

Радиолокационный мониторинг антропогенного загрязнения Каспийского моря нефтесодержащими продуктами

Период мониторинга – февраль 2025 г.

Радиолокационный мониторинг антропогенного загрязнения Каспийского моря нефтесодержащими продуктами проводится в рамках проекта «Прозрачный Мир на Каспии» в сотрудничестве с компаниями:

ООО «Лоретт» (www.lorett.org) – производитель инновационного оборудования и технологий в области приёма данных со спутников дистанционного зондирования Земли;

ООО НПФ Раймет (www.raimet.ru) – поставщик ведущих решений в области метеорологии и экологии;

Ctrl2GO (ООО «КонтролТyГoу.Рy», www.ctrl2go.com) – один из крупнейших поставщиков решений для анализа данных в России.

Мониторинг проводится с использованием радиолокационных изображений европейского спутника Sentinel-1A, обрабатываемых и анализируемых с помощью аналитической платформы CLASS.PRO (<https://class-cloud.ru/products/class>) для интерактивной работы с данными дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Используется методология оперативного радиолокационного спутникового мониторинга, разработанная в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН)

Результаты мониторинга публично доступны на веб-сайте проекта Прозрачный Мир – <https://transparentworld.tech/>

По результатам мониторинга была создана интегральная карта всех пленочных загрязнений, обнаруженных в феврале 2025 г. На 50 сценах радиолокационных изображений (РЛИ) были обнаружены и выделены 17 пятен/групп пятен, общей площадью около 17.4 кв. км. В российском секторе моря зафиксировано 16 случаев (общая площадь 16.3 кв. км), в казахстанском секторе – 1 случай (площадь 1.1 кв. км).

Введение

Одна из важных экологических проблем Каспийского моря обусловлена загрязнением вод нефтью и нефтепродуктами в результате добычи и транспортировки нефти и газа в водах РФ, Казахстана, Азербайджана, Ирана и Туркменистана, а также поступлением загрязняющих веществ из р. Волги и других рек, впадающих в море, и «жизнедеятельностью» прибрежных городов, таких как Махачкала, Каспийск, Дербент и др. Значительная доля загрязнений, в том числе, содержащих нефть и нефтепродукты, попадает в море благодаря деятельности человека, и образует достаточно устойчивые пленочные образования на поверхности моря.

Космический мониторинг является одной из лучших оперативных систем постоянного наблюдения и контроля подобных загрязнений. В настоящее время он проводится в рамках проекта «Прозрачный мир на Каспии». Район мониторинга нефтесодержащих загрязнений включает северную и частично среднюю часть акватории Каспийского моря. Для этого применяется методология оперативного радиолокационного спутникового мониторинга, разработанная в Институте океанологии им. П.П. Ширшова

РАН и апробированная в ИТЦ «СКАНЭКС», НП «Прозрачный мир» и др. российских компаниях [1-4].

Данный подход при спутниковом мониторинге подразумевает использование РЛИ полученных радиолокаторами с синтезированной апертурой (РСА – дистанционный прибор, работающий в СВЧ-диапазоне и позволяющий получать радиолокационные изображения земной поверхности независимо от метеорологических условий и уровня естественной освещенности) в сочетании с дополнительной гидрометеорологической и геопространственной информацией и при необходимости результатами моделирования.

Спутниковый мониторинг выполняется в два этапа:

- поиск, обнаружение и идентификация пленочных загрязнений (нефть, нефтепродукты, прочие маслянистые и поверхностно-активные вещества) морской поверхности с помощью данных ДЗЗ, выделение среди них антропогенных загрязнений, определение их происхождения, возможных источников и причин появления в море;
- создание информационных продуктов, позволяющих видеть и анализировать результаты мониторинга (интегральные карты пленочных загрязнений за определенный период времени), а также определять причины загрязнения моря и отдельных его частей нефтью и нефтепродуктами для задач защиты и контроля окружающей среды Каспийского региона.

Методика дистанционного мониторинга

Для обнаружения пленочного загрязнения на морской поверхности используют современные средства ДЗЗ в широком диапазоне длин электромагнитных волн (ультрафиолетовом, видимом, ближнем/дальнем инфракрасном и микроволновом). Однако при использовании спутниковых средств ДЗЗ наиболее эффективными являются радиолокационные методы, т.к. они являются всепогодными, то есть качество информации на РЛИ не зависит от солнечного освещения, облачности и осадков.

Возможность обнаружения из космоса пленочного (нефтяного) загрязнения на морской поверхности в активном микроволновом диапазоне определяется эффектом выглаживания маслянистыми пленками высокочастотной составляющей морского волнения (мелкомасштабных ветровых волн). Присутствие пленок нефти и нефтепродуктов на взволнованной морской поверхности выглаживает эти волны, что приводит к уменьшению радиолокационного рассеяния в сторону антенны РСА по сравнению с чистой взволнованной поверхностью и резкому уменьшению яркости на РЛИ – появлению темных пятен [5].

При этом выглаживание морской поверхности может быть вызвано не только нефтесодержащими пленками, но и самыми разнообразными процессами в верхнем слое моря и нижнем слое атмосферы. Зоны ветровой тени, штилевые области, дождевые ячейки, плавающая растительность, пленки биогенного происхождения и т.п. могут создавать похожие поверхностные проявления на РЛИ, которые можно легко спутать с сигнатурами нефтяных разливов [5].

Поэтому в процессе обнаружения и дешифрирования пятен на РЛИ выделяются участки, отличные по яркости/контрасту от фоновой морской поверхности. Далее

осуществляется интерактивный анализ, идентификация и классификация обнаруженных пятен-сликов (с помощью квалифицированных экспертов) с выделением пленочных и нефтяных загрязнений на основе анализа формы, размеров, текстуры, контраста и т.п., а также с учетом других факторов и дополнительной географической, гидрометеорологической, судовой (навигационной) и дополнительной спутниковой информации, что подразумевает использование геоинформационного (ГИС) подхода [6].

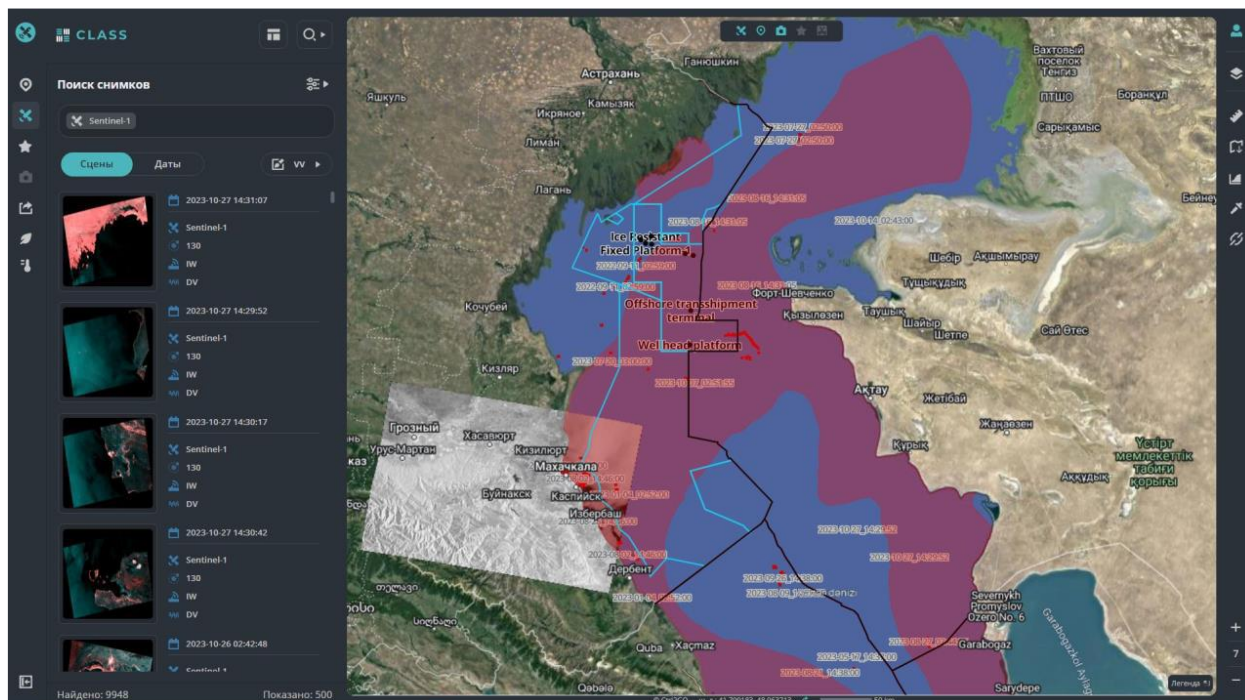


Рис. 1. Интерфейс новой аналитической платформы CLASS.PRO (<https://class-cloud.ru/products/class>) для интерактивной работы с данными дистанционного зондирования

Данные спутниковой радиолокационной съемки

В феврале 2025 г. для спутникового мониторинга северной части Каспийского моря использовались радиолокационные изображения европейского спутника Sentinel-1A. РЛИ Sentinel-1A, полученные в режиме съемки Interferometric Wide (IW), продукт Level-1 GRD поставляются с размером пиксела 10x10 м, шириной полосы обзора 250 км и двойной поляризацией сигнала VV+VH. Для повышения надежности обнаружения и распознавания пленочных, а также ледовых образований и судов, съемка может также вестись с поляризацией сигнала HH+HV. Радиолокационные продукты, поставляемые Европейским космическим агентством (ESA), поддерживаются большинством программных пакетов для обработки данных ДЗЗ и предоставляют широкие возможности для решения практических задач мониторинга нефтяных загрязнений. В период с 1.02 по 28.02.2025 было получено, обработано и проанализировано 50 радиолокационных сцен.

Результаты

По результатам мониторинга была создана интегральная карта всех пленочных загрязнений, обнаруженных в феврале 2025 г. (рис. 2). Её анализ показывает, что на 50 РЛИ были обнаружены 17 пятен/групп пятен, общей площадью около 17.4 кв. км. В российском секторе моря зафиксировано 16 случаев (общая площадь 16.3 кв. км), в том числе в дагестанских водах в районе Махачкалинской агломерации (рис. 3); в казахстанском секторе – 1 случай (площадь 1.1 кв. км). Основные характеристики обнаруженных загрязнений даны в табл. 1. Из таблицы видно, что из 17 пятен/групп пятен 6 объектов имеют площадь 0.1-0.5 кв. км, 4 объекта – площадь 0.5-1 кв. км и 7 объектов – площадь более 1 кв. км.

Судовые разливы в море идентифицировались по характерной форме – линейного или линейно-фрагментированного вида; они большей частью находились на или в районах судоходных трасс. Наиболее крупные по площади судовые разливы были обнаружены: 15.02.2025 – 3 группы пятен (площадь 2.2, 1 и 0.6 кв. км.) (рис. 4) и 03.02.2025 (площадь 1 кв. км.) (рис. 5) в российских территориальных водах; 18.02.2025 групповой разлив (общая площадь 1.1 кв. км.) в казахстанских территориальных водах (рис. 6).

Загрязнения в водах Махачкалинской агломерации и на её внешнем рейде наблюдались 10.02.2025 и 27.02.2025. Источниками загрязнения, скорее всего, являются прибрежные объекты, такие как: системы канализации, нефтехранилище, нефтегавань и возможно др. объекты (рис. 7, 8).

Загрязнения прибрежными объектами и с выносом рек вдоль побережья между Каспийском и Избербашем наблюдались 10.02.2025 и 22.02.2025 (рис. 9); прибрежными объектами южнее Избербаша 16.02.2025 (рис. 10) и 27.02.2025.

Анализ обнаруженных загрязнений показывает (см. [7]), что судовые разливы были, скорее всего, представлены балластными и льяльными водами, отработкой и/или прочими судовыми отходами, содержащими нефтепродукты; сбросы с суши на всем побережье Дагестана – нефтесодержащими водами.

Основные выводы

По результатам мониторинга в феврале 2025 г. установлено, что по сравнению с маловетренным летним периодом резко уменьшилось количество обнаруженных пленочных загрязнений. Это, очевидно, не связано с улучшением общей экологической обстановки, а обусловлено усложнившимися гидрометеорологическими условиями, которые затрудняют обнаружение пленок на поверхности моря в данных радиолокации. Обнаруженные пленочные загрязнения появлялись на или рядом с судоходными трассами, в районах якорных стоянок и рейдов, в непосредственной близости с устьями рек и береговыми объектами.

Заключение:

Эффективность и оперативность мониторинга нефтяных загрязнений Каспийского моря, которая была продемонстрирована в рамках настоящего проекта, достигалась благодаря применению современных технологий мониторинга, постоянному сбору и анализу спутниковых снимков из мировых баз данных и квалифицированной научной экспертизы.

Применяемые технологии мониторинга, методы и подходы могут быть использованы не только для мониторинга и контроля нефтяных загрязнений Северного Каспия, но и распространены на всё Каспийское море, где происходит разведка, добыча и транспортировка нефти и нефтепродуктов, а также располагаются заповедники и ОПТ.

Полезные ссылки

1. Иванов А.Ю., Востоков С.В., Ермошкин И.С. Картографирование пленочных загрязнений морской поверхности по данным космической радиолокации (на примере Каспийского моря) // Исследование Земли из космоса, 2004, № 4, с.82–92.
2. Иванов А.Ю., Ермошкин И.С., Фанг М. и др. Использование космической радиолокации широкого обзора для картографирования нефтяных загрязнений моря // Исслед. Земли из космоса, 2005. № 5. С.78-95.
3. Иванов А.Ю., Исмагулов А.Л., Филимонова Н.А. и др. Спутниковый мониторинг нефтяных загрязнений в Северном Каспии как элемент системы мер промышленной безопасности и охраны окружающей среды // Oil & Gas Journal Russia, 2012, № 3.
4. Иванов А.Ю., Кучейко А.А., Филимонова Н.А. и др. Использование космической радиолокационной съемки и данных автоматических систем идентификации судов для выявления судовых разливов в Черном море // Исслед. Земли из космоса, 2013. № 5. с. 84-96.
5. Иванов А.Ю. Стики и плёночные образования на космических радиолокационных изображениях // Исслед. Земли из космоса, 2007, № 3, с. 73-96.
6. Иванов А.Ю., Затягало В.В. Картографирование пленочных загрязнений моря с использованием космической радиолокации и географических информационных систем // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 6. С. 46-63.
7. Терлеева Н.В., Иванов А.Ю. Жидкие судовые грузы и отходы, причины появления судовых разливов в море и проблемы их дистанционного зондирования // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 8. С. 13-19.

Рис. 2. Интегральная карта пространственно-временного распределения обнаруженных пленочных загрязнений в Северном и Среднем Каспии в период мониторинга в феврале 2025 г.

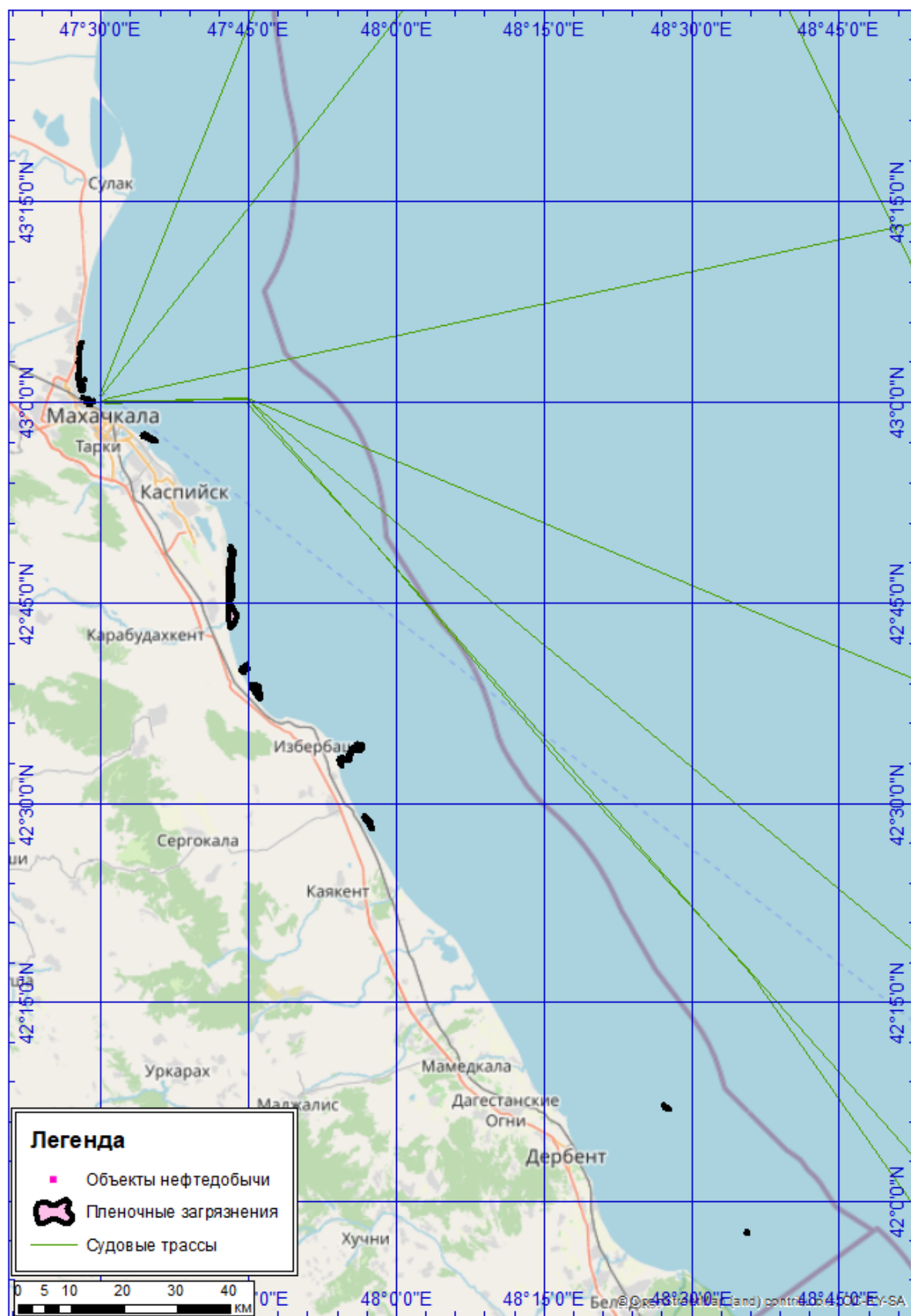


Рис. 3. Интегральная карта мест обнаружения пленочных загрязнений в феврале 2025 г. у побережья Дагестана, в районе Махачкалинского залива и порта Махачкала.



Рис. 4. Судовые разливы в российском секторе, на РЛИ Sentinel-1A 15.02.2025. © ESA

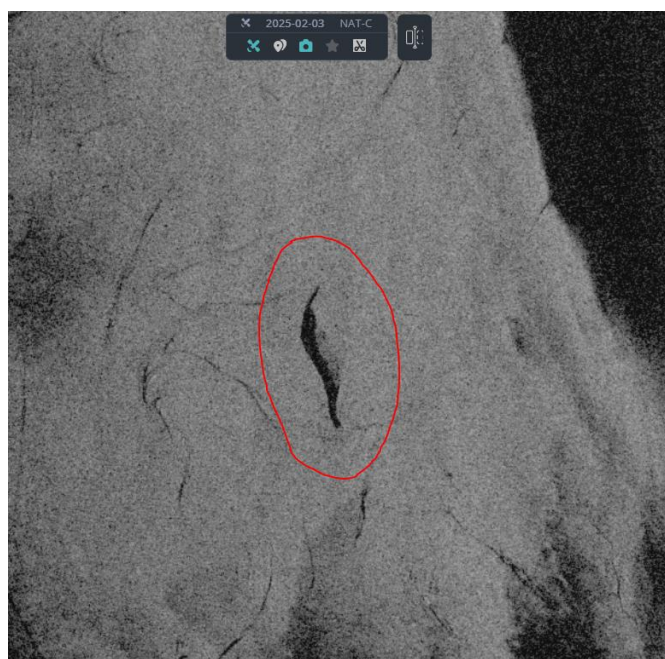


Рис. 5. Судовой разлив в российском секторе, на РЛИ Sentinel-1A 03.02.2025. © ESA

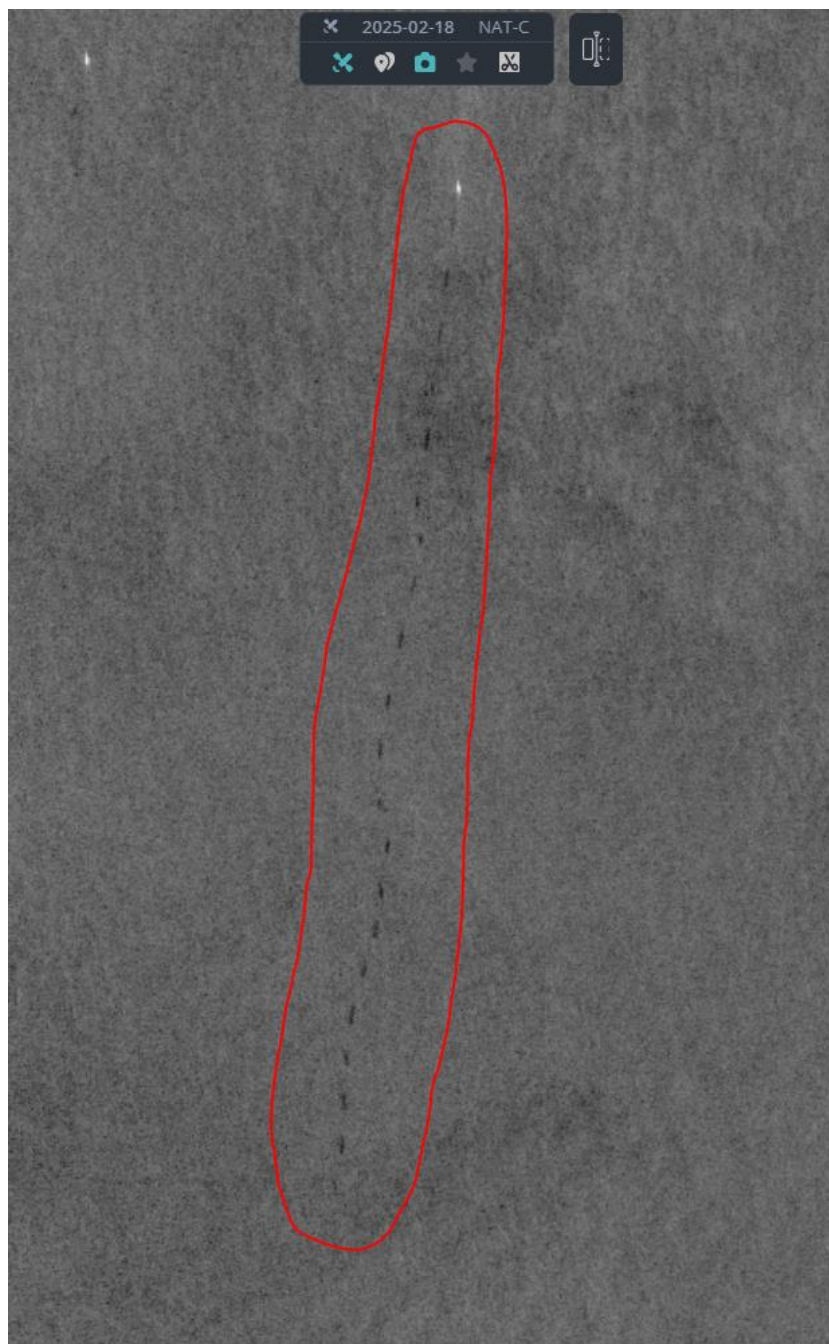


Рис. 6. Групповой судовой разлив в казахстанском секторе, на РЛИ Sentinel-1A 18.02.2025. © ESA



Рис. 7. Загрязнения в районе Махачкалинской агломерации, на РЛИ Sentinel-1A 10.02.2025.
Основные источники: нефтехранилище (1), судоремонтный завод (2). © ESA

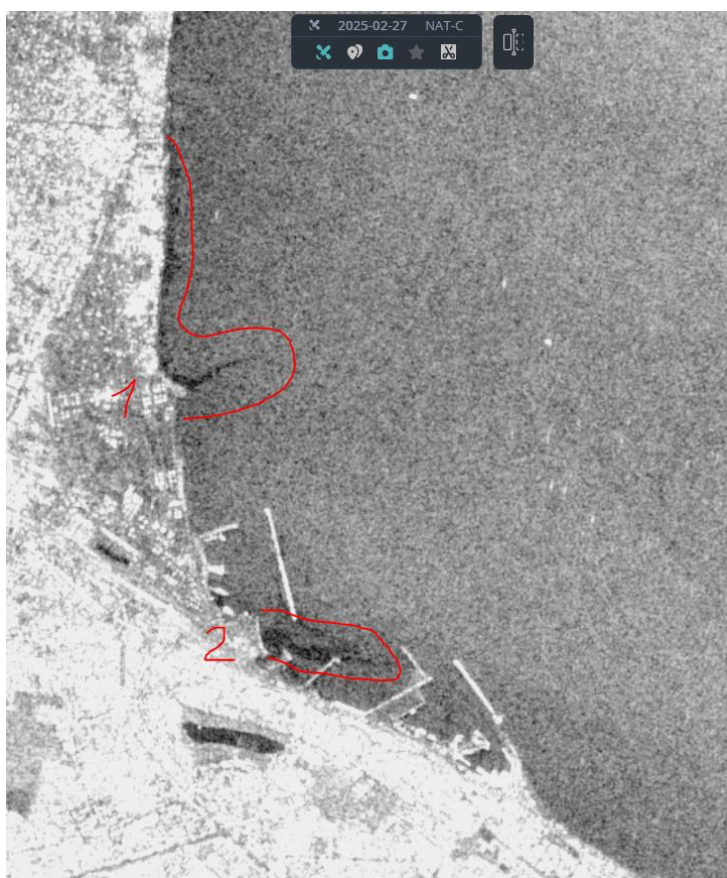


Рис. 8. Загрязнения в районе Махачкалинской агломерации, на РЛИ Sentinel-1A 27.02.2025.
Основные источники: нефтехранилище (1), судоремонтный завод (2). © ESA

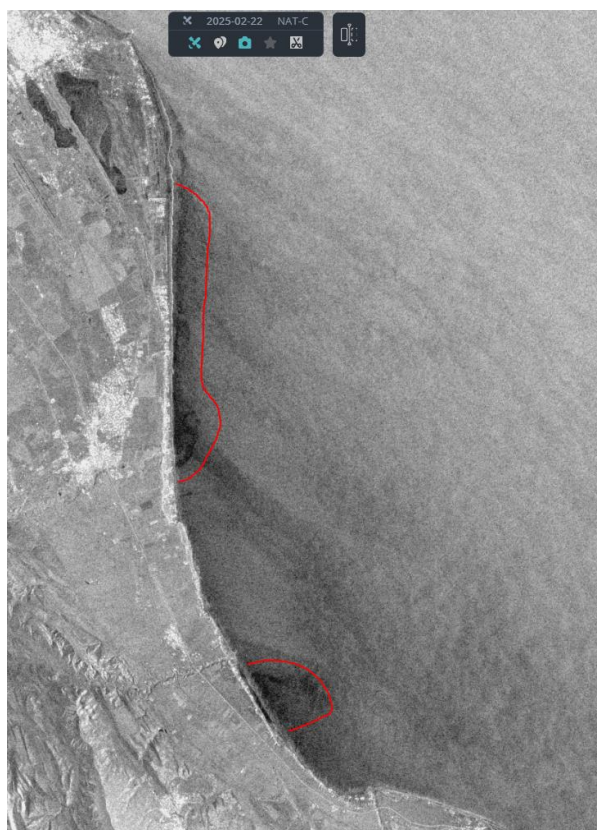


Рис. 9. Загрязнения береговыми объектами и с выносом рек между Каспийском и Избербашем, на РЛИ Sentinel-1A 22.02.2025. © ESA



Рис. 10. Загрязнения береговыми объектами в районе Избербаша, на РЛИ Sentinel-1A 16.02.2025.
© ESA

Приложение

Таблица 1. Нефтедержжащие пленочные загрязнения, обнаруженные в период мониторинга с 1.01.2025 по 31.01.2025.

№	Дата	Время (UTC)	Территориальные воды	Площадь (км ²)	Координаты центра (wgs 84)	Источник
1	03.02.2025	2:45:00	РФ	1.0	43°32'27" с.ш., 48°13'28" в.д.	Судовой сброс
2	10.02.2025	2:51:00	РФ	0.4	43°1'11" с.ш., 47°28'4" в.д.	Береговой объект
3	10.02.2025	2:52:00	РФ	0.4	42°40'5" с.ш., 47°44'36" в.д.	Речной сток
4	15.02.2025	2:59:44	РФ	0.6	43°32'6" с.ш., 47°56'41" в.д.	Судовой сброс
5	15.02.2025	2:59:44	РФ	2.2	43°54'51" с.ш., 47°58'36" в.д.	Судовой сброс
6	15.02.2025	2:59:44	РФ	1.0	43°47'37" с.ш., 48°4'52" в.д.	Судовой сброс
7	16.02.2025	14:46:00	РФ	0.1	42°33'2" с.ш., 47°54'25" в.д.	Береговой объект
8	16.02.2025	14:46:00	РФ	0.1	42°7'0" с.ш., 48°27'30" в.д.	Судовой сброс
9	16.02.2025	14:46:00	РФ	0.03	41°57'34" с.ш., 48°35'42" в.д.	Судовой сброс
10	16.02.2025	14:46:00	РФ	0.5	42°28'33" с.ш., 47°57'14" в.д.	Береговой объект
11	18.02.2025	14:29:41	Казахстан	1.1	41°35'51" с.ш., 51°17'46" в.д.	Судовой сброс
12	22.02.2025	2:52:00	РФ	6.6	42°46'18" с.ш., 47°43'17" в.д.	Речной сток
13	22.02.2025	2:52:00	РФ	1.1	42°38'26" с.ш., 47°45'52" в.д.	Береговой объект
14	27.02.2025	3:00:00	РФ	1.5	42°33'53" с.ш., 47°55'42" в.д.	Береговой объект
15	27.02.2025	3:00:00	РФ	0.3	43°0'3" с.ш., 47°28'49" в.д.	Береговой объект
16	27.02.2025	3:00:00	РФ	0.5	43°2'46" с.ш., 47°27'52" в.д.	Береговой объект
17	27.02.2025	3:00:00	РФ	0.5	42°57'25" с.ш., 47°34'48" в.д.	Береговой объект