Радиолокационный мониторинг антропогенного загрязнения Каспийского моря нефтесодержащими продуктами

Период мониторинга – октябрь 2024 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 «КонтролТуГоу.Ру», 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 октябре 2024 г. На 58 сценах радиолокационных изображений (РЛИ) были обнаружены и выделены 18 пятен/групп пятен, общей площадью около 14.4 кв. км. В российском секторе моря зафиксировано 16 случаев (общая площадь 14 кв. км), в казахстанском секторе – 2 случая (общая площадь 0.4 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 мониторинга 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].

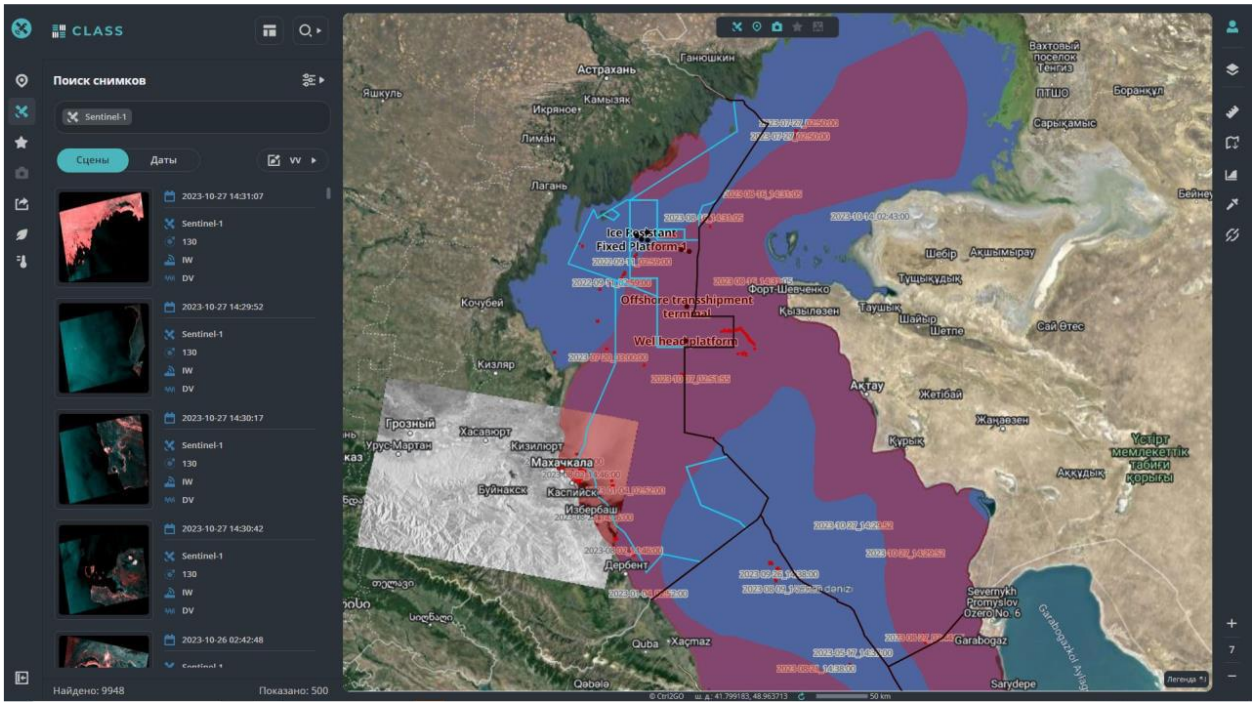

Рис. 1. Интерфейс новой аналитической платформы CLASS.PRO (https://class-cloud.ru/products/class) для интерактивной работы с данными дистанционного зондирования

Данные спутниковой радиолокационной съемки

В октябре 2024 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 1.10 по 31.10.2024 было получено, обработано и проанализировано 58 радиолокационных сцен.

Результаты

По результатам мониторинга была создана интегральная карта всех пленочных загрязнений, обнаруженных в октябре 2024 г. (рис. 2). Её анализ показывает, что на 58 РЛИ были обнаружены 18 пятен/групп пятен, общей площадью около 14.4 кв. км. В российском секторе моря зафиксировано 16 случаев (общая площадь 14 кв. км), главным образом в дагестанских водах в районе Махачкалинской агломерации (рис. 3); в казахстанском секторе – 2 случая (общая площадь 0.4 кв. км). Основные характеристики обнаруженных загрязнений даны в табл. 1. Из таблицы видно, что из 18 пятен/групп пятен 11 объектов имеют площадь 0.1-0.5 кв. км, 3 объекта – площадь 0.5-1 кв. км и 4 объекта – площадь более 1 кв. км.

Судовые разливы в море однозначно идентифицировались по характерной форме – линейного или линейно-фрагментированного вида; они большей частью находились на или в районах судоходных трасс. В октябре 2024 г. были обнаружены три судовых разлива: два в российском секторе – 2.10.2024 (площадь 0.4 кв. км) (рис. 4) и 31.10.2024 (площадь 0.9 кв. км) (рис. 5); один, фрагментированный, 9.10.2024 (площадь 0.3 кв. км) в казахстанском секторе (рис. 6).

Загрязнения в водах Махачкалинской агломерации и на её внешнем рейде наблюдались 6.10.2024, 7.10.2024, 19.10.2024 и 30.10.2024. Источниками загрязнения, скорее всего, являются прибрежные объекты, такие как: системы канализации, нефтехранилище, нефтегавань и возможно др. объекты. Также отмечены пленочные образования, обусловленные выносами рек/промышленными стоками (рис.7, 8, 9). На снимке, полученном 30.10.2024, достаточно надежно детектированы только три области загрязнения, т.к. зоны штиля и поля биогенных пленок в прибрежной части затрудняют интерпретацию.

На РЛИ от 2.10.2024 в российском секторе между островом Тюлений и островом Чечень обнаружена группа пятен, предварительно идентифицированная, как естественные нефтепроявления (рис. 10).

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 октябре 2024 г. установлено, что по сравнению с маловетреным 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. Наиболее загрязненным участком акватории Северного Каспия являются прибрежные воды Республики Дагестан, включая Махачкалинский залив и акваторию порта Махачкала.

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 могу 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. Слики и плёночные образования на космических радиолокационных изображениях // Исслед. Земли из космоса, 2007, № 3, с. 73-96.
6. Иванов А.Ю., Затягалова 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.

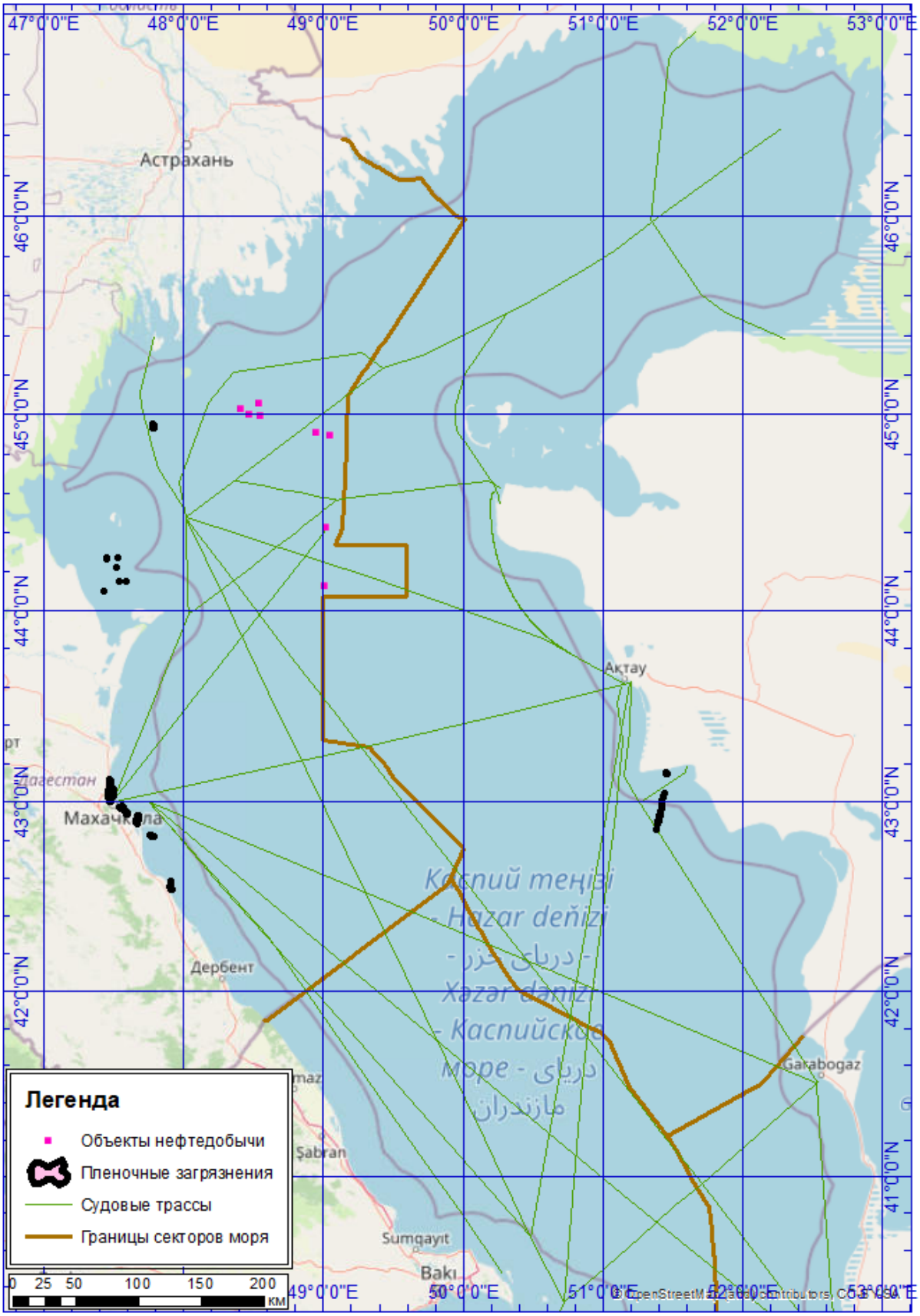

Рис. 2. Интегральная карта пространственно-временного распределения обнаруженных пленочных загрязнений в Северном и Среднем Каспии в период мониторинга в октябре 2024 г.

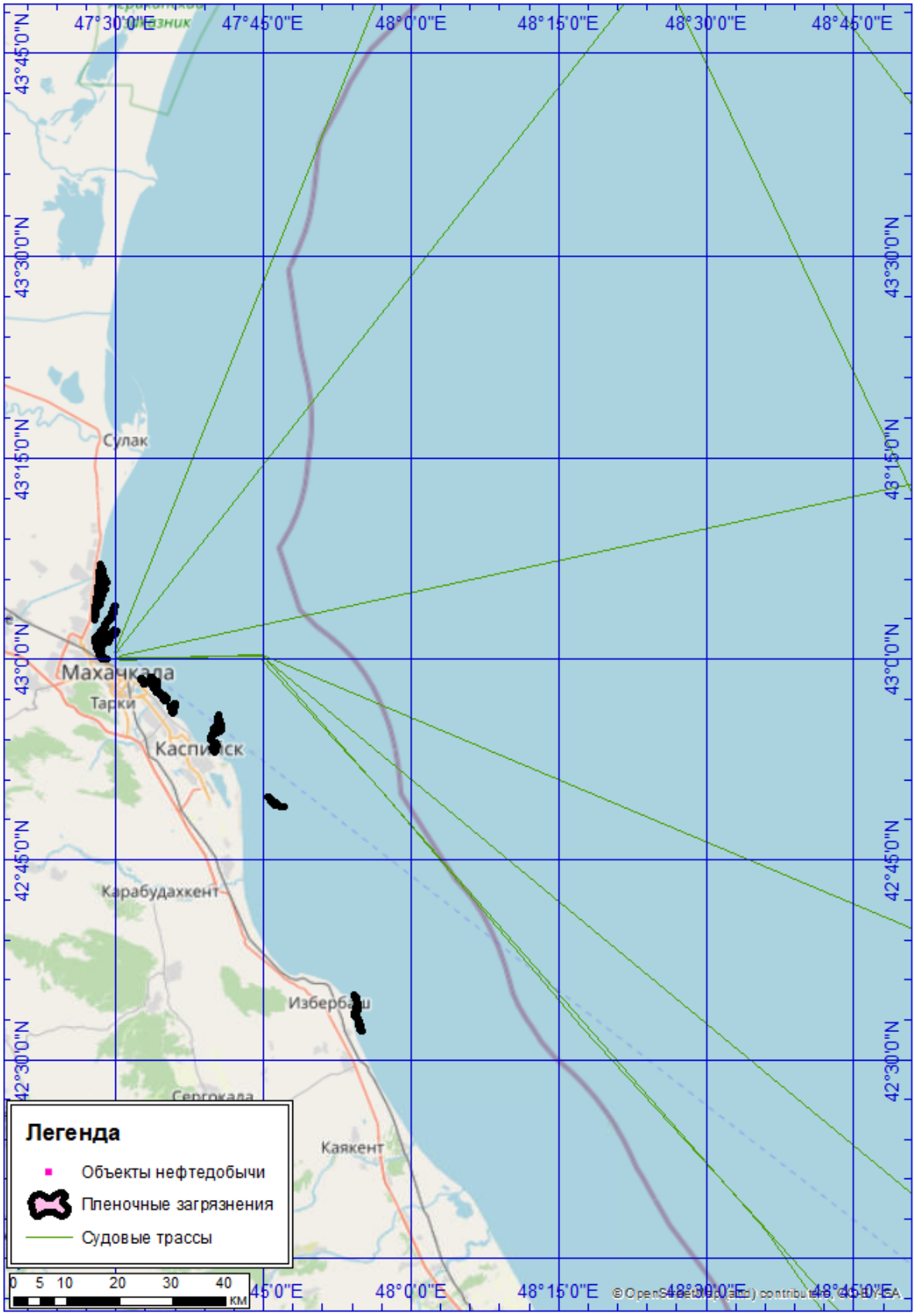

Рис. 3. Интегральная карта мест обнаружения пленочных загрязнений в октябре 2024 г. у побережья Дагестана, в районе Махачкалинского залива и порта Махачкала.

Рис. 4. Судовой разлив в российских территориальных водах, на РЛИ Sentinel-1A 2.10.2024. © ESA

Рис. 5. Судовой разлив в российском секторе, на РЛИ Sentinel-1A 31.10.2024. © ESA

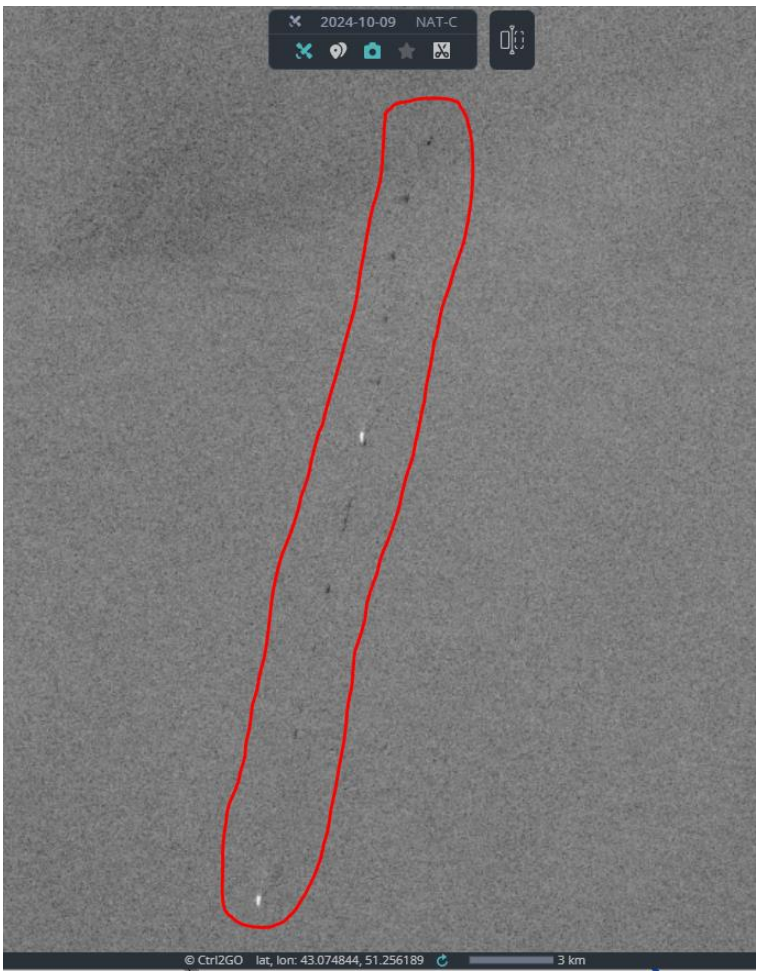

Рис. 6. Судовой разлив в казахстанском секторе, на РЛИ Sentinel-1A 9.10.2024. © ESA

Рис. 7. Загрязнения с выносом рек в районе Махачкалинской агломерации, на РЛИ Sentinel-1A 6.10.2024. © ESA

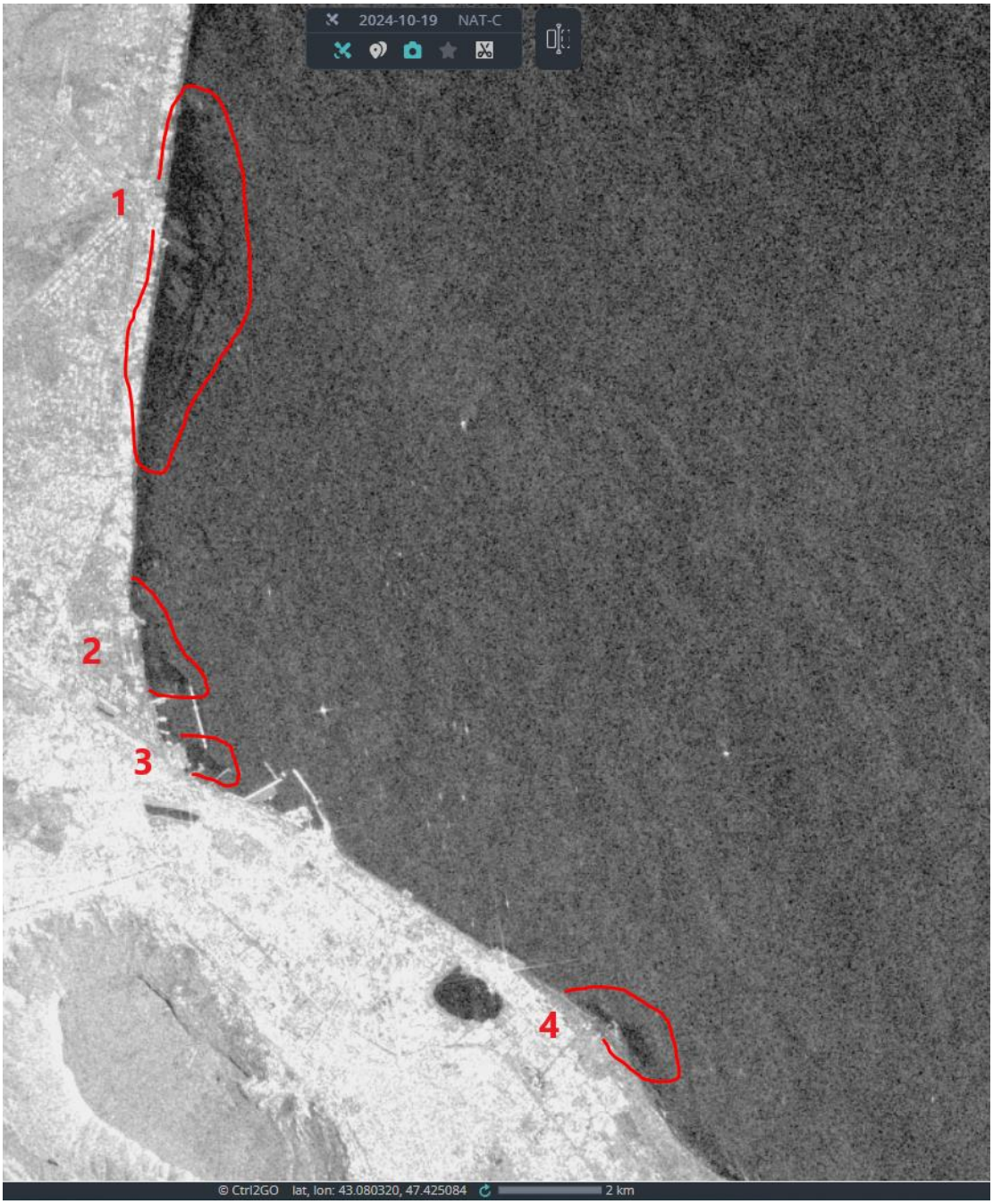

Рис. 8. Загрязнения в районе Махачкалинской агломерации, на РЛИ Sentinel-1A 19.10.2024. Основные источники: загрязнения с речным стоком (1, 4), нефтехранилище (2) и судоремонтный завод (3). © ESA

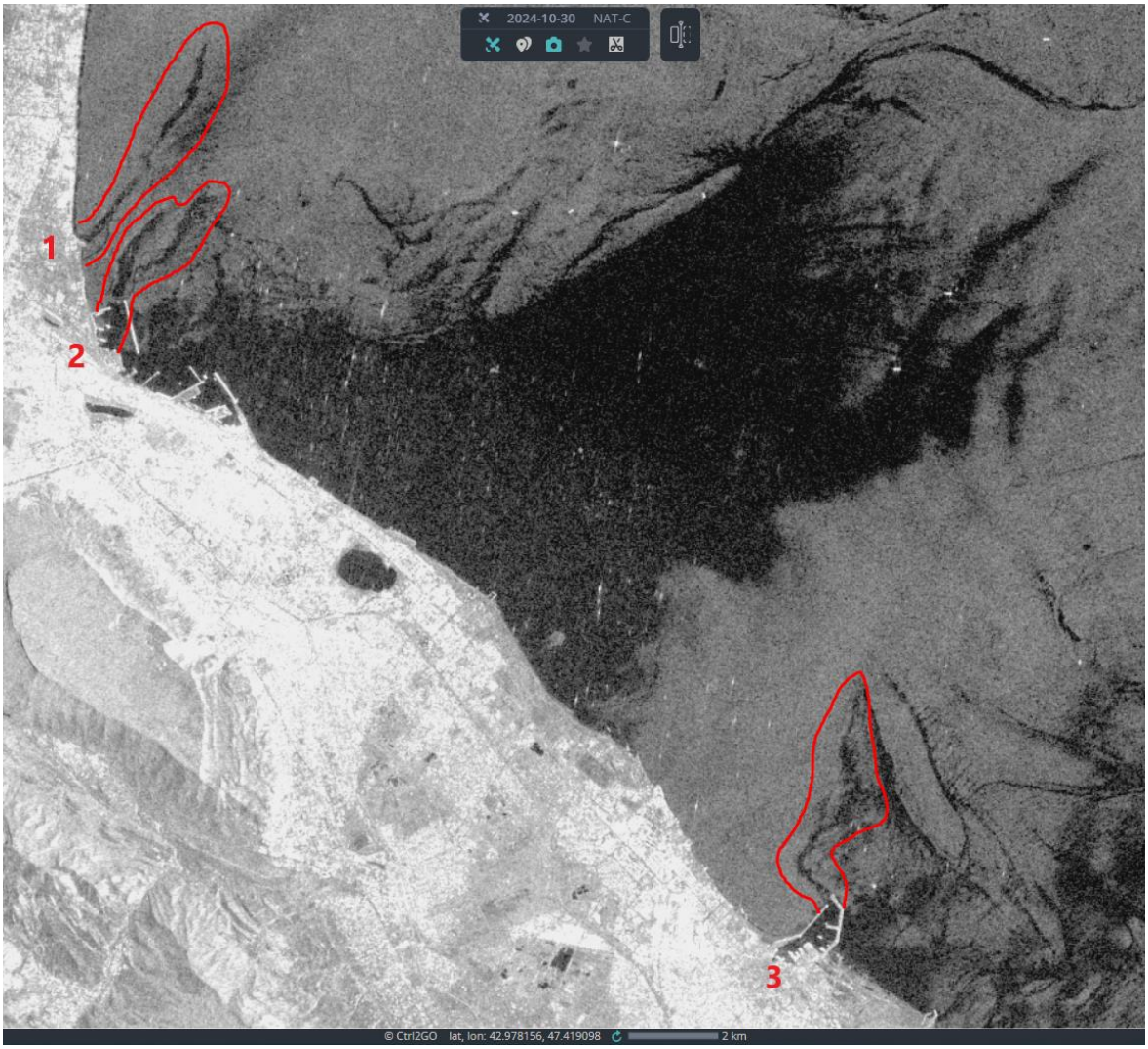

Рис. 9. Загрязнения в районе Махачкалинской агломерации, на РЛИ Sentinel-1A 30.10.2024. Основные источники: нефтехранилище (1), нефтегавань (2), гавань завода «Дагдизель» и база ВМФ (3). © ESA

Рис. 10. Естественные нефтепроявления между островом Тюлений и островом Чечень (российский сектор), на РЛИ Sentinel-1A 2.10.2024. © ESA

Приложение

Таблица 1. Нефтесодержащие пленочные загрязнения, обнаруженные в период мониторинга с 1.10.2024 по 31.10.2024.

№	Дата	Время (UTC)	Территориальные воды	Площадь ($км^2$)	Координаты центра (wgs 84)	Источник
1	02.10.2024	14:38:23	РФ	0.4	42°49'15" с.ш., 47°46'11" в.д.	Судовой сброс
2	02.10.2024	14:38:48	РФ	0.1	44°11'24" с.ш., 47°31'7" в.д.	Естественные нефтепроявления
3	06.10.2024	3:00:17	РФ	0.2	42°58'22" с.ш., 47°32'43" в.д.	Береговой объект
4	06.10.2024	3:00:17	РФ	1.1	42°58'7" с.ш., 47°33'56" в.д.	Речной сток
5	06.10.2024	3:00:17	РФ	0.5	42°56'21" с.ш., 47°35'48" в.д.	Речной сток
6	06.10.2024	3:00:17	РФ	0.4	42°33'57" с.ш., 47°54'29" в.д.	Береговой объект
7	07.10.2024	14:46:00	РФ	0.2	43°0'27" с.ш., 47°28'25" в.д.	Береговой объект
8	09.10.2024	14:30:14	Казахстан	0.3	42°57'24" с.ш., 51°24'44" в.д.	Судовой сброс
9	19.10.2024	14:46:33	РФ	0.2	43°0'7" с.ш., 47°28'45" в.д.	Береговой объект
10	19.10.2024	14:46:33	РФ	0.6	43°1'8" с.ш., 47°28'8" в.д.	Береговой объект
11	19.10.2024	14:46:33	РФ	0.5	42°57'13" с.ш., 47°34'48" в.д.	Речной сток
12	19.10.2024	14:46:33	РФ	4.0	43°5'12" с.ш., 47°28'26" в.д.	Речной сток
13	21.10.2024	14:30:13	Казахстан	0.1	43°9'7" с.ш., 51°27'15" в.д.	Не определен
14	30.10.2024	3:00:17	РФ	0.9	43°2'43" с.ш., 47°29'4" в.д.	Береговой объект
15	30.10.2024	3:00:17	РФ	1.8	43°1'20" с.ш., 47°28'58" в.д.	Береговой объект
16	30.10.2024	3:00:17	РФ	2.0	42°54'30" с.ш., 47°40'14" в.д.	Береговой объект
17	31.10.2024	14:46:33	РФ	0.4	42°32'42" с.ш., 47°54'44" в.д.	Береговой объект
18	31.10.2024	14:46:58	РФ	0.9	44°56'27" с.ш., 47°47'3" в.д.	Судовой сброс