализованных индексов NTEC, NOLR, NSST, отношений суммарных длин линеаментов разных направлений**

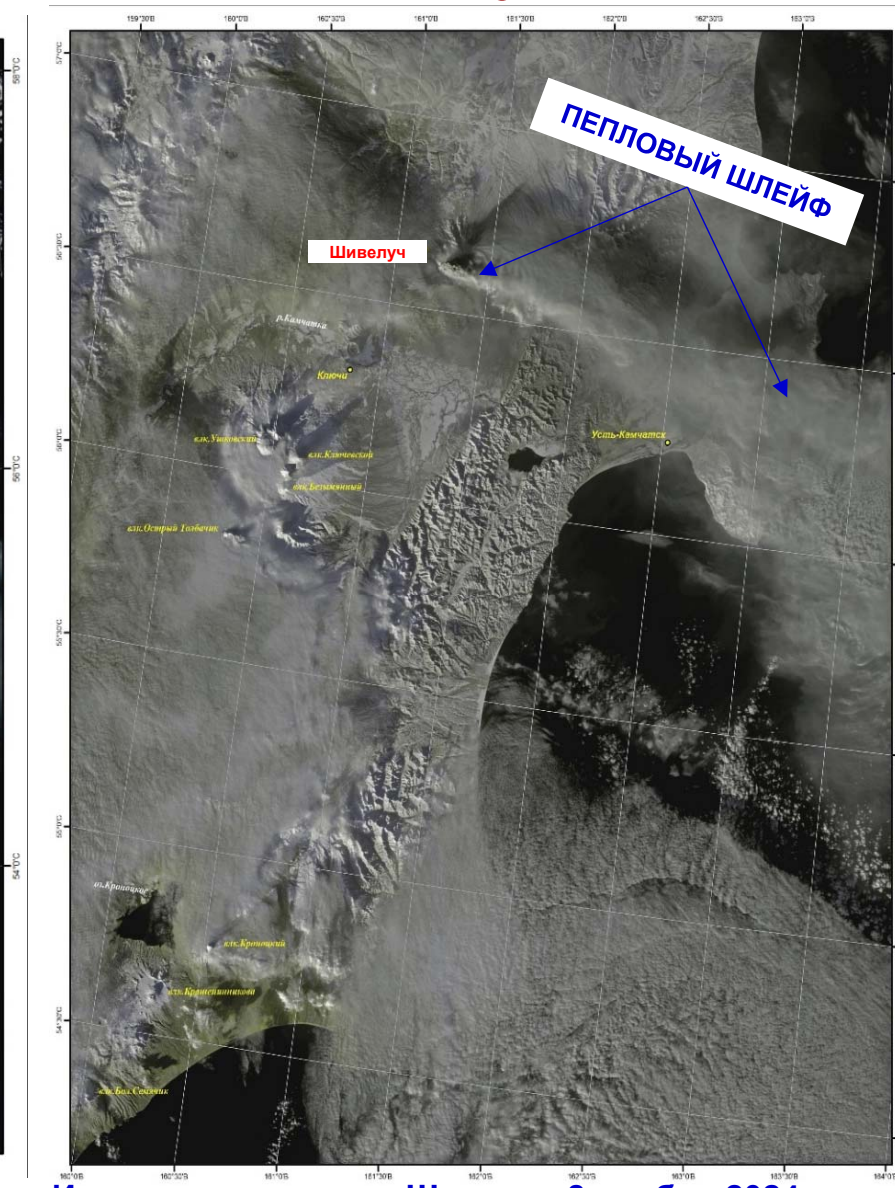




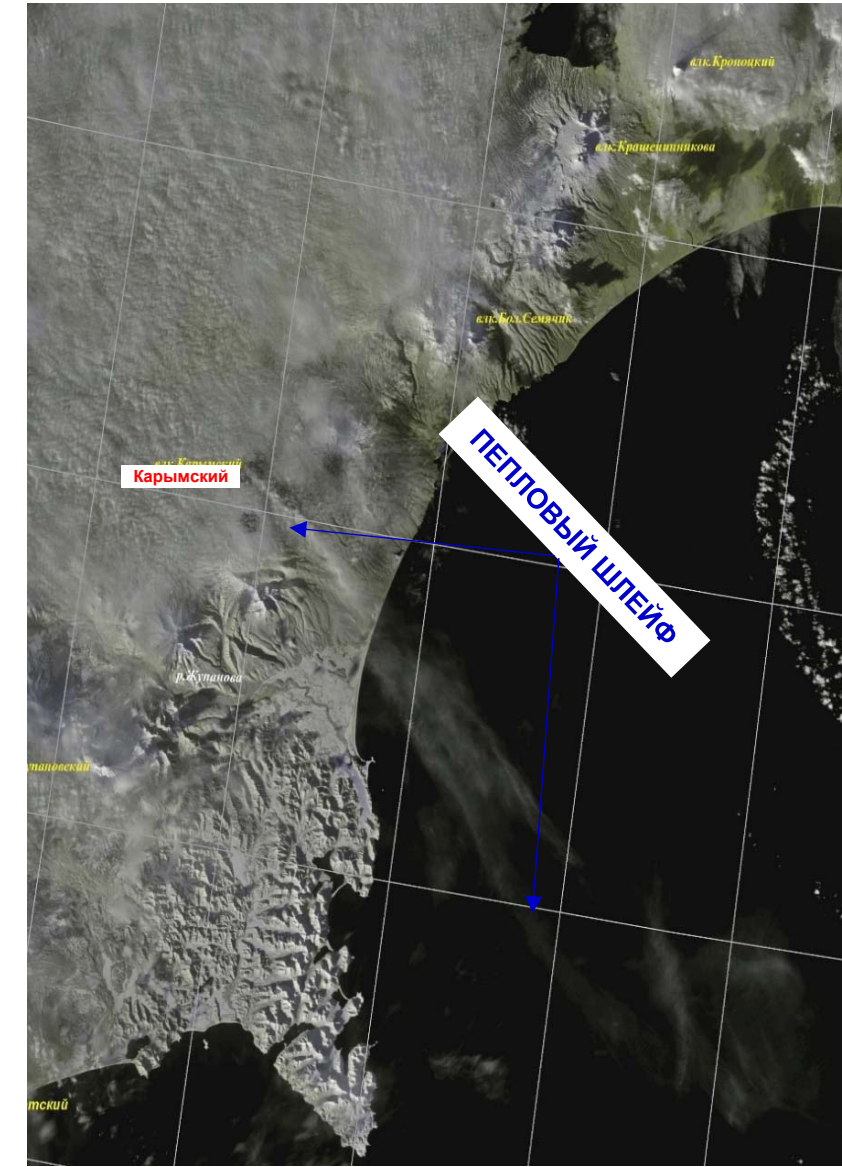
# КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ АКТИВНОСТИ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ В 2024 Г.



Извержение вулкана Шивелуч 26 сентября 2024 г.  
(КА Suomi NPP/VIIRS)

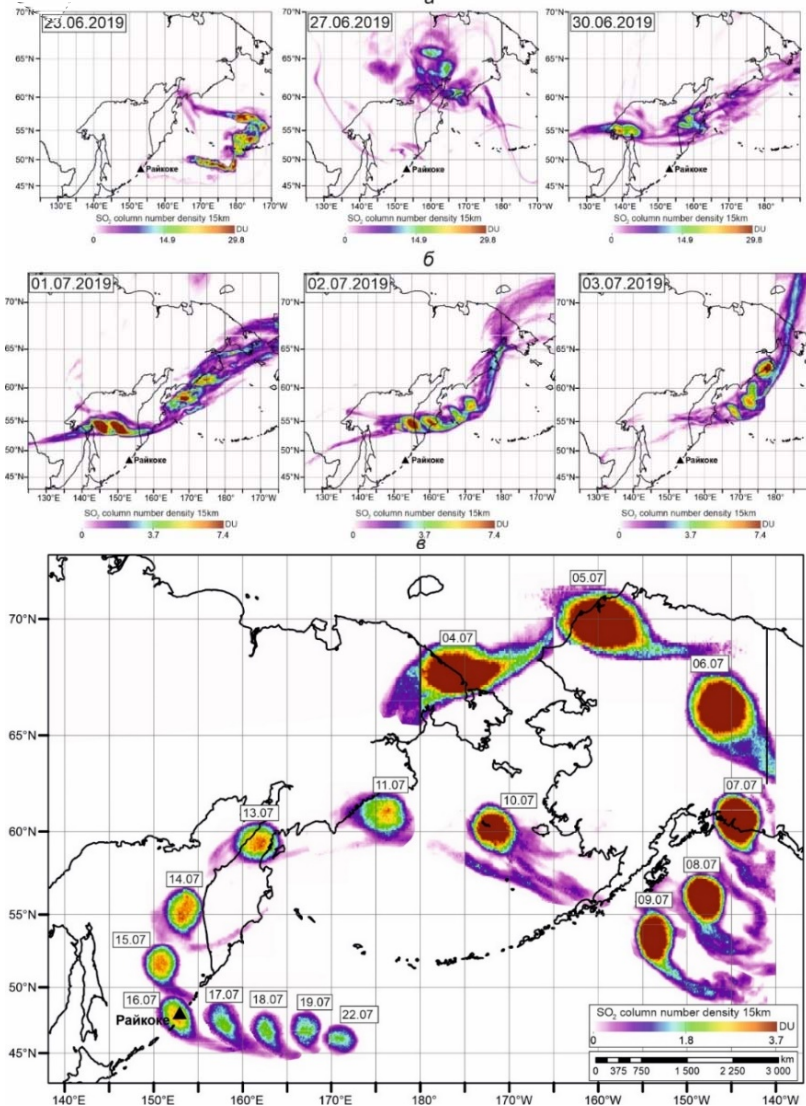


Извержение вулкана Шивелуч 8 ноября 2024 г.,  
(КА Метеор-М №2-4)



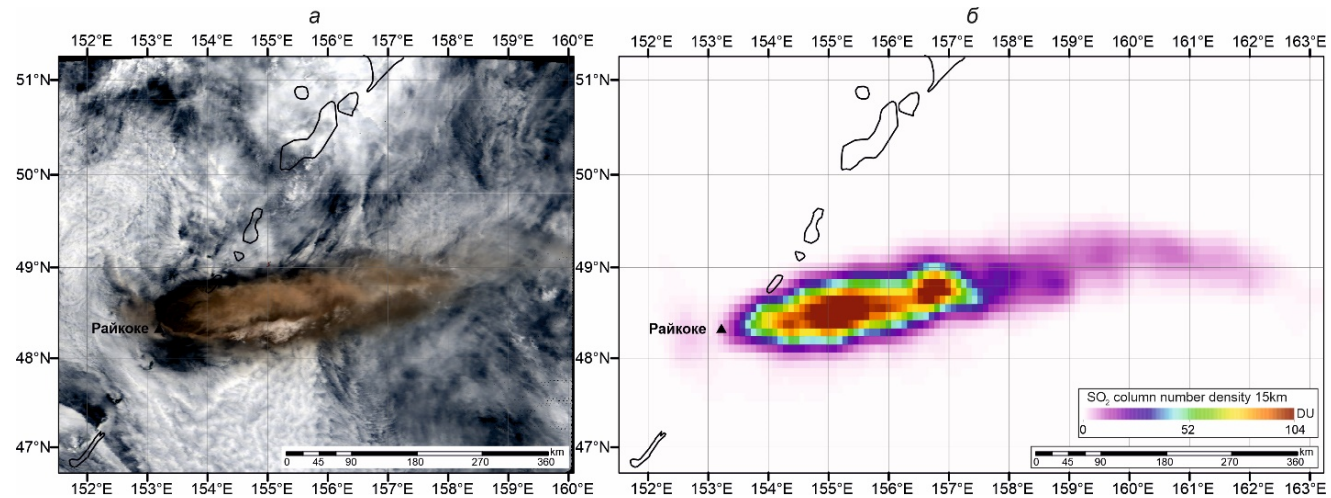
Извержение вулкана Карымский 8 ноября 2024 г.,  
(КА Метеор-М №2-4)

# КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЭКСПЛОЗИВНОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ СТРАТОВУЛКАНА РАЙКОКЕ (КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА) В 2019 г.



Перемещение вулканического облака SO<sub>2</sub> на H=15 км:

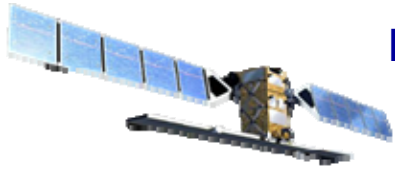
- вверху - 23, 27 и 30 июня 2019 г.;
- середина - с 1 по 3 июля 2019 г.;
- внизу - с 4 по 22 июля 2019 г.



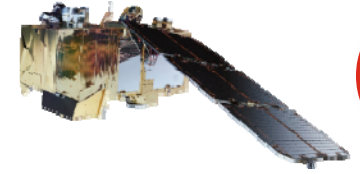
Извержение вулкана Райкоке 22.06.2019г.: а) изображение пеплового шлейфа (спутник Terra); б) плотность вертикального столба SO<sub>2</sub> на высоте 15 км, получены по данным спутника Sentinel-5P



Общая масса выбросов диоксида серы (SO<sub>2</sub>), распространившихся от вулкана Райкоке (килотонны) с 22 июня по 22 июля 2019 г.



Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга  
«АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия



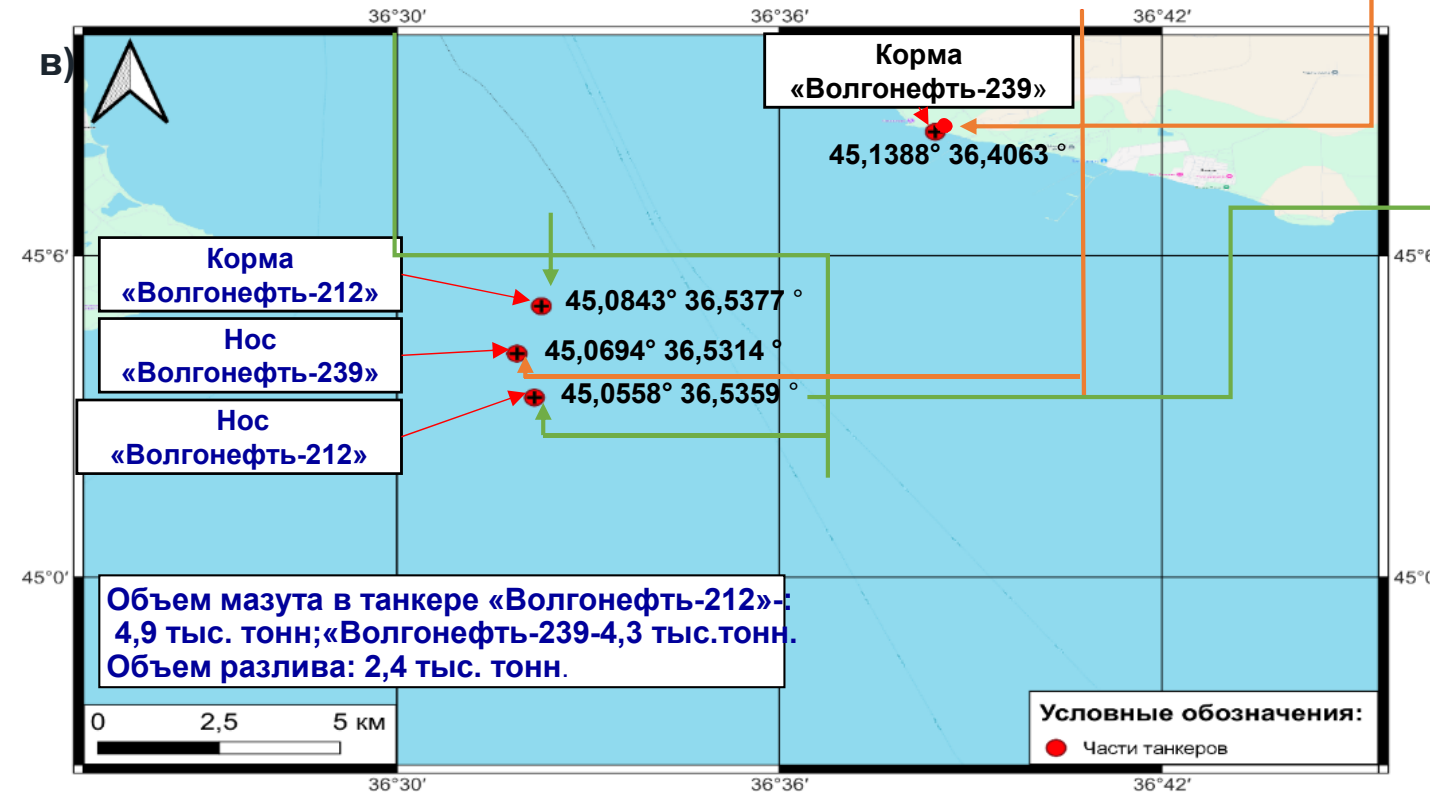
# ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЙ ЧЕРНОГО МОРЯ ПОСЛЕ АВАРИЙ ТАНКЕРОВ «ВОЛГОНЕФТЬ» В ДЕКАБРЕ 2024 г.



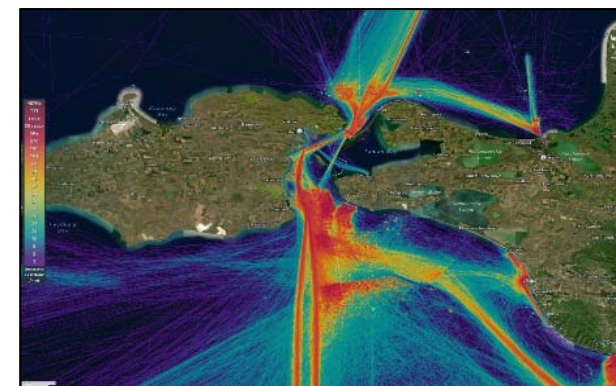
# СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ АВАРИЙ ТАНКЕРОВ «ВОЛГОНЕФТЬ» С РАЗЛИВАМИ МАЗУТА



Место аварии танкера «Волgoneftь-239»



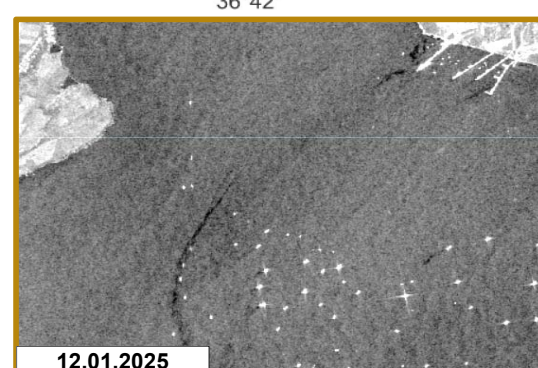
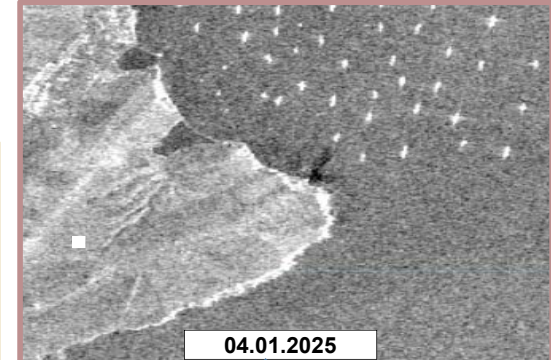
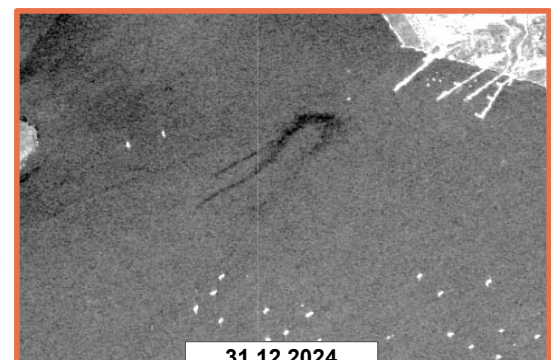
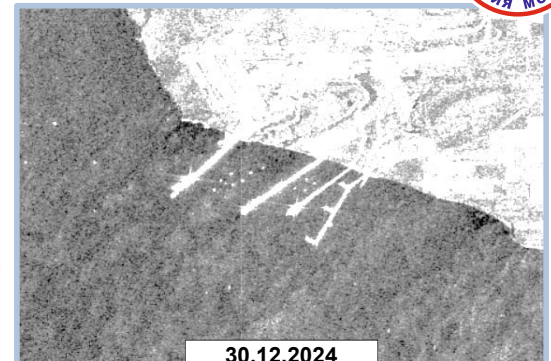
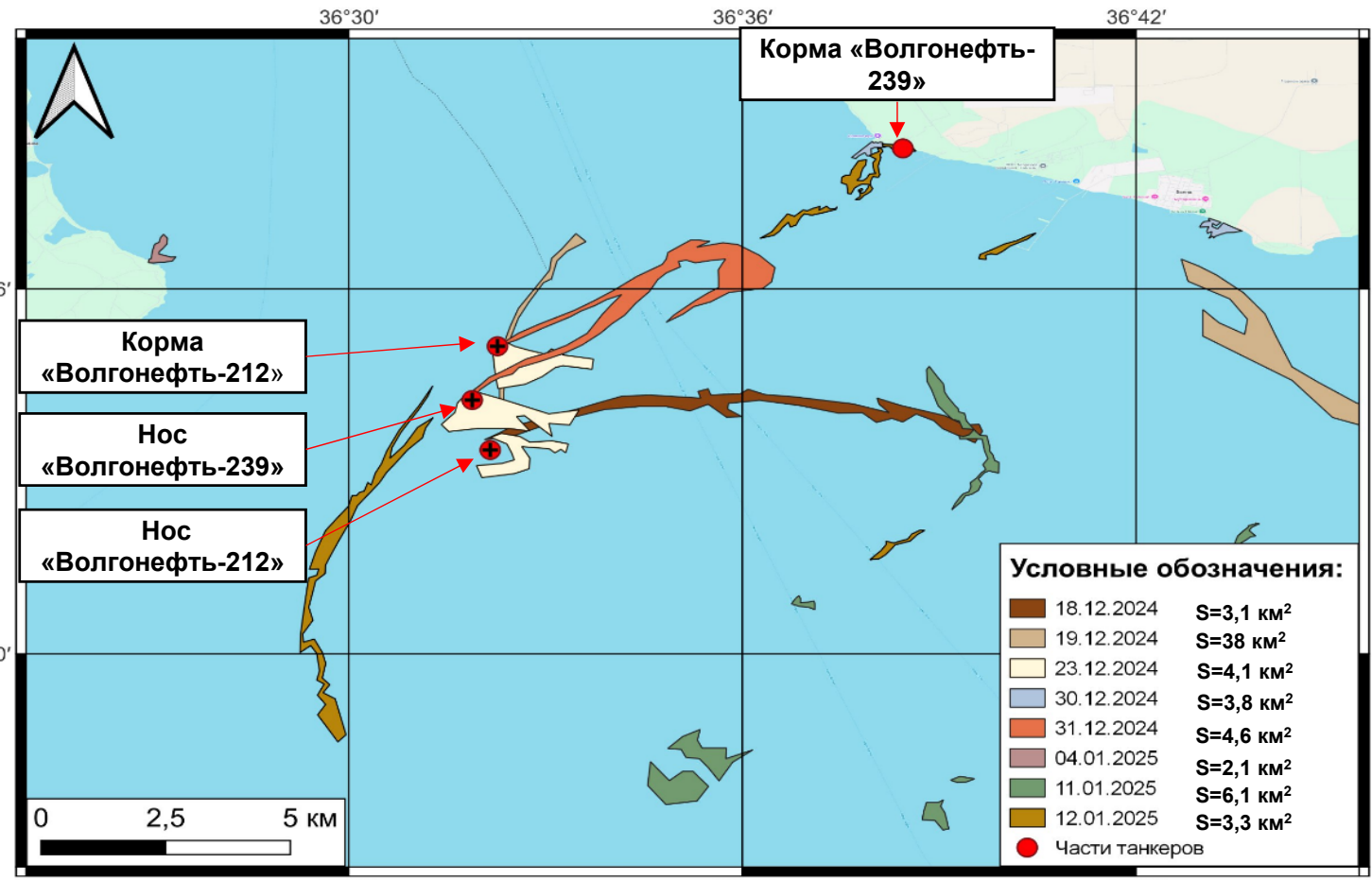
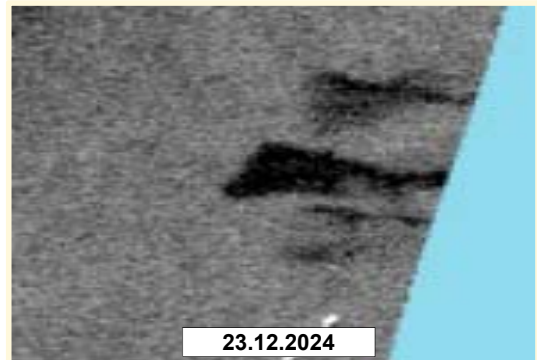
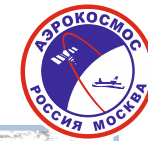
Место аварии танкера «Волgoneftь-212»



Пример карты плотности судоходства за 2024 г. в районе происшествия

Внешний вид танкеров: а) - «Волgoneftь-212»; б) - «Волgoneftь-239»). Карта-схема с местами нахождения фрагментов танкеров; в) – см. красные кружки (крестиками отмечены затонувшие фрагменты)

# ПРИМЕРЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА



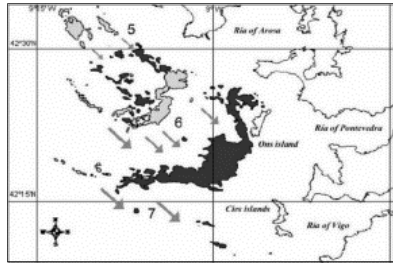
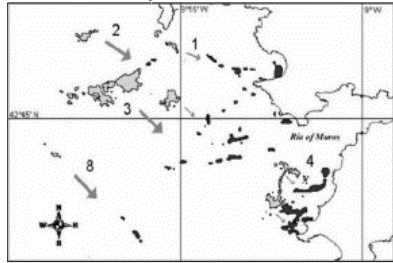
Карта загрязнений вблизи фрагментов танкеров «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239». По радиолокационным данным с 18.12. 2024 по 12.01.2025 г.

Примеры фрагментов радиолокационных изображений

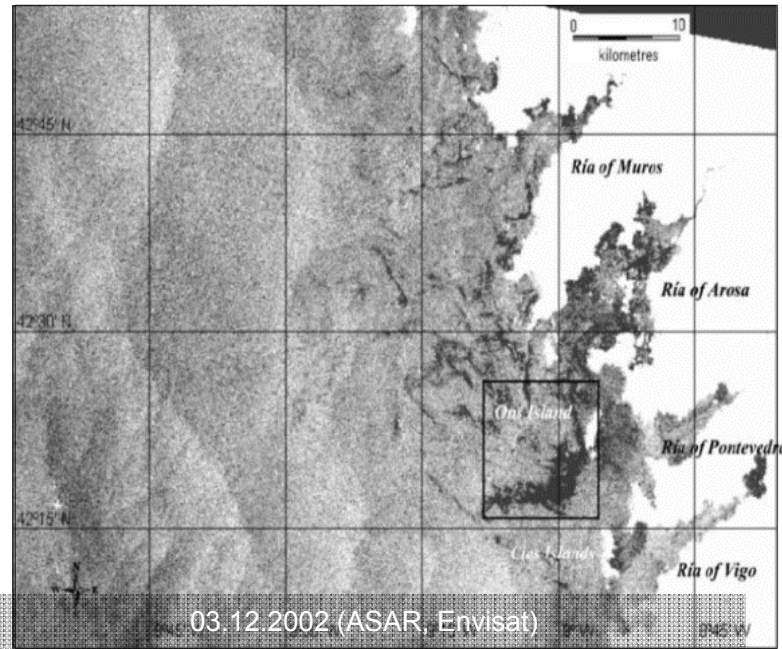


Envisat

# ПРИМЕРЫ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ ТАНКЕРОВ «ПРЕСТИЖ» (2002 г.) и «ВОЛГОНЕФТЬ-139» (2007 г.)



Условные обозначения:  
■ - разливы нефти за 02.12.2002  
■ - разливы нефти за 03.12.2002



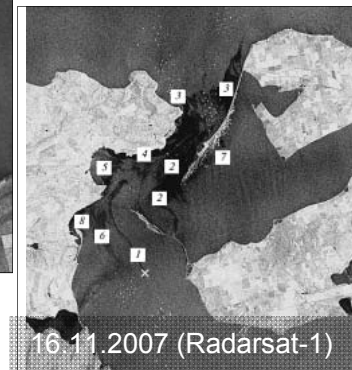
03.12.2002 (ASAR, Envisat)



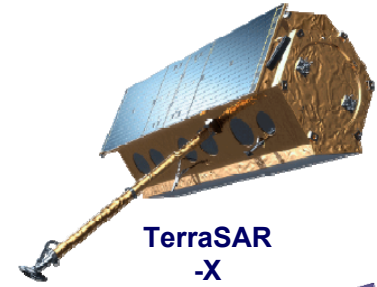
16.11.2007 (TerraSAR-X)



15.11.2007 (Radarsat-1)



16.11.2007 (Radarsat-1)



TerraSAR-X



Radarsat-1

## Примеры схем распространения загрязнений



Место аварии

Дата : 19.11.2002 г.  
Тип вещества: мазут.  
Объем разлива:  
63.0 тыс. тонн.

## Примеры загрязнений, вызванных аварией в 2002 г.



Крушение танкера «Престиж»

Место аварии



Буксировка танкера «Престиж»



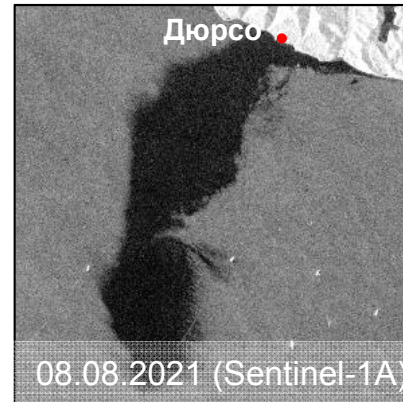
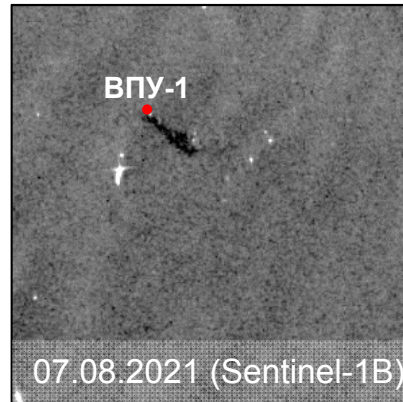
Место аварии «Волгонефть-139»

Дата : 11.11.2007 г.  
Тип вещества: мазут.  
Объем разлива:  
~1,5 тыс. тонн.

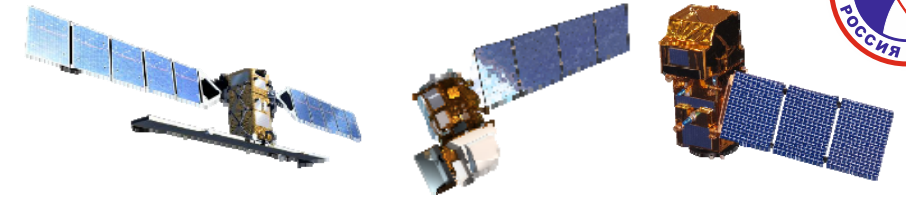
# СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА НЕФТЕНАЛИВНОМ ТЕРМИНАЛЕ КТК



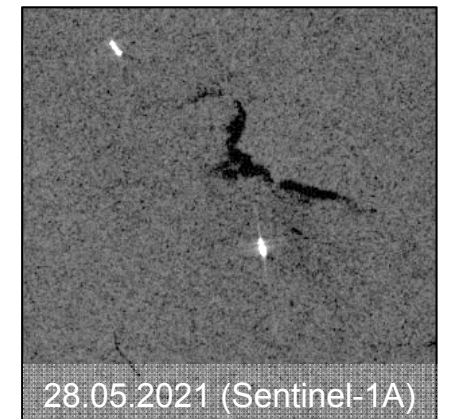
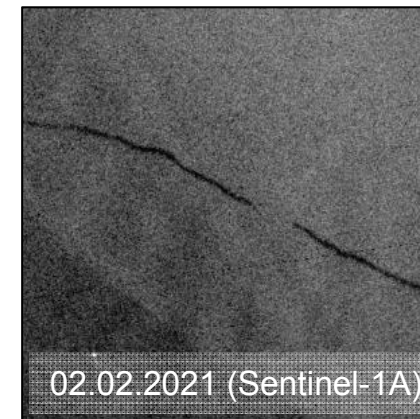
Место аварии (ВПУ)



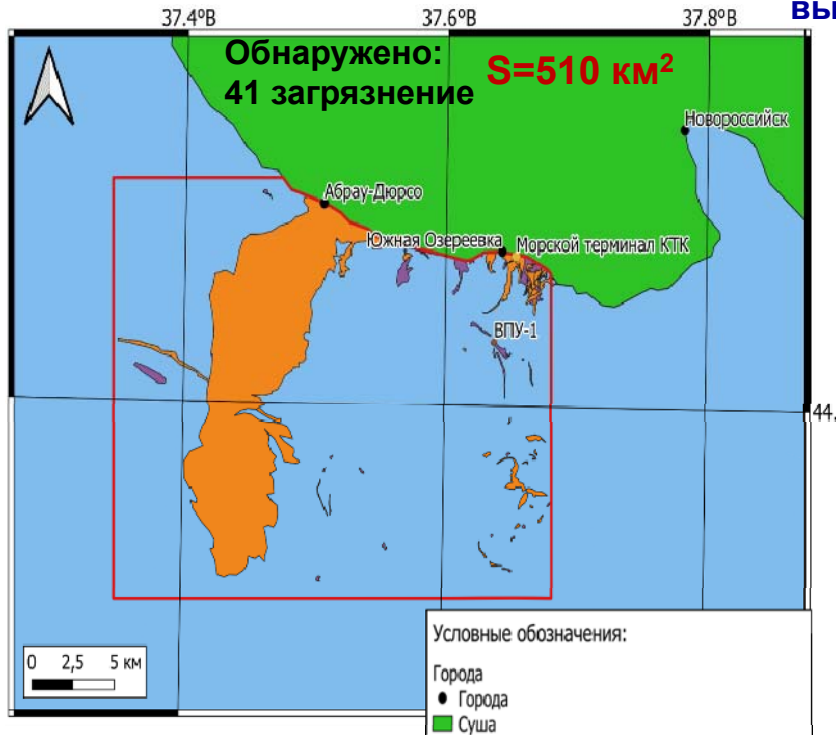
Примеры загрязнений, вызванных аварией на выносном причальном устройстве в 2021 г.



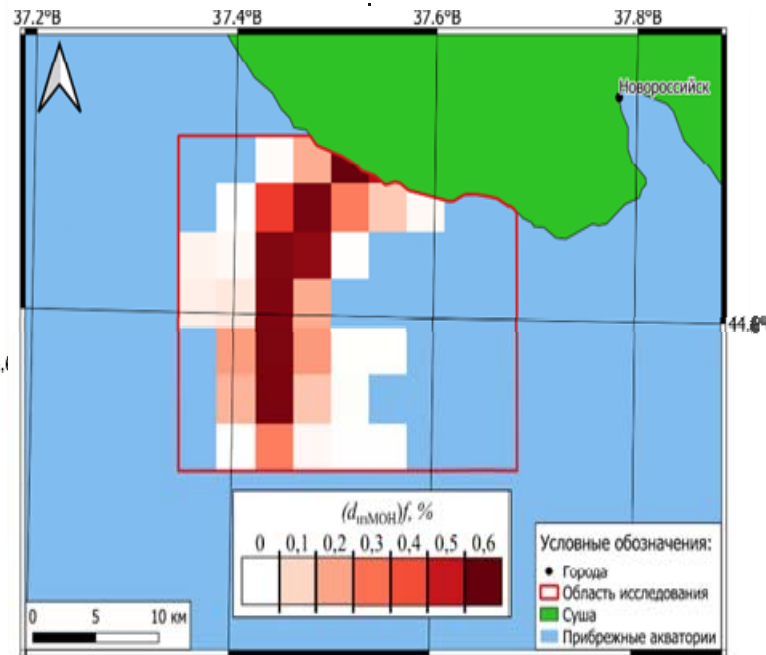
Примеры других загрязнений у терминала КТК вблизи берега в 2021 г.



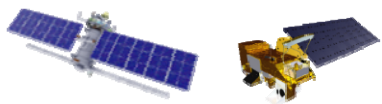
Примеры судовых загрязнений в акватории у г. Новороссийск в 2021 г.



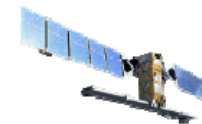
Обобщающая карта плёночных загрязнений небиогенного типа, выявленных в 2021 г.



Карта показателя подверженности небиогенным плёночным загрязнениям у г. Новороссийск в 2021 г.



# МЕТОД И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АНОМАЛЬНЫХ БИОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВОДНОЙ СРЕДЫ



**Разработан метод дистанционного обнаружения аномальных биогенных загрязнений морских акваторий, основанный на комплексном анализе температуры (SST), фотосинтетически активной радиации (PAR), концентрации хлорофилла-а, уровня морской поверхности, поля ветра, регистрируемых по спутниковым данным**

## Преимущества:

- возможность выявления причин и прогнозирования рисков возникновения аномальных биогенных загрязнений акваторий;
- оперативность, большой пространственный охват исследуемых территорий.

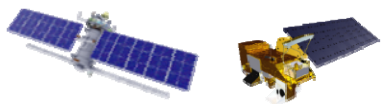
Метод апробирован на примере экологических происшествий, произошедших: у п-ова Камчатка осенью 2020 г.; у о. Хоккайдо (Япония) осенью 2021 г.; в Мраморном море (у побережья Турции) весной-летом 2021 г.; у о. Чилоэ (Чили) летом 2016 г.



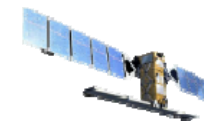
Bondur, V.; Chvertkova, O.; Zamshin, V. // Remote Sens. 2023, 15, 5308..

Бондур, Замшин, Чверткова // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. Т. 507, № 1, 2021.





# МЕТОД И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АНОМАЛЬНЫХ БИОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВОДНОЙ СРЕДЫ



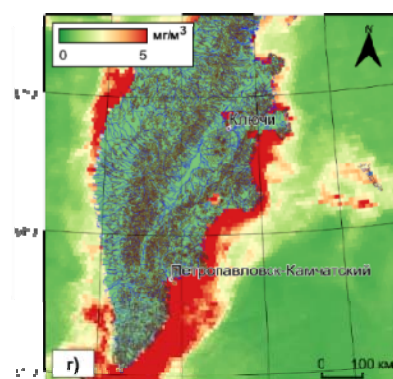
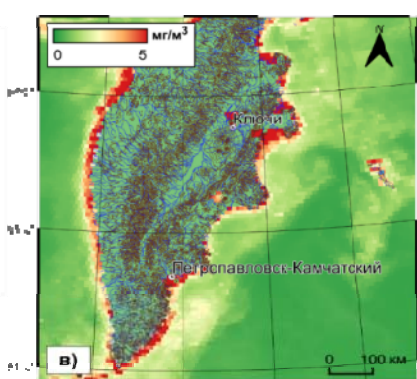
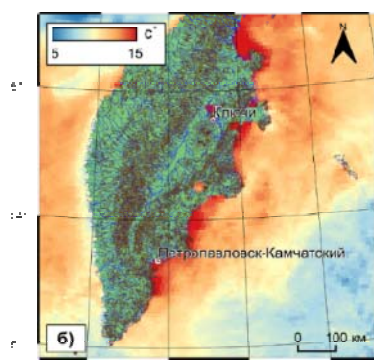
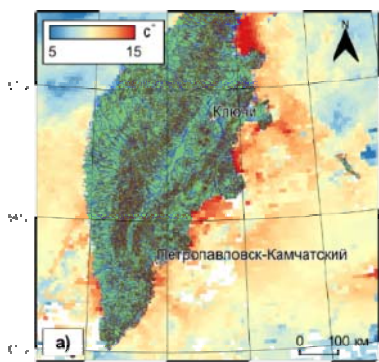
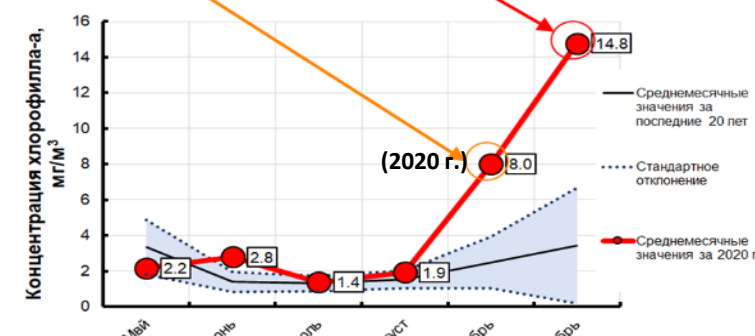
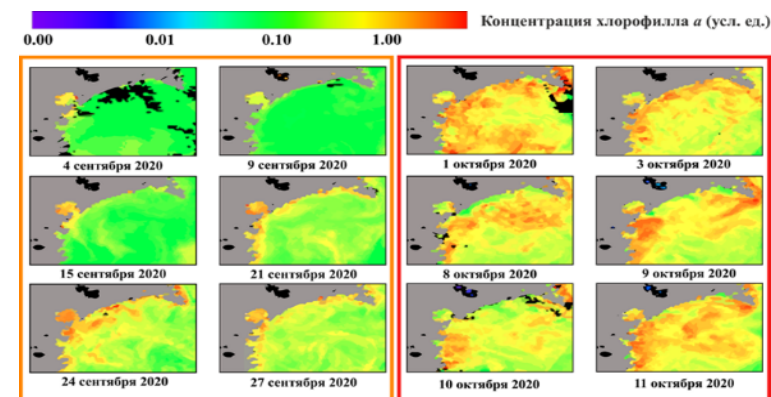
**Обнаружен аномальный рост концентрации хлорофилла-а (в 5-8 раз выше фона)**

Систематизировано и обработано свыше 37 тыс. спутниковых оптических и радиолокационных изображений (за 40 лет) для акваторий у п-ва Камчатка, позволившие выявить причины массовой гибели гидробионтов осенью 2020 г.

Установлено, что в июле-сентябре 2020 г. в акваториях у п-ва Камчатка температура моря превышала норму на величину до 6°C.

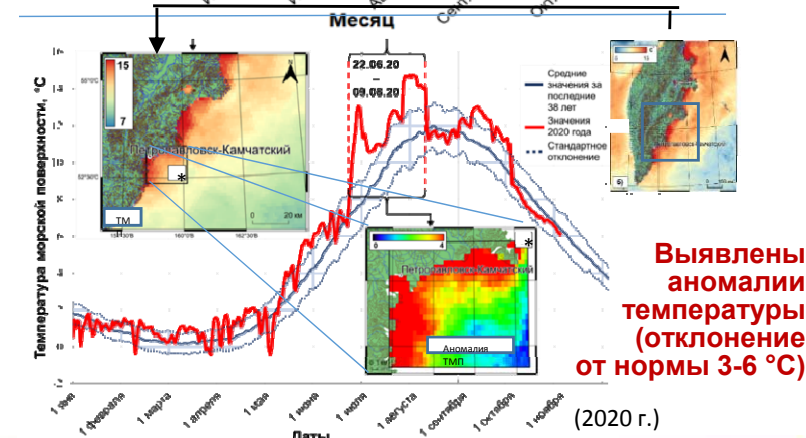
Такое повышение температуры и специфические условия циркуляции вод привели к аномальному росту концентрации хлорофилла-а (в 5-8 раз выше фона) и существенному изменению биогенного режима.

Это вызвало вредоносное цветение микроводорослей рода *Karenia* («красный прилив»), что привело к гибели гидробионтов в Авачинском заливе и в других акваториях у п-ва Камчатка.



Осредненные значения температуры морской поверхности в июле 2019 и 2020 г.

Осредненные значения концентрации хлорофилла-а в сентябре 2019 и 2020 г.



# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Применение космических методов и технологий для мониторинга опасных природных явлений и катастроф приведет к улучшению их прогноза и предупреждения. Это снизит гибель людей, уменьшит экономический ущерб от них на миллиарды рублей ежегодно, будет способствовать улучшению среды обитания, а также условий функционирования объектов социально-экономической сферы.

**2. Необходимо кардинально увеличить отечественную группировку КА ДЗЗ.**

3. В качестве основного критерия для оценки эффективности деятельности в этом направлении целесообразно использовать **предотвращенный ущерб** от различных чрезвычайных ситуаций.

4. Для развития новых методов и технологий мониторинга, прогнозирования и предупреждения ЧС необходимо **сформировать специальную ФЦП.**

5. Необходимо развивать образовательные программы для подготовки специалистов в области ДЗЗ и обработки больших потоков аэрокосмических данных.

