

## **Основные результаты, полученные в 2021 г. в ходе исполнения третьего этапа работ по проекту 19-77-20060 «Оценка изменчивости экологического состояния Каспийского моря в текущем столетии по данным спутникового дистанционного зондирования»**

Задачей проекта является оценка изменения экологического состояния Каспийского моря на протяжении текущего столетия под воздействием природных и антропогенных факторов. Для решения этой задачи требуется детальный анализ больших массивов данных спутникового зондирования Каспийского моря за период с 1999 по 2022 г. совместно с многолетними гидрометеорологическими данными и доступными данными измерений in-situ. Решение поставленной в проекте задачи стало возможным исключительно благодаря созданию в ИКИ РАН информационного сервиса «See the Sea» (ИС STS), который является составной частью ОИ ЦКП «ИКИ-Мониторинг». STS предоставляет исследователям, занимающимся изучением морей и океанов, совершенно новые инструменты для работы с данными дистанционных наблюдений, обеспечивая возможность комплексного анализа данных, различных по своей физической природе, пространственному разрешению, размерности и времени получения.

В 2021 г. решение поставленных в проекте задач проводилось на основе анализа архивных данных за 2014-2018 гг., а также оперативных данных за 2021 г. (далее исследуемый период).

### **В 2021 г. были получены следующие основные результаты.**

#### **I. Систематизированные результаты анализа многолетних рядов спутниковых данных за 2014-2018 гг. и оперативного многосенсорного спутникового мониторинга Каспийского моря (за 2021 г.).**

1. Проанализированы, отобраны и интегрированы в систему STS данные спутников PlanetScore, налажено автоматическое пополнение архивов STS этими данными, получаемыми над прибрежной частью Каспийского моря.
2. Все имеющиеся в STS архивные данные многолетних спутниковых наблюдений за период 2014-2018 гг. проанализированы, систематизированы и аннотированы.
3. Проанализированы, систематизированы и аннотированы данные оперативного многосенсорного мониторинга за 2021 г.
4. Все полученные результаты внесены в ИС STS, которая является составной частью ОИ ЦКП «ИКИ-Мониторинг».

#### **II Проведено картографирование различных типов нефтяных загрязнений поверхности Каспийского моря, выявленных по спутниковым данным за 2014-2018 гг. и за 2021 г.** На более ранних этапах работы по проекту нами были определены районы наиболее интенсивного загрязнения морской поверхности и выявлены источники загрязнения характерные для различных частей Каспийского моря (рис. 1).

В ходе третьего этапа работы по проекту на основе спутниковых данных за 2014-2018 гг. и 2021 г. составлены подробные карты нефтяного загрязнения морской поверхности в этих районах. Карты составлены с помощью картографического интерфейса, интегрированного в систему STS.



Рис. 1. Районы наиболее интенсивного загрязнения и источники загрязнения морской поверхности Каспийского моря, выявленные на основе данных спутникового дистанционного зондирования: 1 – район нефтедобычи Нефтяные Камни; 2 – естественные выходы углеводородов с морского дна в районе мыса Сефид Руд; 3 - естественные выходы углеводородов с морского дна к западу от полуострова Челекен; 4 – кластер грязевых вулканов на морском дне Южно-Каспийской впадины

**Район нефтедобычи «Нефтяные Камни»** в Среднем Каспии в районе Абшеронского и Бакинского архипелагов (цифра 1 на рис. 1). Основным источником загрязнения здесь являются разведка и эксплуатация нефтяных месторождений, а также просачивание из естественных и искусственных грифонов на морском дне.

Для построения карт нефтяного загрязнения было проанализировано 389 РСА-изображений и 171 “безоблачное” изображение сенсоров оптического диапазона за 2014-2018 гг., а также 106 РСА-изображений и 49 “безоблачных” изображений сенсоров оптического диапазона за 2021 г. Всего было идентифицировано 251 и 108 сликв соответственно.

**Часть акватории Каспийского моря у юго-западного побережья в провинции Гилан (Иран) к востоку от мыса Сефид Руд (цифра 2 на рис. 1).**

Использование инструментария и картографического интерфейса сервиса STS позволило на основе спутниковых изображений идентифицировать источники просачивания углеводородов с морского дна в этом районе и уточнить их координаты. На иранском шельфе две близкорасположенные точки выхода нефтеуглеводородов на морском дне с координатами 50°24.4′ в.д., 37°23.4′ с.ш. и 50°28.9′ в.д., 37°20.4′ с.ш. идентифицированы как постоянные точки всплытия нефтяных сликв.

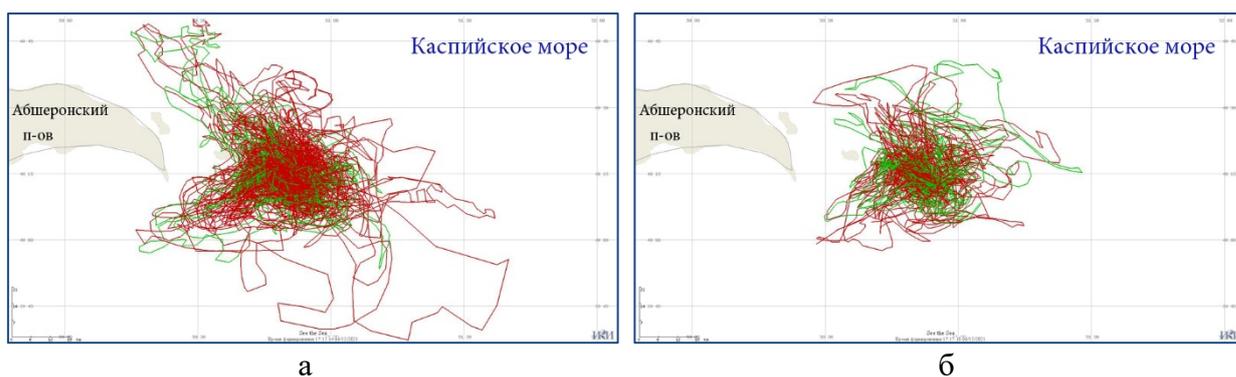


Рис. 2. Сводная карта нефтяных загрязнений поверхности Каспийского моря вблизи района нефтедобычи Нефтяные Камни, обнаруженных в результате анализа спутниковых данных за 2014-2018 гг. (а) и 2021 г. (б)

Для построения карт нефтяного загрязнения в этом районе (Рис. 3) было проанализировано 300 РСА-изображений и 142 “безоблачных” изображения в этом районе (Рис. 3) сенсоров оптического диапазона за 2014-2018 гг., а также 80 РСА-изображений и 43 “безоблачных” изображения сенсоров оптического диапазона за 2021 г. Всего было идентифицировано 294 и 73 слика соответственно.

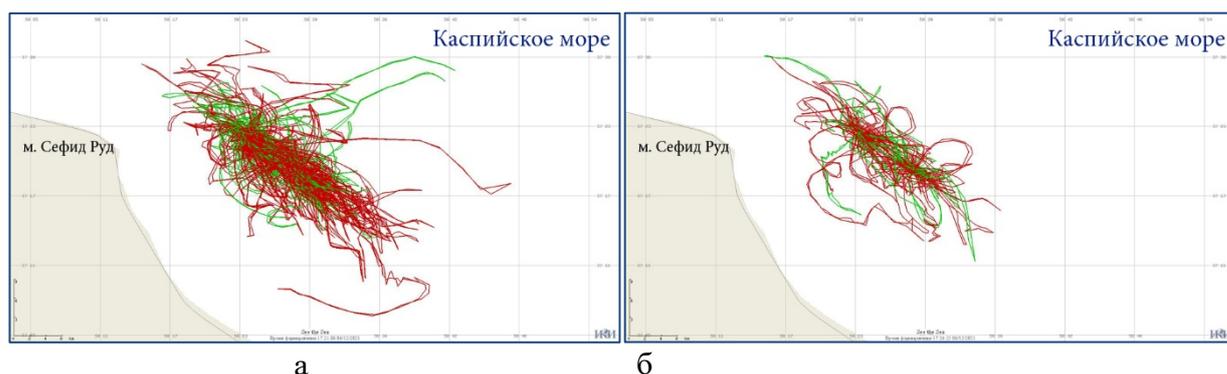


Рис.3. Сводная карта естественных нефтепроявлений на поверхности Каспийского моря выявленных вблизи мыса Сефид Руд по спутниковым данным за 2014-2018 гг. (а) и за 2021 г. (б)

***Часть акватории Каспийского моря к западу от полуострова Челекен, административно принадлежащая Туркменистану (цифра 3 на рис. 1).***

Особо следует подчеркнуть, что естественные выходы углеводородов в районе Челекенского полуострова ранее не были отмечены в научных публикациях и впервые выявлены и описаны нами в ходе исполнения данного проекта. Этот естественный выход углеводородов расположен вблизи участка нефтедобычи, что может подтверждать факт существования связи между наблюдаемыми в данных дистанционного зондирования естественными нефтепроявлениями на морской поверхности и нефтеносными структурами в толще недр на дне моря. Повторяющаяся точка всплытия, определяет местоположение источника углеводородов на морском дне с координатами 52°36.2' в.д., 39°32.9' с.ш., находящегося на глубине 1000 м.

Для построения карт нефтяного загрязнения в этом районе (Рис. 4) было проанализировано 248 РСА-изображений и 184 “безоблачное” изображение сенсоров оптического диапазона за 2014-2018 гг., а также 78 РСА-изображений и 45 “безоблачных”

изображений сенсоров оптического диапазона за 2021 г. Всего было идентифицировано 134 и 80 снимков соответственно.

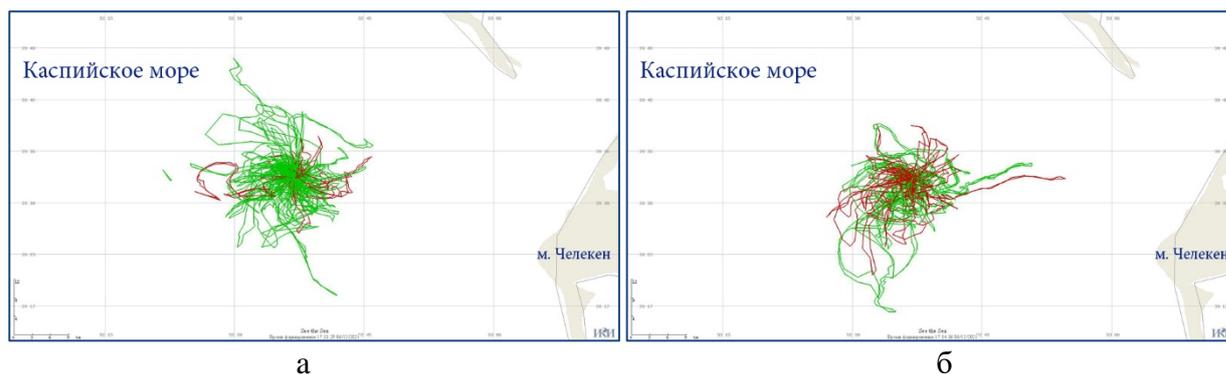


Рис. 4. Сводная карта естественных нефтепроявлений на поверхности Каспийского моря выявленных вблизи полуострова Челекен по спутниковым данным за 2014-2018 гг. (а) и за 2021 г. (б)

Кроме того, по спутниковым данным, полученным в районе Южно-Каспийской впадины, выявлены и нанесены на карту многочисленные поверхностные нефтепроявления, обусловленные грязевым вулканизмом на морском дне.

Проведен мониторинг акватории Каспийского моря за период 2014 – 2018 и 2021 гг. с целью выявления нефтяных загрязнений, связанных со сбросами с судов вод, содержащих нефтепродукты. Мониторинг проводился на основе данных радиолокаторов спутников Sentinel – 1А, -1В. С использованием информационной системы STS было проанализировано более 7200 спутниковых изображений и выявлено около 266 проявлений на морской поверхности судовых сбросов. В тематическую базу данных STS были добавлены лишь те случаи, которые однозначно можно было интерпретировать как судовые сбросы. В 2014-2018 г. - 206 случаев, в 2021 г. – 60 случаев судовых сбросов.

Были локализованы основные участки судовых сбросов, основная часть которых располагается вдоль судовых трасс в районах: на границе Южного и Среднего Каспия, между Апшеронским полуостровом, морской платформой «Нефтяные камни» и международным морским портом Туркменистана г. Туркменбаши; в Северном Каспии в районе нефтяных платформ российской компании «Лукойл». Подробные карты всех случаев судовых сбросов, выявленных на РЛИ, представлены рис. 5.

### **III. Определены характеристики межгодовой, сезонной и пространственной изменчивости нефтяного загрязнения морской поверхности в 2014-2018 гг. и в 2021 г.**

Рассчитаны распределения площадей индивидуальных нефтяных загрязнений морской поверхности в различных тестовых районах (Рис. 6). Следует отметить, что представленные оценки базируются исключительно на спутниковых данных и могут в большую или меньшую сторону отличаться от измерений, проведённых *in situ*.

В районе нефтедобычи Нефтяные Камни большинство обнаруженных на спутниковых снимках нефтяных пятен имеют площадь менее 400 кв. км, однако, в некоторых случаях их площадь может достигать или же превышать 1000 км<sup>2</sup>. (Рис. 6а.)

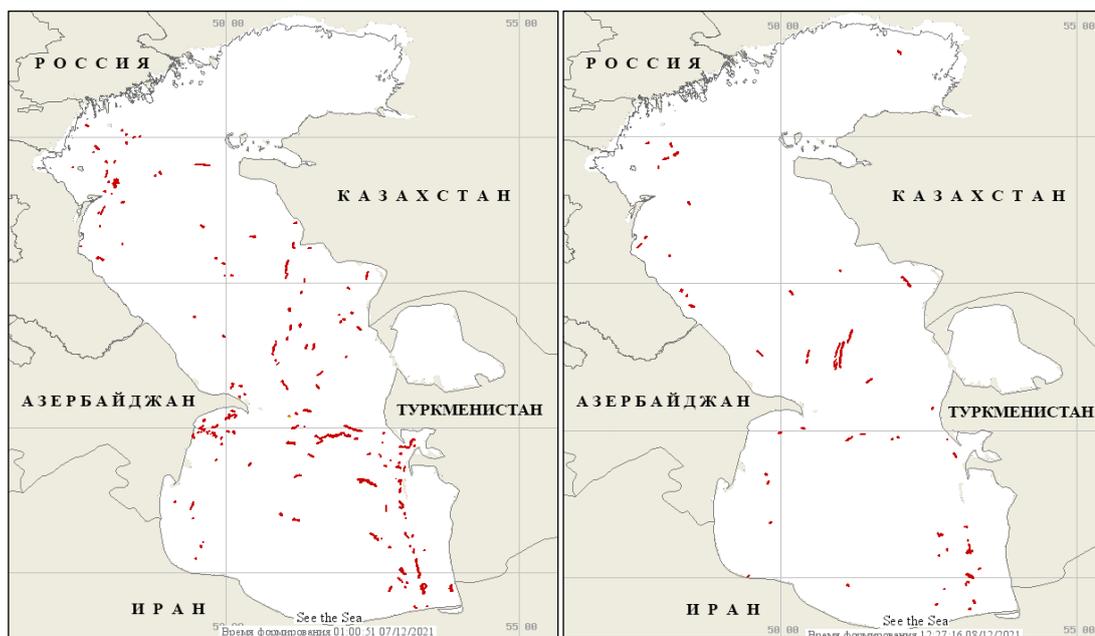
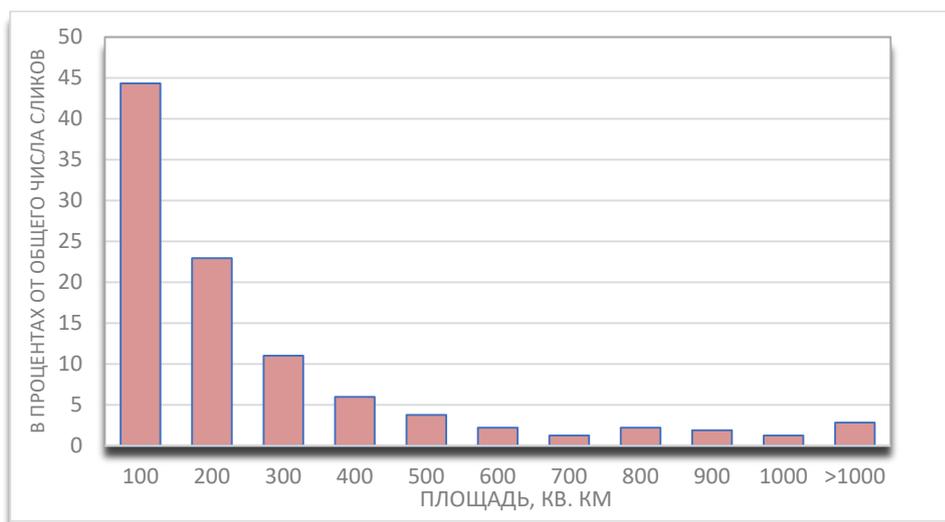
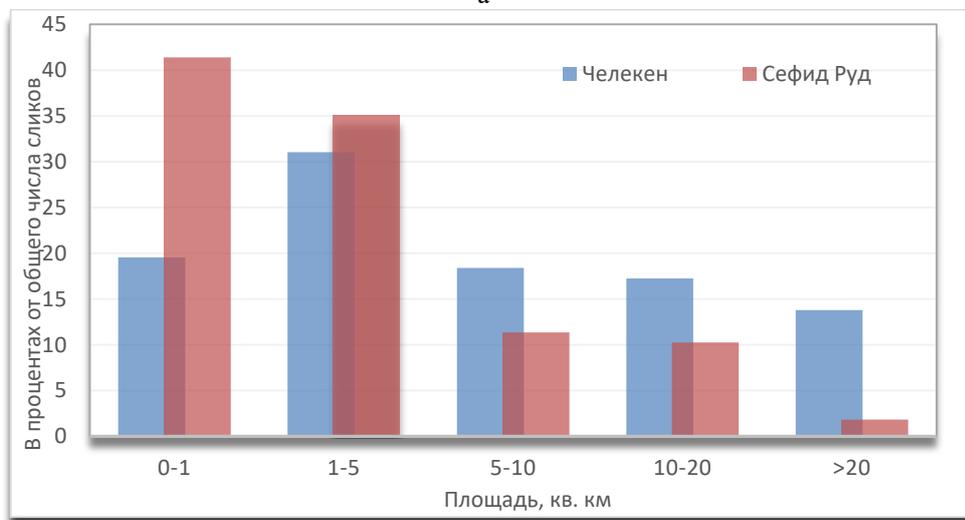


Рис. 5. Карты судовых сбросов, построенные в системе STS за 2014 – 2018 гг. (слева) и 2021 г. (справа)



а



б

Рис. 6. Распределение индивидуальных площадей нефтяных загрязнений поверхности Каспийского моря: а) в районе нефтедобычи Нефтяные Камни; б) в районе мыса Сефид Руд и в районе полуострова Челекен

Индивидуальные размеры естественных нефтепроявлений, обусловленных выходами сырой нефти с морского дна, выявленных в разные годы на спутниковых изображениях, менялись в пределах от 0,01 до 45 км<sup>2</sup> для района мыса Сефид Руд (Рис. 6б) и от 0,01 до 83 км<sup>2</sup> для района п-ва Челекен (Рис. 6б).

Мы можем констатировать, что объемы поступления сырой нефти с морского дна на поверхность в туркменских водах районе п-ва Челекен выше, чем на иранском шельфе вблизи мыса Сефид Руд. В 40% случаев площади снимков, обнаруживаемых вблизи мыса Сефид Руд, не превышают 1 км<sup>2</sup>, площади еще 35 % снимков варьируются в пределах 1 – 5 кв. км. В то же время в районе п-ва Челекен площади более, чем половины естественных нефтепроявлений на поверхности моря превышают 5 квадратных километров, а более чем в 25% случаев площади обнаруженных пятен превышают 10 км<sup>2</sup>.

**Определена межгодовая изменчивость площади акватории, потенциально подверженной загрязнению нефтяными плёнками в различных районах (рис. 7).**

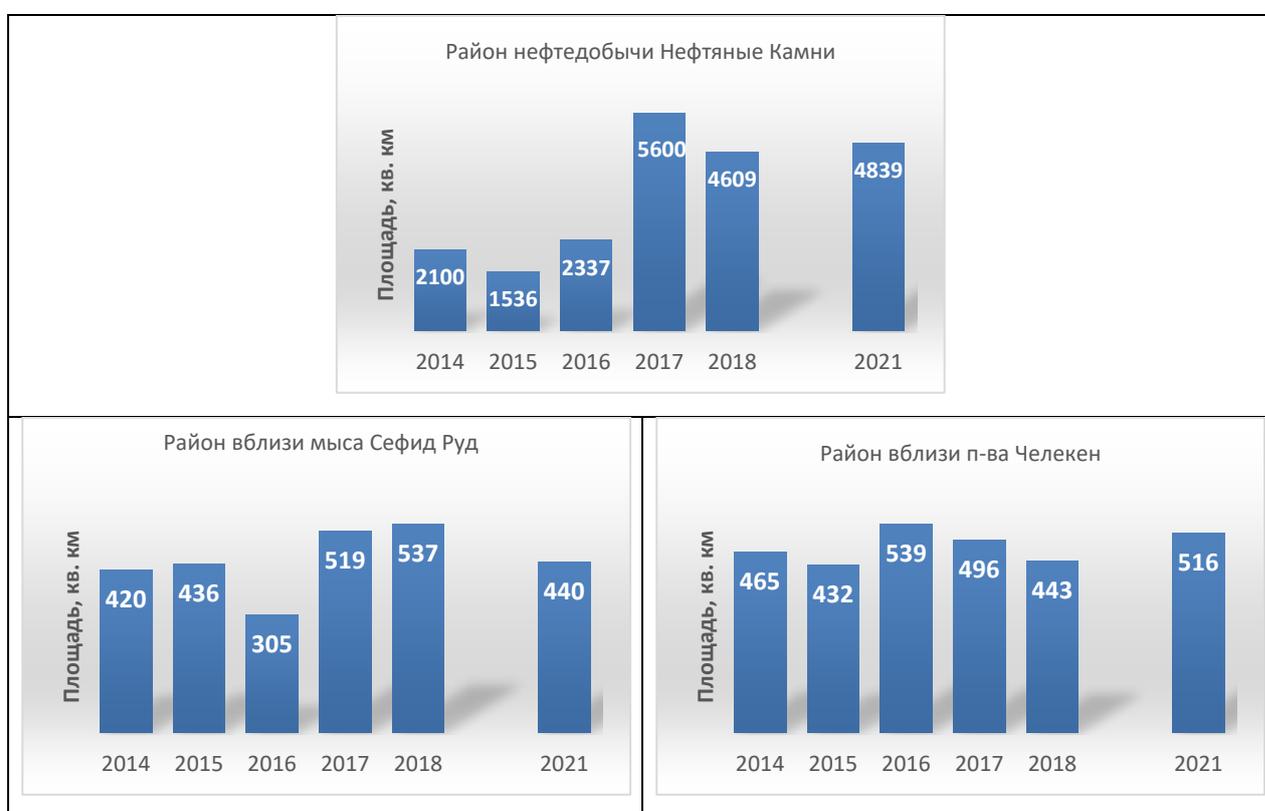


Рис 7. Межгодовая изменчивость площади морской поверхности вблизи источника загрязнения, потенциально подверженной загрязнению нефтяными пленками, для различных районов Каспийского моря

Слики естественных нефтепроявлений после выхода на поверхность под влиянием ветра и течений, как правило, формируют тонкие изогнутые полосы и могут распространяться на большие расстояния – вплоть до 35 км в районе м. Сефид Руд, до 50 км в районе п-ва Челекен и до 75 км в районе нефтедобычи Нефтяные Камни. Это существенно увеличивает площадь акватории, потенциально подверженной нефтяному загрязнению, несмотря на относительно небольшую площадь каждого отдельного снимка. Площадь акватории, потенциально подверженной загрязнению плёнками естественных нефтепроявлений, определенная по спутниковым данным, варьируется в пределах 2100-5600 кв. км в районе нефтедобычи Нефтяные Камни, в пределах 420-537 кв. км. на иранском

шельфе вблизи мыса Сефид Руд и в пределах 432-539 кв. км на туркменском шельфе вблизи полуострова Челекен.

**Установлен факт сезонной изменчивости количества естественных нефтяных проявлений на поверхности моря выявляемых на спутниковых изображениях.** Особенно ярко выражена эта изменчивость для данных, полученных в видимом диапазоне. На рис. 8 представлены гистограммы сезонной изменчивости количества естественных нефтепроявлений, выявленных по спутниковым данным вблизи точек выхода сырой нефти с морского дна в трех районах устойчивого нефтяного загрязнения, построенные по данным за 2014-2018 и 2021 гг.

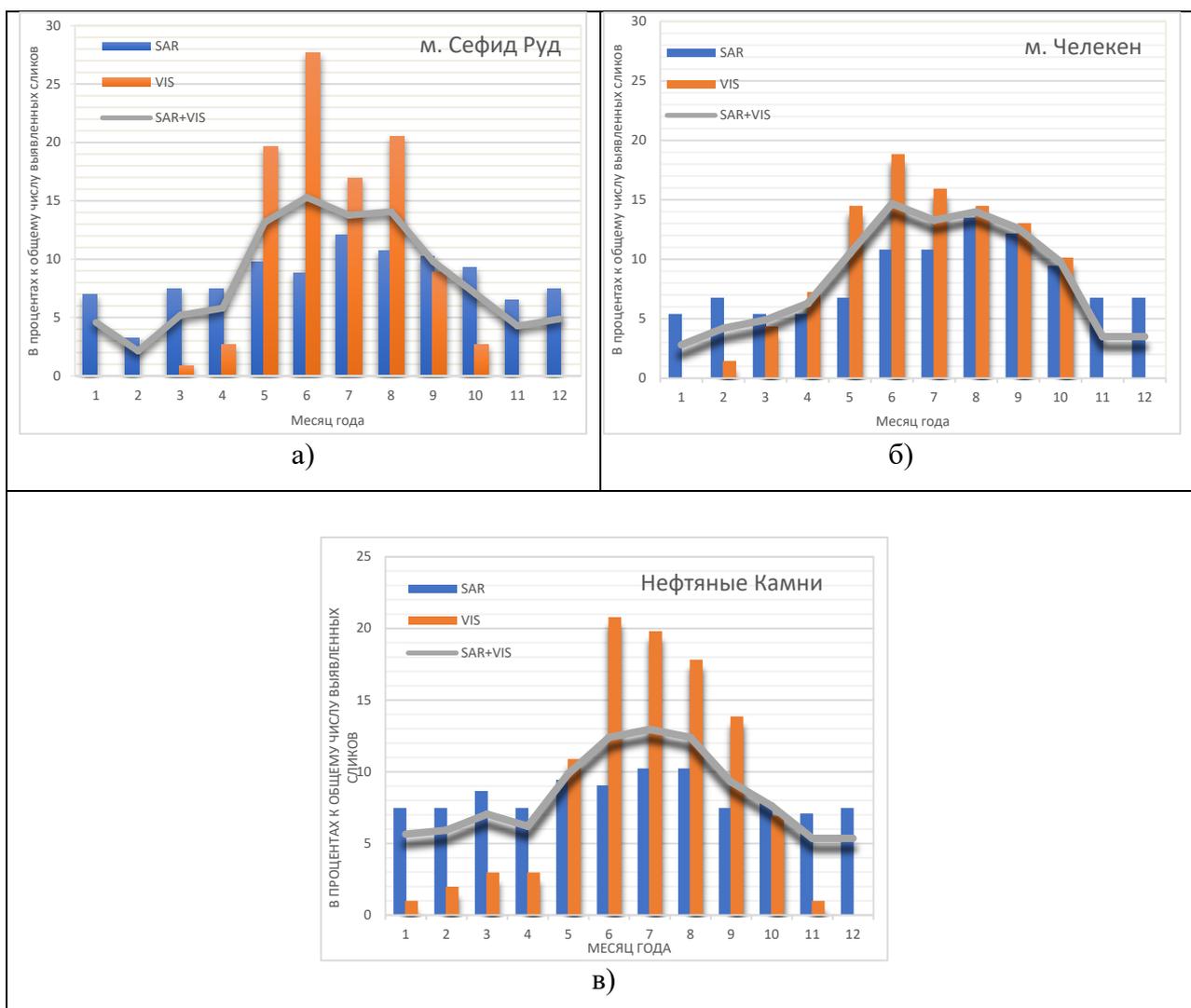


Рис. 8. Сезонная изменчивость количества нефтепроявлений на морской поверхности в районе а) м. Сефид Руд; б) п-ва Челекен; в) Нефтяные Камни

Подавляющее большинство природных пятен были идентифицированы на изображениях видимого диапазона в теплое время года – в районе мыса Сефид Руд около 85 процентов всех нефтепроявлений выявлено в период с мая по август, а в районе нефтедобычи Нефтяные Камни около 87 процентов всех нефтепроявлений выявлено с мая по октябрь. Аналогичные результаты мы получили для района полуострова Челекен. Однако здесь сезонное распределение более плавное. Сезонная изменчивость в частоте обнаружения естественных нефтяных проявлений на изображениях РСА также существует, но

существенно менее выражена и определяется в основном гидрометеорологическими условиями на момент съемки.

#### **IV. Получены интегральные оценки нефтяных загрязнений поверхности Каспийского моря в 2014-2018 гг. и в 2021 г.**

Получены интегральные оценки нефтяного загрязнения морской поверхности, выявленного по спутниковым данным в районах интенсивного загрязнения в 2014 – 2018 гг. и в 2021 г. Ежегодная суммарная площадь нефтяного загрязнения морской поверхности, обусловленного просачиванием углеводородов с морского дна, рассчитанная по спутниковым данным для трех районов устойчивого загрязнения (район нефтедобычи Нефтяные Камни, иранский шельф вблизи мыса Сефид Руд и туркменский шельф вблизи полуострова Челекен), варьирует в пределах от 2404 кв. км до 6615 кв. км (Рис. 9) В 2017 г. наблюдался всплеск суммарной площади и частоты проявления в спутниковых данных нефтяного загрязнения в Среднем Каспии (район нефтедобычи Нефтяные Камни), за которым последовало некоторое уменьшение суммарной площади загрязнения, выявленной по спутниковым данным.



Рис 9. Межгодовая изменчивость площади совокупной площади морской поверхности подверженной загрязнению нефтяными пленками суммарно по трем районам устойчивого загрязнения

#### **V. Оценка относительного вклада каждого типа загрязнений в интегральное нефтяное загрязнение поверхности Каспийского моря в 2014-2018 гг. и в 2021 г.**

Результаты, полученные нами в ходе третьего этапа исполнения проекта свидетельствуют о том, что основной вклад в интегральное нефтяное загрязнение поверхности Каспийского моря вносит непрерывное загрязнение морской поверхности нефтью в районе Нефтяных Камней – 63%, а также грязевулканическая активность на морском дне в районе Южно-Каспийской впадины – 20%. Естественные нефтепроявления углеводородов с морского дна вносят меньший вклад в общую картину загрязнения – в совокупности 17%. На рисунке 10 представлены распределение площадей потенциально подверженных загрязнению в различных тестовых районах. Площади усреднены по данным полученным за 2014-2018 гг. и 2021г.

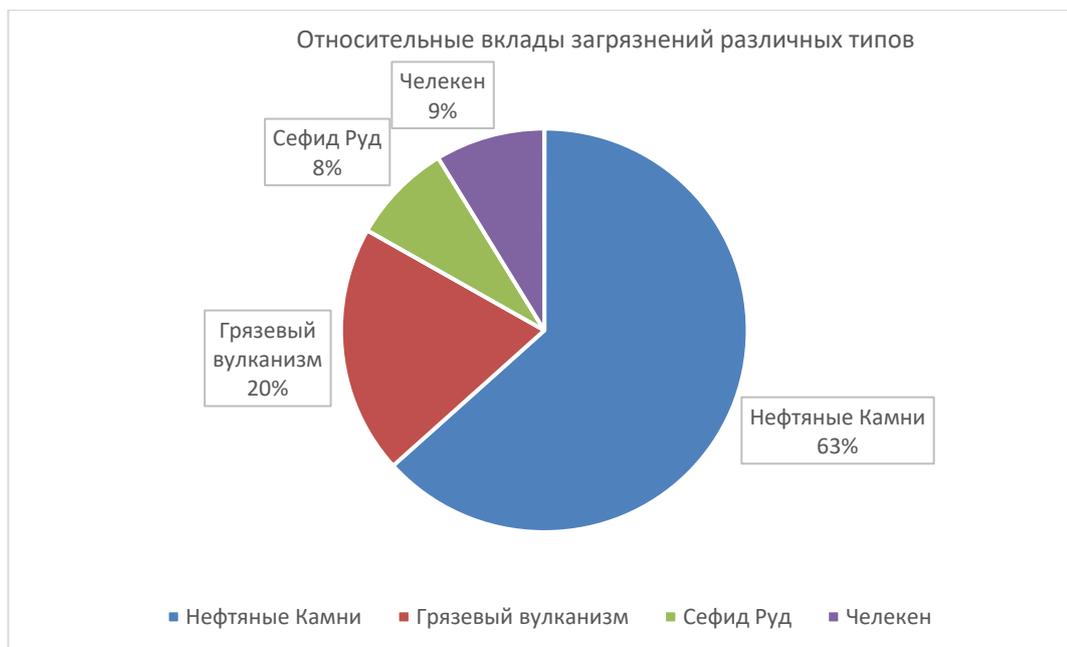


Рис. 10. Относительные вклады различных типов загрязнений, выявленных по спутниковым данным, в интегральное нефтяное загрязнение поверхности Каспийского моря

Несанкционированные сбросы нефтесодержащих пленок с судов не являются основным источником плёночных загрязнений морской поверхности, но они также вносят вклад в интегральное нефтяное загрязнение поверхности Каспийского моря и также должны учитываться для оценки экологического состояния всей акватории.

С учетом доступных радиолокационных данных была исследована межгодовая изменчивость нефтяных загрязнений, обусловленная судовыми сбросами вод, содержащих нефтепродукты. Анализ пространственного распределения судовых сбросов за период 2014 – 2018 гг. и 2021 г. выявил следующее:

- Северный Каспий – 32 случая;
- Средний Каспий – 77 случаев;
- Южный Каспий – 157 случаев.

В 2018 и 2021 гг. наблюдались повышенные значения случаев судовых сбросов на маршрутах между Средним и Южным Каспием вдоль восточного берега, что существенно отразилось на общем количестве загрязнений в этой акватории.

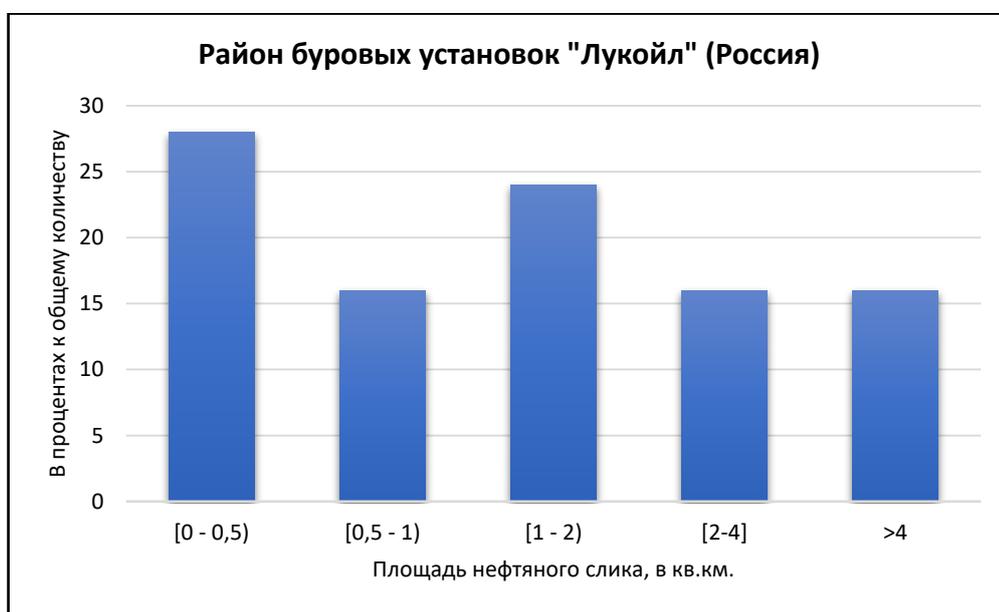
На рис. 11а представлена сезонная изменчивость проявлений на РЛИ судовых сбросов за период 2015 – 2018 гг. Большая часть судовых сбросов была зафиксирована в летние и осенние сезоны.

Для количественной оценки нефтяных загрязнений были проанализированы площади пленок среди всех интерпретированных случаев судовых сбросов. Для каждого района с наиболее интенсивным загрязнением была подсчитана пространственная изменчивость нефтяных пленок.

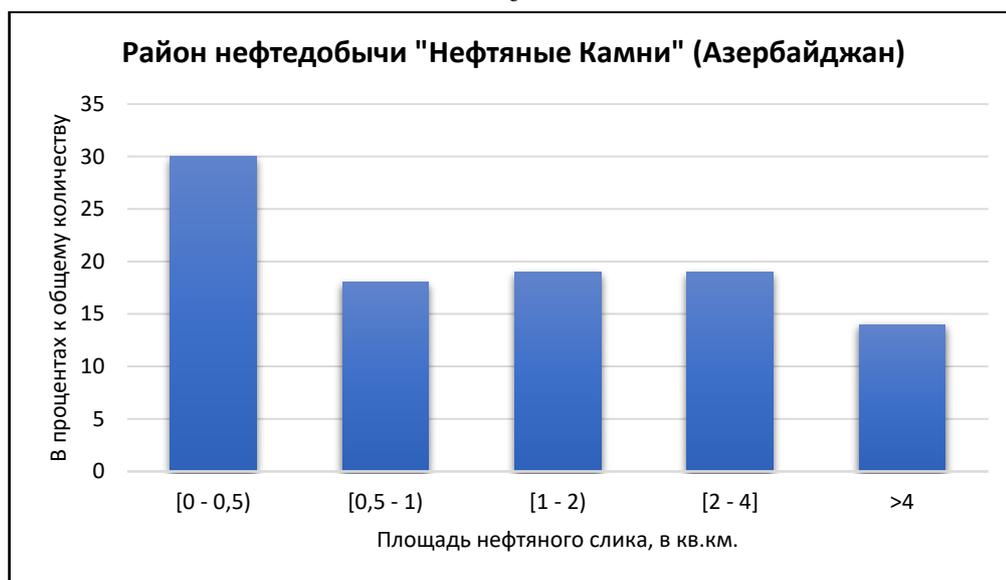
За период 2014 – 2018 гг. на территории *Северного Каспия* обнаружено 28% мелкомасштабных судовых сбросов площадью не более 0,5 км<sup>2</sup>, в то время как на средний диапазон загрязнений площадью от 1 до 2 км<sup>2</sup> приходится 25% судовых сбросов (рис. 11б).



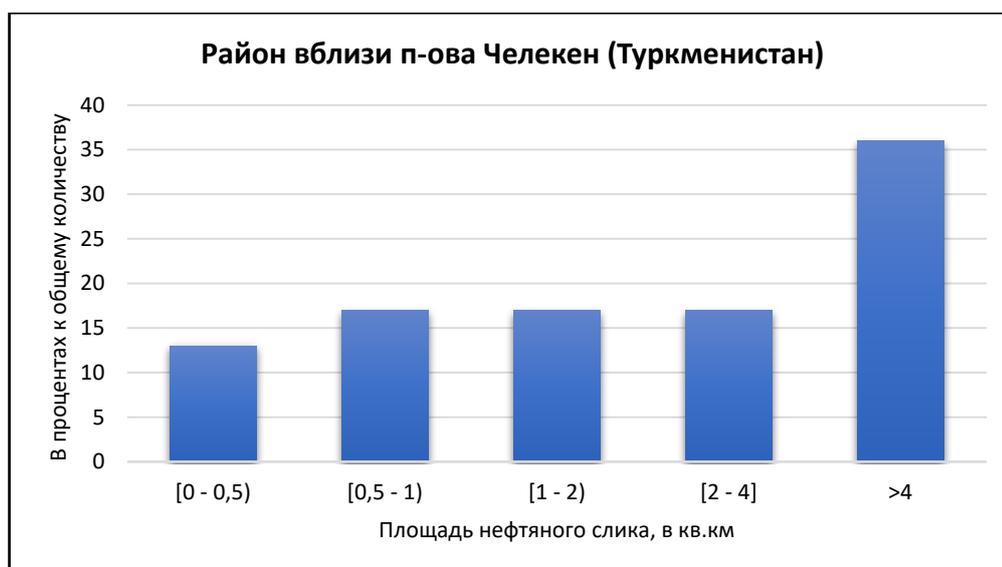
Рис. 11а. Гистограмма сезонной изменчивости судовых сбросов за период 2015 – 2018 гг.



б



в



Г

Рис. 11 (б-г). Гистограммы распределения площадей нефтяных загрязнений, обусловленных судовыми сбросами нефтепродуктов, за период 2014 – 2018 гг.

В районе *нефтедобычи Нефтяные Камни* большая часть судовых сбросов, 30%, приходится на мелкомасштабные случаи загрязнений с площадью менее 0,5 км<sup>2</sup>. При этом на пленки площадью от 1 до 2 км<sup>2</sup> и от 2 до 4 км<sup>2</sup> приходится по 19%.

Совершенно иначе развивалась ситуация вокруг *п-ова Челекен*. На территории Туркменистана вокруг располагающихся буровых платформ отмечено 36% случаев судовых сбросов площадью более 4 км<sup>2</sup>. Стоит отметить, что большая часть этих сбросов локализуется судовой трассы вдоль границы между Южным и Средним Каспием.

В 2021 году большая часть загрязнений (52%) имела площадь от 1 до 4 км<sup>2</sup>. Площадь судовых сбросов более 4 км<sup>2</sup> составляла 32% (Рис. 11д). Помимо многочисленных сбросов у юго-восточного берега Каспия, на границе Среднего Каспия также были зафиксированы существенные загрязнения морской поверхности нефтяными пленками.

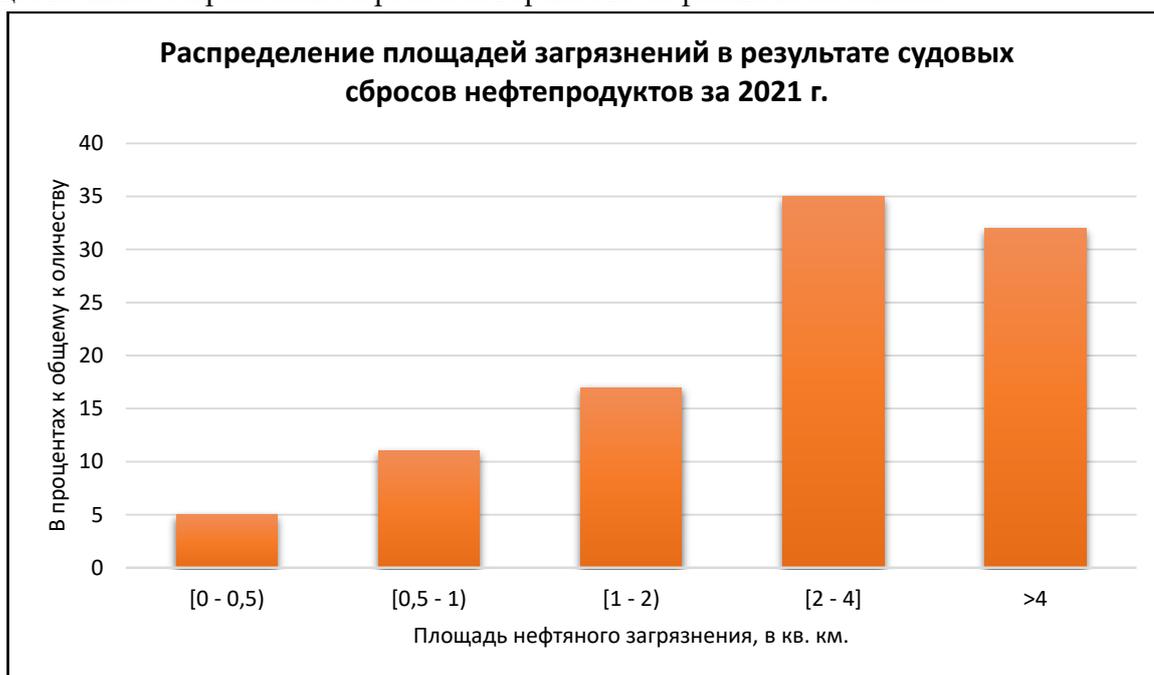


Рис. 11д. Гистограммы распределения площадей нефтяных загрязнений, обусловленных судовыми сбросами нефтепродуктов 2021 г.

## VI. Характеристики частоты и интенсивности проявлений грязевого вулканизма и естественного просачивания углеводородов с морского дна на поверхность моря в 2014-2018 гг. и в 2021 г.

На спутниковых данных, полученных в районе Южно-Каспийской впадины, регулярно выявляются многочисленные поверхностные нефтепроявления, обусловленные грязевым вулканизмом

На одном спутниковом изображении идентифицируется от нескольких единиц до нескольких десятков нефтесодержащих сликов, порожденных грязево-вулканическими процессами на морском дне. Площади отдельных нефтепроявлений изменяются в широком диапазоне величин – от десятых долей до первых единиц десятков квадратных километров. Соответственно и суммарные площади нефтепроявлений на морской поверхности, обусловленных грязевулканической активностью, идентифицируемых на одном спутниковом изображении, могут изменяться от нескольких десятков до полутора – двух сотен кв. км.

Интегральная площадь загрязнения морской поверхности нефтесодержащими пленками в результате подводного грязевого вулканизма в юго-западной части Каспийского моря за год превышает тысячу кв. км.

Несмотря на то, что поверхностные проявления грязевого вулканизма в Каспийском море наблюдаются регулярно, зафиксировать момент самого извержения удается крайне редко, а тем более из космоса. Такое извержение в виде взрыва произошло вечером 4 июля 2021 г. у восточного побережья Азербайджана на необитаемом о. Дашлы. Оно было заснято с судов, а также отразилось в данных радиометров SLSTR Sentinel-3A, -3B. Выброс грязевого вулкана был зафиксирован в 17:50 GMT в виде взрыва и огненного столба, а в 18:08 GMT этот же выброс был зарегистрирован спутником Sentinel-3B. По данным радиометра SLSTR на месте выброса грязевого вулкана наблюдалась тепловая аномалия (зона повышенной температуры), разнос выброса в виде белого пятна был также зарегистрирован в 18:48 GMT прибором SLSTR спутника Sentinel-3A и в 19:15 GMT прибором MODIS спутника Terra (рис. 12).

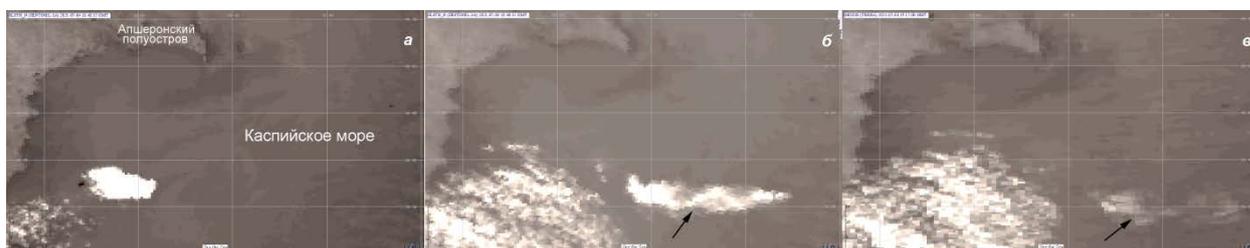


Рис. 12. Проявление выброса грязевого вулкана на о. Дашлы 4 июля 2021 г. в данных: а — SLSTR Sentinel-3B (18:08 GMT), чёрная точка — тепловая аномалия, связанная с взрывом; б — SLSTR Sentinel-3A (18:48 GMT); в — MODIS Terra (19:15 GMT). Стрелки указывают на разнос выброса

В районе о. Дашлы периодически наблюдаются пленки естественных выходов нефтеуглеводородов, как у многочисленных морских платформ, так и непосредственно тянущиеся от самого острова. Утром 04 июля, накануне взрыва, на изображении MSI Sentinel-2A особенно отчетливо проявилась сликовая полоса, связанная с наличием выброса нефтеуглеводородов, что, по всей видимости, свидетельствовало об

интенсификации грязевого вулканизма (рис. 13). Как показали спутниковые радиолокационные изображения, полученные до и после извержения грязевого вулкана, площадь о. Дашлы после взрыва увеличилась в 2,4 раза с 0,0904 кв.км до 0,22 кв. км после взрыва (рис. 14).

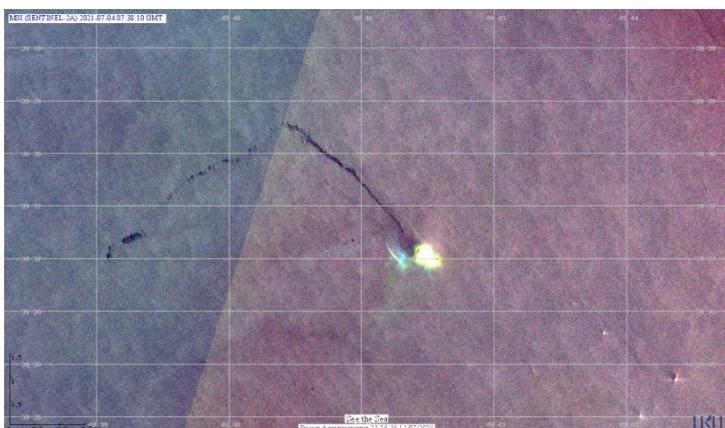


Рис. 13. Проявление плёнок естественных выходов нефтеуглеводородов на изображении MSI Sentinel-2A от 4 июля 2021 г. 07:38 GMT накануне взрыва

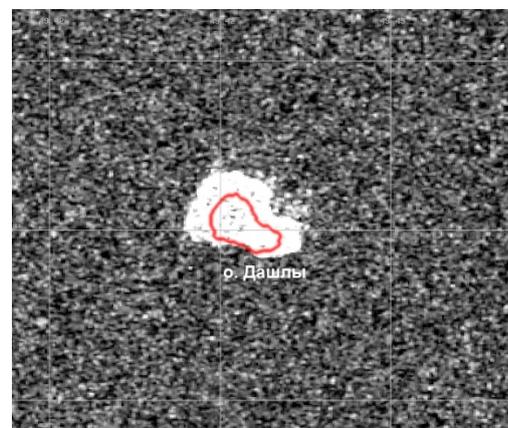


Рис. 14. Увеличение площади о. Дашлы в 2,4 раза после взрыва. РЛИ SAR-C Sentinel-1A, полученное на перекрёстной поляризации 8 июля 2021 г. (после взрыва). Красная линия отмечает контуры острова, определённые по РЛИ от 14 июня 2021 г. (до взрыва)

**Результаты по разделу «нефтяные загрязнения Каспийского моря» представлены в следующих публикациях:**

*Mityagina M. and Lavrova O.* Oil Slicks from Natural Hydrocarbon Seeps in the Caspian Sea as Viewed Via Satellite Remote Sensing // 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, 2021, pp. 7382-7385, doi: 10.1109/IGARSS47720.2021.9554173. (Web of Sciences, Scopus, РИНЦ)

*Mityagina Marina I., Lavrova Olga Yu.* Usage of SAR and VIS data for monitoring of the surface oil pollution in the off-shore oil-producing area of the Caspian Sea // Proc. SPIE 11857, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2021, 118570N (12 September 2021); doi: 10.1117/12.2599689 (Web of Sciences, Scopus, РИНЦ)

*Лаврова О.Ю., Уваров И.А., Крашенинникова Ю.С.* Спутниковые наблюдения извержения грязевого вулкана на о. Дашлы в Каспийском море 4 июля 2021 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. No 3. С. 332–336. (Scopus, РИНЦ)

*Князев Н.А.* Особенности выявления нефтяных судовых загрязнений в Каспийском море по данным спутниковой радиолокации // Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 15–19 нояб. 2021. ИКИ РАН, 2021. С. 237. DOI 10.21046/19DZZconf-2021a. (РИНЦ)

## **VII. Карты районов регулярного и (возможно) аномального цветения фитопланктона в 2014-2018 гг. и 2021 г.**

На основе анализа многолетних рядов спутниковых данных оптического диапазона, как высокого, так и среднего разрешения, полученных над акваториями Южного и Среднего Каспия за 2014-2018, 2021 гг. построены карты регулярного цветения фитопланктона в Каспийском море в исследуемый период. Эти карты представляют собой набор полигонов, которые строились с использованием инструментария, интегрированного в STS. Данные карты дополнены районами, где по данным MODIS, наблюдались повышенные значения концентрации хлорофилла-а. В Северном Каспии практически все время после схода ледяного покрова наблюдается интенсивное цветение, поэтому подобные карты для Северного Каспия нет смысла делать.

## **VIII. Характеристики межгодовой, сезонной и пространственной изменчивости цветения фитопланктона в 2014-2018 гг. и в 2021 г.**

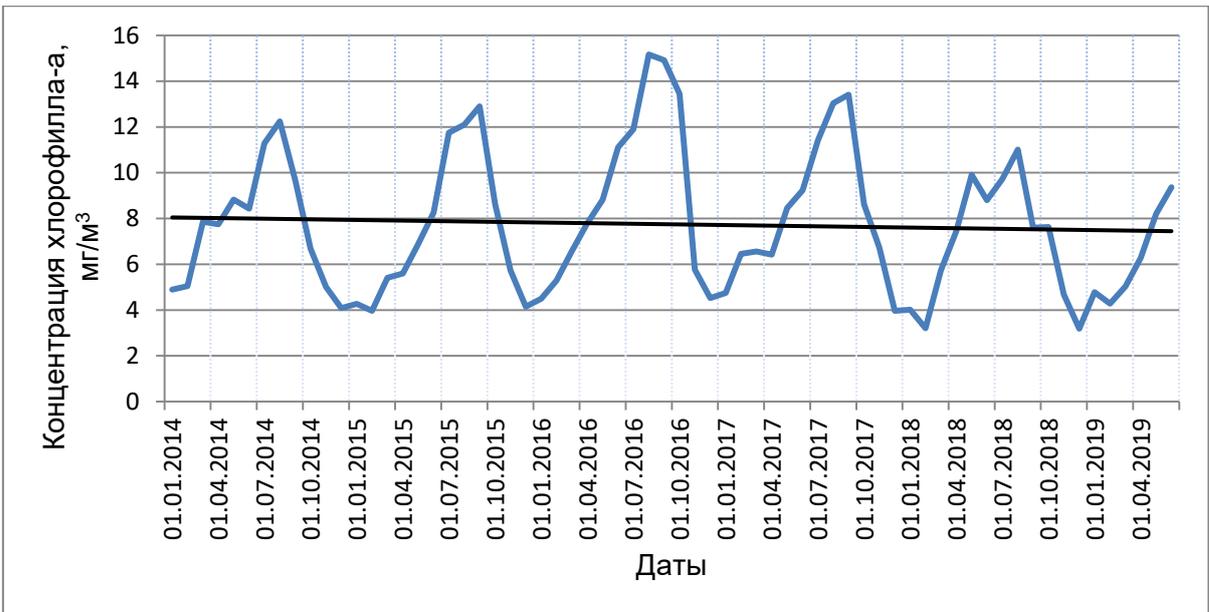
На основе анализа многолетних рядов данных, проведенного с помощью системы Giovanni, были получены следующие результаты для каждого района Каспийского моря:

### *Северный Каспий*

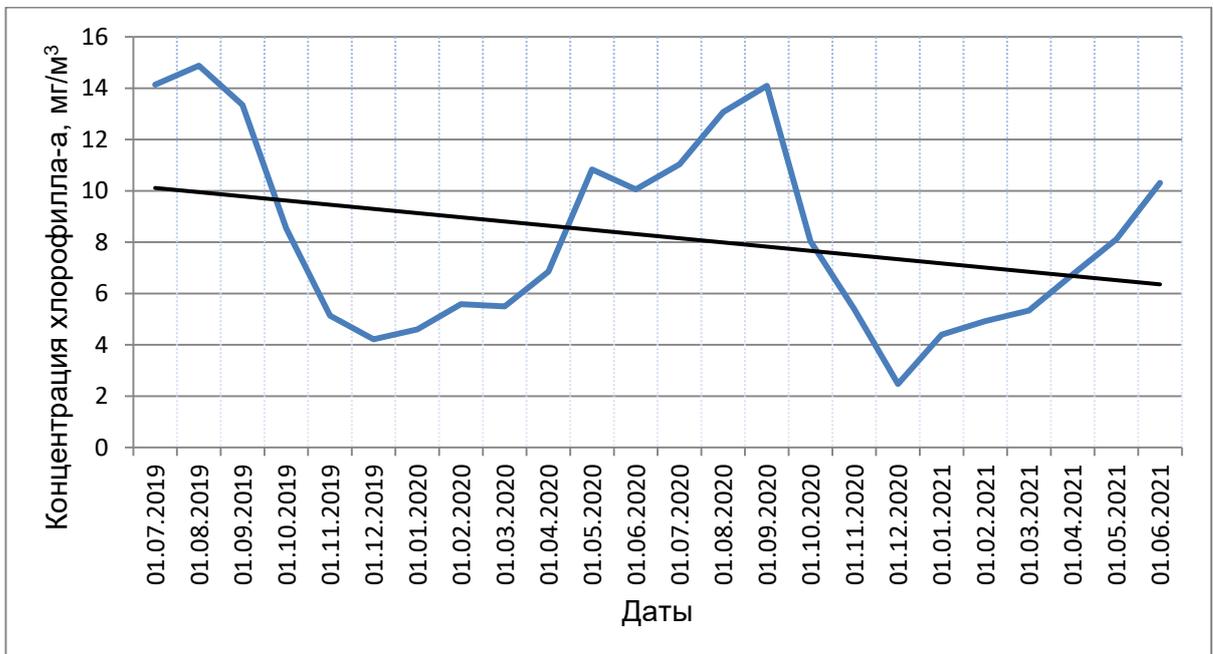
Среднемесячные максимальные значения концентрации хлорофилла-а достигаются в августе - сентябре и составляют в эти месяцы в среднем  $14 \text{ мг/м}^3$ . Минимальные значения в летний период приходятся на 2018 г., максимум составил только  $11 \text{ мг/м}^3$ . Наблюдается отрицательный тренд в значениях концентрации хлорофилла-а, который увеличился за период 2019-первая половина 2021 г. (рис. 15).

### *Средний Каспий*

До 2019 г. максимальные среднемесячные значения концентрации хлорофилла-а приходились, как и в Северном Каспии на август-сентябрь. Максимальное среднемесячное значение наблюдалось в августе 2017 г., оно составило  $8,2 \text{ мг/м}^3$ . Начиная с 2019 г. максимальные среднемесячные значения стали приходиться на январь-февраль месяц. В феврале 2019 г. среднемесячное значение составило  $9,5 \text{ мг/м}^3$ . Если в 2014-2018 гг. наблюдался небольшой положительный тренд, то с 2019 по июнь 2021 г. – тренд становится отрицательным (рис. 16). Требуется в дальнейшем проанализировать данные за более длительный период.

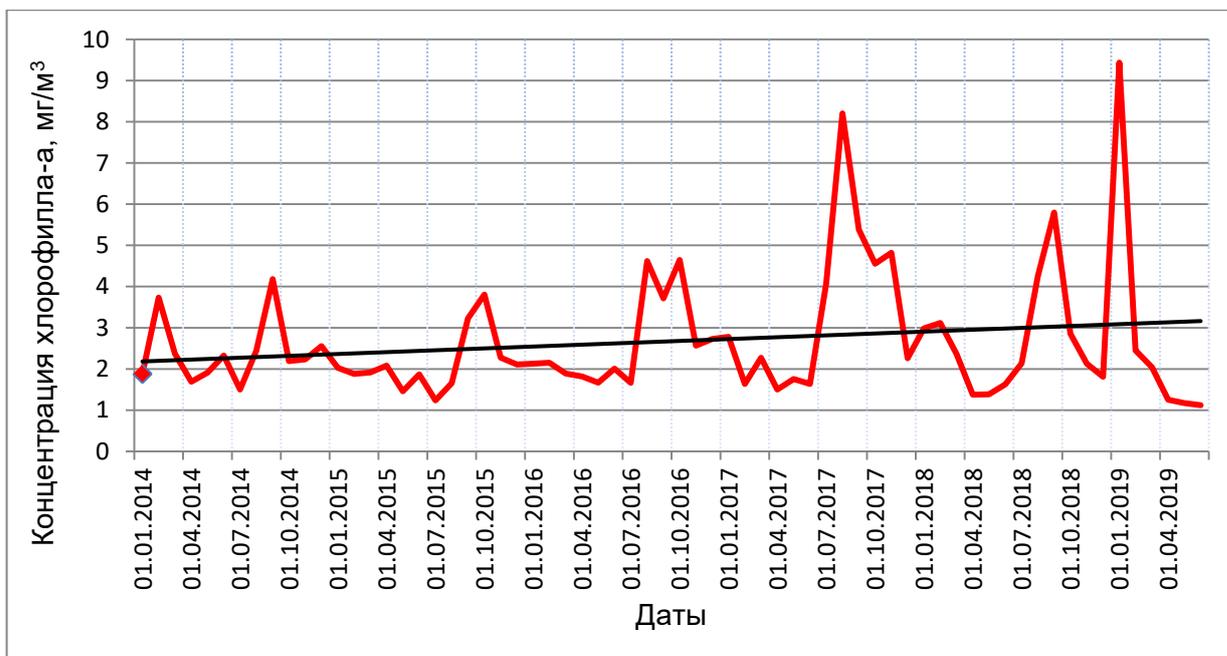


*a*

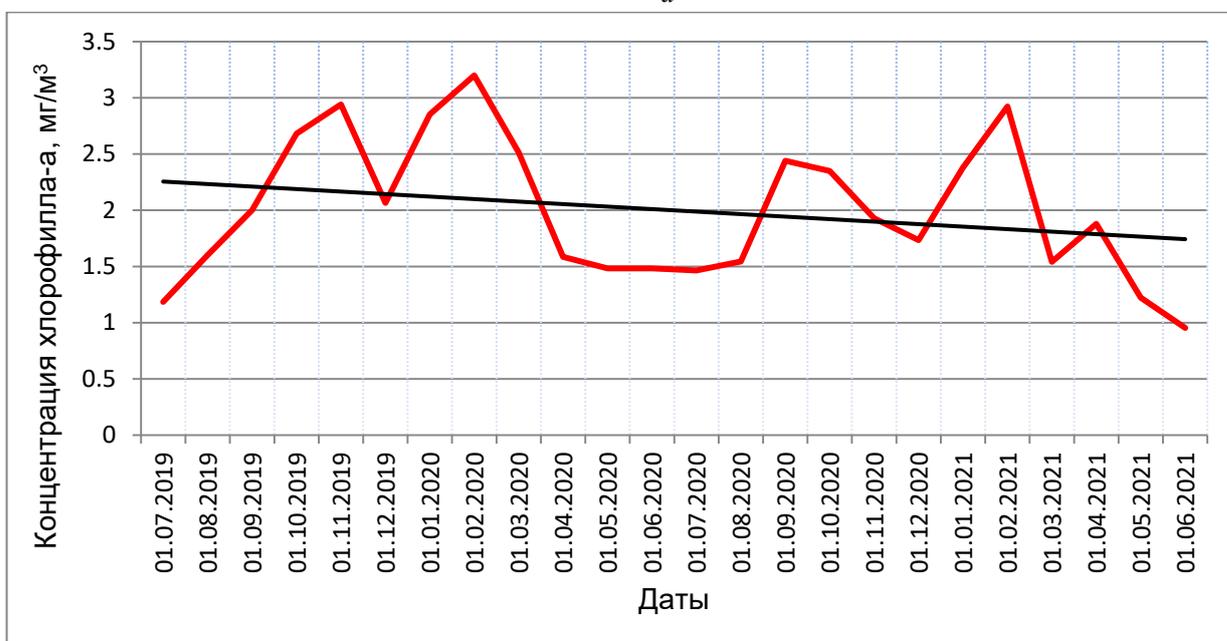


*b*

Рис. 15. Среднемесячные значения концентрации хлорофилла-а по данным MODIS (разрешение 4 км) в Северном Каспии: *a* – январь 2014 – май 2019 г.; *b* – июнь 2019 – июнь 2021 г. Черная линия – линия тренда



*a*

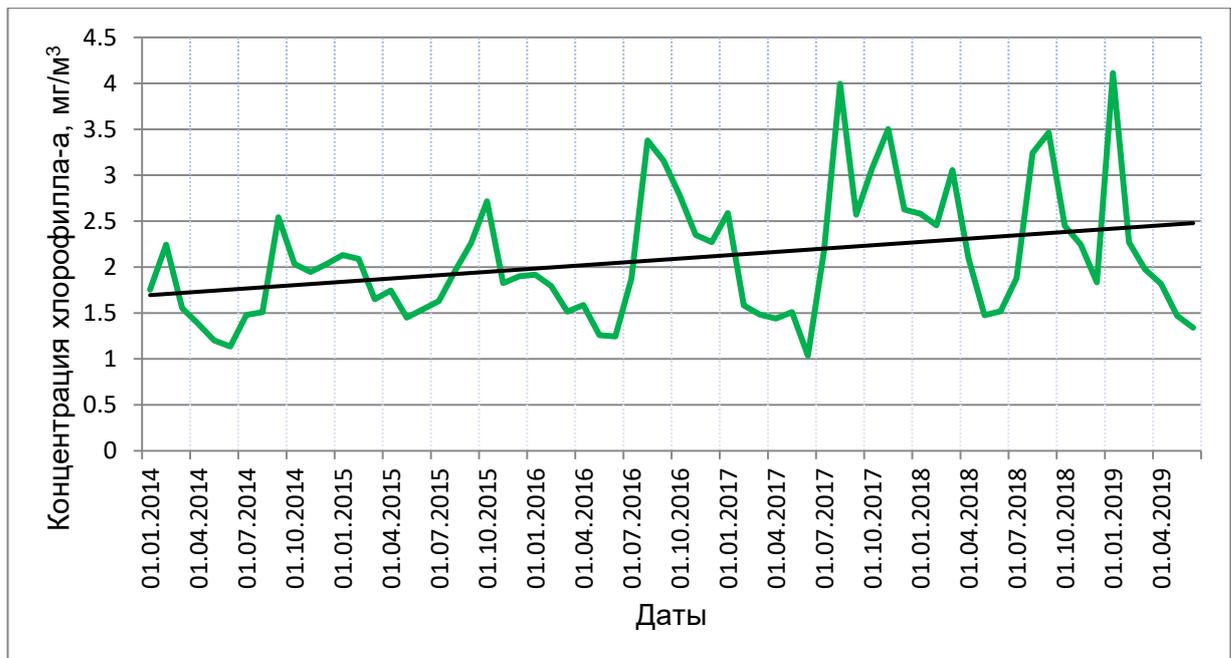


*б*

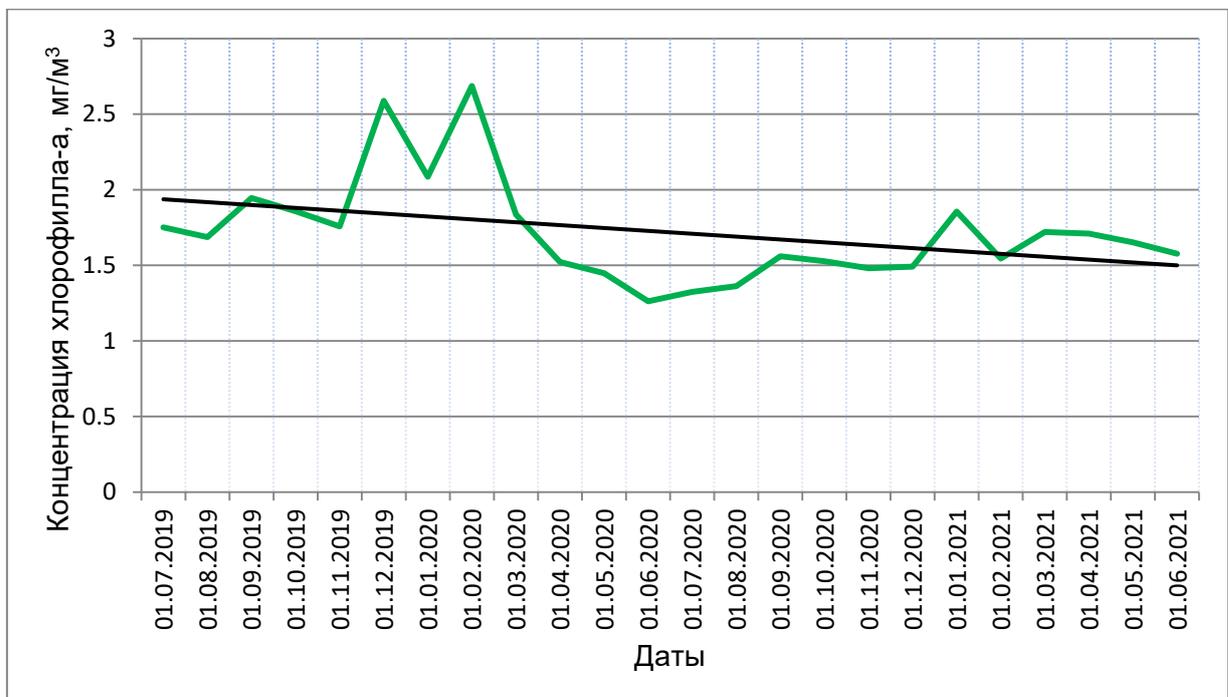
Рис. 16. Среднемесячные значения концентрации хлорофилла-а по данным MODIS (разрешение 4 км) в Среднем Каспии: *a* – январь 2014 – май 2019 г.; *б* – июнь 2019 – июнь 2021 г. Черная линия – линия тренда

### *Южный Каспий*

В Южном Каспии наблюдается картина, аналогичная Среднему Каспию. Отличие состоит в средних значениях концентрации хлорофилла-а. Максимальные среднемесячные значения не превосходят  $4,5 \text{ мг/м}^3$ , в 2019-2021 гг. наблюдается отрицательный тренд (рис. 17).



*a*



*б*

Рис. 17. Среднемесячные значения концентрации хлорофилла-а по данным MODIS (разрешение 4 км) в Южном Каспии: а – январь 2014 – май 2019 г.; б – июнь 2019 – июнь 2021 г. Черная линия – линия тренда

Естественно, приведенные значения оценивались по всей акватории каждого района, в прибрежных зонах значения были существенно выше. И в Среднем и в Южном Каспии они могли достигать  $20 \text{ мг/м}^3$ . Не считая Северный Каспий, наибольшие значения концентрации хлорофилла-а наблюдались в районе Апшеронского полуострова.

### **IX. Характеристики межгодовой изменчивости и трендов основных гидрометеорологических параметров Каспийского моря за 2014-2021 гг.**

На основе анализа многолетних рядов данных, проведенного с помощью системы Giovanni, были получены следующие результаты.

### *Температура воздуха*

Сезонная и межгодовая изменчивость среднемесячной температуры воздуха вблизи поверхности (ТВП) свидетельствует, что с конца 1990-х изменился характер максимальных летних и минимальных зимних среднемесячных значений температуры. Максимальные летние ТВ стали в среднем выше, нередко превышая  $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , с экстремумом выше  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  в 2018 г., а минимальные зимние часто превышали  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Однако в 2000-е годы наблюдались и очень низкие среднемесячные значения ТВП (ниже  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  в зимы 2007/2008 и 2011/2012 гг.), чего не отмечалось в 1980-е и 1990-е годы. Особенно суровой была зима 2011/2012 г., когда аномально холодная погода наблюдалась в январе и феврале.

Распределение трендов ТВП над Каспийским морем показано на рис. 18. Наибольшие значения тренда ( $+0,040\text{--}0,045\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) – над западной частью Среднего Каспия, наименьшие (меньше  $+0,010\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) – над северо-восточной частью Северного Каспия.

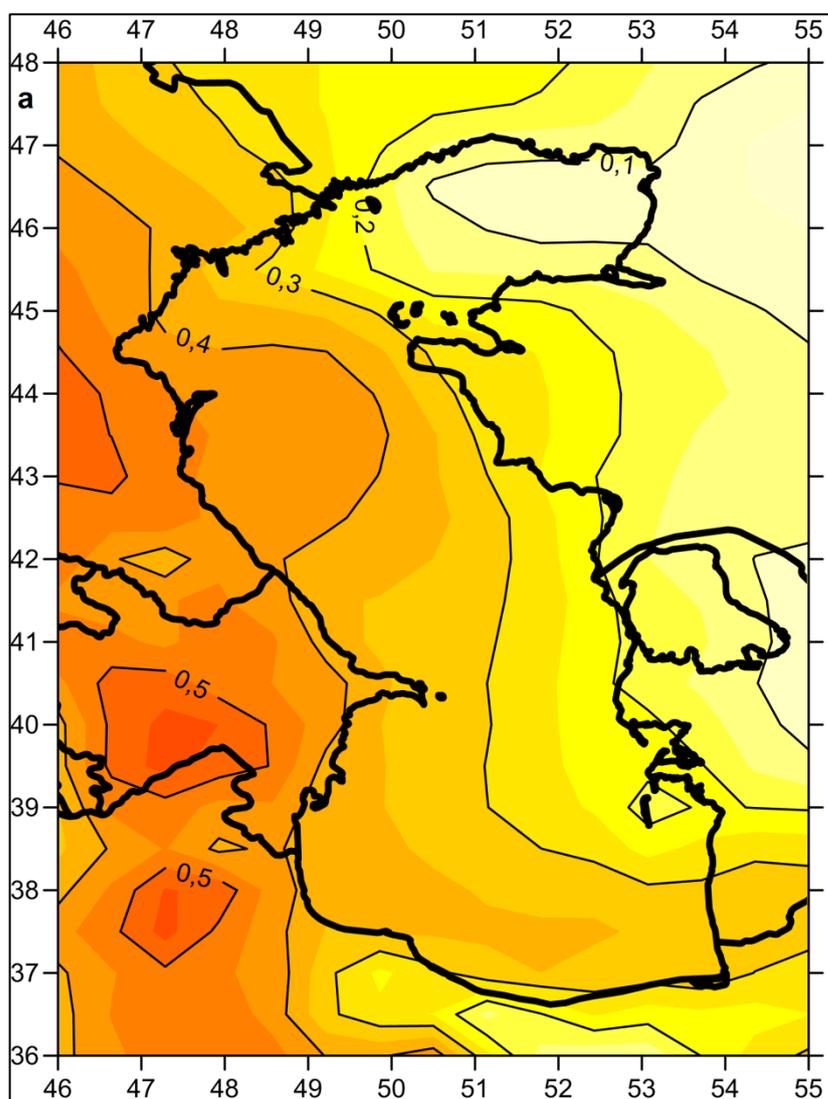


Рис. 18. Распределение линейных трендов ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет) температуры воздуха у поверхности в Каспийском регионе в период 1980–2020 гг.

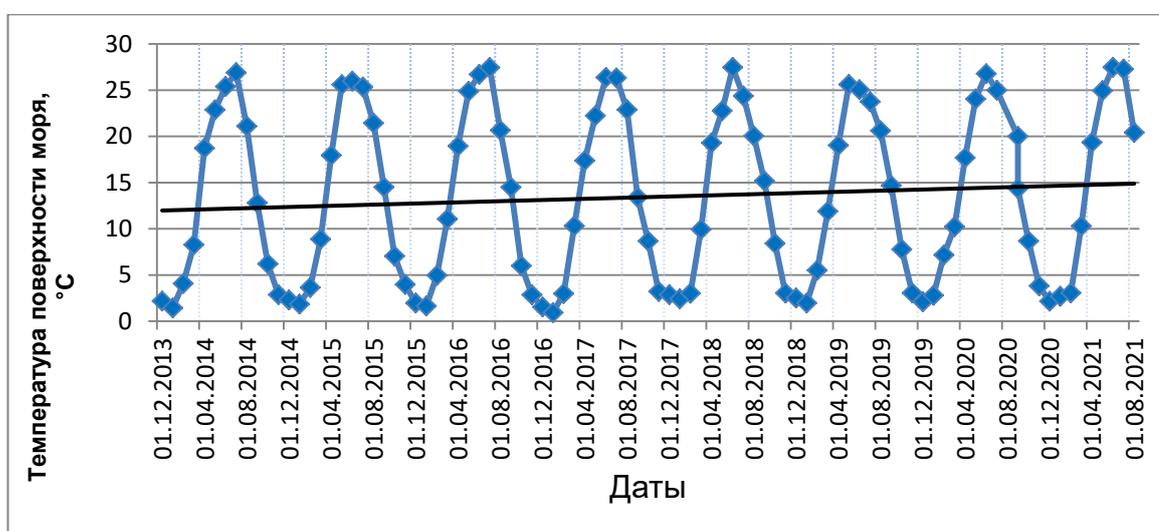
### *Температура поверхности моря (ТПМ)*

Тренды среднегодовых ТПМ в Северном, Среднем, Южном Каспии и в море в целом составили  $+0,026$ ,  $+0,042$ ,  $+0,034$  и  $+0,035\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$  соответственно. Эти тренды для Среднего

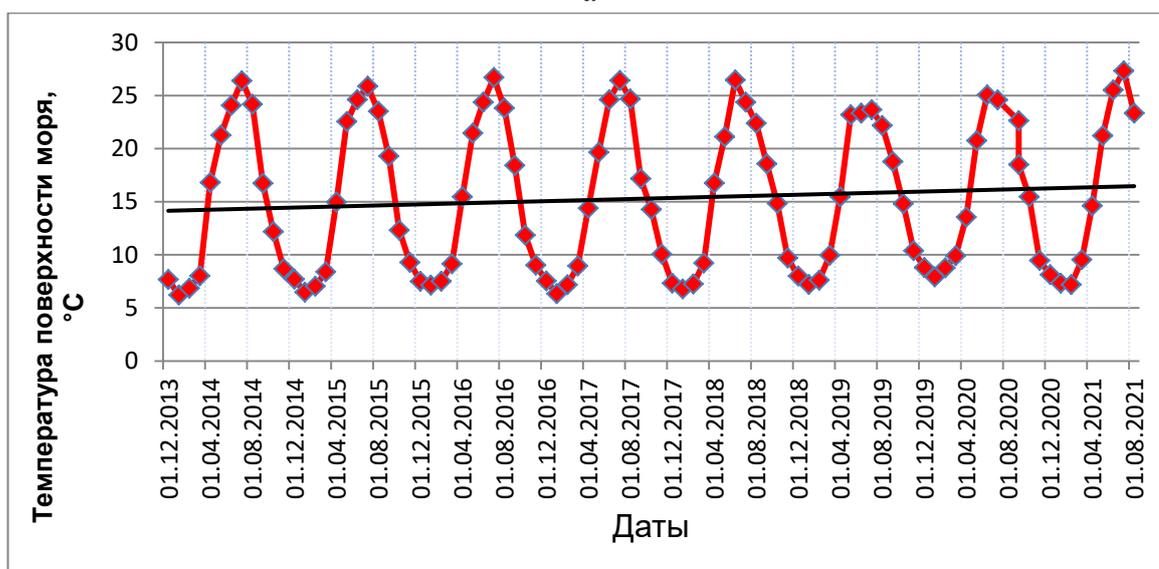
и Южного Каспия меньше, чем полученные ранее на основе разных баз данных значения, соответственно:  $+0,06$  и  $+0,05^{\circ}\text{C}/\text{год}$  для периода 1982–2009 гг.,  $+0,05$  и  $+0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$  для периода 1982–2015 гг. В последние два года тренд сильно увеличился для всех районов Каспия (рис. 19)

### Атмосферные осадки

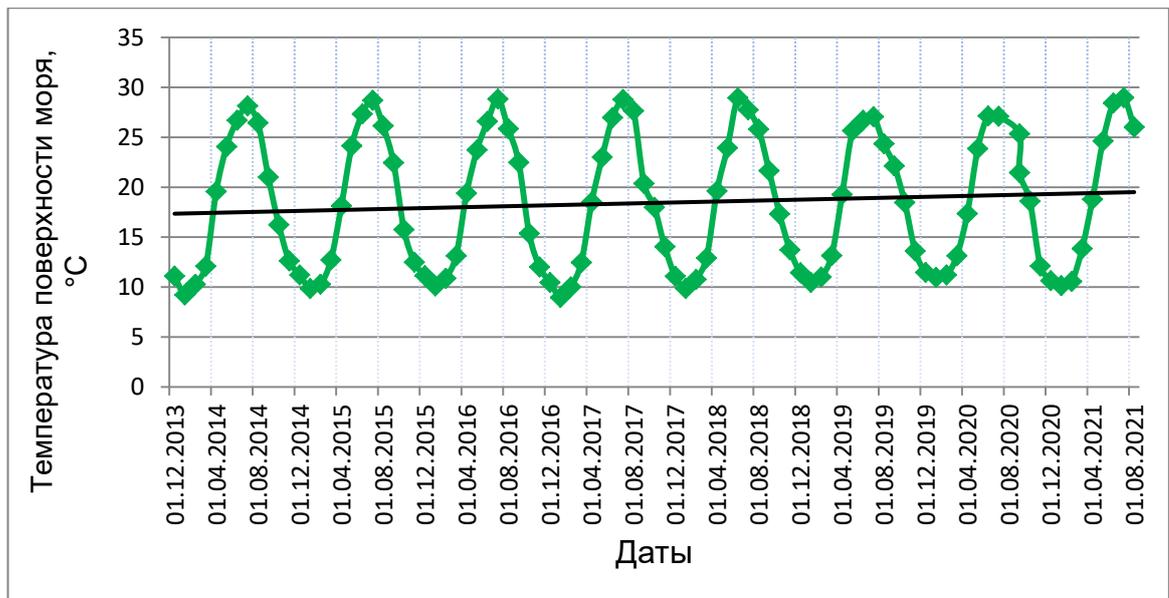
Наибольший отрицательный тренд количества атмосферных осадков с июля 2000 по декабрь 2020 г. по данным NASA Giovanni наблюдался для Среднего Каспия. Он оказался равным  $-0,3$  мм/месяц/год (рис. 20), что на порядок превышает определённого ранее для периода 1979–2010 гг. ( $-0,01$  мм/месяц/год). Это можно объяснить тем, что в июле 2009 г. количество атмосферных осадков резко возросло и достигло 110 мм/мес, а в период с января 2008 по декабрь 2010 г. отрицательный тренд несколько увеличился, что сказалось на общем тренде за весь период.



a



б



б

Рис. 19. Среднемесячная температура поверхности моря по данным MODIS (11 мкм, ночные) для Северного (а), Среднего (б) и Южного Каспия (в). Черная линия – линия тренда

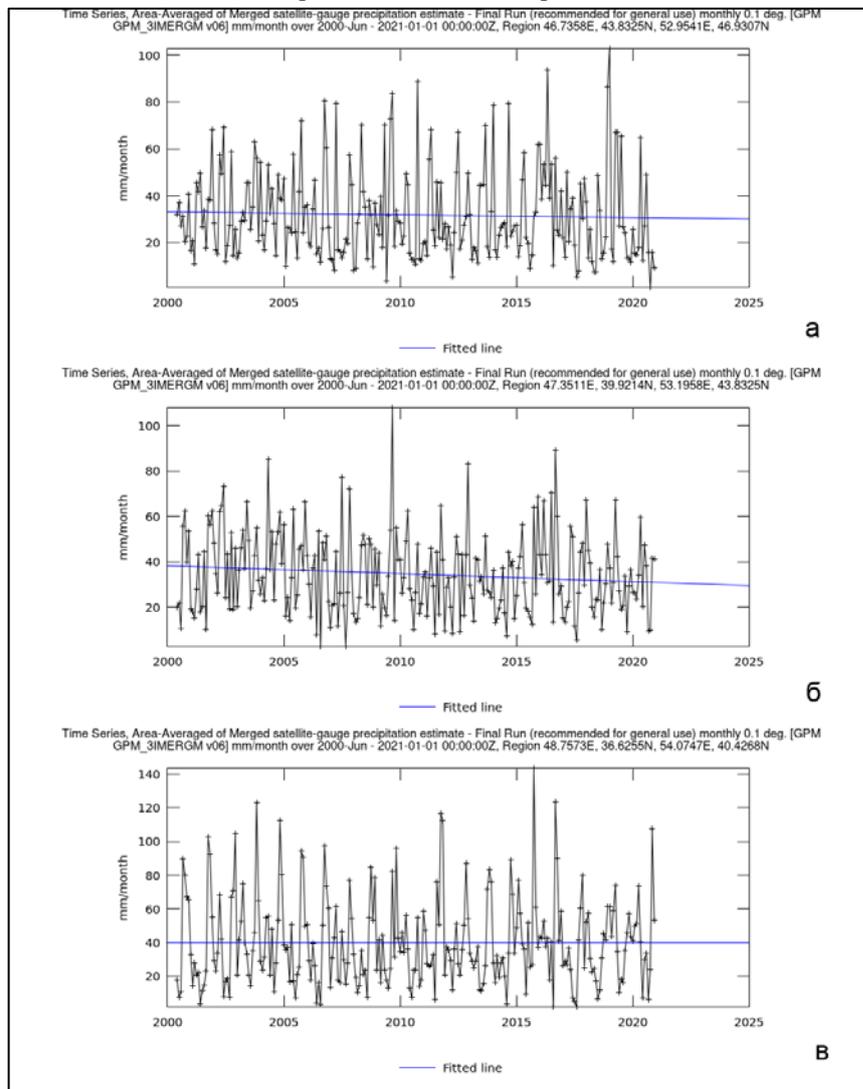


Рис. 20. Временные серии среднемесячных значений атмосферных осадков (мм/мес) с июля 2000 по декабрь 2020 г.: а - Северный Каспий; б - Средний Каспий; в - Южный Каспий. Синяя прямая линия показывает тренд осадков в рассматриваемый период

Отрицательный тренд, правда, не такой существенный, наблюдался и в Северном Каспии. Он составил порядка  $-0,2$  мм/месяц/год (см. рис. 20а). Наибольшее значение атмосферных осадков наблюдалось в январе 2019 г. и составило 100 мм/мес (рис. 21). В Северном Каспии в зимний период свой вклад в общее количество осадков вносит и снег. За трехлетний период с 2018 по 2020 гг. в Северном Каспии отрицательный тренд количества атмосферных осадков резко увеличился и составил  $-3$  мм/месяц/год (рис. 21), и это несмотря на то, что в этот период (в январе 2019 г.) наблюдалось максимальное за месяц количество осадков. За 20 лет, с 2000 по 2020 гг. в Южном Каспии в среднем тренд количества атмосферных осадков был близок к нулю (рис. 20в).

Однако, для периода с января 2016 по декабрь 2018 г. наблюдался резкий отрицательный тренд, который составил  $-3,5$  мм/месяц/год (рис. 22), и это несмотря на то, что в этот период (в июле 2016 г.) наблюдалось максимальное за месяц количество осадков, которое составило почти 130 мм/мес.

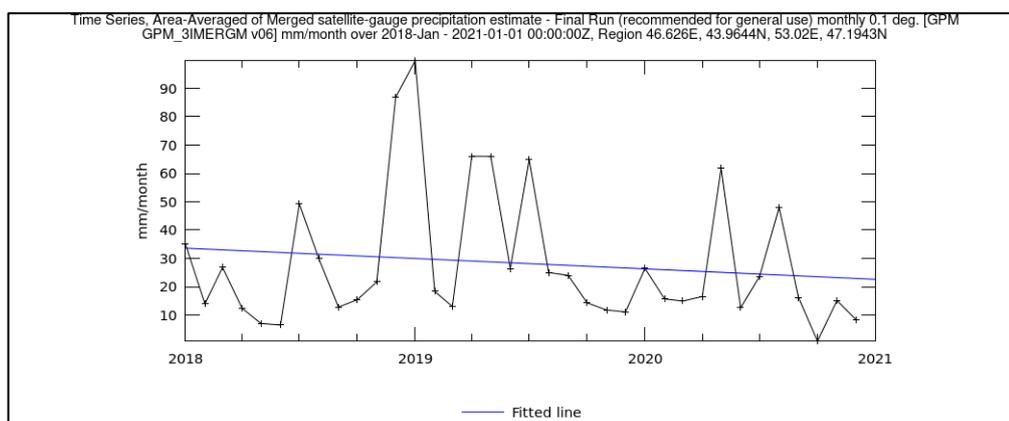


Рис.21. Временные серии среднемесячных значений атмосферных осадков (мм/мес) с января 2018 по декабрь 2020 г. в Северном Каспии. Синяя прямая линия – линия тренда

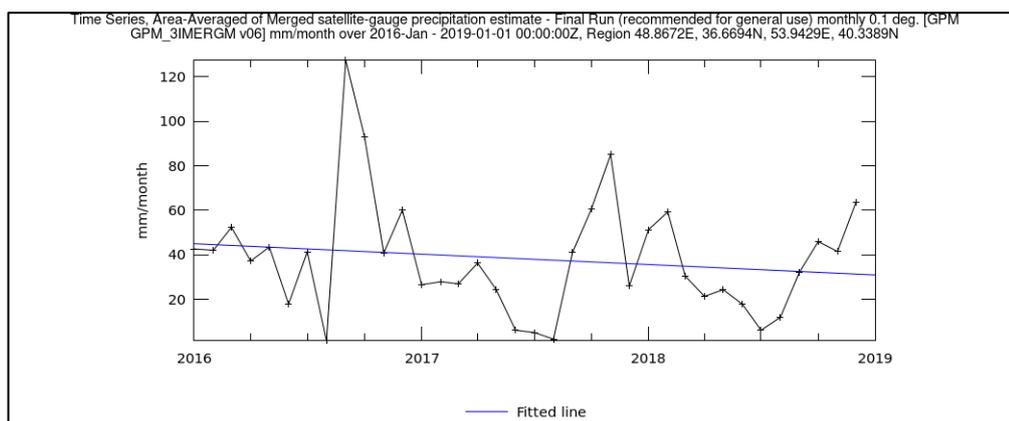


Рис.22. Временные серии среднемесячных значений атмосферных осадков (мм/мес) с января 2016 по декабрь 2018 г. в Южном Каспии. Синяя прямая линия – линия тренда

Максимальные значения среднемесячных осадков в Среднем и Южном Каспии наблюдаются в июле месяце и составляли 100 – 130 мм/мес.

### *Уровень моря*

Судя по научным публикациям, уровень Каспийского моря после относительной стабилизации в 2015–2017 гг. продолжает падать, причём в 2018–2020 гг. скорость его

падения ( $-10,27$  см/год) была максимальной за всё время с лета 2005 г. Средняя скорость падения уровня в 28-летний период 1993–2020 гг. составила  $-5,37 \pm 1,24$  см/год. К концу 2020 г. уровень достиг отметки  $-28,5$  м БС, и от минимума 1977 г. ( $-29$  м БС) его отделяет всего лишь  $0,5$  м.

**Результаты по данному направлению были представлены в статье**

*Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Серых И.В., Лебедев С.А.* Климатические изменения гидрометеорологических параметров Каспийского моря (1980–2020) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. No 5. С. 277–291.

#### **Х. Карты-схемы ледяного покрова в Каспийском море за зимний период 2020/2021 гг., определение площадей, занятых льдом, и выявление трендов в сроках льдообразования и очищения ото льда за период 1999-2021 гг.**

Поскольку в предыдущие годы карты-схемы ледяного покрова в Каспийском море были уже построены для зимних периодов 1999-2020 гг., в 2021 они были дополнены информацией о максимальной площади ледяного покрова в зимний период 2020/2021 гг.

В 2021 г. расчет индекса суровости зимы велся не по данным прибрежных метеостанций, а по данным реанализа MERRA-2 (источник систем NASA Giovanni). Для всей акватории Северного Каспия сумма отрицательных температур воздуха в зимний период составила  $-585$  градусов, что соответствует средней по суровости зиме. Начало льдообразования было 14 ноября 2020 (в восточной прибрежной части), а полное очищение ото льда наблюдалось на спутниковых изображениях 22 марта 2021, что полностью совпадало с началом и окончанием отрицательных температур воздуха по реанализу, но абсолютно не совпадало с данными метеостанций. Максимальная площадь ледяного покрова наблюдалась 22-26 февраля 2021 г., она составила около  $75$  тыс. кв. км (Рис. 23).

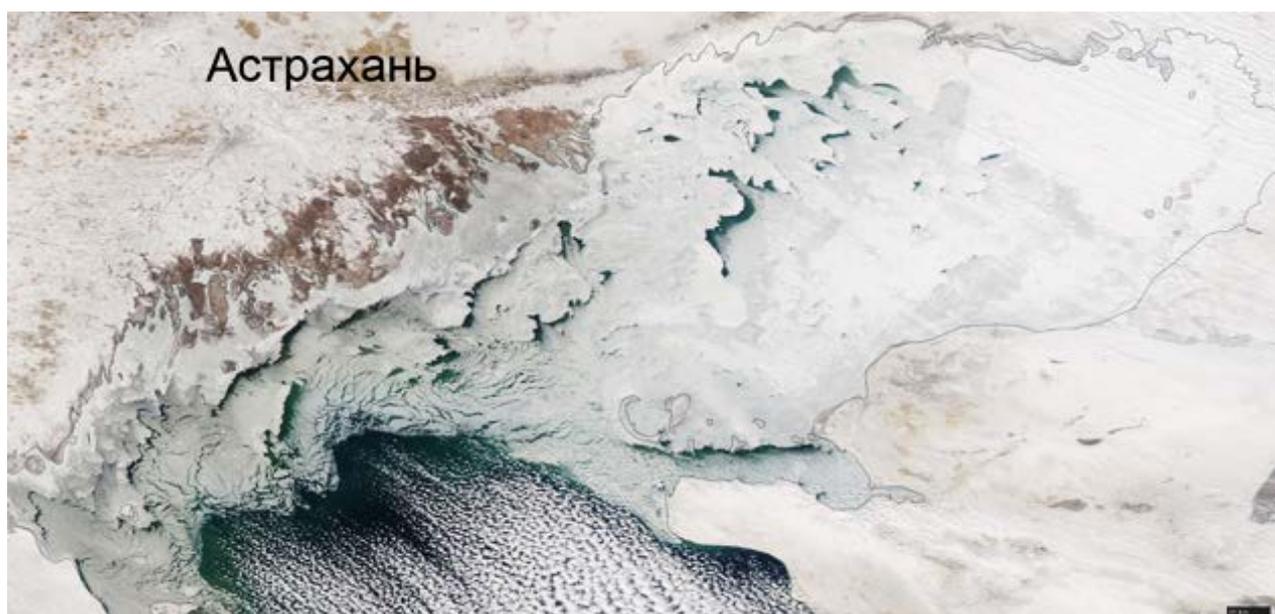


Рис. 23. Проявление максимального ледяного покрова в Северном Каспии на цветосинтезированном изображении MODIS Terra от 24 февраля 2021 г.

## **XI. Карты-схемы выявленных по спутниковым радиолокационным и оптическим данным за 2014-2018 гг. и 2021 г. элементов циркуляции вод Каспийского моря, оказывающих влияние на перенос загрязнений. Статистика пространственной, сезонной и межгодовой изменчивости гидродинамических процессов.**

Одним из основных гидродинамических процессов в море, оказывающим серьезное влияние на распространение поверхностных загрязнений в поверхностном и приповерхностном слое моря, являются вихревые образования различных пространственных и временных масштабов. Вихревые образования существенно влияют на характер распространения поверхностных пассивных пленок, во многом определяя их скорость и направление распространения по поверхности моря. Сложность воспроизведения подобных нелинейных гидродинамических процессов при помощи численных моделей объясняет необходимость изучения вихревых процессов статистическими методами путем обнаружения частоты встречаемости данных процессов в акватории моря и изучения пространственной изменчивости проявления данных процессов в морях.

Существует несколько причин образования вихрей на поверхности моря, наиболее часто встречающиеся из них это: неоднородности поля ветра над морской поверхностью, прохождение мощных атмосферных процессов под акваторией и процессы огибания морскими течениями выдающихся в море мысов. Считается, что процессы вихреобразования существуют практически повсеместно в Мировом океане.

### **Результаты наблюдений вихревых структур на данных оптического диапазона**

- Анализ спутниковых данных 2014-2018 гг. и 2021 г. подтвердил полученные ранее результаты об особенностях образования вихревых структур в акватории Каспийского моря. На данный момент мы имеем представление о характере вихреобразования и его поверхностных проявлениях в Каспийском море с 1999 г. и по настоящее время.
- Основные районы вихреобразования, как и в предыдущие периоды исследования, это прибрежные шельфовые районы и граница материкового склона за исключением Южного Каспия, где обильное вихреобразование отмечается над всей восточной частью (рис. 24).
- Зафиксированные проявления аномального цветения водорослей в июле - начале августа 2018 г. и в 2021 г. позволили впервые выявить в Среднем и Южном Каспии довольно крупные вихревые структуры в глубоководных частях моря. Максимальная площадь картированного вихря, который наблюдался 4 июля 2021 г. в Южной части Каспийского моря, составила 1861 км<sup>2</sup>,
- Основные причины вихреобразования: поступление речного стока, бароклинная неустойчивость на фронтальных зонах речных и морских вод, завихренность ветрового поля, сдвиговая неустойчивость на периферии основных элементов циркуляции.
- В среднем, более 62% спутниковых данных покрыты облачностью, что существенно затрудняет мониторинг Каспийского моря на основе оптических спутниковых данных высокого пространственного разрешения. Статистически наилучший показатель безоблачных дней - менее 40%. был получен для месяцев июнь и август.

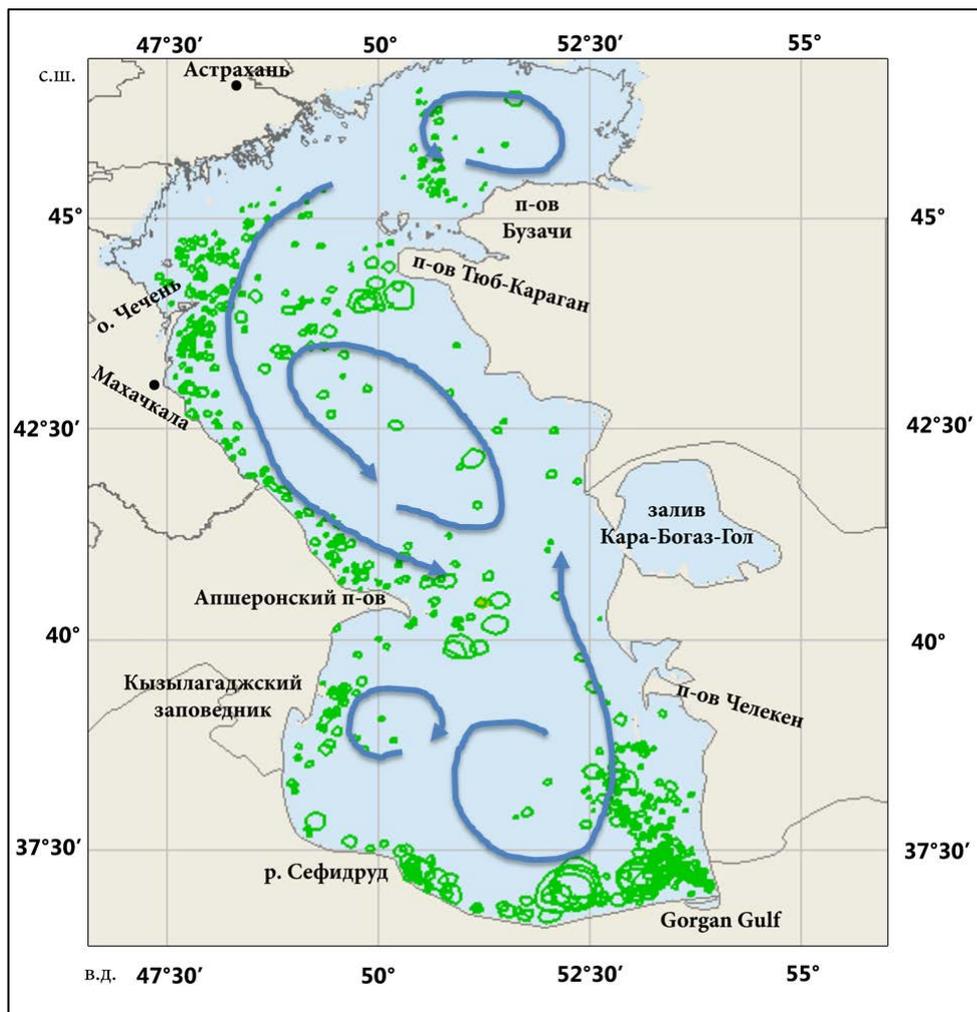


Рис. 24. Сводная карта поверхностных проявлений вихревых структур в акватории Каспийского моря, составленная на основе спутниковых данных за 2014-2018 гг. и 2021 г.

### Результаты наблюдений вихревых структур на радиолокационных изображениях

Вихревые структуры лучше всего проявляются на радиолокационных изображениях (РЛИ) за счет пассивных трассеров, которыми являются в первую очередь слики, образованные наличием на морской поверхности поверхностно-активных веществ. В период интенсивного цветения фитопланктона это биогенные пленки. На рисунке 25 представлен пример проявления интенсивной вихревой активности в районе Нефтяных Камней на РЛИ, полученном C-SAR Sentinel-1 29 июля 2017 г.

На основе анализа в системе STS всех радиолокационных изображений, полученных в 2014-2018, 2021 гг. над акваторией Каспийского моря, были получены следующие результаты.

1. Изучена статистическая изменчивость встречаемости вихревых процессов в акватории Каспийского моря в период 2014 - 2018 гг. и 2021 г. Установлены наиболее активные и благоприятные месяцы для обнаружения вихревой активности в Каспийском море. Показано, что в среднем процент SAR изображений в летнее время, на которых присутствуют вихри, достигает 30-50%, однако в некоторые месяцы может достигать и 60%.

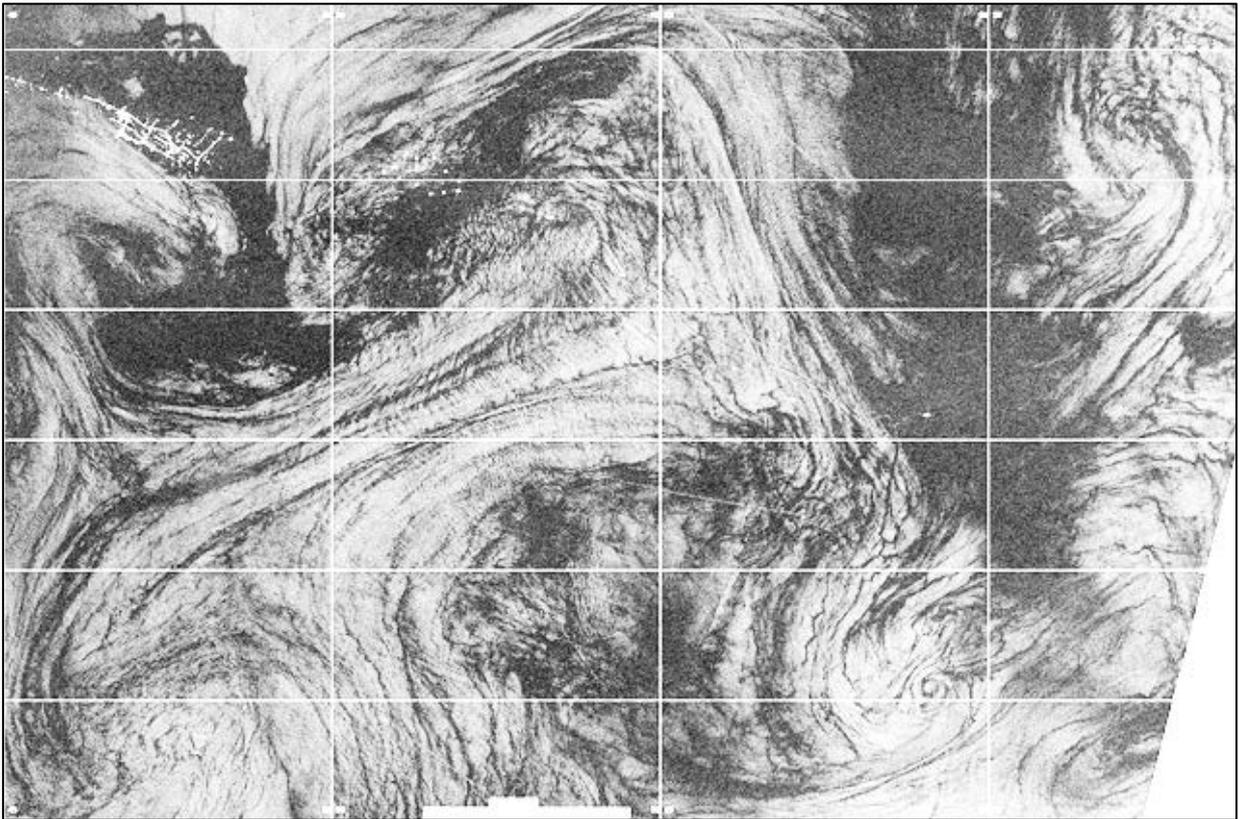
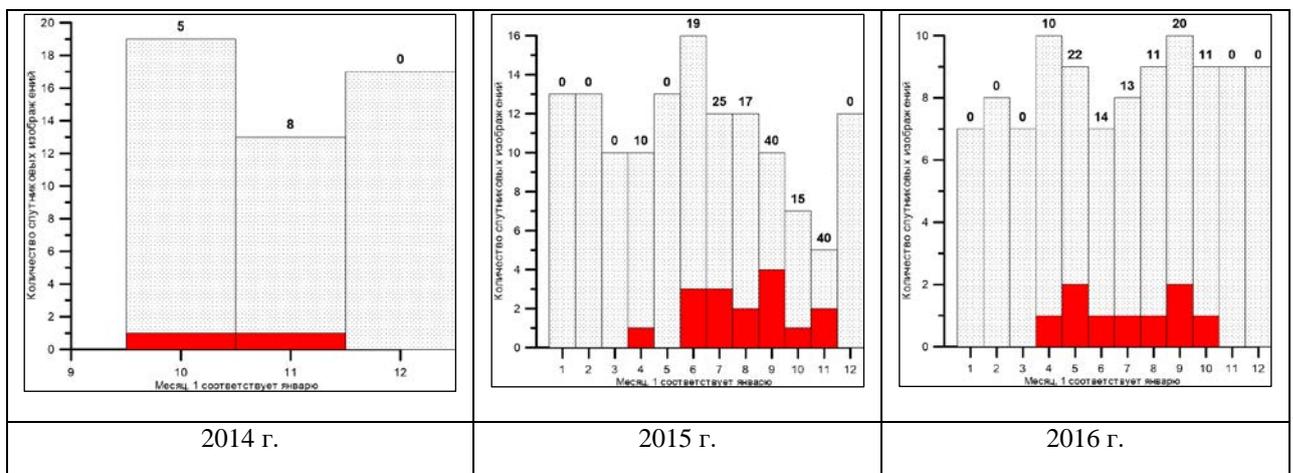


Рис. 25. Пример проявления интенсивной вихревой активности в районе Нефтяных Камней. Фрагмент радиолокационного изображения C-SAR Sentinel-1 от 29 июля 2017 г.

При этом в зимний период (ноябрь-апрель) количество зафиксированных изображений с наличием вихревой активности по данным сенсора C-SAR практически полностью отсутствуют. В период 2014- 2018 и 2021 годов временная изменчивость вихревой активности имеет схожий характер от года к году с выраженным максимумом в июне-августе и постепенным уменьшением процента спутниковых изображений с вихревой активности к весеннему и осеннему периоду (рис. 26).



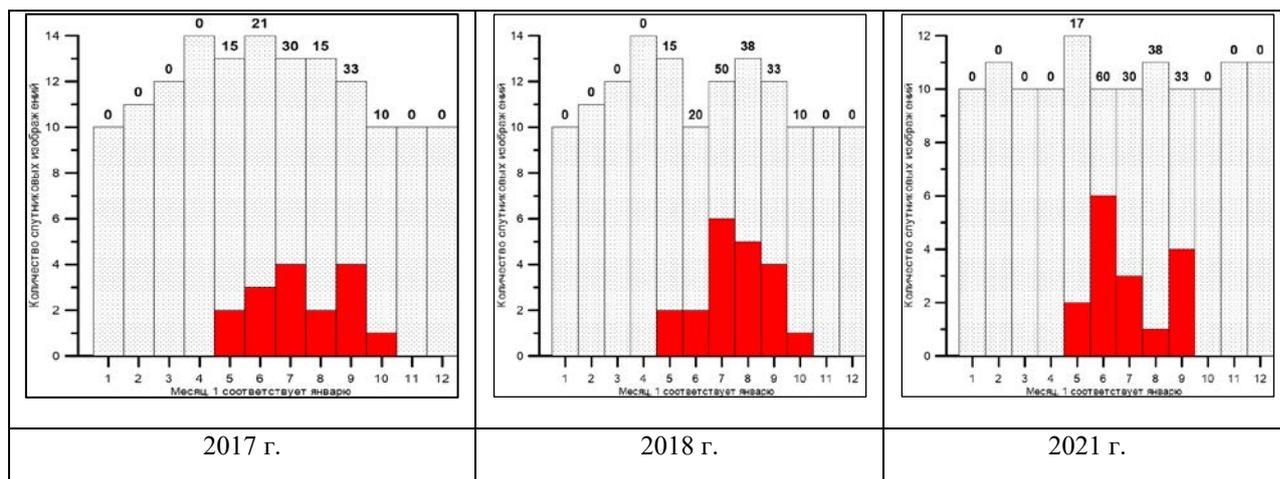


Рис. 26. Гистограммы распределения общего наличия РЛИ (серым) и РЛИ, содержащих проявления вихревых структур (красным)

2. Определены основные районы вихреобразования в Каспийском море. Наиболее активными районами можно назвать следующие географические регионы Каспийского моря:

1. Район Апшеронского полуострова и открытой части Среднего Каспия на линии Нефтяные Камни - Кара-Богаз-Гол. Вихревая активность в данном районе наблюдалась и севернее, и южнее, и мористее полуострова. В данном районе вихри наблюдаются в поле радиолокационного сигнала из-за активного летнего цветения фитопланктона, так и вследствие частых разливов нефти в районе Нефтяных Камней.

2. Район Южного Каспия. В рассматриваемый период регион Южного Каспия представлял собой наиболее активную зону проявления вихревой активности, определяемый по спутниковым радиолокационным. Примечательно, что в южной части Каспийского моря в рассматриваемый период наиболее активно вихревая динамика проявлялась у западного побережья, в Южно-Каспийской котловине и вдоль южного побережья Каспийского моря. В данном районе вихревая динамика проявлялась за счет активного летнего цветения фитопланктона.

В отличие от более раннего рассматриваемого периода наблюдений (2007-2012 гг.) в период 2014-2018 и 2021 гг. в акватории Северного Каспия наблюдалось существенно меньшее количество проявлений вихревых процессов.

Картирование участков с активной вихревой деятельностью по данным радиолокаторов SAR Sentinel-1A, -1B в период 2014 – 2018 и 2021 гг. проводилось с помощью инструментария STS. На рисунке 27 красными полигонами показаны зоны активного вихреобразования, определенные по РЛИ.

3. Помимо выделенных основных районов вихреобразования было показано, что существует и значительная пространственная изменчивость от года к году в наблюдениях вихревых процессов в Каспийском море, что также представлено рисунке 27. Например: в 2017 году районом с максимальной величиной встречаемости проявлений вихревых процессов являлся район Апшеронского полуострова и открытой части Среднего Каспия на линии Нефтяные Камни - Кара-Богаз-Гол. При этом в Южном Каспии вихревая динамика прослеживалась не так сильно, а в северной части Каспийского моря проявления отсутствовали полностью. В то же время в 2018 году регион Южного Каспия

был гораздо более активным в части проявлений вихревой динамики по радиолокационным спутниковым изображениям. При этом в этот же год вихревая динамика проявлялась и к северу от линии Нефтяные Камни - Кара-Богаз-Гол.

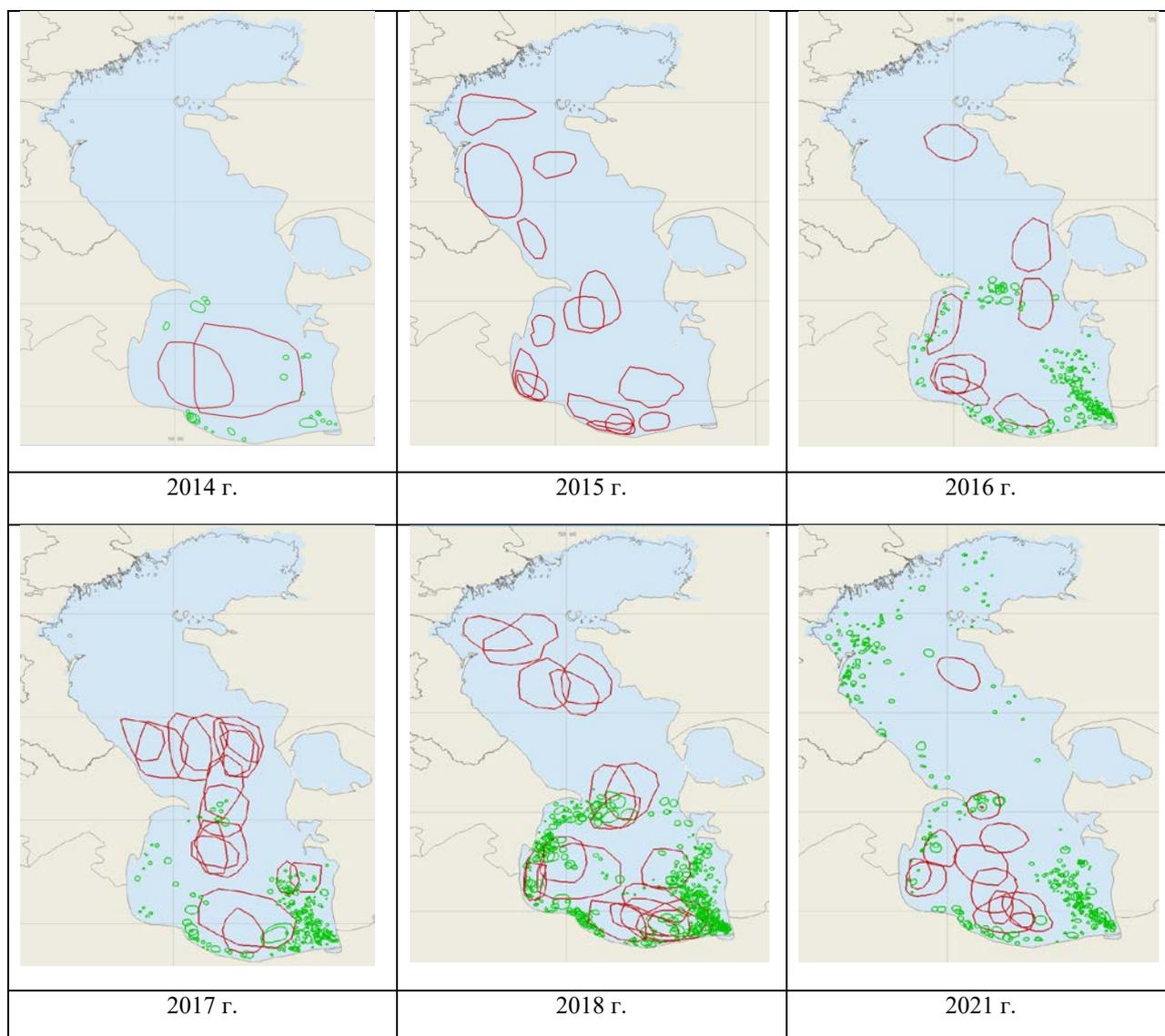


Рис. 27. Зоны активного вихреобразования (красные полигоны), выявленные по радиолокационным данным

### **Внутренние волны**

На основе радиолокационных и оптических спутниковых данных за 2014-2018 гг. и 2021 г. проведено картирование поверхностных проявлений внутренних волн (ППВВ) в Каспийском море. Существенных различий с результатами предыдущих трех лет работы над проектом не выявлено. ППВВ на спутниковых изображениях наблюдались в основном в Среднем Каспии у его восточного берега, и были приурочены к изобатам – 50-100м. В весенний период конец апреля - май ППВВ наблюдались в Южном Каспии у западного побережья.

## Вынос р. Сулак

Речной сток в море играет важную роль в физических, химических и биологических процессах в океане, особенно в шельфовых районах, являясь основным источником взвешенных и растворенных терригенных и биогенных веществ в море, а также антропогенного загрязнения. Эти вещества оказывают значительное и во многих случаях негативное влияние на прибрежную экосистему, включая продуктивность фитопланктона, перенос загрязняющих веществ в шельфовые зоны, эрозию берегов, образование искусственных пляжей, динамику биогенных веществ. В связи с развитием в последние годы отечественного туризма, в частности в Республике Дагестан, назрела необходимость экологического мониторинга курортной прибрежной зоны в районе Махачкалы, где сильно влияние выноса р. Сулак. На основе оптических данных высокого пространственного разрешения за 2016-2021 гг. были построены карты границ плюма р. Сулак (рис. 28) и исследована его межгодовая и сезонная изменчивость. Наибольшие площади плюмов наблюдаются в мае-начале июня и могут достигать 90 кв. км.

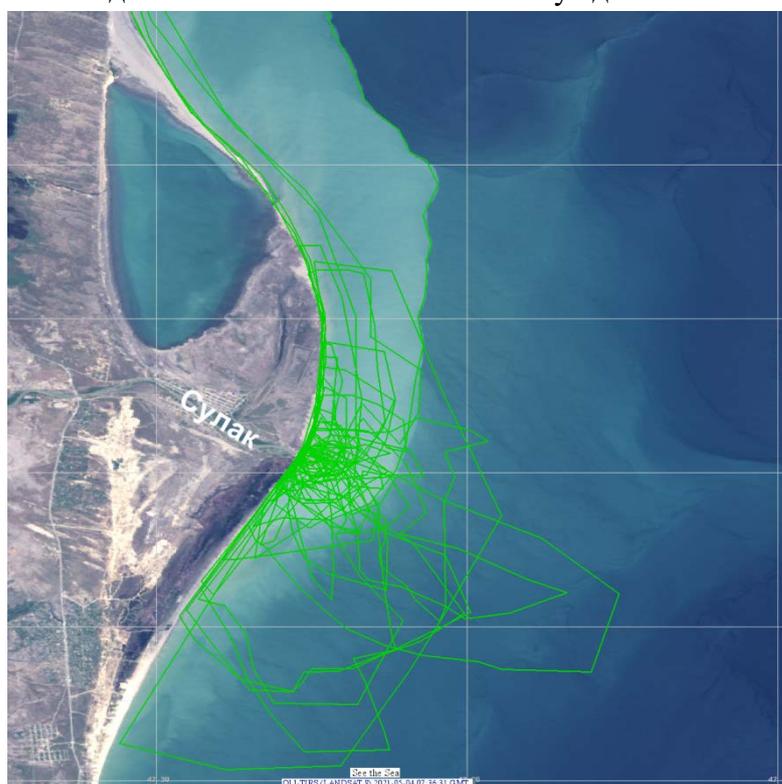


Рис. 28. Сводная карта поверхностных проявлений плюмов р. Сулак, составленная на основе спутниковых данных MSI Sentinel-1 и OLI Landsat-8 за 2020 – 2021 года

В 2021 г. 20-23 мая были проведены подспутниковые измерения параметров выноса р. Сулак, которые показали, что значения мутности при неярко выраженном плюме достигали 60 NTU вблизи устья. Граница плюма находилась от берега не далее 3 км.

Совместный анализ трех спутниковых изображений и измерений с судна показал, что северная граница плюма распространяется всего со скоростью 4 см/с, т.е. положение плюма не меняется быстро в течение дня (рис. 29). Это дает возможность проводить подспутниковые измерения не строго синхронно со спутниковой съемкой.

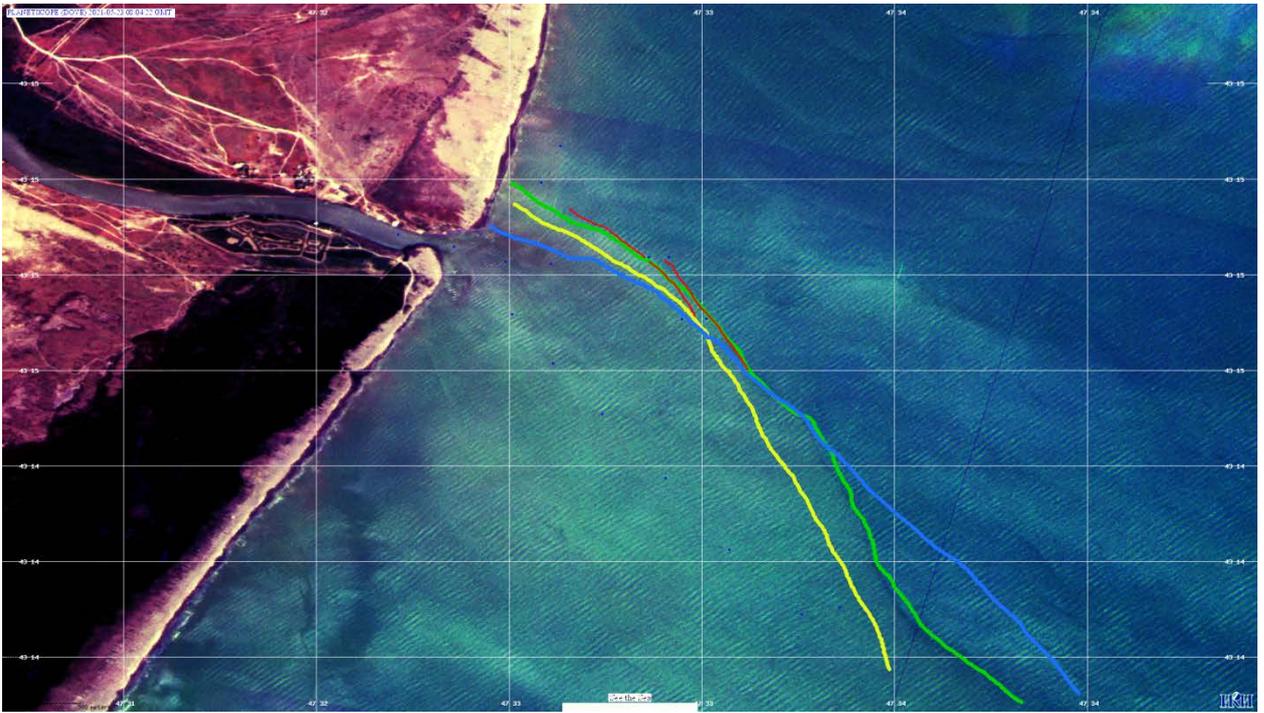


Рис. 29. Сдвиг северо-восточной границы плюма р. Сулак 23.05.2021 по данным: голубая линия – 06:56 UTC, PlanetScore; желтая линия – 07:46 UTC, MSI Sentinel-2B; зеленая линия – 08:04 UTC, PlanetScore; красная линия – 07:45 – 09:15 UTC, судовые измерения

**Результаты по данному направлению представлены в следующих публикациях:**

*Lavrova O., Kostianoy A. and Bocharova T. Monitoring Storm-Surge Events in Coastal Zones Using Satellite Data // 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, 2021, pp. 7378-7381, doi: 10.1109/IGARSS47720.2021.9554259. (Web of Sciences, Scopus, РИНЦ)*

*Lavrova Olga Yu., Nazirova Ksenia R., Soloviev Dmitry M., Alferieva Yana O., Strochkov Alexey Ya., and Bocharova Tatiana Yu. Remote sensing of suspended particulate matter: case studies of the Sulak (Caspian Sea) and the Mzymta (Black Sea) mouth areas // Proc. SPIE 11857, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2021, 1185705 (12 September 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2599809>. (Web of Sciences, Scopus, РИНЦ)*

*Назирова К.Р., Лаврова О.Ю., Соловьев Д.М. Распространение речных и лагунных вод в Каспийском, Черном и Балтийском морях // Материалы VI Международной научно-практической конференции. Часть 2. – Майкоп: Изд-во «ИП Кучеренко В.О.», 2021. С.57 – 62. ISBN 978-5-907004-77-1. (РИНЦ)*

*Лаврова О.Ю., Назирова К.Р., Соловьев Д.М., Алферьева Я.О., Князев Н.А., Строчков А.Я., Краюшкин Е.В., Жук Е.В. Верификация различных алгоритмов определения концентрации взвешенного вещества и мутности по данным MSI Sentinel-2 и OLI Landsat-8 во время подспутниковых измерений в приустьевых зонах рек Сулак и Мзымта // Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 15–19 нояб. 2021. ИКИ РАН, 2021. С. 245. DOI 10.21046/19DZZconf-2021a. (РИНЦ)*

*Краюшкин Е.В., Лаврова О.Ю., Назирова К.Р. Пространственно-временная структура поверхностных проявлений вихревых образований в Каспийском море по данным*

радиолокационных спутниковых изображений за период 2007-2015 г. // Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 15–19 нояб. 2021. ИКИ РАН, 2021. С. 242. DOI 10.21046/19DZZconf-2021a. (РИНЦ) «Мониторинг», РФФ

Назирова К.Р. Картирование вихревых структур в Каспийском море на основе оптических спутниковых данных высокого пространственного разрешения для периода с 2014-2018 гг. и 2021 г. // Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 15–19 нояб. 2021. ИКИ РАН, 2021. С. 259. DOI 10.21046/19DZZconf-2021a. (РИНЦ)

## **XII. Выявление элементов изменчивости экологического состояния Каспийского моря на основе сравнения результатов, полученных в 2019, 2020 и 2021 гг.**

По результатам сравнения параметров нефтяного загрязнения морской поверхности, выявленных по спутниковым данным в ходе исполнения третьего этапа проекта, с аналогичными результатами, полученными в ходе исполнения двух предыдущих этапов, установлено, что соотношение вкладов различных типов загрязнений в интегральное нефтяное загрязнение поверхности Каспийского моря существенно не меняется. основной вклад в интегральное нефтяное загрязнение вносит непрерывное загрязнение морской поверхности нефтью в районе Нефтяных Камней, а также грязевулканическая активность на морском дне в районе Южно-Каспийской впадины. Несколько меньший вклад в общую картину загрязнения вносят естественные нефтепроявления углеводородов с морского дна. Однако следует отметить, что в районе туркменского шельфа максимальная площадь поверхности, потенциально подверженная нефтяному увеличилась по сравнению со значениями, выявленными ранее.

Результаты, представленные по мониторингу нефтяных загрязнений вследствие судовых сбросов на морскую поверхность вод, содержащих нефтепродукты, показали значительное ухудшение экологической ситуации в Каспийском море. Десятки буровых платформ и эксплуатируемых месторождений наращивают производство и транспортировку нефтепродуктов. За период 2014 – 2018 гг. и 2021 г. увеличивалось как количество выявленных загрязнений, так и площади судовых сбросов.

## **XIII. Усовершенствованные инструменты работы с описаниями явлений в системе See the Sea**

В системе See the Sea была усовершенствована подсистема ведения описаний различных типов изучаемых явлений. Предусмотрено несколько форм хранения информации об обнаруженных явлениях:

- текстовое описание спутникового изображения;
- маркировка спутникового изображения отметками о наличии определенных типов явлений;
- определение границ распространения явления с сохранением контура в базу данных.

В процессе развития подсистемы хранения информации о явлениях, была выполнена ее интеграция с технологией построения распределенных архивов спутниковых данных

UNISAT. Благодаря этому информация об обнаруженных явлениях на морской поверхности приобретает статус атрибутов метаданных спутниковых изображений. Это позволяет использовать обнаруженные явления в качестве критерия для поиска изображений в архивах.

Для наиболее полного описания каждого такого явления определен оптимальный набор описывающих его параметров и сформирован раздел специализированной базы данных, ориентированный на работу с тем или иным явлением. Например, описание нефтяного пятна на морской поверхности включает в себя: координаты начала и конца сликовой полосы, координаты центра пятна, совокупная длина сброса, общая площадь загрязнения, факт наличия судна – потенциального источника загрязнения и его координаты на момент съемки (Рис. 30).

Различные формы хранения информации о явлениях предусматривают наличие связей между ними. В частности, контур обнаруженного явления ассоциирован со спутниковым изображением и его описанием.

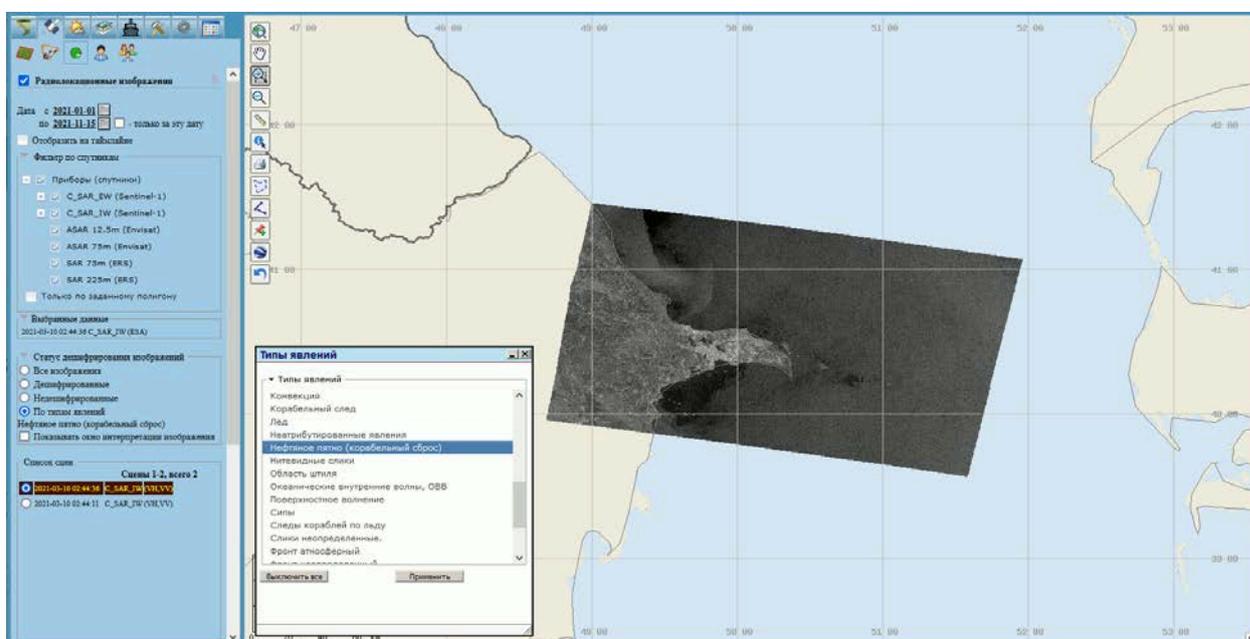


Рис. 30. Поиск изображений в системе See the Sea, удовлетворяющих критериям наличия обнаруженных явлений и покрытия заданного периода времени и части акватории

## Результаты по этому направлению представлены в публикации

Уваров И.А., Лаврова О.Ю., Митягина М.И. Инструменты управления базой данных результатов интерпретации спутниковых изображений при исследовании явлений в Мировом океане в рамках информационной системы See the Sea // Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 15–19 нояб. 2021. ИКИ РАН, 2021. С. 119. DOI 10.21046/19DZZconf-2021a. (РИНЦ)