

Радиолокационный мониторинг антропогенного загрязнения Каспийского моря нефтесодержащими продуктами

Период мониторинга – июль 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 «КонтролТюГоу.Ру», www.ctrl2go.com) – один из крупнейших поставщиков решений для анализа данных в России.

Мониторинг проводится с использованием радиолокационных изображений европейских спутников Sentinel-1A/1C, 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 июле 2025 г. На 64 сценах радиолокационных изображений (РЛИ) были обнаружены и выделены 28 пятен/групп пятен, общей площадью 23.9 кв. км. В российском секторе моря зафиксирован 21 случай (общая площадь 16.3 кв. км), в казахстанском секторе – 4 случая (общая площадь 6.3 кв. км), в азербайджанском секторе – 3 случая (общая площадь 1.3 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].

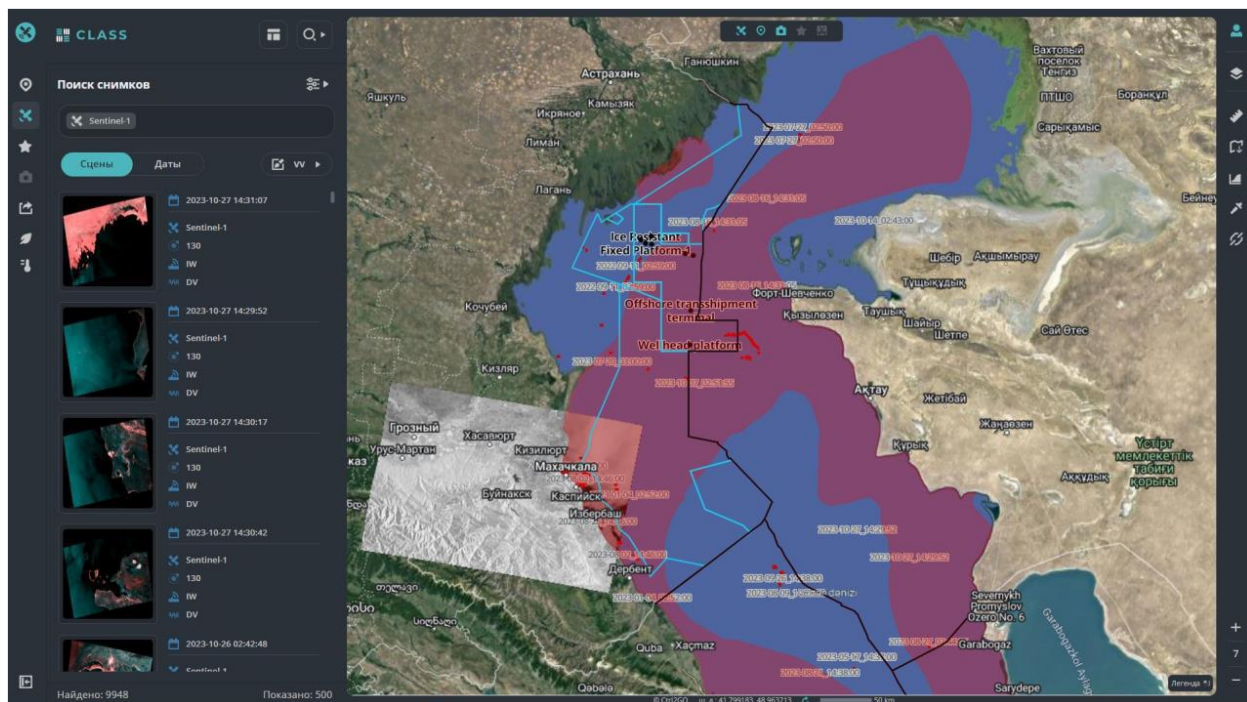


Рис. 1. Интерфейс новой аналитической платформы CLASS.PRO (<https://class-cloud.ru/products/class>) для интерактивной работы с данными дистанционного зондирования

Данные спутниковой радиолокационной съемки

В июле 2025 г. для спутникового мониторинга северной части Каспийского моря использовались радиолокационные изображения европейских спутников Sentinel-1A/1C. РЛИ Sentinel-1A/1C, 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 1.07 по 31.07.2025 было получено, обработано и проанализировано 64 радиолокационные сцены.

Результаты

По результатам мониторинга была создана интегральная карта всех пленочных загрязнений, обнаруженных в июле 2025 г. (рис. 2). Её анализ показывает, что на 64 РЛИ были обнаружены 28 пятен/групп пятен, общей площадью 23.9 кв. км. В российском секторе моря зафиксирован 21 случай (общая площадь 16.3 кв. км), в том числе в дагестанских водах в районе Махачкалинской агломерации (рис. 3); в казахстанском секторе – 4 случая (общая площадь 6.3 кв. км), в азербайджанском секторе – 3 случая (общая площадь 1.3 кв. км). Основные характеристики обнаруженных загрязнений даны в табл. 1. Из таблицы видно, что из 28 пятен/групп пятен 19 объектов имеют площадь 0.1-0.5 кв. км, 5 объектов – площадь 0.5-1 кв. км и 4 объекта – 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: 29.07.2025 (площадь 6 кв. км.) (рис. 4) в казахстанском секторе; 16.07.2025 (площадь 6 кв. км.) (рис. 5), 27.07.2025 (площадь 2 кв. км.) (рис. 6), 17.07.2025 (площадь 2 кв. км.) (рис. 7), 16.07.2025 (площадь 1 кв. км.) (рис. 8), 09.07.2025 (площадь 1 кв. км.), в российском секторе; 11.07.2025 (площадь 1 кв. км.) (рис. 9) в азербайджанском секторе.

Загрязнения в водах Махачкалинской агломерации и на её внешнем рейде наблюдались 16.07.2025, 21.07.2025, 22.07.2025, 28.06.2025. Источниками загрязнения, скорее всего, являются прибрежные объекты, такие как: системы канализации, нефтехранилище, нефтегавань и возможно др. объекты (рис. 10, 11, 12).

Серии пятен, предварительно идентифицированных, как естественные нефтепроявления, обнаружены в российском секторе на РЛИ от 16.07.2025 (общая площадь 0.2 кв. км) (рис.13) и одиночное пятно в казахстанском секторе на РЛИ от 29.07.2025 (площадь 0.2 кв. км) (рис.14).

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; выбросы естественных нефтепроявлений – легкими фракциями нефти.

Основные выводы

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 загрязнении 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 июле 2025 г.

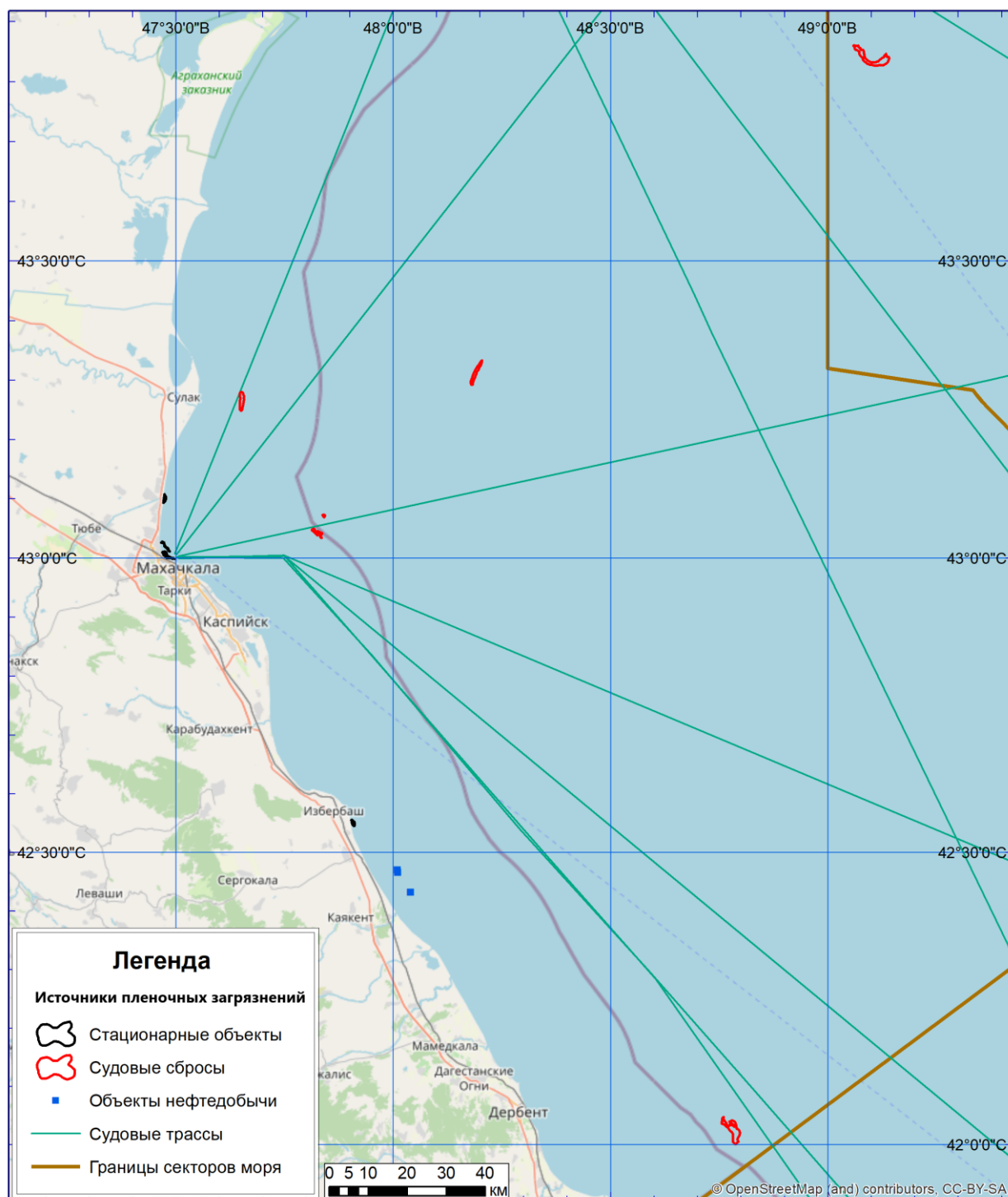


Рис. 3. Интегральная карта мест обнаружения пленочных загрязнений в июле 2025 г. у побережья Дагестана, в районе Махачкалинского залива и порта Махачкала.

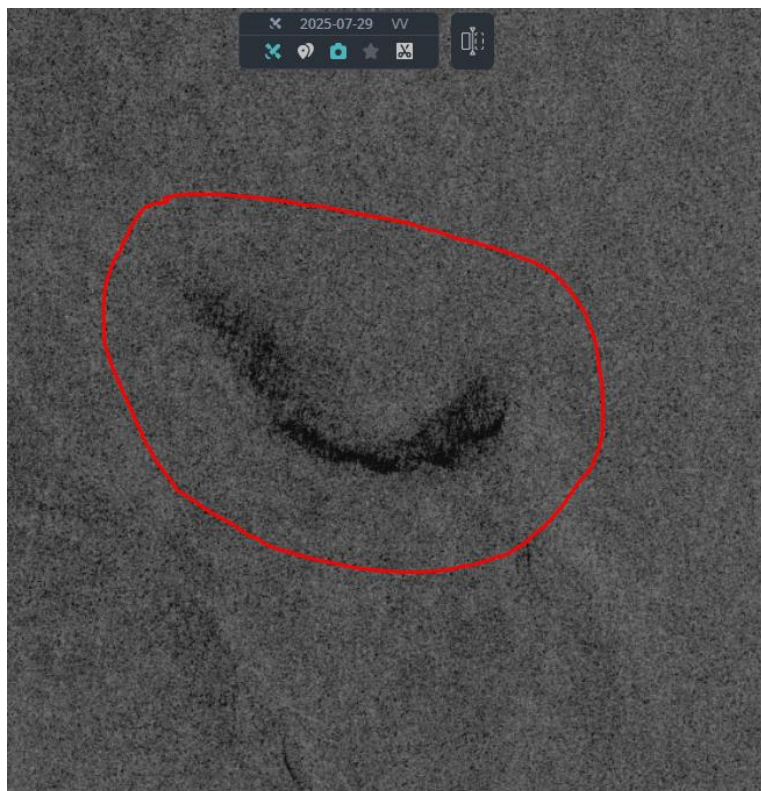


Рис. 4. Судовой разлив в казахстанском секторе, на РЛИ Sentinel-1A 29.07.2025. © ESA

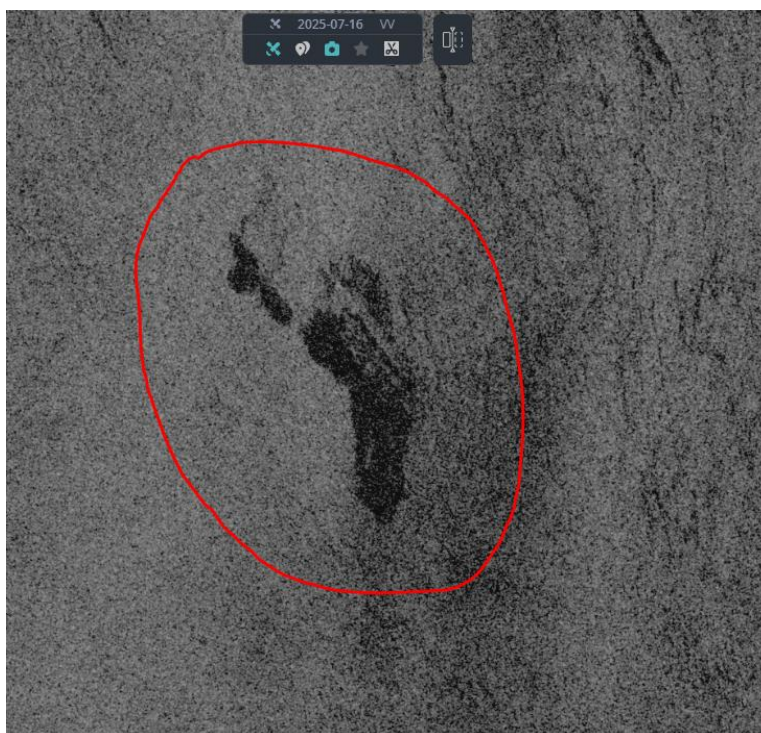


Рис. 5. Судовой разлив в российском секторе, на РЛИ Sentinel-1A 16.07.2025. © ESA

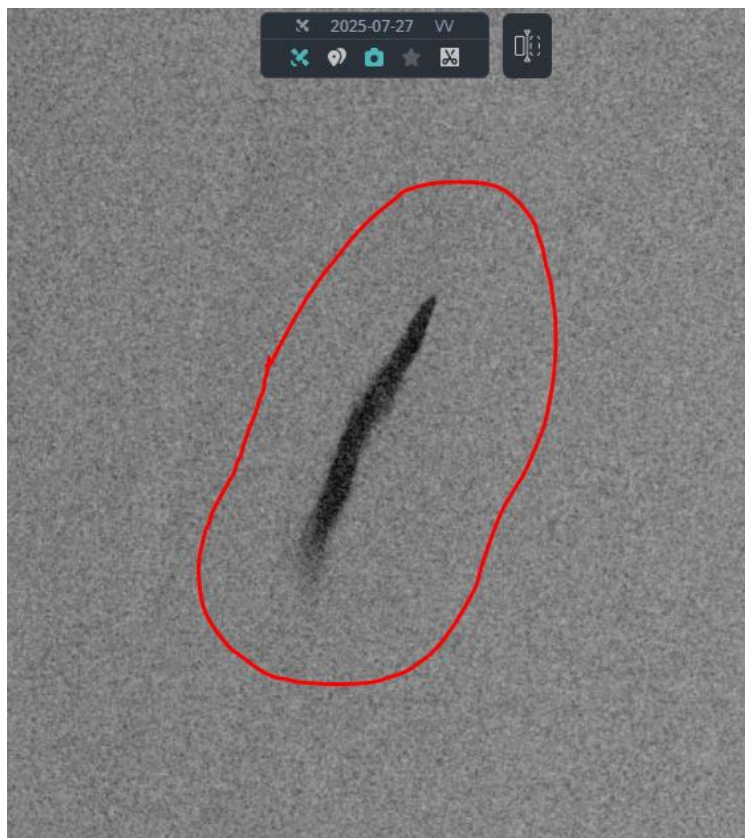


Рис. 6. Судовой разлив в российском секторе, на РЛИ Sentinel-1A 27.07.2025. © ESA



Рис. 7. Судовой разлив в российском секторе, на РЛИ Sentinel-1A 17.07.2025. © ESA

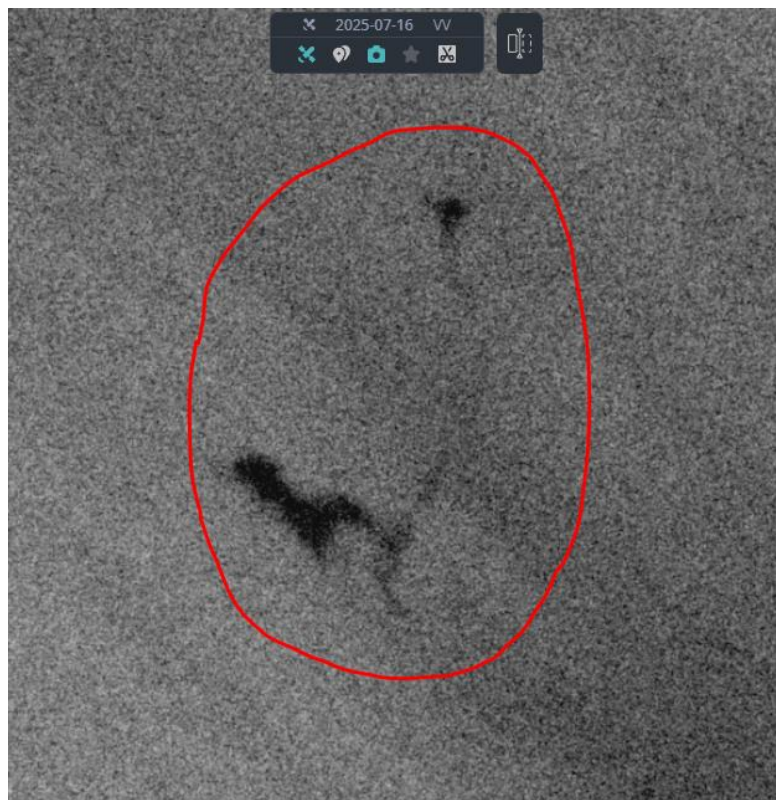


Рис. 8. Судовой разлив в российском секторе, на РЛИ Sentinel-1A 16.07.2025. © ESA



Рис. 9. Судовой разлив в азербайджанском секторе, на РЛИ Sentinel-1A 11.07.2025. © ESA



Рис. 10. Загрязнения в районе Махачкалинской агломерации, на РЛИ Sentinel-1A 16.07.2025. © ESA



Рис. 11. Загрязнения в районе Махачкалинской агломерации, на РЛИ Sentinel-1A 21.07.2025. © ESA



Рис. 12. Загрязнения в районе Махачкалинской агломерации, на РЛИ Sentinel-1A 28.07.2025. © ESA



Рис. 13. Естественные нефтепроявления в российском секторе, на РЛИ Sentinel-1A 16.07.2025. © ESA



Рис. 14. Естественные нефтепроявления в казахстанском секторе, на РЛИ Sentinel-1A 29.07.2025.
© ESA

Приложение

Таблица 1. Нефтедержжащие пленочные загрязнения, обнаруженные в период мониторинга с 1.07.2025 по 31.07.2025.

№	Дата	Время (UTC)	Сектор моря	Площадь (км ²)	Координаты центра (wgs 84)	Источник
1	05.07.2025	14:38:14	РФ	0.2	42°33'1" с.ш., 47°54'25" в.д.	Береговой объект
2	09.07.2025	2:59:42	РФ	0.9	44°5'38" с.ш., 48°21'36" в.д.	Судовой сброс
3	11.07.2025	2:43:54	Азербайджан	1.0	41°24'3" с.ш., 50°13'6" в.д.	Судовой сброс
4	11.07.2025	2:43:55	Азербайджан	0.1	41°33'53" с.ш., 50°5'5" в.д.	Судовой сброс
5	16.07.2025	2:51:16	РФ	0.1	44°57'36" с.ш., 48°49'10" в.д.	Судовой сброс
6	16.07.2025	2:51:16	РФ	0.5	44°57'55" с.ш., 48°57'34" в.д.	Судовой сброс
7	16.07.2025	2:51:16	Казахстан	0.1	44°29'7" с.ш., 49°36'50" в.д.	Судовой сброс
8	16.07.2025	2:51:16	РФ	0.2	44°30'5" с.ш., 48°57'45" в.д.	Естественные нефтепроявления
9	16.07.2025	2:51:16	РФ	0.6	44°34'50" с.ш., 48°45'34" в.д.	Судовой сброс
10	16.07.2025	2:51:41	РФ	0.1	43°0'33" с.ш., 47°28'26" в.д.	Береговой объект
11	16.07.2025	2:51:41	РФ	0.2	43°1'13" с.ш., 47°28'30" в.д.	Береговой объект
12	16.07.2025	2:51:41	РФ	0.3	43°0'4" с.ш., 47°28'59" в.д.	Береговой объект
13	16.07.2025	2:51:41	РФ	1.0	43°2'48" с.ш., 47°49'34" в.д.	Судовой сброс
14	16.07.2025	2:52:06	РФ	5.9	42°1'26" с.ш., 48°46'56" в.д.	Судовой сброс
15	17.07.2025	14:37:48	Азербайджан	0.2	41°51'2" с.ш., 48°46'33" в.д.	Судовой сброс
16	17.07.2025	14:38:13	РФ	0.4	42°33'1" с.ш., 47°54'27" в.д.	Береговой объект
17	17.07.2025	14:38:13	РФ	2.0	43°15'55" с.ш., 47°39'3" в.д.	Судовой сброс
18	17.07.2025	14:38:38	РФ	0.6	44°4'50" с.ш., 48°15'21" в.д.	Судовой сброс
19	17.07.2025	14:38:38	РФ	0.4	44°50'0" с.ш., 48°56'2" в.д.	Судовой сброс
20	21.07.2025	3:00:06	РФ	0.2	43°0'7" с.ш., 47°28'46" в.д.	Береговой объект
21	22.07.2025	14:46:22	РФ	0.1	43°0'19" с.ш., 47°28'24" в.д.	Береговой объект
22	22.07.2025	14:46:22	РФ	0.5	43°6'2" с.ш., 47°28'23" в.д.	Речной сток
23	24.07.2025	14:30:28	Казахстан	0.1	44°11'38" с.ш., 50°36'55" в.д.	Судовой сброс
24	27.07.2025	2:58:55	РФ	2.0	43°18'45" с.ш., 48°11'24" в.д.	Судовой сброс
25	28.07.2025	2:51:41	РФ	0.2	43°0'32" с.ш., 47°28'26" в.д.	Береговой объект
26	29.07.2025	14:38:13	Казахстан	6.0	43°50'23" с.ш., 49°6'13" в.д.	Судовой сброс
27	29.07.2025	14:38:38	РФ	0.04	44°53'22" с.ш., 47°45'28" в.д.	Судовой сброс
28	29.07.2025	14:38:38	Казахстан	0.2	44°21'15" с.ш., 49°43'44" в.д.	Естественные нефтепроявления