

Министерство науки и высшего образования РФ
Российская академия наук

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



Спутниковый мониторинг антропогенных воздействий сбрасываемых вод на Авачинскую бухту (Камчатка) по оптическим и радиолокационным данным

Замшин В.В., Королькова А.И., Студёнова В.А.



ДВАДЦАТЬ ТРЕТЬЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА», ИКИ РАН, 10 - 14 ноября 2025 г.



ВВЕДЕНИЕ

Антропогенные воздействия на прибрежные акватории представляют собой одну из серьёзных экологических проблем. Одними из наиболее опасных источников таких воздействий являются сбросы промышленных и хозяйственно-бытовых вод (выпуски сточных вод, в том числе глубинные стоки) [1]. Методы спутникового мониторинга антропогенных воздействий на морские акватории, обеспечивают такие преимущества как широкий пространственный охват, регулярность и оперативность получения информации, использование различных физических механизмов взаимодействия электромагнитного излучения оптического и радио диапазонов с морской поверхностью и приповерхностным слоем, являются эффективным инструментом для исследования антропогенных воздействий выпусков сточных вод [1,2]. Эффективность этих методов повышается при их использовании совместно с подспутниковыми измерениями параметров различных гидрофизических процессов [3].

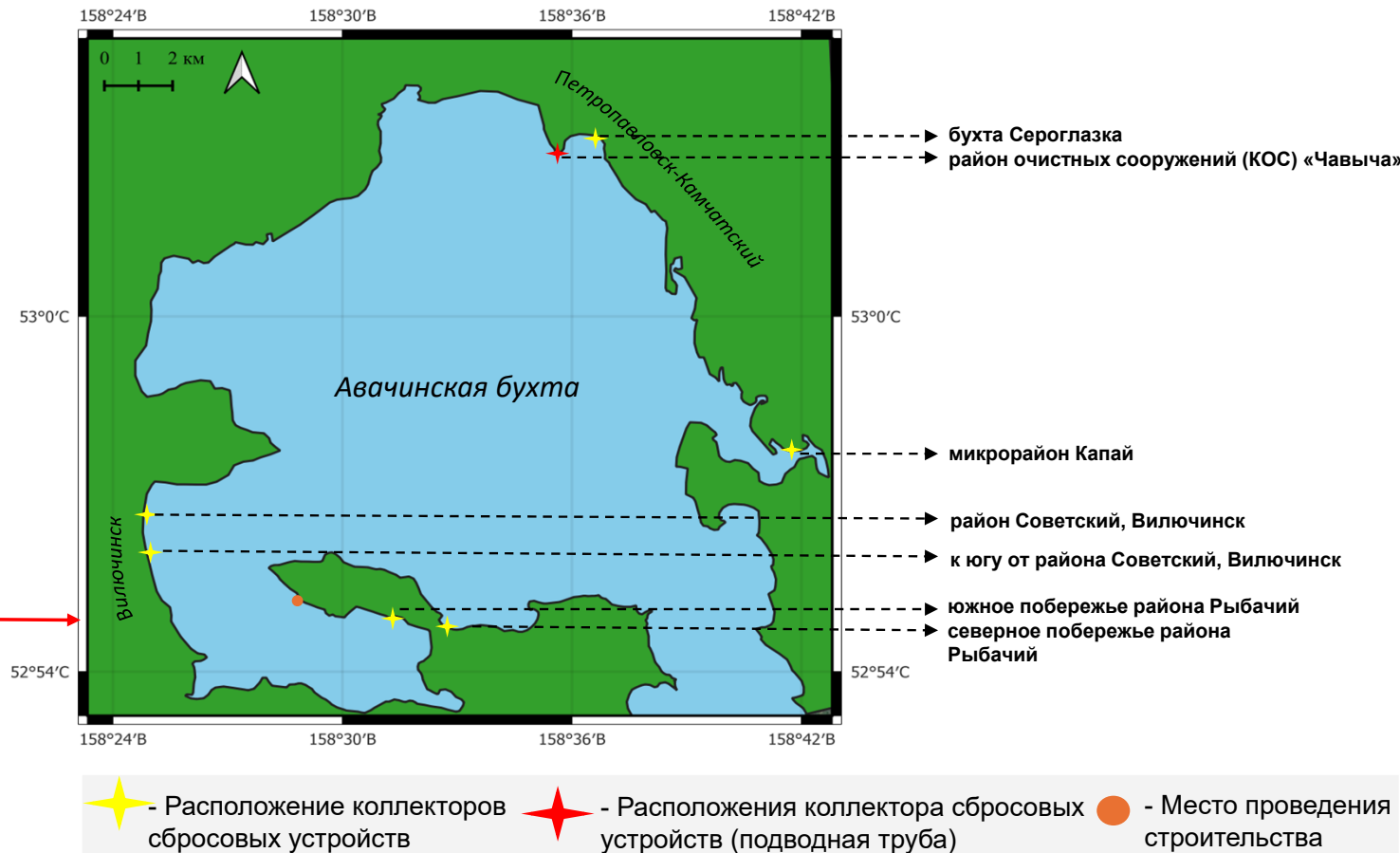


РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ



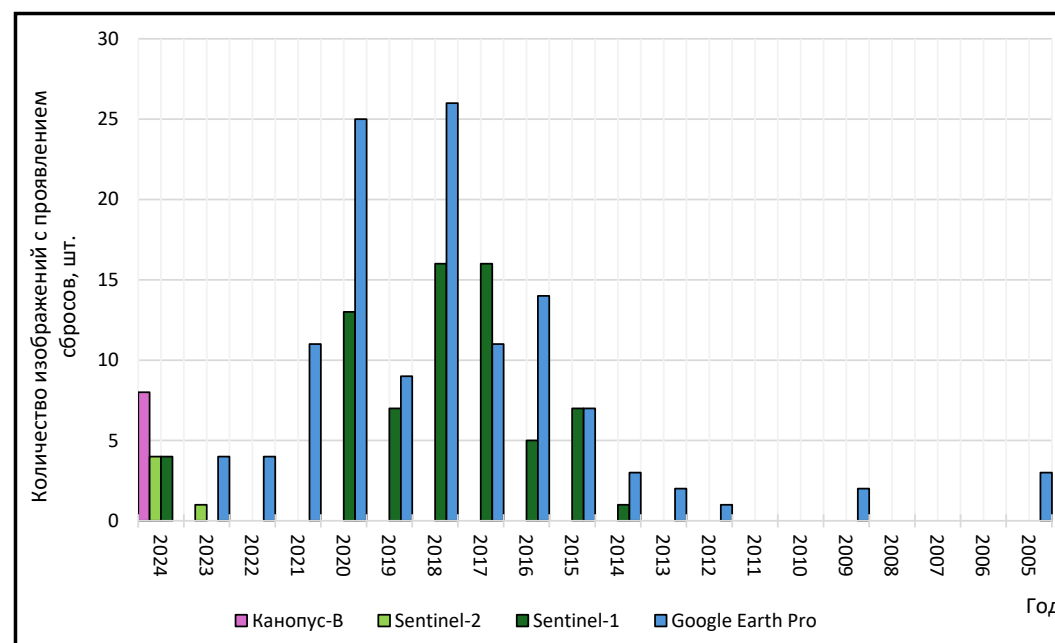
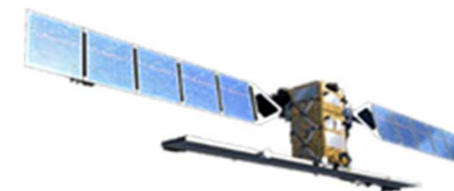
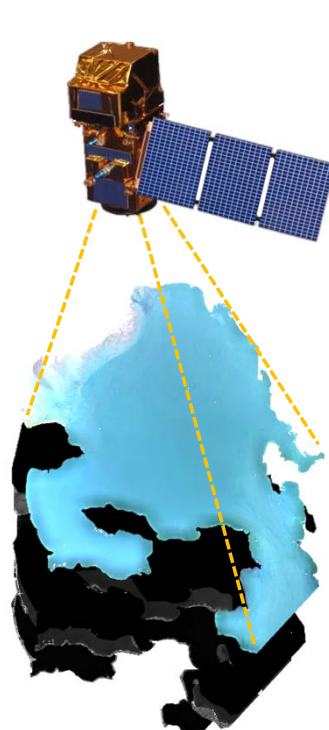
Исследуется Авачинская бухта - крупнейшая природная гавань Тихоокеанского побережья России. Глубины акватории достигают 28 метров. Гидрографическая структура включает несколько внутренних бухт, разделенных мысами вулканического происхождения.

Бухта обеспечивает функционирование главного порта Камчатки и баз Тихоокеанского флота.



ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В работе использован массив разнородных спутниковых данных, полученных за период с 2005 по 2024 гг. с космических аппаратов типа Ресурс-П, Канопус-В, Sentinel-1, Sentinel-2, а также со спутников MAXAR. В качестве априорной информации использовались данные о батиметрии бухты, ветровых условиях, расположении сбросовых коллекторов и др.



МЕТОДИКА

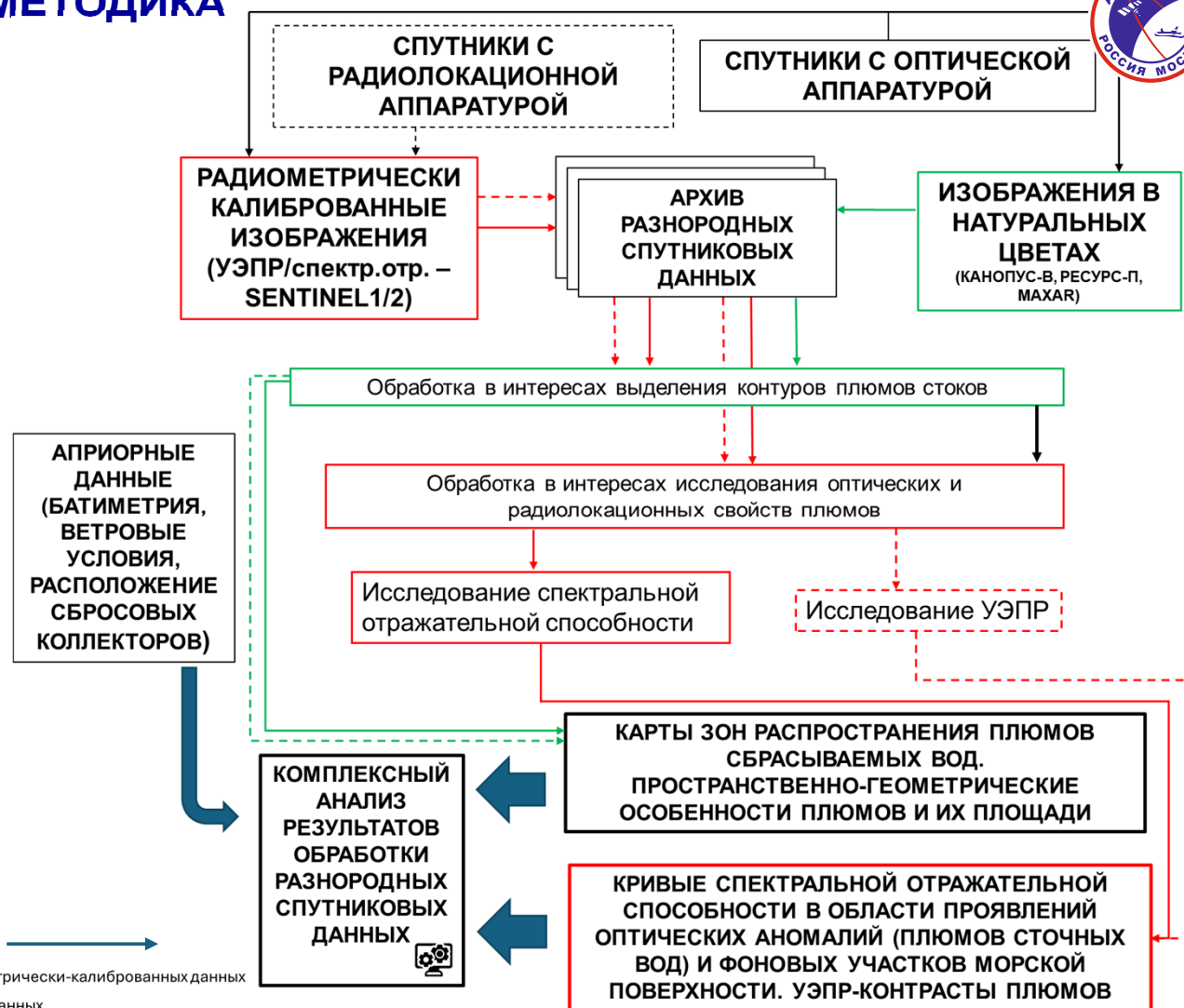


При обработке оптических изображений применялось интерактивное дешифрирование проявлений плюмов сточных вод вблизи сбросовых коллекторов с использованием различных комбинаций каналов съёмочной аппаратуры и настроек гистограмм яркости [1,4], определялись площади и анализировались пространственно-геометрические особенности плюмов. С использованием калиброванных изображений с атмосферной коррекцией (Sentinel-2) определялись и сопоставлялись кривые спектральной отражательной способности в области проявлений оптических аномалий (плюмов сточных вод) и фоновых участков морской поверхности.

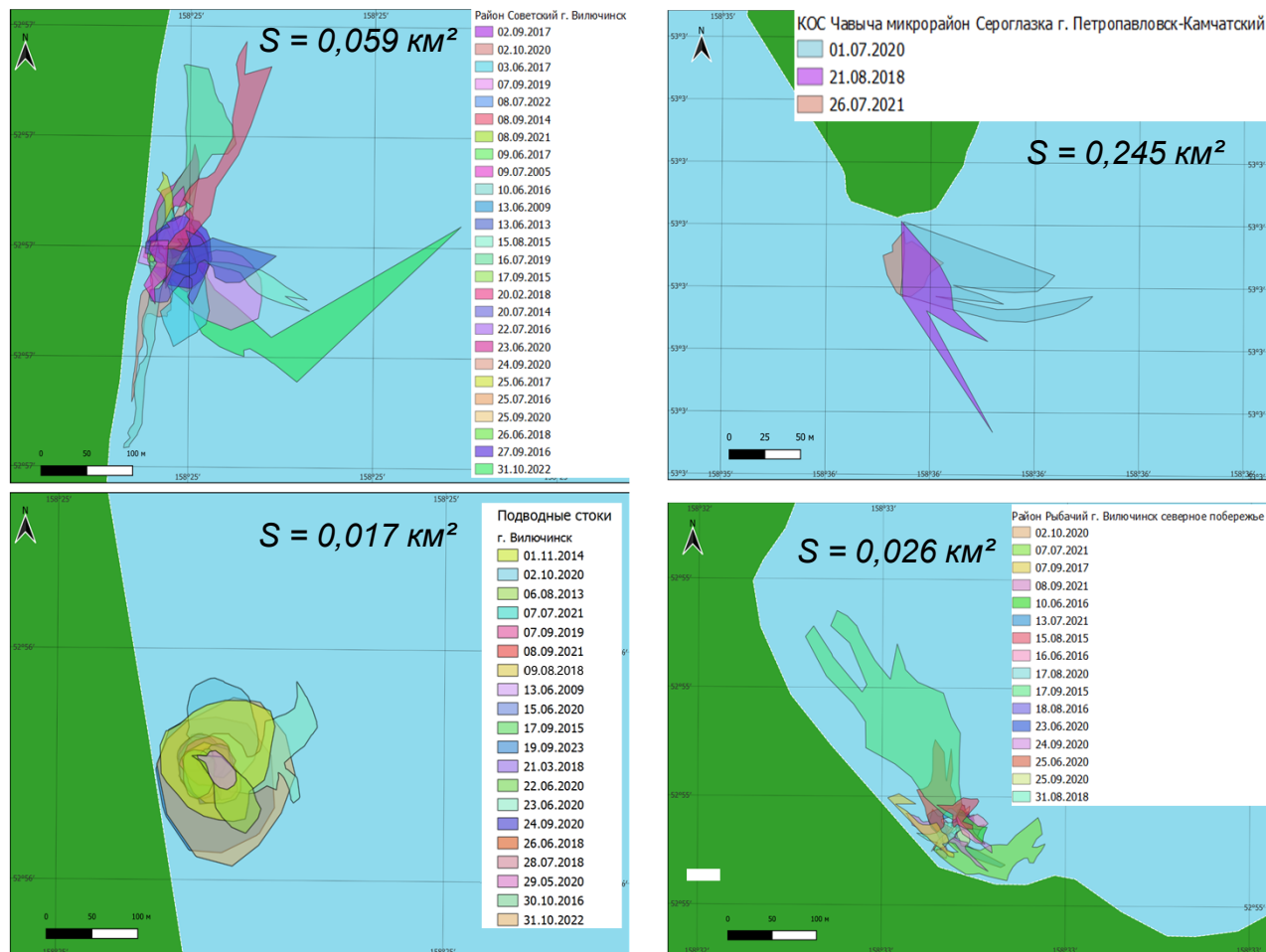
При обработке радиолокационных изображений выполнялось выявление и определение генезиса сликовых образований в районах акватории, приуроченных к сбросовым коллекторам. С использованием интерактивного дешифрирования и комплексного геоинформационного подхода [5] отсортировывались плёночные слики, обусловленные стоками [6]. Исследовались пространственно-геометрические особенности, площади и радиолокационные контрасты выявленных плёночных сликов, приуроченных к коллекторам.

Условные обозначения:

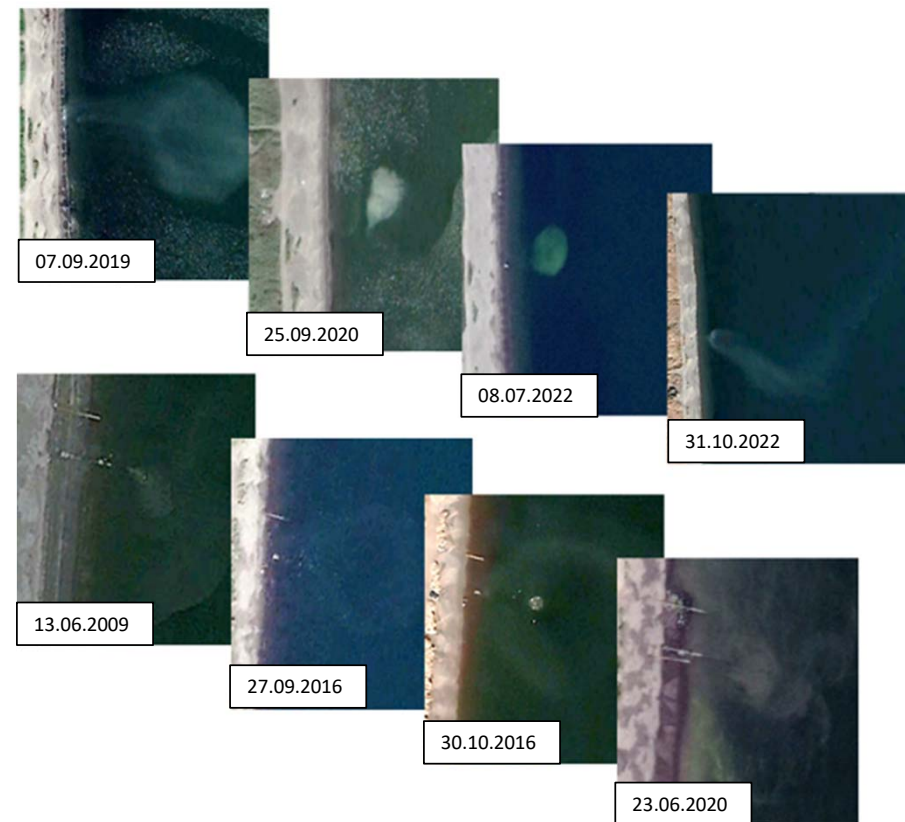
- - РЛИ
- - оптика
- - использование радиометрически-калиброванных данных
- - использование прочих данных



РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ПЛЮМОВ СТОЧНЫХ ВОД ПО ОПТИЧЕСКИМ ДАННЫМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ (а)

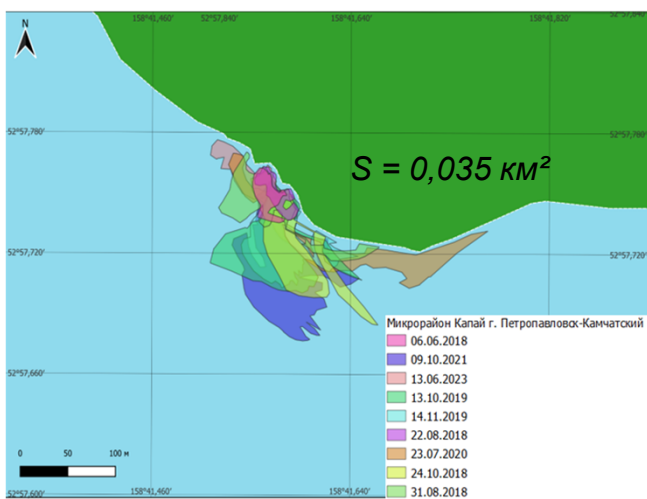


Примеры сводных карт загрязнений

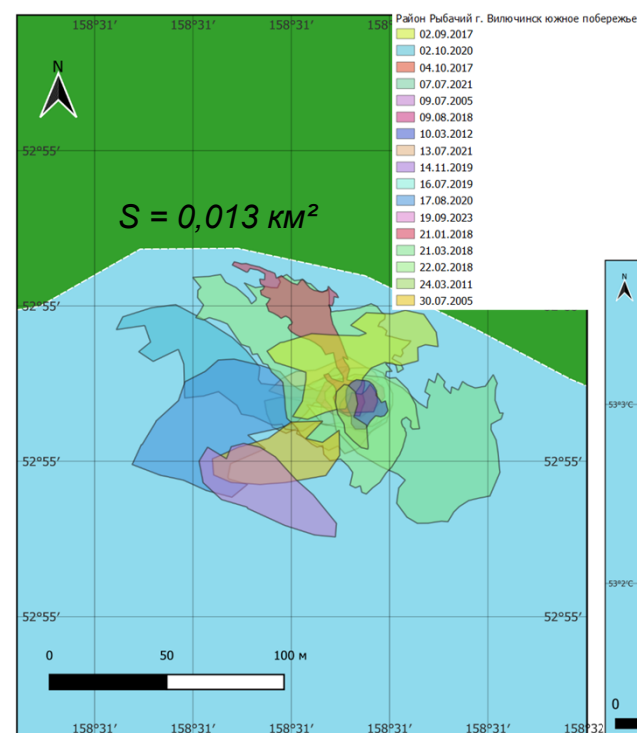


Примеры оптических изображений плюмов сточных вод

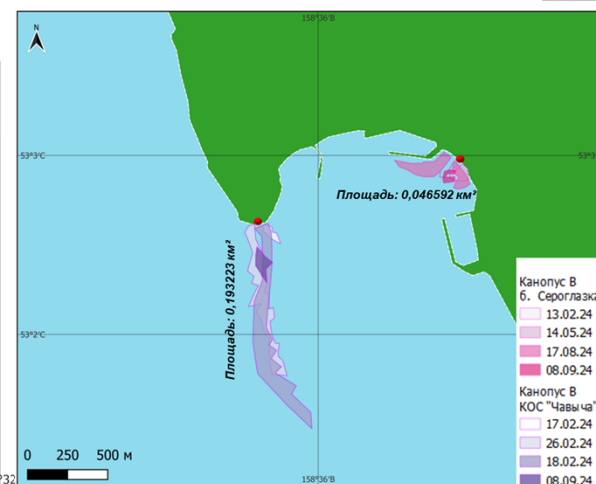
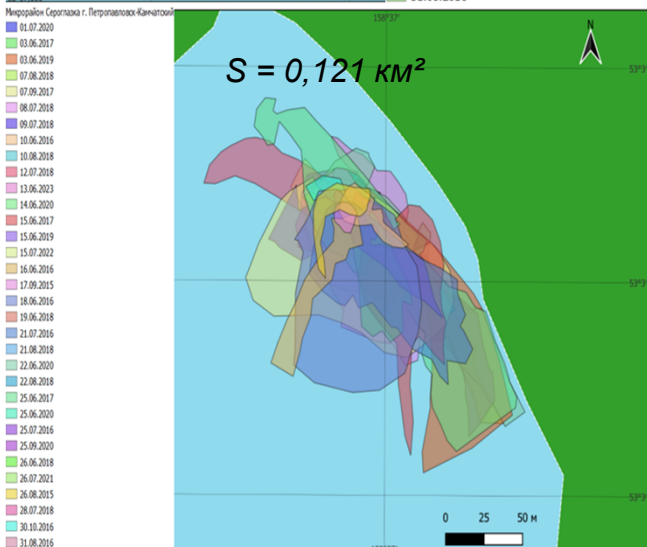
РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ПЛЮМОВ СТОЧНЫХ ВОД ПО ОПТИЧЕСКИМ ДАННЫМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ (6)



← ПРИМЕРЫ СВОДНЫХ КАРТ
ЗАГРЯЗНЕНИЙ, ВЫЯВЛЕННЫХ
ПО ДАННЫМ МАХАР



ПРИМЕРЫ
ОПТИЧЕСКИХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ
ПЛЮМОВ
СТОЧНЫХ ВОД



РЕЗУЛЬТАТЫ
ВЫЯВЛЕНИЯ ПЛЮМОВ
СТОЧНЫХ ВОД ПО
ОПТИЧЕСКИМ
ДАННЫМ,
ПОЛУЧЕННЫМ СО
СПУТНИКОВ
КАНОПУС-В

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЯВЛЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛЮМОВ СТОЧНЫХ ВОД ПО ОПТИЧЕСКИМ ДАННЫМ, ПОЛУЧЕННЫМ СО СПУТНИКОВ SENTINEL-2 A/B

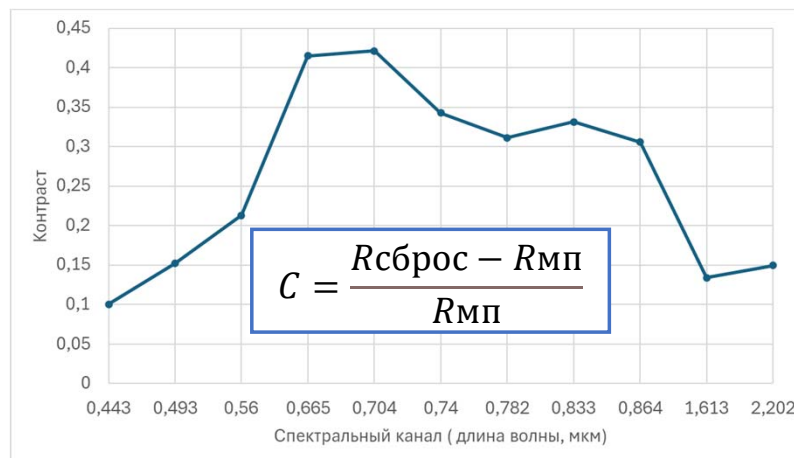
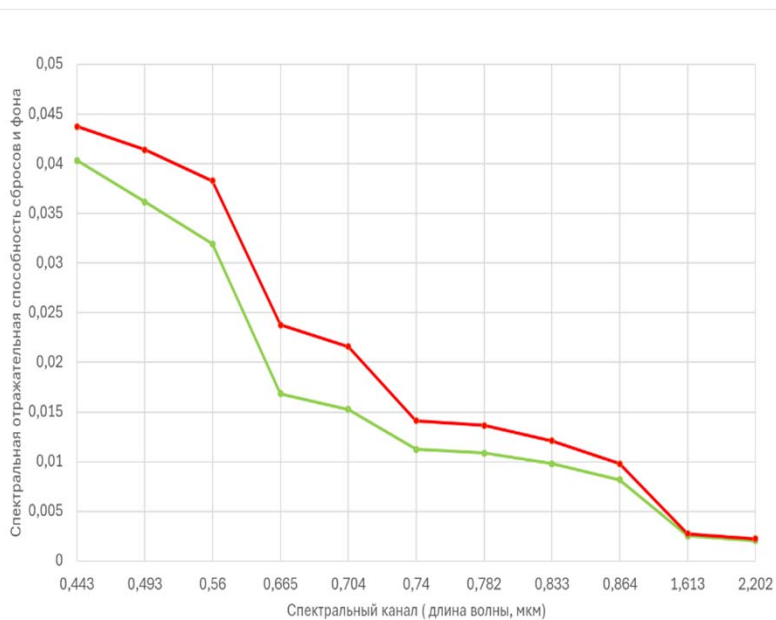
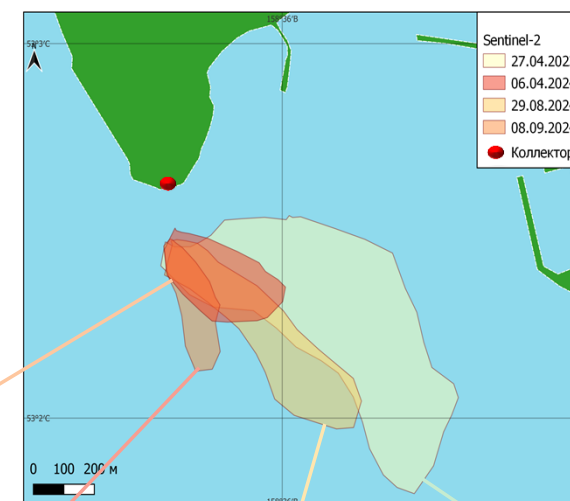


График изменения контраста в зависимости от используемого спектрального канала

СВОДНАЯ КАРТА ЗАГРЯЗНЕНИЙ



Графики математических ожиданий спектральной отражательной способности (КСЯ) зон проявлений сбросов (красная линия) и фоновой морской поверхности (зелёная), полученных в спектральных каналах по результатам обработки данных аппаратуры спутника Sentinel-2A/B



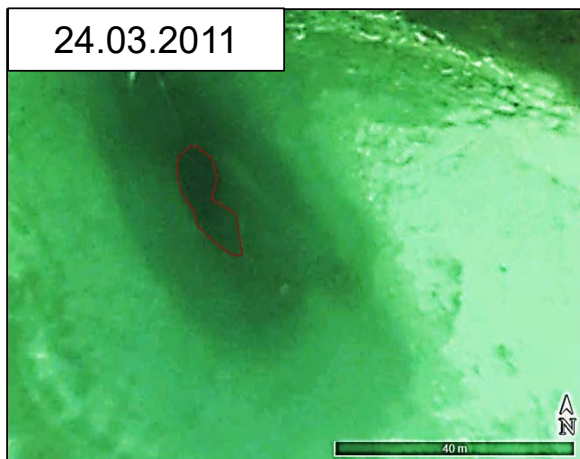
ПРИМЕРЫ ПРОЯВЛЕНИЙ СБРОСОВ

ПРИМЕРЫ ПРОЯВЛЕНИЙ ПЛЮМОВ СТОЧНЫХ ВОД В ВИДЕ ПОЛЫНИ НА ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ РАЗЛИЧНОГО ТИПА



РАСПРОСТРАНЕН
НОЕ МЕСТО
РЕГИСТРАЦИИ –
РАЙОН РЫБАЧИЙ,
Г. ВИЛЮЧИНСК
(ЮЖНОЕ
ПОБЕРЕЖЬЕ)
(5 СЛУЧАЕВ ИЗ 6)

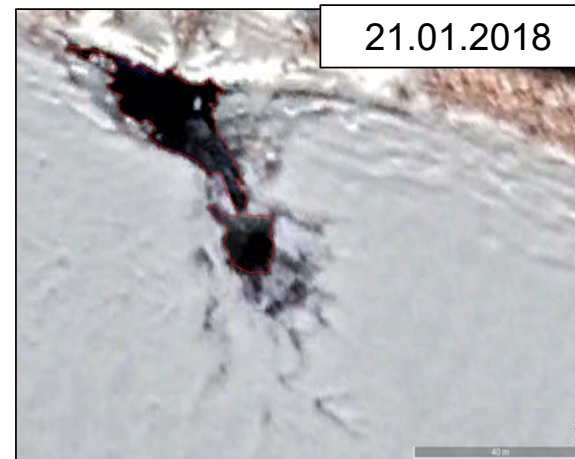
24.03.2011



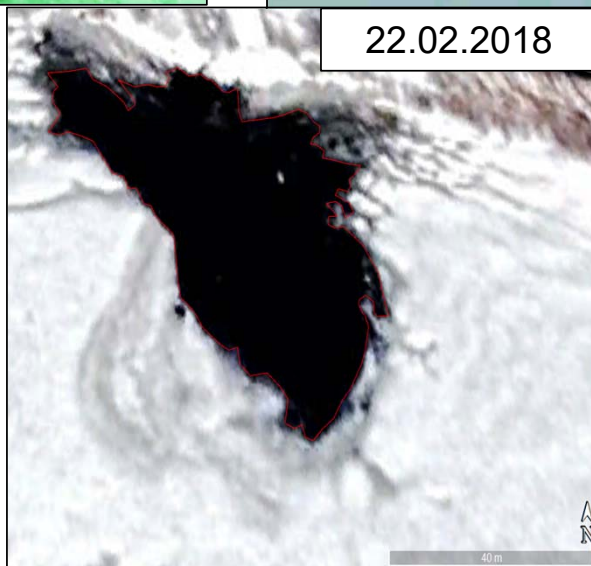
10.03.2012



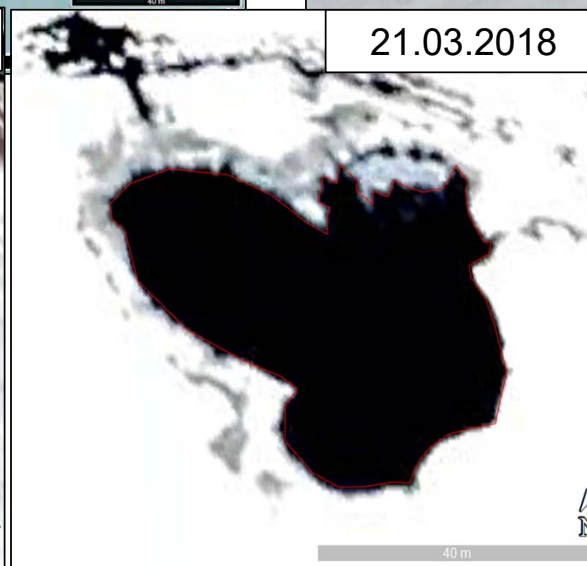
21.01.2018



22.02.2018



21.03.2018



13.02.2024



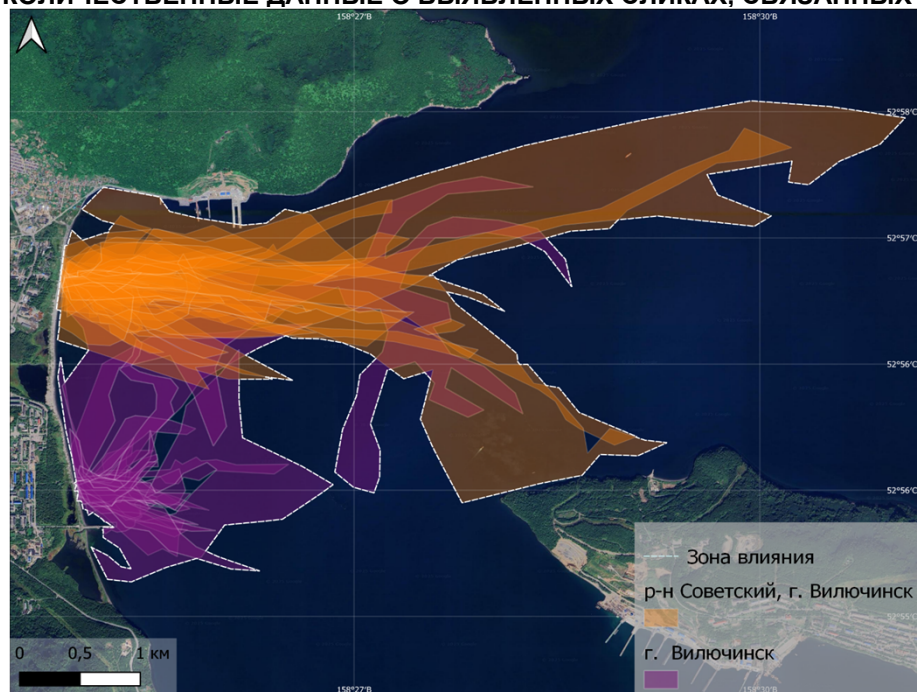
ОБЩАЯ
ПЛОЩАДЬ
ПЛЮМОВ В ВИДЕ
ПОЛЫНИ,
ВЫЯВЛЕННЫХ В
ПЕРИОД С 2011 ПО
2024 ГГ. РАВНА
0,0065 KM²

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЯВЛЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛЮМОВ СТОЧНЫХ ВОД ПО РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ДАННЫМ, ПОЛУЧЕННЫМ СО СПУТНИКОВ SENTINEL-1

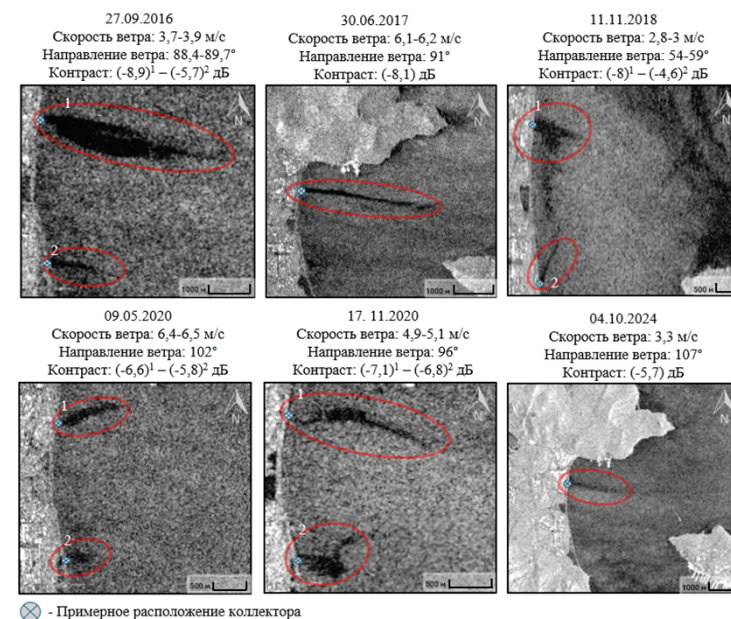
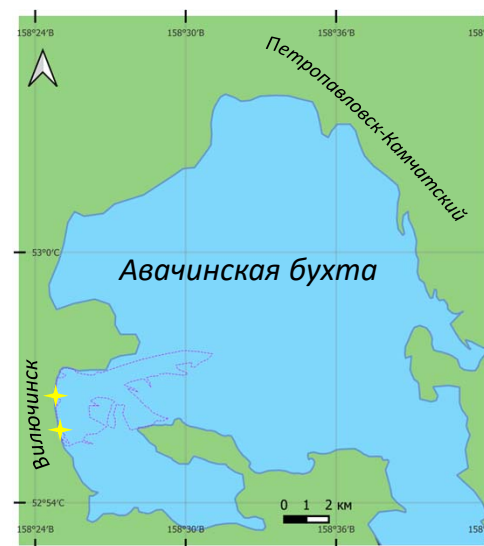


УЧАСТОК	КОЛИЧЕСТВО СЛУЧАЕВ	ДИАПАЗОН ДАТ	СРЕДНИЙ КОНТРАСТ	ДИСПЕРСИЯ	СРЕДНЯЯ ПЛОЩАДЬ, КМ ²	ОБЩАЯ ПЛОЩАДЬ, КМ ²
р-н Советский Вилючинск	39	01.11.2015 - 23.04.2024	-6,25	3,04	0,57	22,26
г. Вилючинск	27	30.03.2015 - 04.10.2024	-5,92	1,88	0,22	6,26
бухта Сероглазка КОС	2	18.09.2018 - 28.10.2024	-4,04	0,43	2,54	5,07

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ДАННЫЕ О ВЫЯВЛЕННЫХ СЛИКАХ, СВЯЗАННЫХ С ВЫПУСКАМИ СТОЧНЫХ ВОД

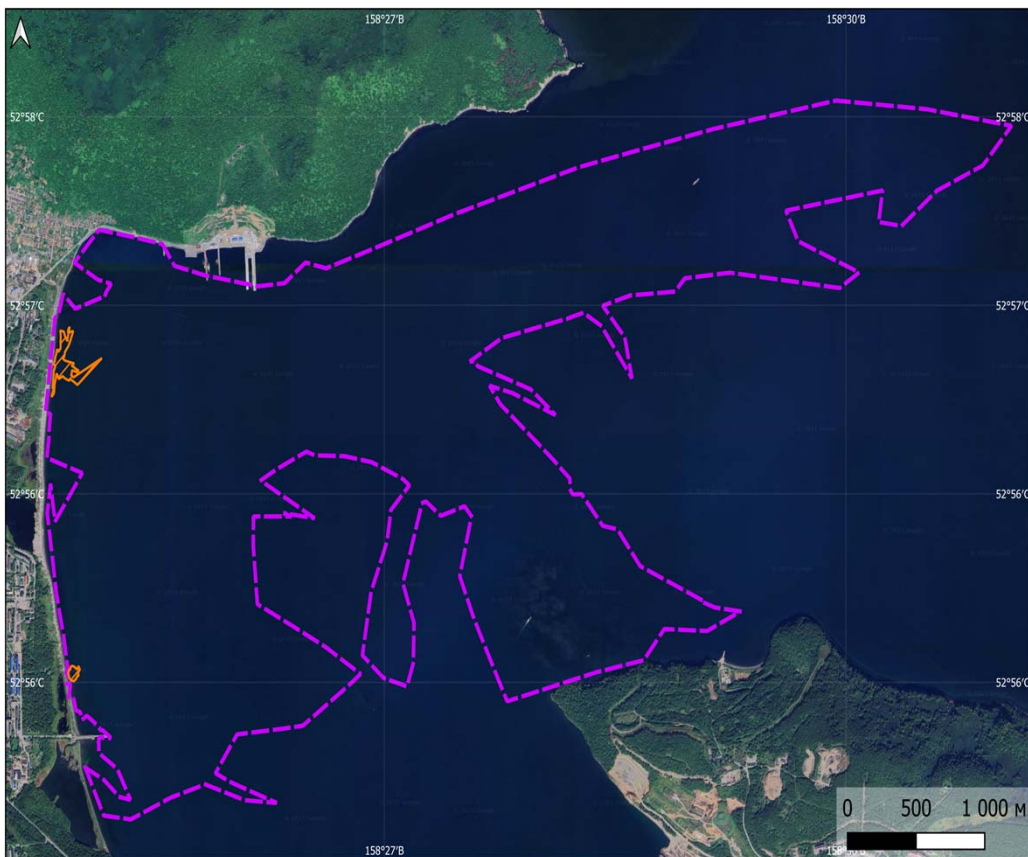


СВОДНАЯ КАРТА КОНТУРОВ СЛИКОВ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ СТОКАМИ



ПРИМЕРЫ РЕГИСТРАЦИИ СЛИКОВ, СВЯЗАННЫХ СО СТОЧНЫМИ ВОДАМИ, НА РЛИ В РАЗЛИЧНЫЕ ДАТЫ В РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ЗОН АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, ВЫЯВЛЕННЫХ ПО ОПТИЧЕСКИМ И РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ДАННЫМ



По оптическим данным выявлены относительно компактные плюмы сточных вод повышенной мутности с содержанием взвесей в приповерхностном слое морской среды. Результаты обработки радиолокационных данных позволили выявить обширные плёночные загрязнения морской поверхности, обусловленные выпусками сточных вод. Сильные вариации площадей зарегистрированных зон антропогенных воздействий объясняются, в том числе, и изменчивостью интенсивности выпусков сбрасываемых вод.



Оптические изображения		
Район	Годы наблюдений	Площадь
район очистных сооружений (КОС) «Чавыча»	2018–2024 гг.	0,245 км ²
бухта Сероглазка	2015–2024 гг.	0,121 км ²
микрорайон Капай	2018–2023 гг.	0,035 км ²
северное побережье района Рыбачий	2005–2021 гг.	0,026 км ²
южное побережье района Рыбачий	2005–2023 гг.	0,013 км ²
район Советский, Вилючинск	2005–2022 гг.	0,059 км ²
к югу от района Советский, Вилючинск	2009–2023 гг.	0,017 км ²
Радиолокационные изображения		
район очистных сооружений (КОС) «Чавыча»	2018–2024 гг.	5,070 км ²
район Советский, Вилючинск	2015–2024 гг.	22,256 км ²
к югу от района Советский, Вилючинск	2015–2024 гг.	6,263 км ²

Зоны влияния (по оптическим изображениям)
 Зона влияния (по РЛИ)

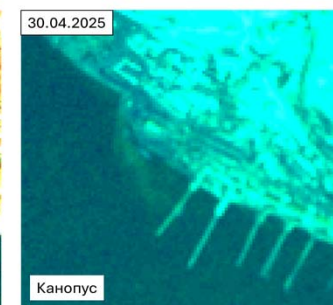
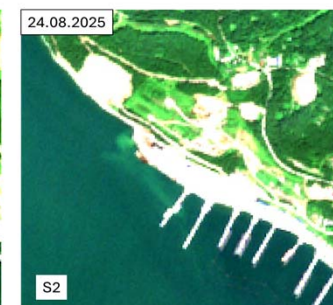
ПРИМЕР СВОДНОЙ КАРТЫ, ИЛЛЮСТРИРУЮЩЕЙ НАЛОЖЕНИЕ ЗОН АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ВЫЯВЛЕННЫХ ПО ОПТИЧЕСКИМ И РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ДАННЫМ

ДВАДЦАТЬ ТРЕТЬЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА», ИКИ РАН, 10 - 14 ноября 2025 г.

ПРИМЕРЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРОЯВЛЕНИЙ ПЛЮМОВ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ



Помимо антропогенных воздействий сточных вод вблизи сбросовых коллекторов, зафиксированы плюмы у южного побережья полуострова Крашенникова (г. Вилючинск) в месте проведения строительных работ по модернизации инфраструктуры причалов, что подтверждается источником (<https://vskmo.ru/2024/12/24/prichaly-dlya-osinogo-gnezda/?ysclid=mh4p76udwl191095612>)



РАЙОН РЕГИСТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВБЛИЗИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

ПРИМЕРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ЗАГРЯЗНЕНИЯМИ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ



- ✓ На основании сбора, обработки и анализа длительных временных рядов разнородных данных ДЗЗ показано, что комплексное использование оптических (Sentinel-2, Канопус-В и др.) и радиолокационных (Sentinel-1) спутниковых данных демонстрирует результативность при мониторинге антропогенных воздействий выпусков сточных вод в прибрежных акваториях Авачинской бухты - выявлены многочисленные проявления стоков в семи районах, наблюдавшихся с 2005 по 2024 гг.
- ✓ Комплексный анализ пространственно-геометрических свойств и площадей зон антропогенных воздействий выпусков сточных вод, выявленных по оптическим и радиолокационным данным, показал согласованную приуроченность этих зон к источникам загрязнений – сбросовым коллекторам. Зарегистрированные существенные отличия суммарных площадей зон антропогенных воздействий, выявленных по оптическим и радиолокационным данным на одних и тех же участках, объясняются принципиальными различиями в физических механизмах формирования оптических и радиолокационных изображений морской поверхности, в результате чего регистрируются различные формы проявления антропогенных воздействий выпусков сточных вод. По оптическим данным выявляются плюмы сточных вод повышенной мутности с содержанием взвесей в приповерхностном слое морской среды. Результаты обработки радиолокационных данных демонстрируют возможность выявления плёночных загрязнений морской поверхности, обусловленных выпусками сточных вод. Вариации площадей зарегистрированных зон антропогенных воздействий объясняются, кроме того, и изменчивостью интенсивности выпусков сбрасываемых вод.
- ✓ Полученные результаты, с одной стороны, доказывают ценность космических методов ДЗЗ для решения задач получения сведений об антропогенных воздействиях на прибрежные акватории, с другой стороны, обнаруживают значительную интенсивность пространственно-временные характеристики антропогенных воздействий сбросов сточных вод морскую среду Авачинской бухты, что может быть использовано местными органами власти при принятии управленческих решений.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Исследование проведено в рамках государственного задания по теме FNEE-2024-0002 («Разработка научно-технических решений в интересах мониторинга и прогнозирования опасных природных явлений и антропогенных воздействий в прибрежных морских акваториях Камчатки по спутниковым данным»).



Литература:

1. Bondur Valery G. *Satellite monitoring and mathematical modelling of deep runoff turbulent jets in coastal water areas* // *Waste Water - Evaluation and Management*, 2011. ISBN978-953-307-233-3. P.155-180. DOI: 10.5772/16134. <http://www.intechopen.com/articles/show/title/satellite-monitoring-and-mathematical-modelling-of-deep-runoff-turbulent-jets-in-coastal-water-areas>.
2. Bondur V., Zamshin V. *Study of Intensive Anthropogenic Impacts of Submerged Wastewater Discharges on Marine Water Areas Using Satellite Imagery* // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2022. Т. 10. № 11. С. 1759. <https://doi.org/10.3390/jmse10111759>
3. Бондур В.Г., Филатов Н.Н., Гребенюк Ю.В., Долотов Ю.С., Здоровеннов Р.Э., Петров М.П., Цидилина М.Н. Исследования гидрофизических процессов при мониторинге антропогенных воздействий на прибрежные акватории (на примере бухты Мамала, о. Оаху, Гавайи) // *Океанология*. 2007. Т.47. №6. С. 827-846.
4. Bondur V., Chernikova V., Chvertkova O., Zamshin V. *Spatiotemporal Variability of Anthropogenic Film Pollution in Avacha Gulf near the Kamchatka Peninsula Based on Synthetic-Aperture Radar Imagery* // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2024. Vol. 12. N. 12. P. 2357. DOI: 10.3390/jmse12122357
5. Бондур В.Г., Килер Р.Н., Старченков С.А., Рыбакова Н.И. Мониторинг загрязнений прибрежных акваторий с использованием многоспектральных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения // *Исследование Земли из космоса*. 2006. № 6. С. 42-49.
6. Ivanov A. Yu., Zatyagalova V. V. *A GIS approach to mapping oil spills in a marine environment* // *International journal of remote sensing*. 2008. Т. 29. № 21. С. 6297–6313. <https://doi.org/10.1080/01431160802175587>