



Рис. 1а. Рыбоводные (лососевые) садки в губе Ура, Баренцево море на оптическом снимке высокого разрешения спутника Pleiades от 16.08.2022. Видны как сами садки, так и устройство для автоматизированного кормления. © CNES / Airbus / Maxar Technologies

Рассматриваются результаты мониторинга места разведения марикультуры в акватории г. Адлер в период с апреля 2022 г. по июнь 2023 г. и ее влияние на экосистему Черного моря. Для этого использовались радиолокационные данные европейского спутника Sentinel-1A, представляющие собой ценный материал для обнаружения и изучения пленочных загрязнений (нефть, нефтепродукты, биогенные пленки и т.п.) через наблюдение пятен, плавающих на поверхности моря [1]. В дополнение к радиолокационным изображениям (РЛИ) для их верификации использовались оптические снимки Sentinel-2 и спутников высокого разрешения (для определения цвета пленок).

В настоящее время хорошо известно, что промышленная марикультура (искусственное промышленное разведение организмов в морской среде), обеспечивает получение ценной пищевой продукции – морепродуктов, однако, как и любая другая антропогенная деятельность в природных водоемах, оказывает воздействие на окружающую среду, в особенности на состояние прибрежных зон в районах рыболовства. К этому можно отнести загрязнение остатками используемых кормов и экскрементами с избыточным содержанием фосфора и азота, вызывающего, как было показано в [2], прогрессирующую эвтрофикацию (насыщение водоемов остаточными органическим веществом и биогенными элементами, сопровождающееся нежелательным ростом общей и нежелательной биопродуктивности). К эвтрофикации также приводит плотная посадка рыбы и ее интенсивное (избыточное) кормление. Ухудшение качества воды в свою очередь способствует развитию различных заболеваний марикультуры, что приводит к потере продукции [2, 3]. Продукты жизнедеятельности рыб под рыболовными садками на морском дне наносят ущерб бентосу и местным экосистемам в целом [2].

Масштаб загрязнения питательными веществами окружающих вод и морского дна зависит от эффективности потребления корма, гидрологических факторов (главным образом течений), размеров хозяйства и их близостью к берегу [3]. Пленочные загрязнения, обнаруженные у объектов марикультуры в Черном море и др. морях, – биогенные пленки, основным компонентом которых является рыбий жир или его аналоги. Они поступают в море вместе с рыбным кормом и кормовыми добавками, образуя пленки на поверхности моря [3, 4] – рис. 1а, 1б.

Впервые пятна биогенных пленочных загрязнений в районе разведения марикультуры (садковое рыболовство) на акватории Кудепста-Адлер (рис. 2, 3) были обнаружены в апреле 2022 г. Всего в 2022 г. биогенные пленки были идентифицированы на 18 РЛИ, в 2023 г. (до 6.06.2023) – на 35 РЛИ (рис. 4, 5). В зависимости от гидрометеорологических условий (главным образом течений) пленки дрейфовали в разные стороны от источника, в некоторых случаях достигая берега. Их площадь варьировала от 0,5 до 7 км², а некоторые слики при благоприятных ГМУ растекались на десятки километров (максимально до 26 км) – рис. 5.

Исходя из площади обнаруженных пятен (измерены на РЛИ) и их цвета (от радужного до серебристо-серого; толщина пленки от 0,04-0,3 мкм), была предпринята попытка оценки объемов маслянистого вещества, поступающего в море в местах разведения марикультуры, на основе рекомендаций руководства [5]. Т.е. при площадях пятен варьирующих от 0,5 до 7 км² оценки объемов составляют от 0,02 до 2,1 м³. С учетом плотности рыбьего жира в 925 кг/м³, оценка массы вещества, плавающего в море в виде пленок, составит 138 – 1940 кг в день.

Согласно [6], экспериментально установленная норма ПДК рыбьего жира для морских вод равна 0,05 мг/л, причем рыбий жир в больших количествах влияет на санитарно-микробиологические показатели водной среды, фито- и зоопланктон, а также токсично воздействует на эмбриональные стадии рыб. Одним из главных установленных лимитирующих показателей вредности (ЛПВ) является стимуляция размножения одноклеточных водорослей (категория «сан», класс опасности - 3). С другой стороны, в [6] показано, для различных видов технически обработанного рыбьего жира ЛПВ варьирует от «орг» (органолептический → маслянистые пленки на поверхности воды; класс опасности - 1) до «токс» (токсикологический → прямое воздействие вещества на водные биоресурсы; класс опасности - 4). А согласно [6] на поверхности воды водных объектов рыбохозяйственного значения в зоне антропогенного воздействия не должны наблюдаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и скопления других примесей.

Выводы и Заключение

В ходе спутникового мониторинга пленочных загрязнений восточной части Черного моря обнаружен и идентифицирован новый антропогенный источник пленочных загрязнений морской среды, обусловленный марикультурой. Ими являются рыболовные фермы, которые появились в прибрежной зоне Адлер – Кудепста весной 2022 г. И хотя поступающее в море вещество представляет собой биогенный продукт (рыбий жир, его аналоги или заменители), его дополнительное и даже чрезмерное поступление в морскую среду может привести к негативным последствиям, например, к частичной или полной нежелательной эвтрофикации. По нашим оценкам при ежедневном кормлении в воду только от одной фермы могут поступать от 50 до 700 т жидкого органического вещества ежегодно. С учетом турецких ферм этот показатель для Черного моря возрастает примерно в 60 раз.

Поэтому в связи с дальнейшим развитием морского рыболовства в Черном море и перспективой увеличения количества рыболовных ферм, подобных обнаруженной в акватории Черного моря, необходимы дополнительные натурные/подспутниковые измерения и многолетние дистанционные наблюдения за отдельными акваториями, где уже возделывается или только планируется возделывание марикультуры.

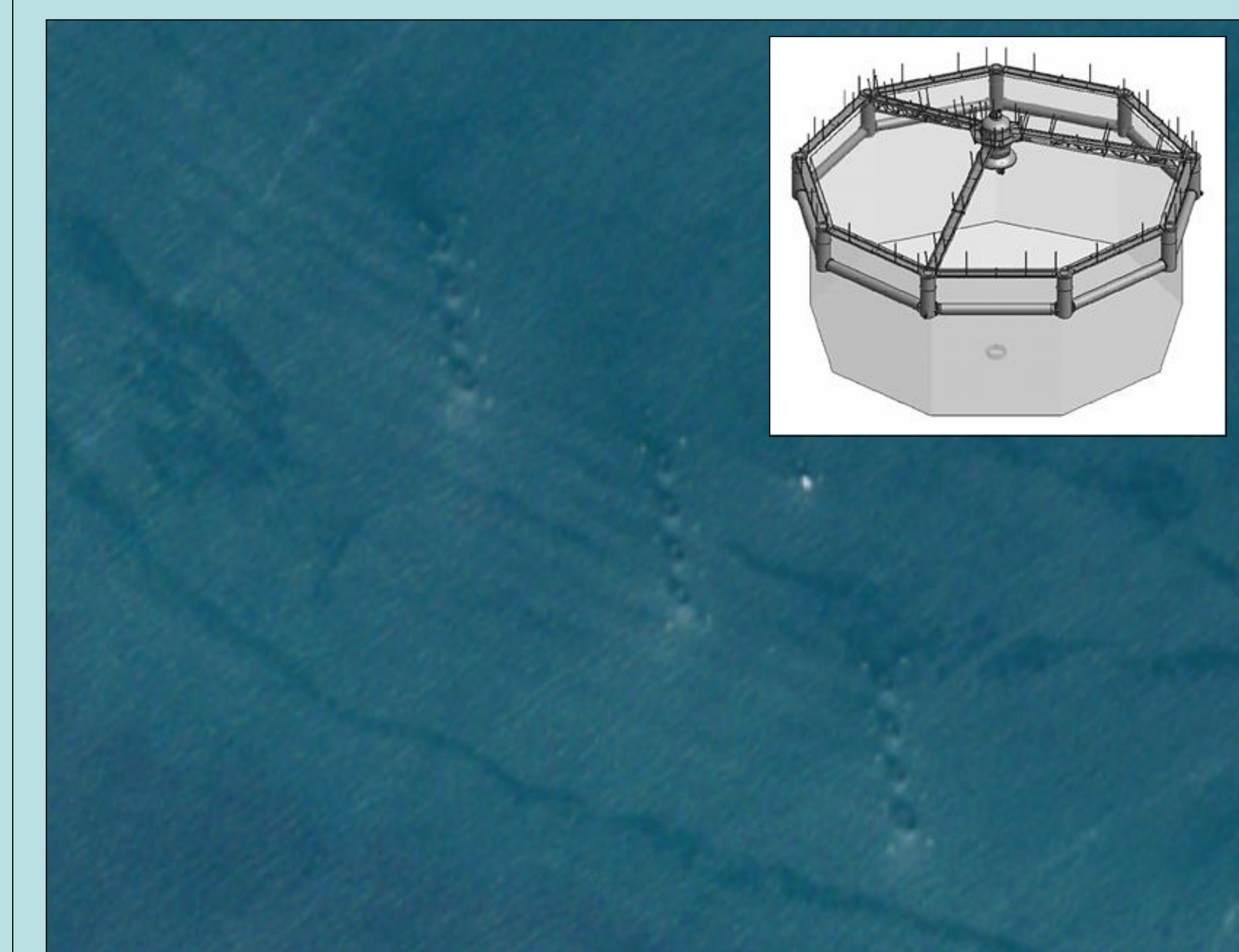


Рис. 3. Группа садков в Черном море (рыбоводный участок Кудепста-Адлер) на оптическом снимке Sentinel-2A от 28.08.2023 (© ESA) и волноустойчивое садковое устройство (компания «Альфеус»)

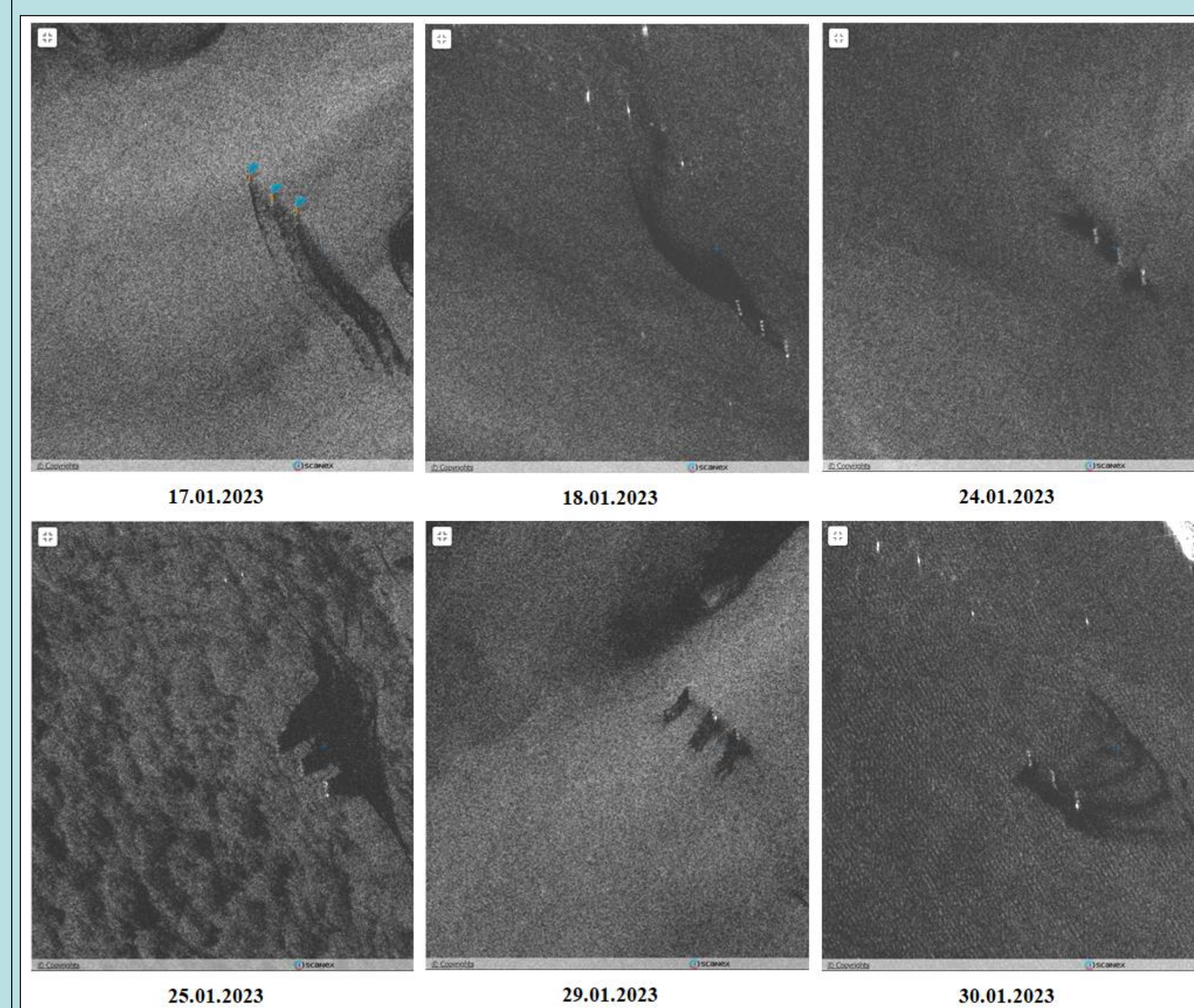


Рис. 4. Биогенные слики, обнаруженные около рыболовных садков (флажки/светлые точки) в Черном море к СЗ от г. Адлер на последовательных РЛИ спутника Sentinel-1A. © ESA



Рис. 1б. Биогенные пленочные загрязнения у рыболовных садков в прибрежных водах Турции на оптических снимках Pleiades от 17.07.2016 и 4.08.2016. © CNES / Airbus / Maxar Technologies

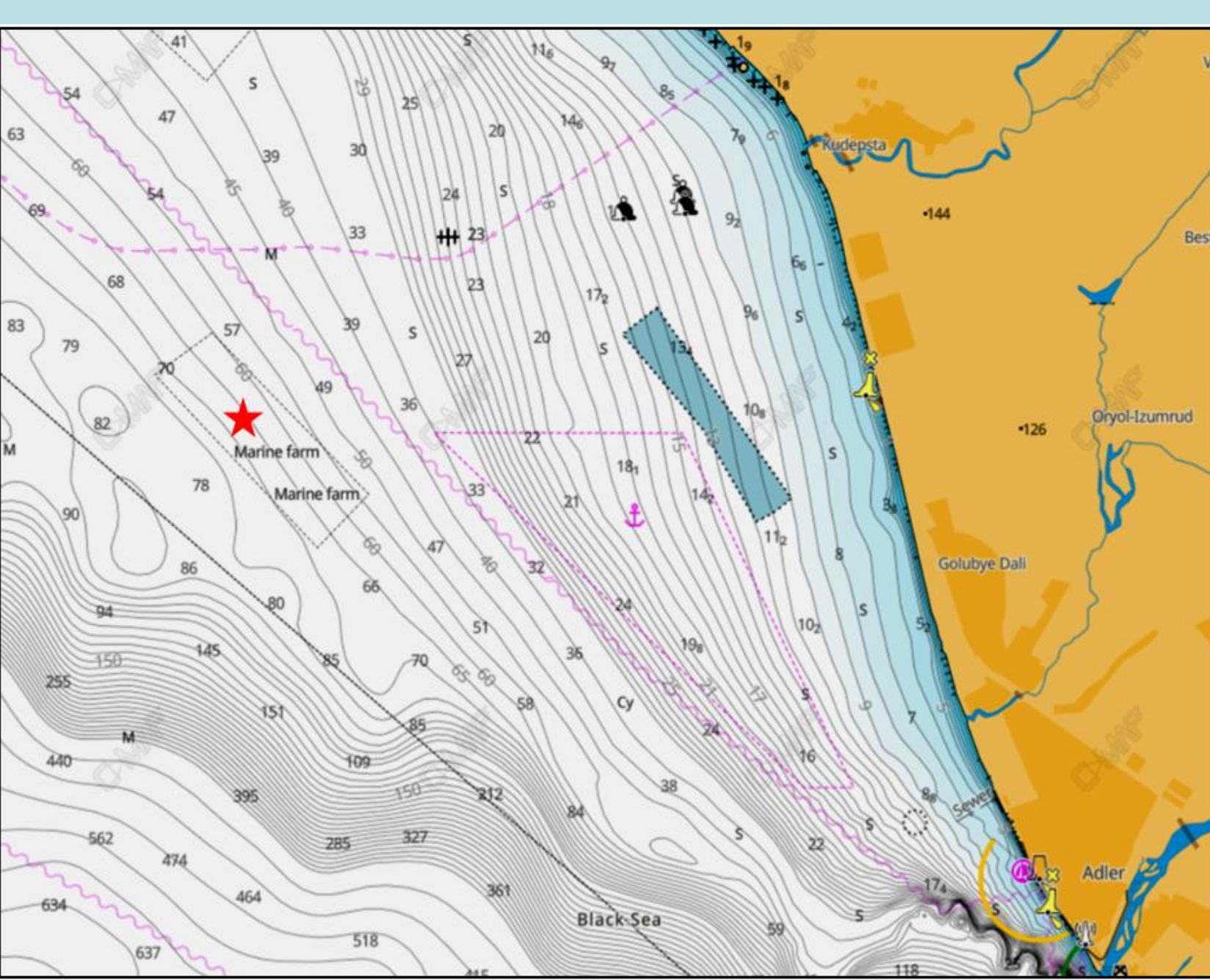


Рис. 2. Положение рыболовного участка (marine farm) с рыболовными садками на навигационной карте С-МАР (координаты центра по данным спутниковой съемки 43°27'43" с.ш. и 39°48'47" в.д.)

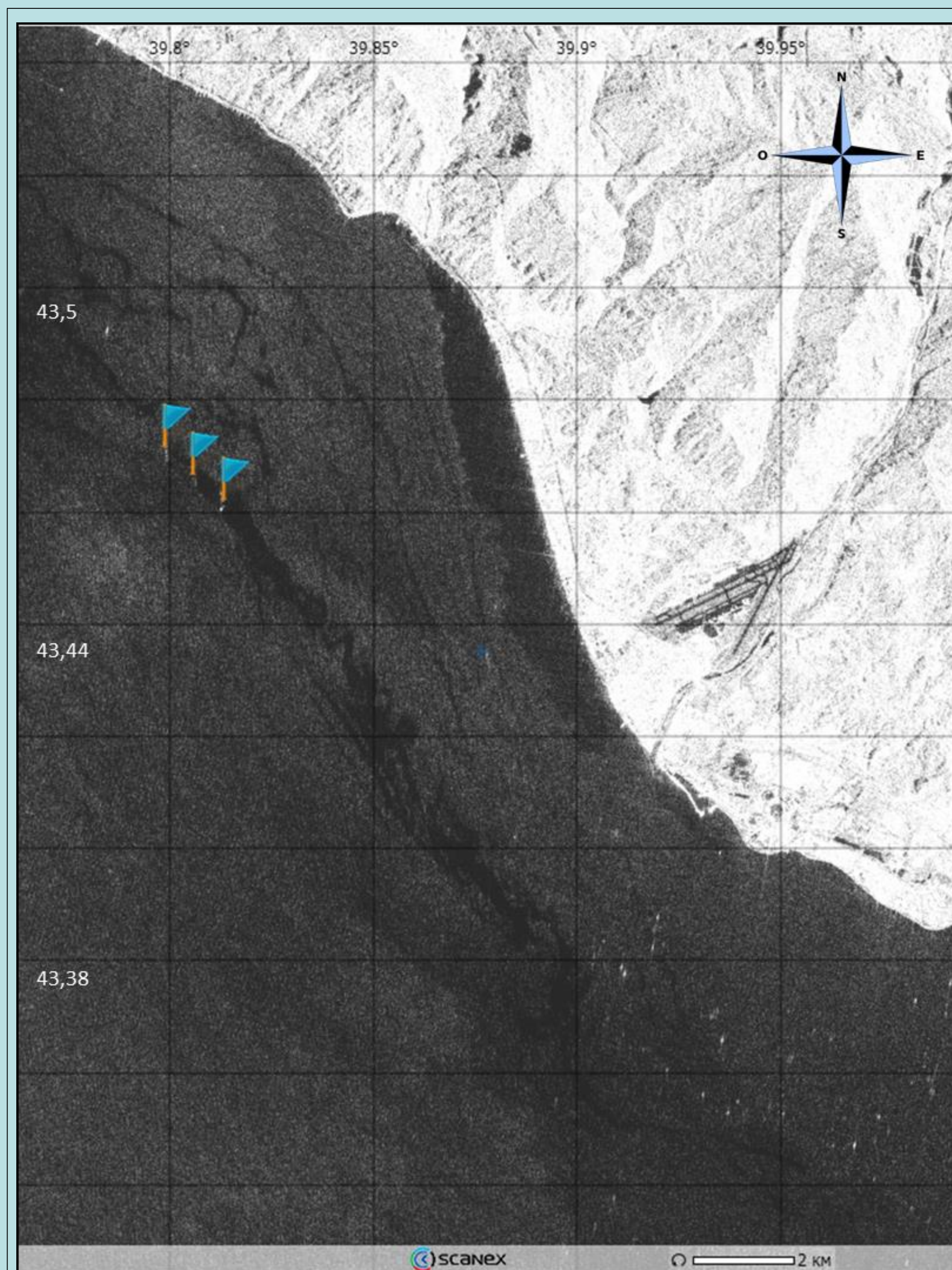


Рис. 5. Пример биогенного слика от объектов марикультуры на РЛИ спутника Sentinel-1A от 30.04.2023 (03:24 UTC). © ESA

Литература

1. Иванов А.Ю. Слики и пленочные образования на космических радиолокационных изображениях // Исследование Земли из космоса. 2007. № 3. С. 73-96.
2. Xiang J.H. Mariculture-related environmental concerns in the People's Republic of China / In: Ecological and Genetic Implications of Aquaculture Activities. Methods and Technologies in Fish Biology and Fisheries. 2007. V. 6. Springer, Dordrecht.
3. Naylor R., Burke M. Aquaculture and ocean resources: raising tigers of the sea // Annual Review of Environmental Resources. 2005. 30. P. 185-218.
4. СКАНЭКС, 2023. Аквакультура в Черном море как источник пленочных загрязнений: что увидели спутники: <https://www.scanex.ru/company/news/akvakultura-v-chernom-more-kak-istochnik-plenochnykh-zagryazneniy-cto-uvide-li-sputniki/>
5. Open Water Oil Identification Job Aid for Aerial Observation. Ver. 3, 2016. U.S. Department of Commerce, NOAA National Ocean Service. Seattle, Washington: https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/OWJA_2016.pdf.
6. Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. М.: Изд-во ВНИРО, 2009. 201 с.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и образования России (тема № FMWE -2021-0001). Права копирайта на данные спутников Sentinel-1A и Sentinel-1B принадлежат Европейскому космическому агентству (ESA). Авторы благодарят руководство ГК «СКАНЭКС» за возможность использования ресурсов геопорталов, созданных на базе веб-ГИС приложения «Геомиксер».