

Крупные нефтяные разливы в море в 2021 г.

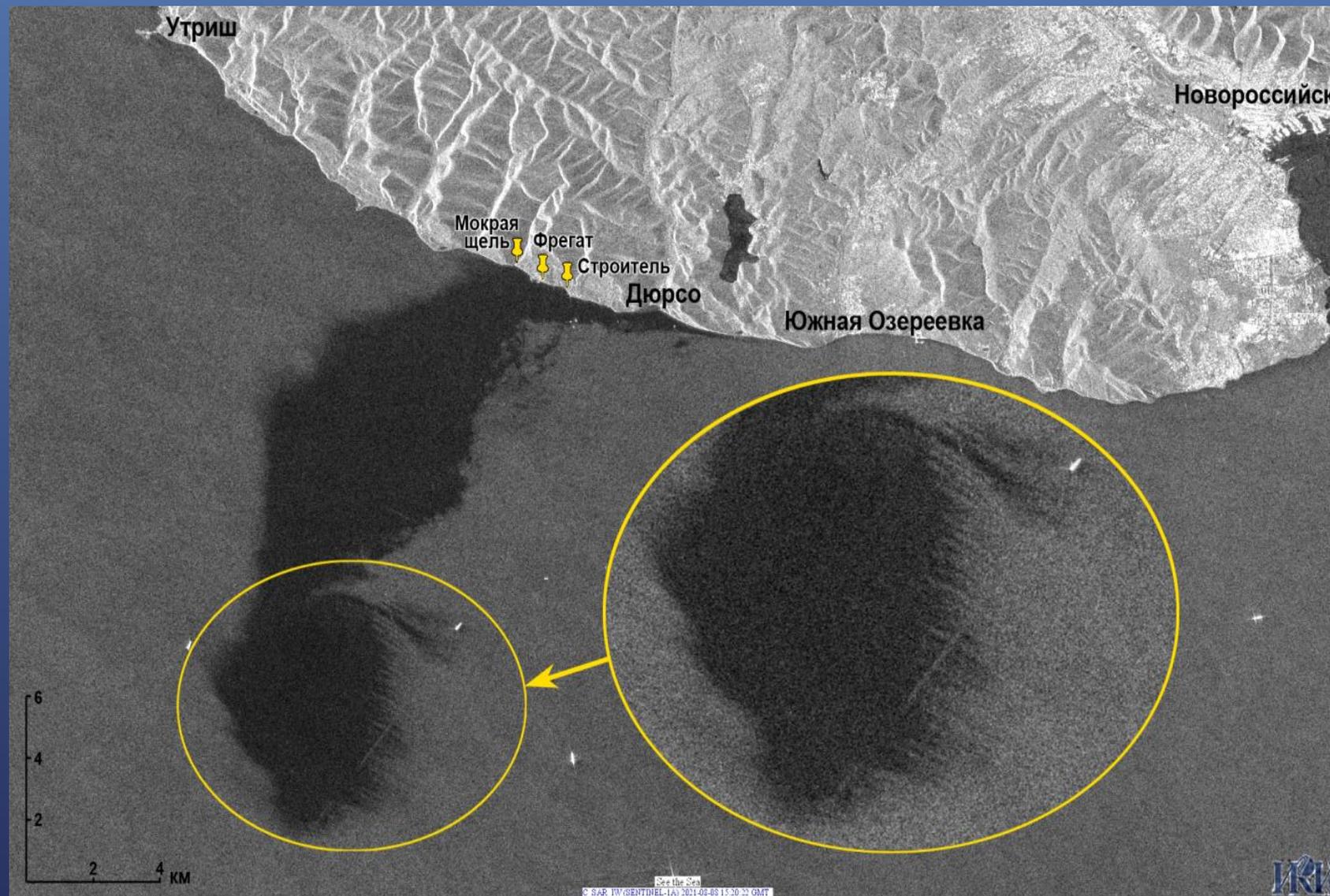
А.Г. Костяной (ИО РАН)

О.Ю. Лаврова (ИКИ РАН)

В докладе приводятся результаты комплексного анализа спутниковых радиолокационных и оптических изображений акватории северо-восточной части Чёрного моря, где 7 августа 2021 г. произошёл выброс нефти при заправке танкера *Minerva Symphony* на морском терминале ВПУ-1 АО «Каспийский трубопроводный консорциум» (АО «КТК-Р») в районе посёлка Южная Озереевка под Новороссийском.

Приводится краткая информация о двух других крупных нефтяных разливах, произошедших в 2021 г.: (1) 23 августа 2021 г. после утечки топлива на электростанции в сирийском порту Банияс, расположенной на средиземноморском побережье, площадью порядка 1000 км² и (2) 2 октября 2021 г. в прибрежной зоне Хантингтон-Бич, штат Калифорния, примерно в 65 км к югу от Лос-Анджелеса, длиной 50 км в результате разрыва подводного трубопровода примерно в 8 километрах от берега.

Нефтяной разлив площадью более 80 км² был обнаружен нами западнее места аварии 9 августа утром на радиолокационном изображении (РЛИ) спутника Sentinel-1A от 8 августа в 15:20 UTC (18:20 местного времени) после того, как оно было выставлено на сайте Sentinel-Hub (<https://www.sentinel-hub.com/>) Европейского космического агентства (ESA).



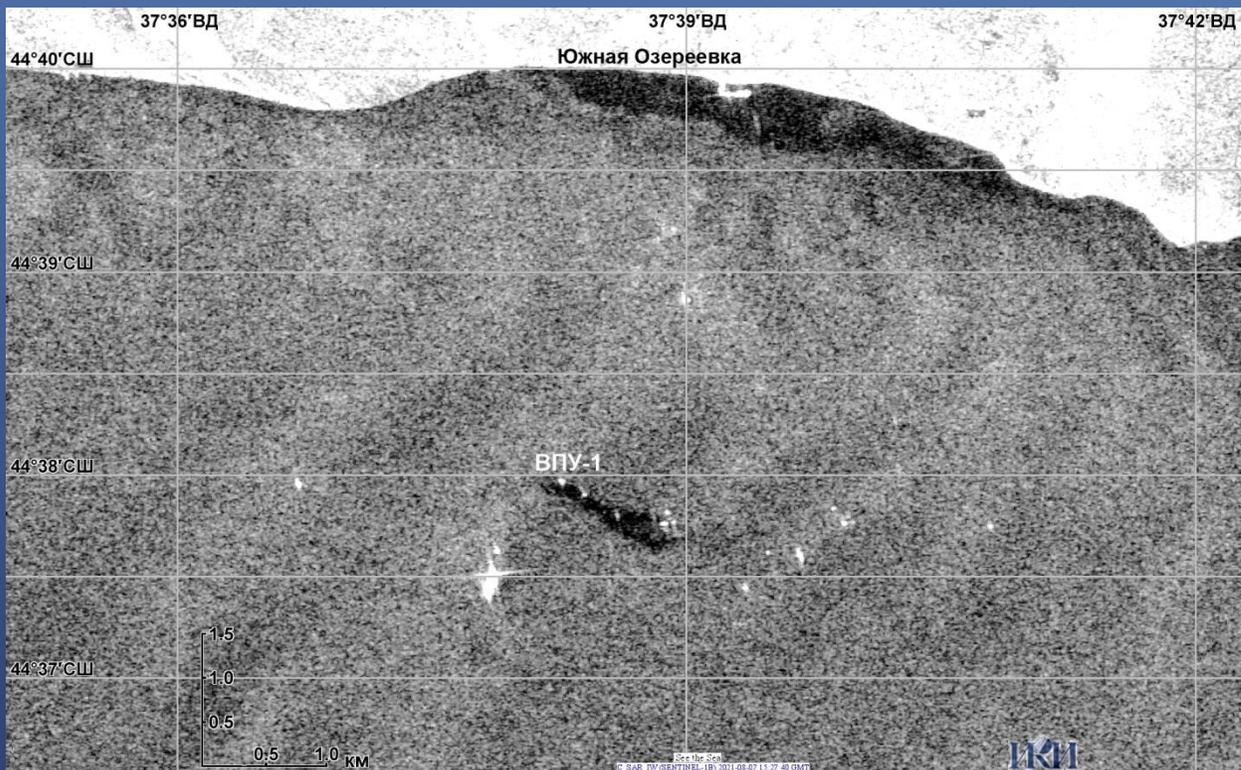
Проявление нефтяного загрязнения морской поверхности на радиолокационном изображении C-SAR Sentinel-1A от 8 августа 2021 г., полученного в 15:20 UTC. На врезке судно, пересекающее пятно и след за ним (Credit: ESA, ИКИ РАН)

Седьмого августа 2021 г. в 16:49 местного времени произошел продолжительный выброс нефти в Черное море при загрузке танкера "Minerva Symphony" нефтью на морском терминале ВПУ-1 (выносное причальное устройство) ЗАО "Каспийский трубопроводный консорциум-Р" (КТК-Р) в районе поселка Южная Озереевка под Новороссийском. Информация об аварии в результате технической неисправности на ВПУ-1 (разрушение внутренней полости гидрокомпенсатора) поступила в 17:30 местного времени или 14:30 UTC. По данным КТК-Р и заявлению главы Росприроднадзора сначала было объявлено о выбросе 1 м³, затем 12 м³ и площади загрязнения в 200 м², затем 50 м³. Впоследствии было объявлено, что КТК не будет уточнять объем разлива до окончания следствия.



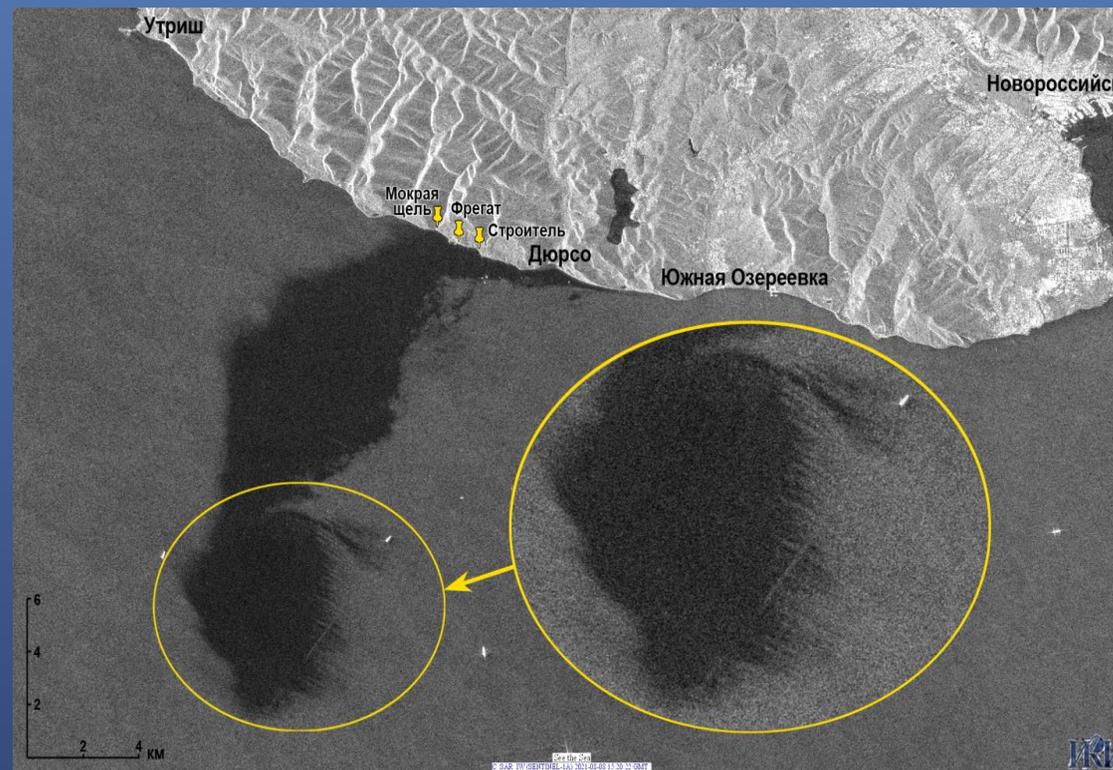






Фрагмент радиолокационного изображения C-SAR Sentinel-1B от 7 августа 2021 г., полученного в 15:27 UTC (Credit: ESA, ИКИ РАН) т.е. через 98 мин после начала аварии.

Протяженность нефтяного следа составила до 1,15 км, площадь нефтяного слика – не менее 0,21 км², что уже в 1000 раз больше площади, объявленной КТК-Р (200 м²). Отметим, что даже на видеозаписи нефтяного разлива в момент аварии, видно, что площадь нефтяного разлива (который полностью не виден) не меньше, чем 20 м x 100 м, что уже дает 2000 м². Пятно распространяется на юго-восток от ВПУ-1 под действием ветра и течения со скоростью примерно 20 см/с,



C-SAR Sentinel-1A от 8 августа 2021 г., полученного в 15:20 UTC

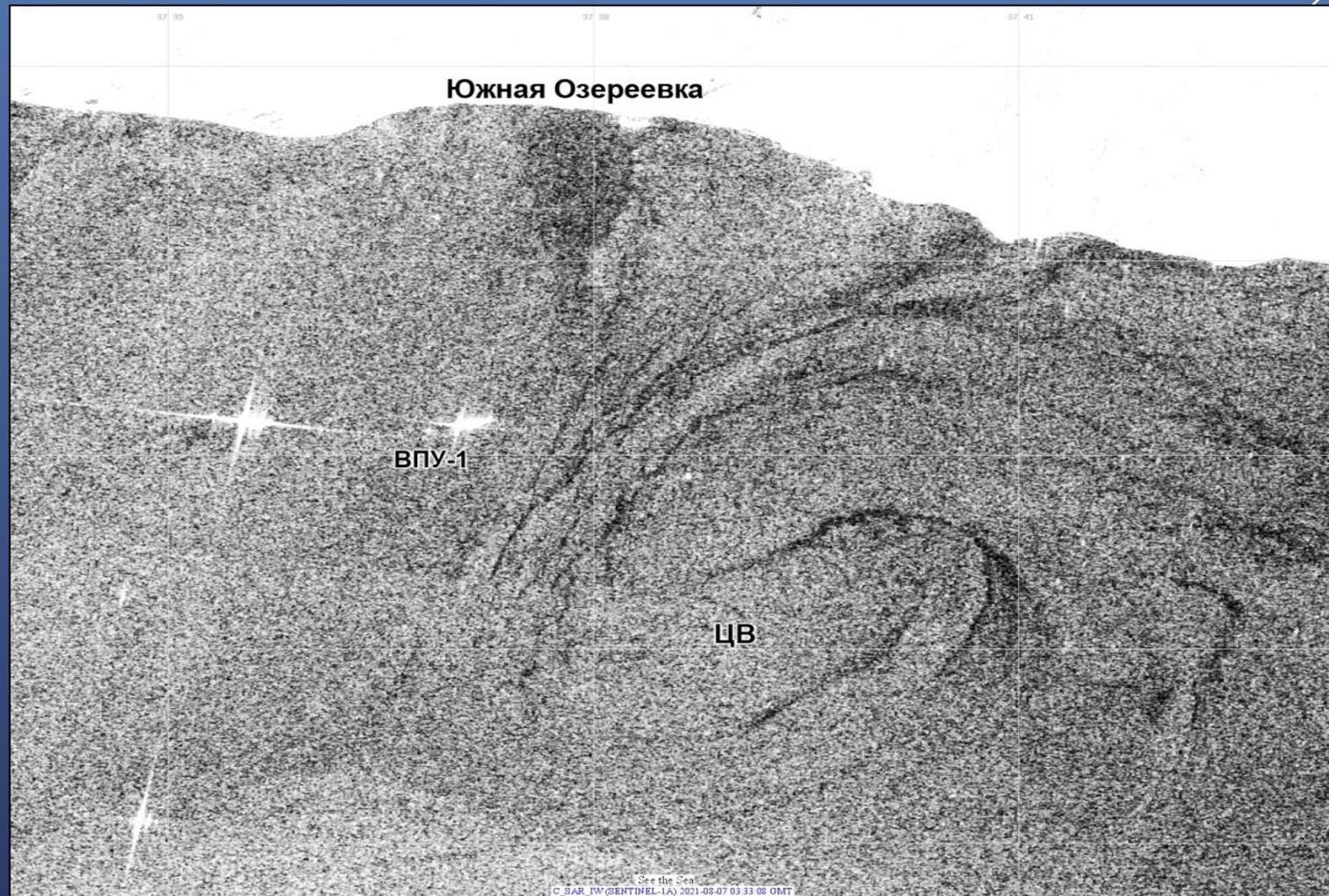
Данные

Анализ распространения нефтяного загрязнения и гидродинамики вод был проведён на основе четырех радиолокационных изображений, полученных радиолокаторами SAR-C спутников Европейского космического агентства Sentinel-1 A/B (пространственное разрешение 20 м) и двух оптических изображений приборов спутникового базирования MODIS-Aqua среднего разрешения (250 м) и MSI-Sentinel-2A высокого пространственного разрешения (10 м), полученных 7, 8 и 12 августа 2021 г. Получение, обработка и анализ спутниковой информации (радиолокационных изображений и оптических данных среднего и высокого пространственного разрешения) проводились с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-мониторинг» (Лупян и др., 2019) с помощью инструментария информационной системы «See the Sea» (Лаврова и др., 2019).

Информация о скорости и направлении ветра была получена с сайта <https://earth.nullschool.net/ru/about.html>, которые рассчитываются по модели GFS (Global Forecast System) NCEP (National Centers for Environmental Prediction) US National Weather Service (Глобальная система прогнозов Национальных центров экологических прогнозов Национальной метеорологической службы США), а также с вэб ресурса Расписание погоды (rp5.ru) по скорости и направлению ветра и осадкам по метеостанциям Новороссийска и Анапы, расположенным северо-восточнее (в 12 км) и северо-западнее (в 37 км) Южной Озереевки, соответственно (Таблица 1). Метеостанции Росгидромета в Южной Озереевке нет.

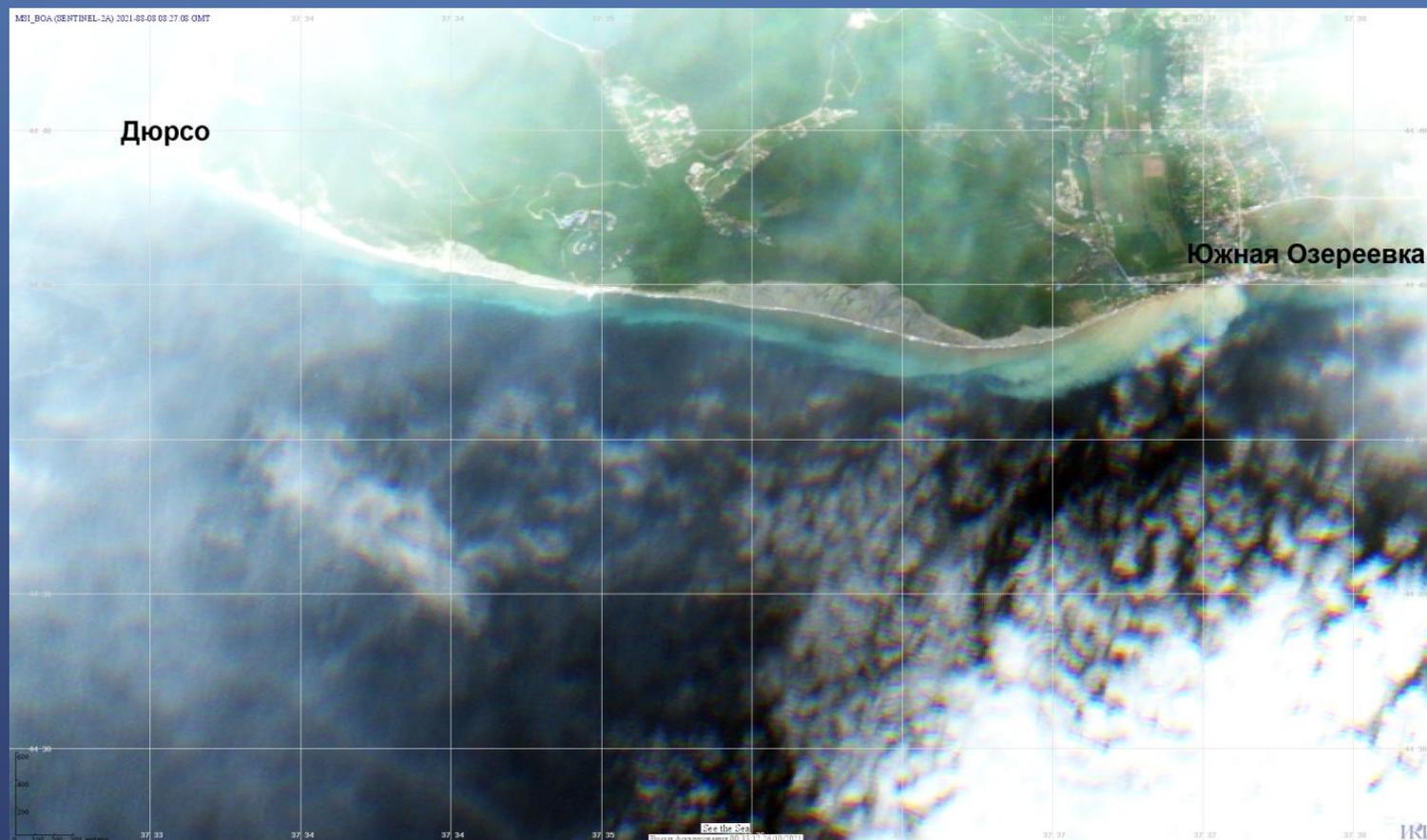
Фрагмент радиолокационного изображения C-SAR Sentinel-1A от 7 августа 2021 г., полученного в 03:33 UTC, т.е. за 10 часов до аварии.

ЦВ – циклонический вихрь (Credit: ESA, ИКИ РАН)



Юго-восточнее ВПУ-1 был обнаружен субмезомасштабный циклонический вихрь (отмечен как ЦВ). Вихрь имел эллиптическую форму и размеры 5 км x 8 км вдоль малой оси (с северо-запада на юго-восток) и большой оси (с севера-востока на юго-запад). Вихрь смещался в западном направлении со скоростью примерно 10 см/с.

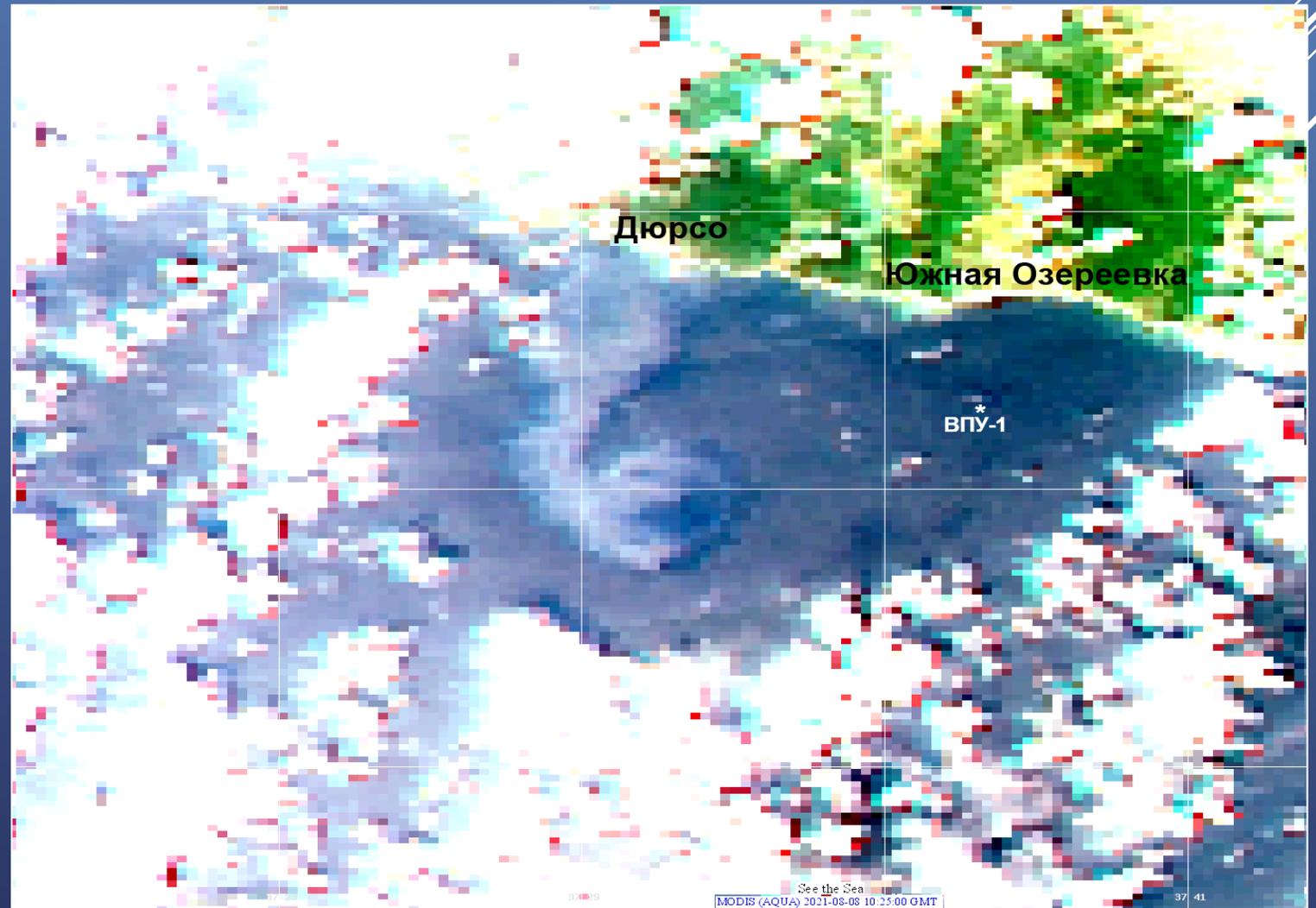
Распространение
плюма р. Озереевки
вдоль берега от
Южной Озереевки в
сторону Дюрсо.
Фрагмент
изображения MSI-
Sentinel-2A,
полученного 8 августа
2021 г. в 08:27 UTC



Речной плюм прижат к берегу, поскольку согласно метеоданным дул западный ветер 2-5 м/с . Нефтяное пятно на данном изображении не просматривается из-за облачности. Необходимо отметить, что отсутствие серьезного нефтяного загрязнения береговой зоны в этом районе может быть объяснено именно речным плюмом, который всю ночь с 7 на 8 августа распространялся узкой полосой вдоль берега и мог препятствовать контакту нефтяного пятна с берегом.

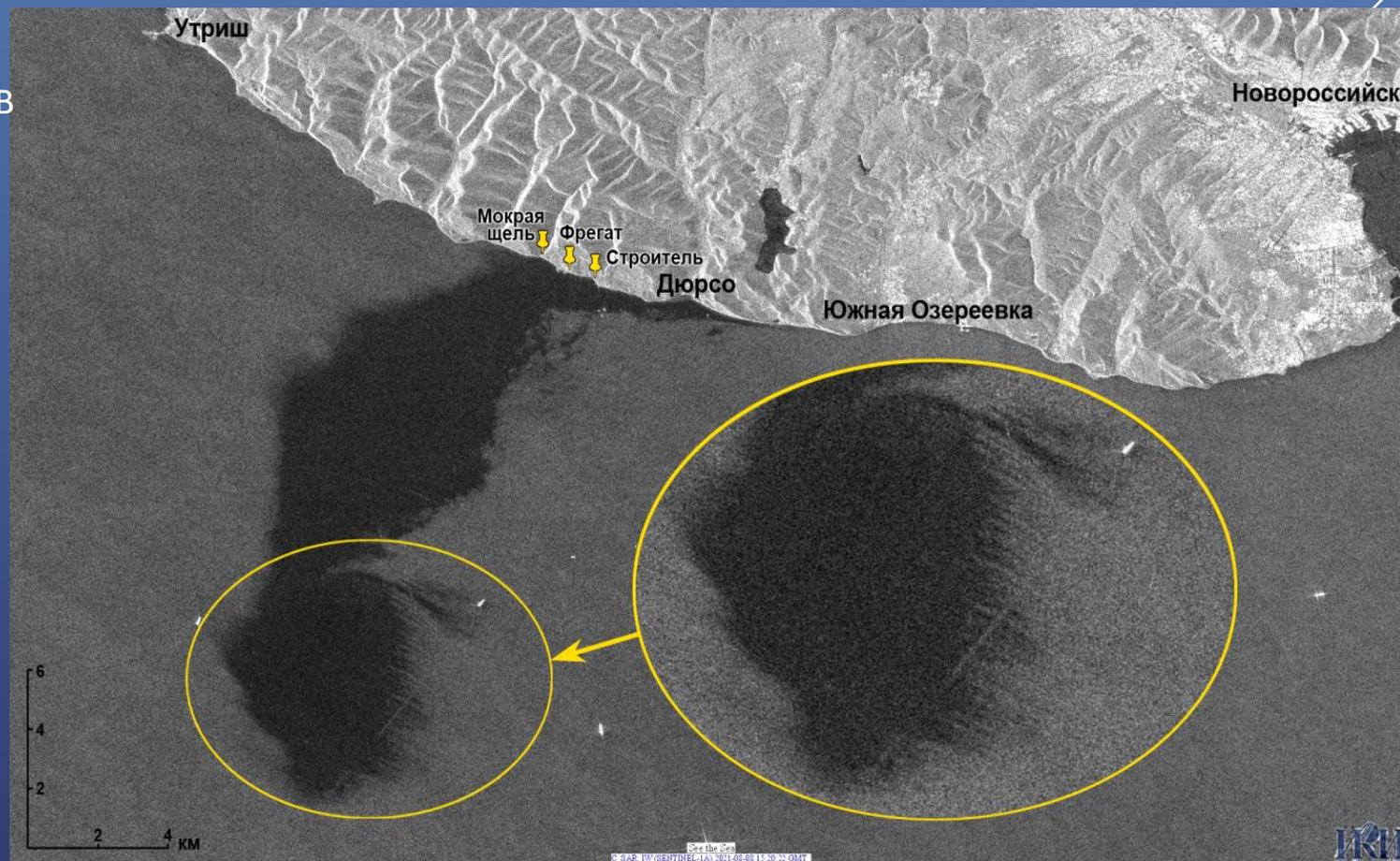
На спутниковом изображении четко видно нефтяное пятно, распространяющееся от берега на юг с циклоническим вихрем на конце, которое и вытягивает это пятно от берега в мористую часть.

Вихрь «прошел» 11,53 км за 31 час со средней скоростью 10,33 см/с. Нефтяное пятно за счет ветра, дождя и циклонического вихря увеличилось в размерах до 50 км² и вытянулось от берега на расстояние до 12 км.



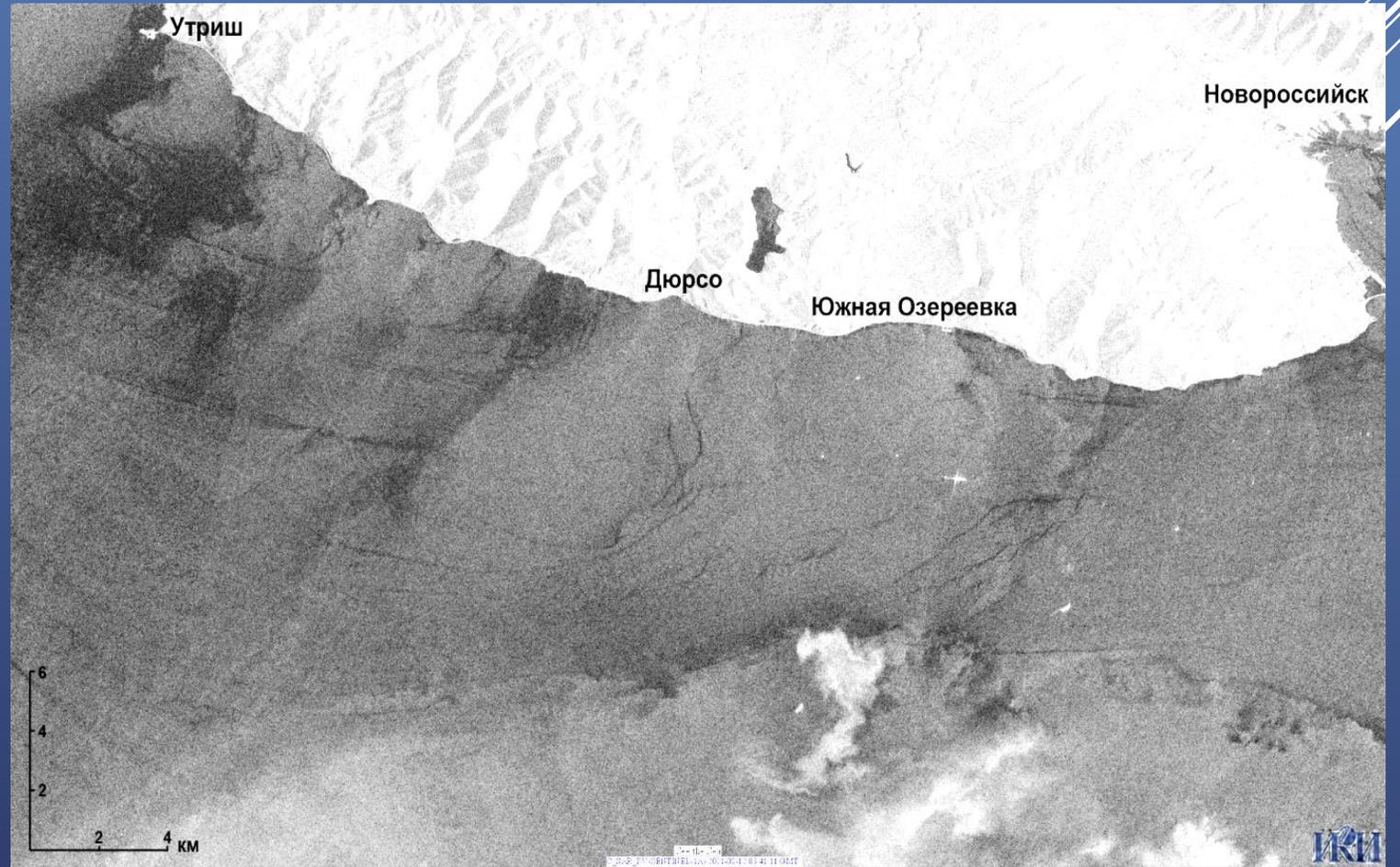
Проявление нефтяного пятна, вовлеченного в циклонический вихрь, на цветосинтезированном изображении MODIS-Aqua, полученном 8 августа в 10:25 UTC

Изображение в 15:20 UTC (18:20 местного времени), т.е. через 5 часов после оптического изображения MODIS-Aqua и фактически ровно через сутки после второго РЛИ, полученного через 98 мин после аварии. Нефтяное пятно под действием ветра (с юго-востока и юга) и вдольберегового течения сместилось в северо-западном направлении и еще увеличилось по площади с почти 50 до 83 км², по-видимому, уже за счет вовлечения в циклонический вихрь. Пятно распространилось от берега почти на 20 км в сторону открытого моря сначала на юго-запад, потом на юг. Этому процессу явно способствовал субмезомасштабный циклонический вихрь, находящийся в головной мористой части нефтяного пятна.



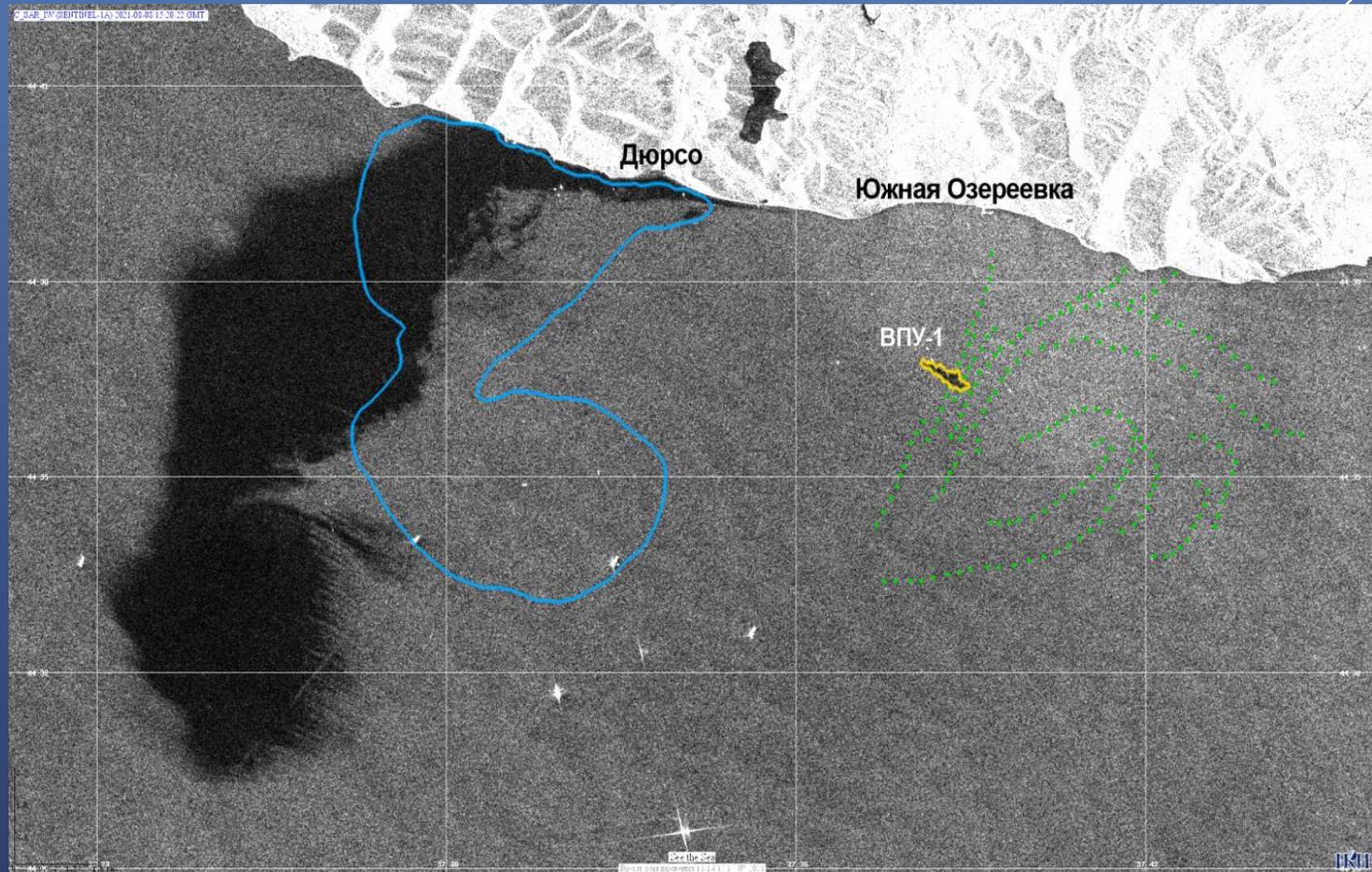
Проявление нефтяного загрязнения морской поверхности на радиолокационном изображении C-SAR Sentinel-1A от 8 августа 2021 г., полученного в 15:20 UTC. На врезке судно, пересекшее пятно и след за ним (Credit: ESA, ИКИ РАН) Желтые метки – места, где очевидцы снимали нефть у берега 8, 9, 10 и 11 августа (Утриш, Сукко).

На радиолокационном изображении явных загрязнений нефтяного загрязнения уже не обнаружено, хотя присутствует масса атмосферных, гидродинамических и других эффектов, дающих такую сложную картину для интерпретации именно этого радиолокационного изображения. Сравнение РЛИ за 8 и 12 августа показывает, что изображение от 8 августа было лишено всех этих эффектов, что позволило четко выделить именно нефтяное загрязнение в исследуемом районе.



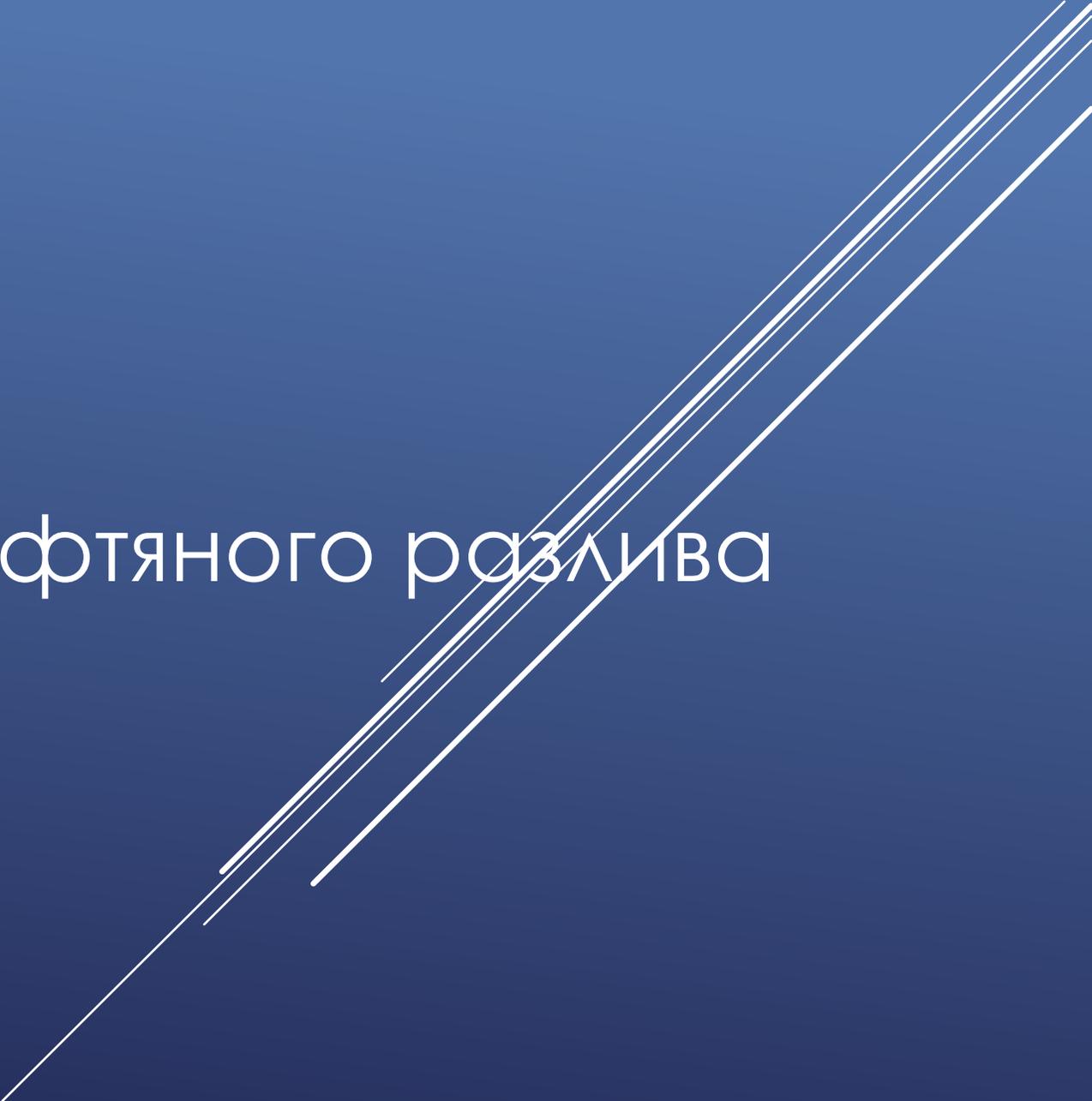
Фрагмент радиолокационного изображения C-SAR Sentinel-1A от 12 августа 2021 г., полученного в 03:41 UTC (Credit: ESA, ИКИ РАН)

С 3 ночи до 12 часов дня 8 августа нефтяное пятно вытягивало на юг от берега ветром, дующим сначала с востока-северо-востока с 3 ночи до 9 утра, затем юго-восточным ветром до 12 часов дня. Циклонический вихрь также вытягивал нефтяное пятно в мористую часть и вовлекал его в свое орбитальное движение. В 13:25 площадь нефтяного разлива составила уже почти 50 км^2 , а еще через 5 часов площадь увеличилась до 83 км^2 . Таким образом площадь нефтяного разлива увеличивалась примерно со скоростью $6,6 \text{ км}^2$ в час в этот период времени, что доказывает возможность быстрого роста площади нефтяного загрязнения еще на более ранней стадии его развития.

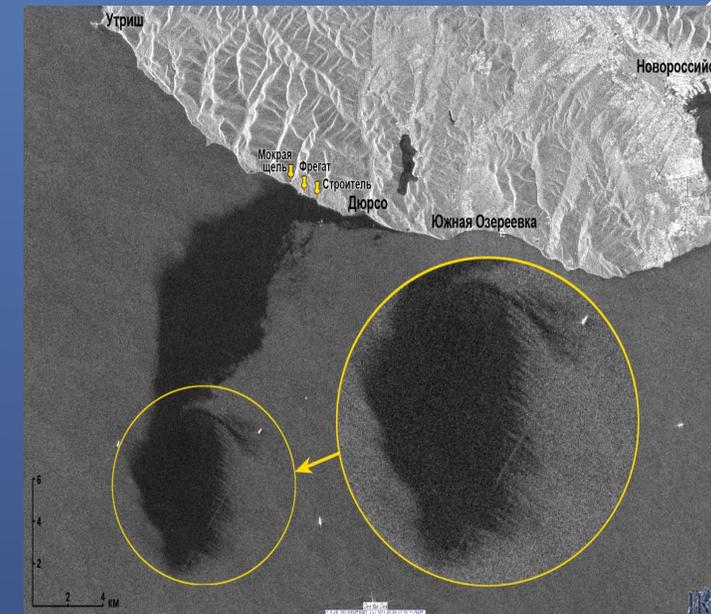


Смещение нефтяного пятна и циклонического вихря с 7 по 8 августа 2021 г. : желтый контур – нефтяное пятно в районе аварии, выявленное на РЛИ от 7 августа в 15:27 UTC; зеленые точки – контур циклонического вихря, выявленного на РЛИ от 7 августа в 03:33 UTC; голубой контур – проявление циклонического вихря на изображении MODIS Aqua от 8 августа в 10:25 UTC. Контур наложен на РЛИ от 8 августа в 15:20 UTC

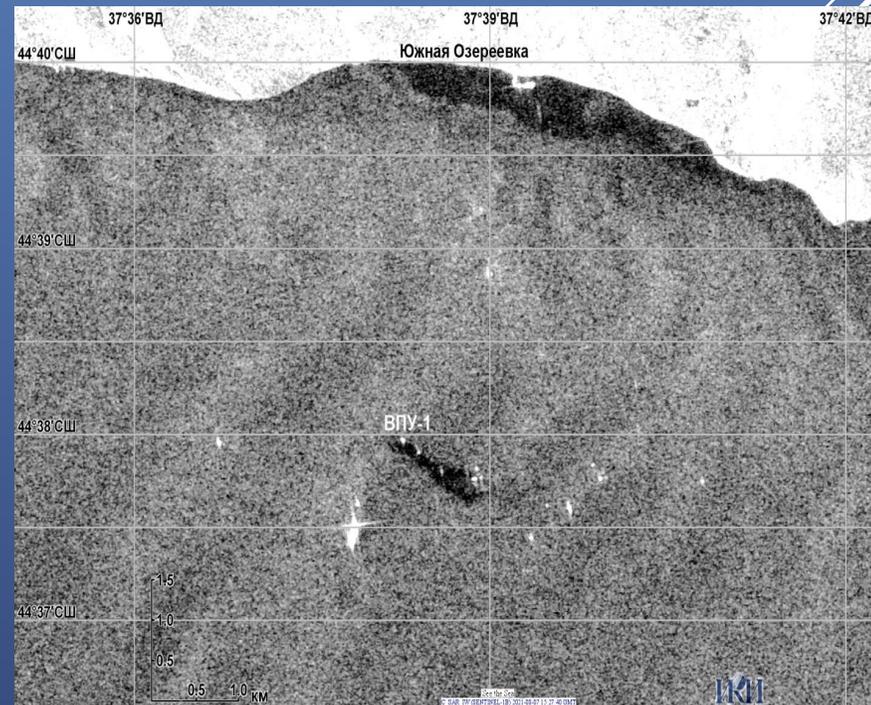
Оценки объема нефтяного разлива



Учитывая, что прошли сутки после нефтяного разлива, в течение которых происходило интенсивное перемешивание за счет ночного шторма (утром на пляжи Южной Озереевки, Дюрсо и пансионатов выбросило много водорослей) и дождя в ночь с 7 на 8 августа, а также интенсивное испарение, можно предположить, что толщина пленки составляла 0,2-0,4 мкм, которые характерны для проявления первых признаков цветности и радужных пленок, соответственно. Средняя оценка толщины нефтяной пленки в 0,2 мкм используется ХЕЛКОМом для оценки объемов нефтяных пятен на Балтике (ХЕЛКОМ, 2021; Крек и др., 2021). В этом случае объем нефти может быть оценен в 16-32 м³ на 8 августа (18:20 местного времени). Если взять максимальную оценку в 1 мкм, которая упоминается в различных работах и инструкциях (см., например, Методика..., 1995; Воздушное наблюдение..., 2015), то объем нефти, содержащийся в этом пятне, составит 80 м³, что можно считать максимальной оценкой сверху. Предположив, что 50% нефти испарилось за сутки после аварии (см., например, Методика..., 1995; Воздушное наблюдение..., 2015), общий объем выброса нефти при аварии можно оценить в 32-64 м³ (максимальный объем составит 160 м³), что примерно соответствует объему в 50 м³, заявленному КТК. Реальный объем выброса мог быть и больше с учетом количества собранной нефти, осевшей на дно, ушедшей в промежуточные слои и выброшенной на берег.



Вторую оценку объема нефтяного пятна можно сделать по РЛИ от 7 августа 2021 г. (15:27 UTC). Дело в том, что нефтяное пятно в первые часы после аварии переносилось ветром и течением со скоростью 20 см/с и растекалось поперек за счет перепада плотности как гравитационное течение со скоростью 4,9 см/с, поскольку его толщина еще достаточно велика. Очень тонкие пленки растекаются уже за счет поверхностного натяжения. В данном случае скорость гравитационного течения в случае двухслойной жидкости можно оценить как: $V^2 = g'h$, где V – скорость гравитационного течения, $g' = g \cdot \Delta\rho/\rho$ – редуцированное гравитационное ускорение, h – толщина гравитационного течения, g – сила тяжести, $\Delta\rho$ – перепад плотности между двумя жидкостями (нефть и морская вода), ρ – плотность морской воды. Из этого соотношения следует, что толщина нефтяной пленки $h = V^2/g' = 0,11$ см, при плотности воды Черного моря в этом районе примерно $1011,5$ кг/м³, а Тенгизской нефти – 789 кг/м³. Площадь нефтяного пятна на снимке от 7 августа (15:27 UTC) составляла $0,21$ км², значит объем нефти можно оценить в 230 м³, что вполне реалистично для момента аварии с учетом вышеуказанных оценок и факторов.



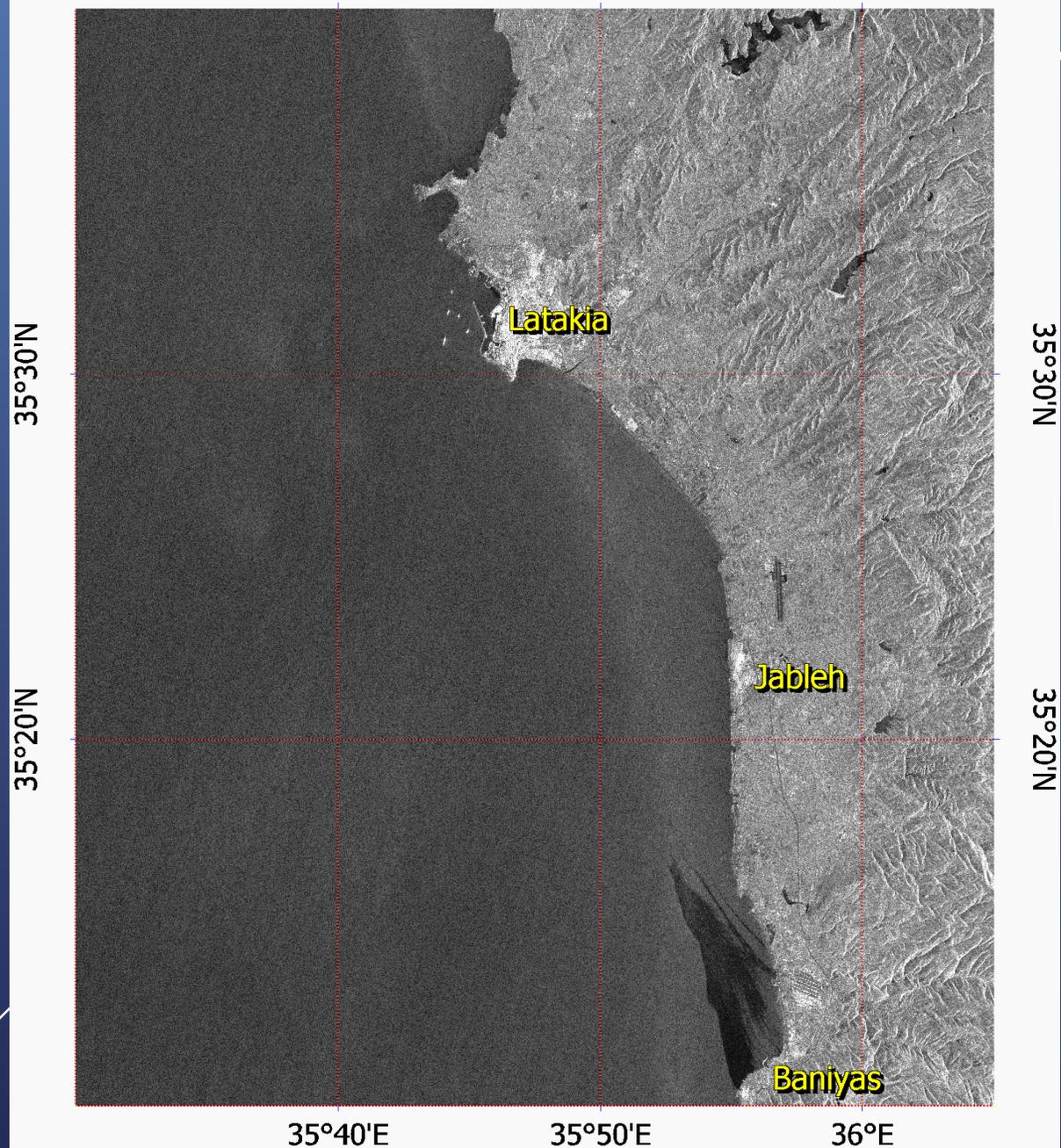


Третью оценку можно сделать из закона сохранения энергии $m \cdot v^2/2 = m \cdot g \cdot h$ на основе видеозаписи истечения нефти из ВПУ-1. На морском терминале КТК-Р установлены ВПУ системы CALM производства компании Single Buoy Moorings Inc. Предположим, что ВПУ-1 имеет диаметр 6 м, тогда фонтан нефти по видеозаписи можно оценить высотой в 0,5 м. Из закона сохранения энергии следует, что скорость истечений должна быть равна 3,1 м/с. Предположим, что диаметр трубы, из которой вытекает нефть, равен 20 см, тогда расход составит 0,124 м³/с и объем вытекшей нефти за 98 мин составит 729 м³, если считать, что расход за это время не изменялся. При гидравлическом расчете фонтанов для истечения жидкости через цилиндрическую насадку применяется коэффициент 0,82, тогда объем вытекшей нефти составит 600 м³.

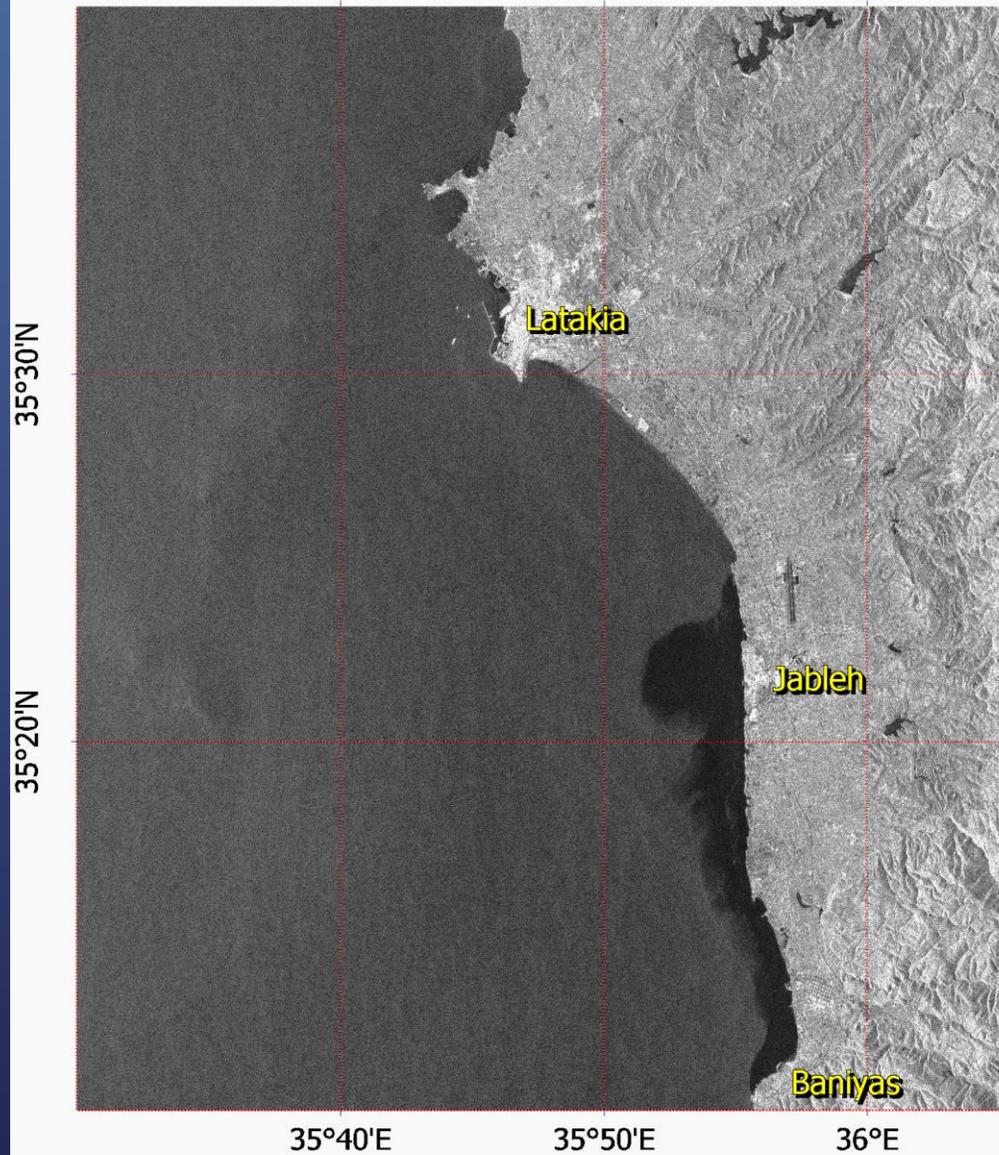
К сожалению, отсутствие точной информации о размерах ВПУ, расходе нефти и продолжительности аварии не позволяют сделать более точные оценки объема нефтяного разлива.

Нефтяной разлив 23 августа 2021 г.
после утечки топлива на
электростанции в сирийском
порту Банияс, расположенной на
средиземноморском побережье,
площадью порядка 1000 км²

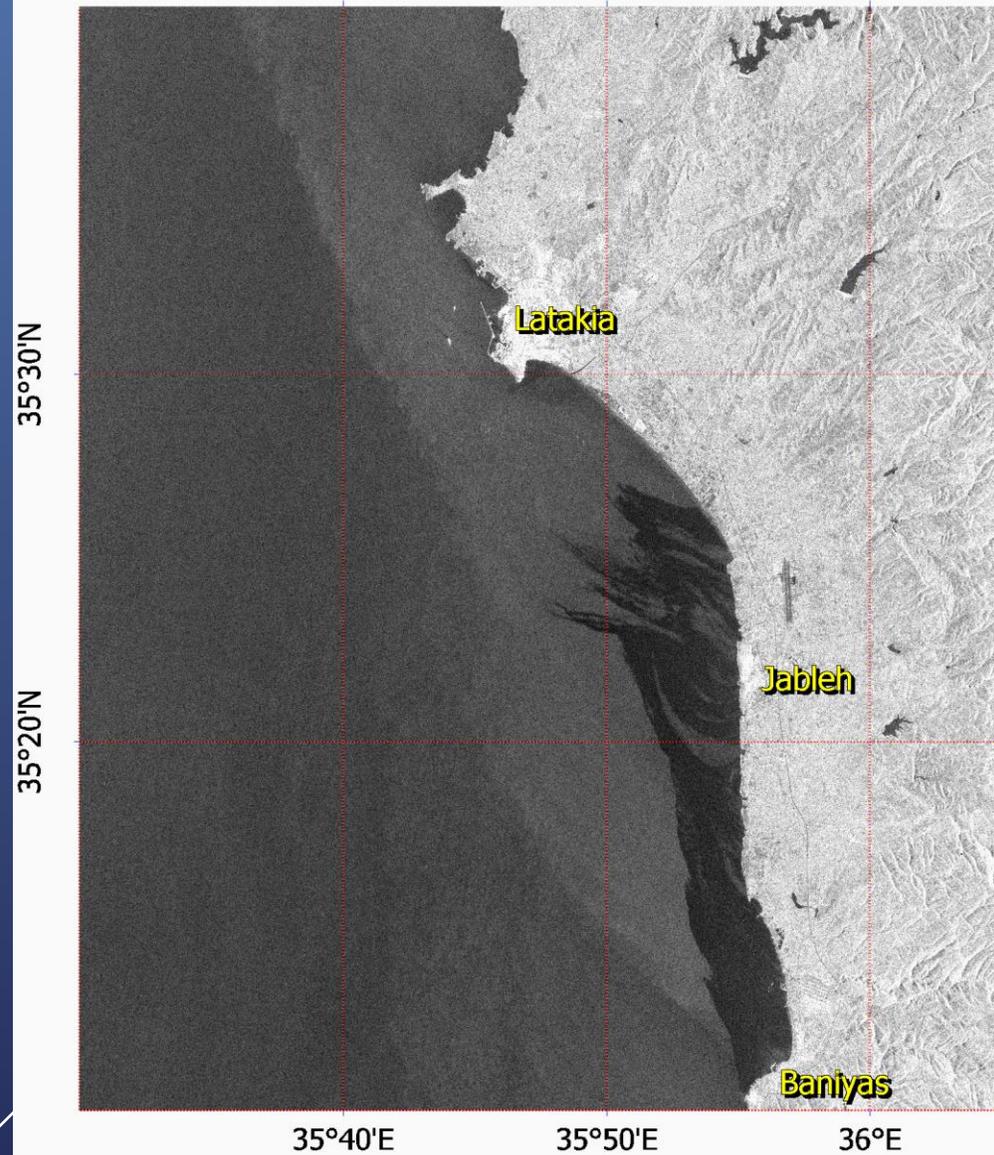
SAR-C, Sentinel-1A, 24 Aug 2021, 3:43 GMT



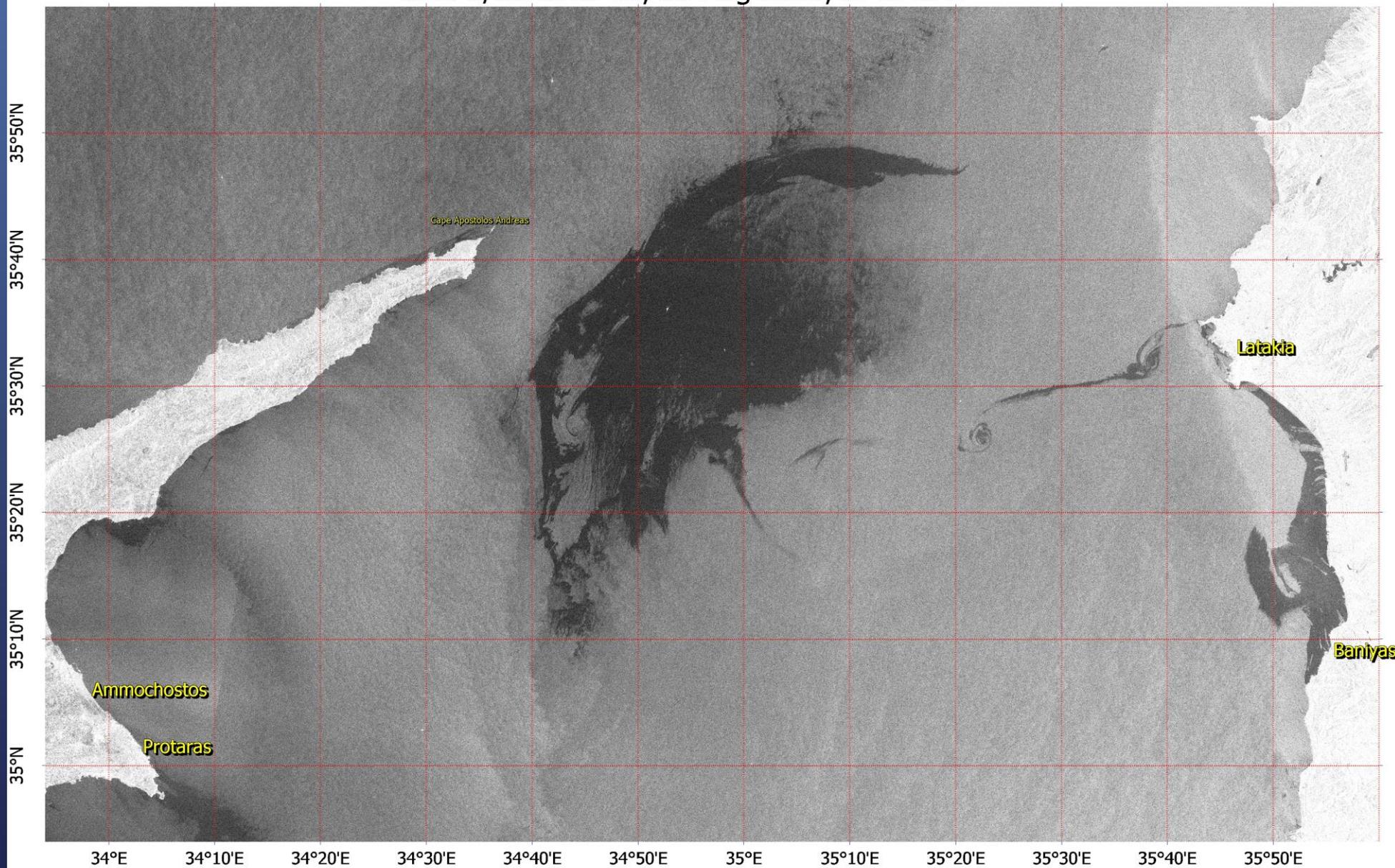
SAR-C, Sentinel-1B, 24 Aug 2021, 15:33 GMT



SAR-C, Sentinel-1B, 25 Aug 2021, 3:34 GMT



SAR-C/Sentinel-1B, 30 Aug 2021, 3:42 GMT



Нефтяной разлив 2 октября 2021 г. (SAR Sentinel-1B) в прибрежной зоне Хантингтон-Бич, штат Калифорния, примерно в 65 км к югу от Лос-Анджелеса, длиной 50 км в результате разрыва подводного трубопровода примерно в 8 километрах от берега.

По сообщениям СМИ и ведомств, сырая нефть и ее остатки распространились вдоль береговой линии, затронув такие районы, как Хантингтон-Стейт-Бич, Талберт-Марш и устье реки Санта-Ана. Многие пляжи были закрыты для купания от Хантингтон-Бич до Дана-Пойнт, а скиммеры и заграждения были развернуты, чтобы замедлить перемещение нефти в болота и прибрежные бассейны. Рыболовство в этом районе было закрыто, и бригады работают над спасением и реабилитацией морских птиц, пострадавших от нефти.



Спасибо за внимание!

А.Г. Костяной, О.Ю. Лаврова, Е.А. Лупян

Нефтяной разлив на морском терминале Каспийского трубопроводного консорциума под Новороссийском 7 августа 2021 г.: комплексный анализ спутниковых и метеорологических данных

Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2021, N5, С.28-43.