

Использование различных методов дистанционного зондирования для выявления выносов из Куршского и Вислинского заливов

Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Врублевский М.В.

Институт космических исследований РАН

olavrova@cosmos.ru

Районы исследования



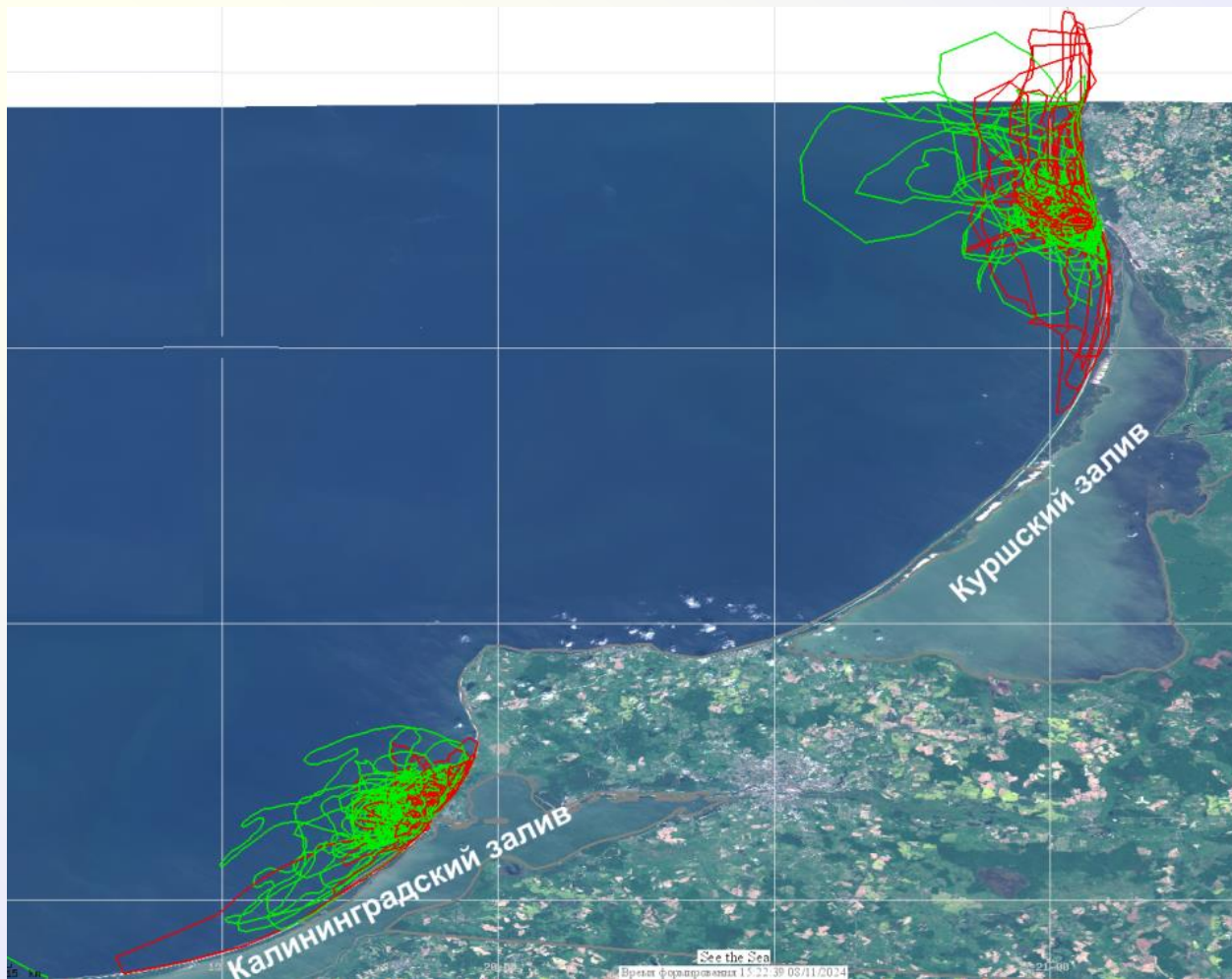


Калининградский (Вислинский) залив расположен на юго-востоке Балтийского моря и отделен от Гданьского залива Вислинской косой. Основной приток пресной воды обеспечивают р. Преголя и два рукава р. Вислы. **Балтийский пролив** - основное соединение лагуны с Гданьским заливом, через которое морская вода может попадать в лагуну, а лагунные воды – в открытое море. Уровень воды в Вислинском заливе всего на 5-8 см выше, чем средний уровень воды в Балтийском море. Северные и северо-западные ветры нагоняют воду в лагуну и вызывают прибрежное течение против часовой стрелки. Южные и юго-восточные ветры вызывают циркуляцию воды по часовой стрелке, в результате чего водные массы вытекают из лагуны через Балтийский пролив (*Chubarenko, Margonski, 2008*). Основной экологической проблемой Вислинского залива является сильное эвтрофирование, обусловленное большой площадью водосбора и ограниченным водообменом с Балтийским морем

Куршский залив – крупнейшая прибрежная мелководная лагуна Европы. Он соединяется с Балтийским морем через узкий Клайпедский пролив, который характеризуется большой техногенной и антропогенной нагрузкой. Основное влияние на циркуляцию воды в Куршском заливе оказывают сток реки Неман и направление ветра. Залив сильно эвтрофирован, что является серьезной экологической проблемой, наравне с нефтяным загрязнением в крупном порту Клайпеда.

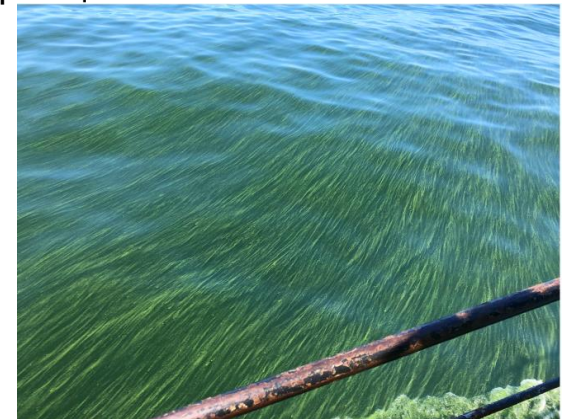


Контуры плюмов, выявленных на спутниковых изображениях



Мотивация

- Большую часть года выносимая из заливов вода содержит большой процент цианобактерий, которые переносятся вдоль берега и попадают на песчаные пляжи.
- Выносы лагунных вод в море прекрасно проявляются на изображениях видимого диапазона за счет наличия трассеров, в первую очередь цианобактерий, а также трассерами могут являться либо битый лед, выносимый из залива (декабрь-март), либо взмученные воды залива.
- Общепринятый подход к наблюдению выносов распресненных вод, основанный на использовании данных сканеров цвета, имеет существенные ограничения. Эти ограничения особенно ярко проявляются в условиях сплошной облачности и сильных осадков, приводящих к интенсификации речного стока и, соответственно, к интенсификации динамических процессов и распространения загрязнений в прибрежной зоне.
- Использование данных спутниковой радиолокации существенно может расширить экспериментальную базу для изучения распространения речных и лагунных выносов и позволит избавиться от фрагментарности и разрозненности получаемой информации.
- Для этого необходимо понимать механизмы проявления выносов на РЛИ и условия, благоприятствующие их возникновению. Одно из таких условий — наличие течений в проливах, возникающих между заливом и морем в результате разницы уровня.
- Предпринята попытка использовать данные спутниковой альтиметрии для объяснения условий, способствующих проявлению выносов на РЛИ



Интенсивное цветение водорослей в прибрежной зоне Балтийского моря в июле 2021 г. Фотография с судна Назировой К.Р.

Мониторинг выносов из заливов с помощью сканеров цвета

MSI Sentinel-2 20.08.2020



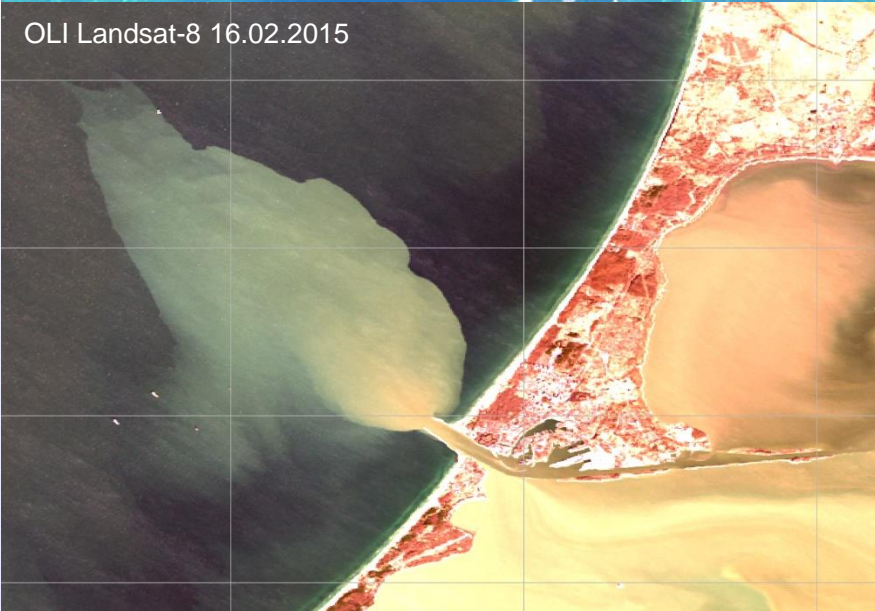
Выносы из заливов проявляются на изображениях видимого диапазона за счет различных оптических свойств воды моря и заливов, обусловленных:

- интенсивным развитием цианобактерий;
- повышенной мутностью;
- образованием льда

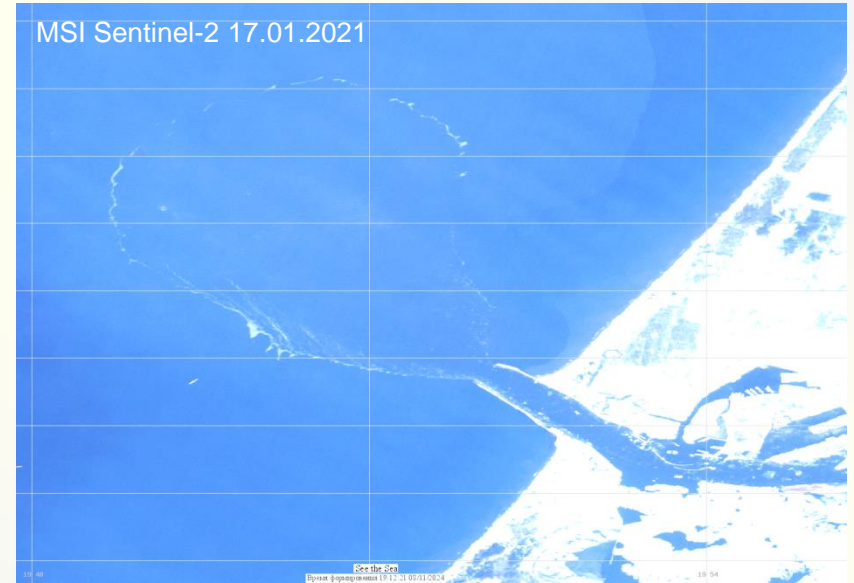
в заливах

Основная проблема - облачность

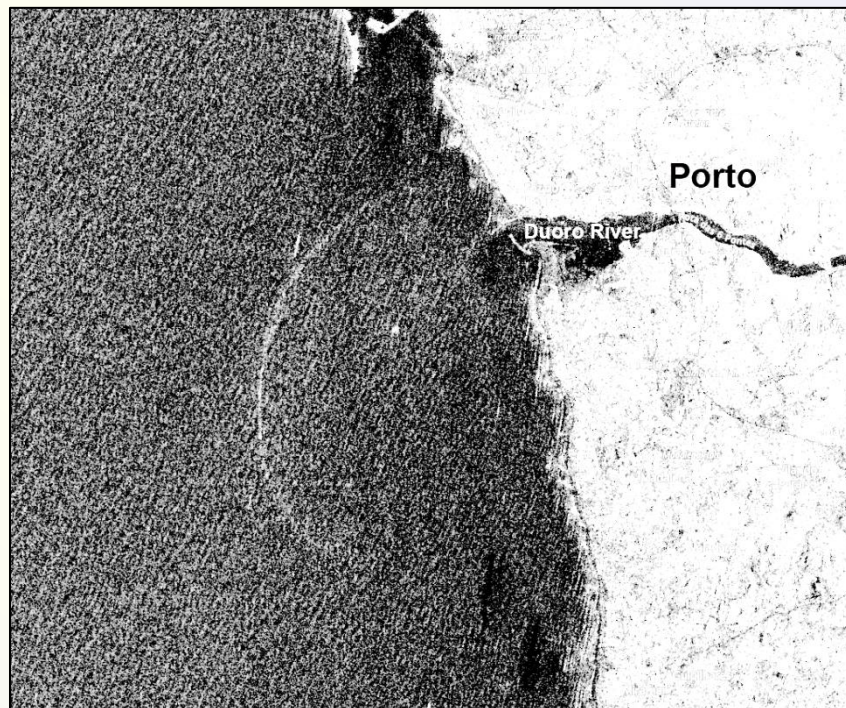
OLI Landsat-8 16.02.2015



MSI Sentinel-2 17.01.2021



Мониторинг выносов с помощью спутниковой радиолокации



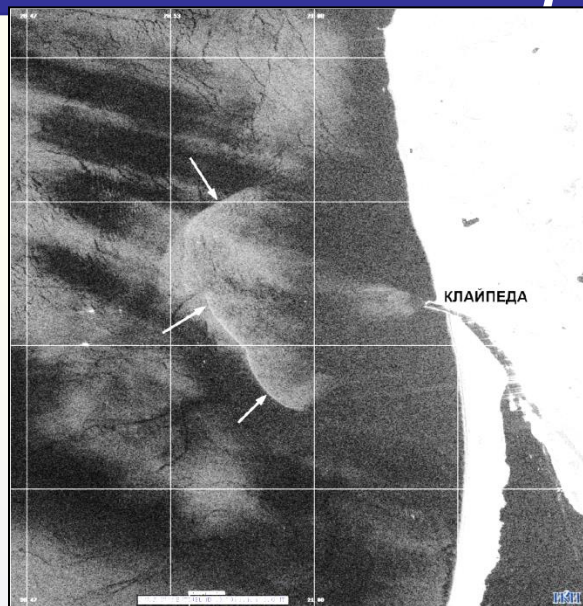
Вынос р. Доро (Duoro), Португалия. SAR-C Sentinel-1 09.03.2024

Практически все публикации посвящены речным выносам в приливной зоне. Взаимодействие речного выноса с преимущественно полусуточными приливами обуславливает периодическую генерацию пресноводных плюмов, границы которых обычно обозначены поверхностными фронтами, которые часто видны на РЛИ как узкие, вытянутые области усиления или ослабления обратно-рассеянного сигнала.

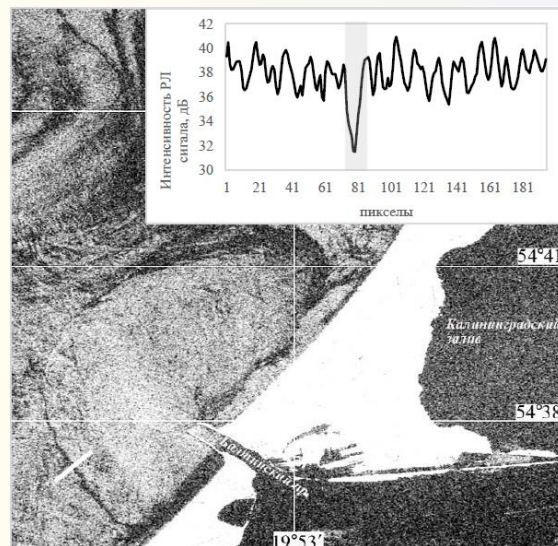
Сенсор	Калининградский залив	Куршский залив
SAR-C Sentinel -1A, -1B	239	236
OLI Landsat-8	182	183
MSI Sentinel-2A, 2B	288	287

В общей сложности за период с 1 мая 2022 г. по 30 апреля 2024 г.
было проанализировано 1415 спутниковых изображений
районов интереса

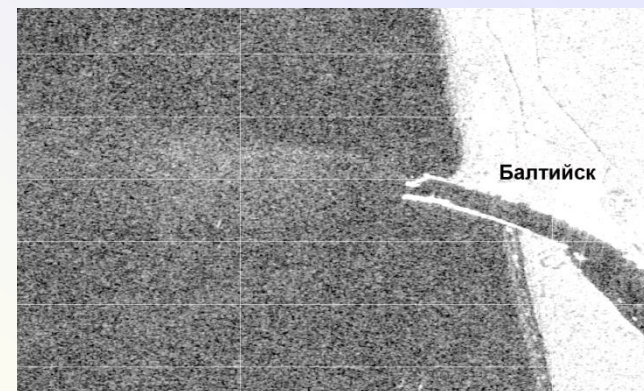
Мониторинг выносов из заливов с помощью спутниковой радиолокации



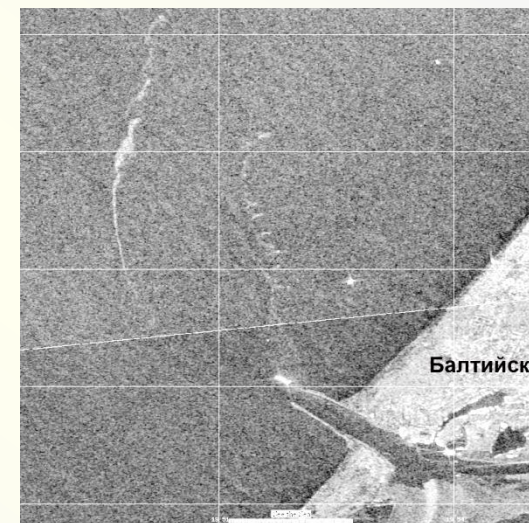
1



2



3



4

Четыре основных механизма визуализации плумов на РЛИ в районе интереса
 (1) плумы с выраженной границей, видимой как яркая белая линия усиления обратно-рассеянного сигнала; (2) граница плюма очерчена сликами, т.е. темными линиями ослабления радиолокационного сигнала; (3) яркие темные или светлые области усиления/ослабления РЛ-сигнала в плюме без формирования выраженного фронта; (4) проявление плюма за счёт трассеров, таких как лед/скопление биогенных пленок

Подробности в докладе

XXII.Е.505 Митягина М.И., Лаврова О.Ю., Жаданова П.Д.

[Наблюдение плумов речных и лагунных вод в юго-восточной части Балтийского моря с помощью сенсоров спутникового базирования](#)

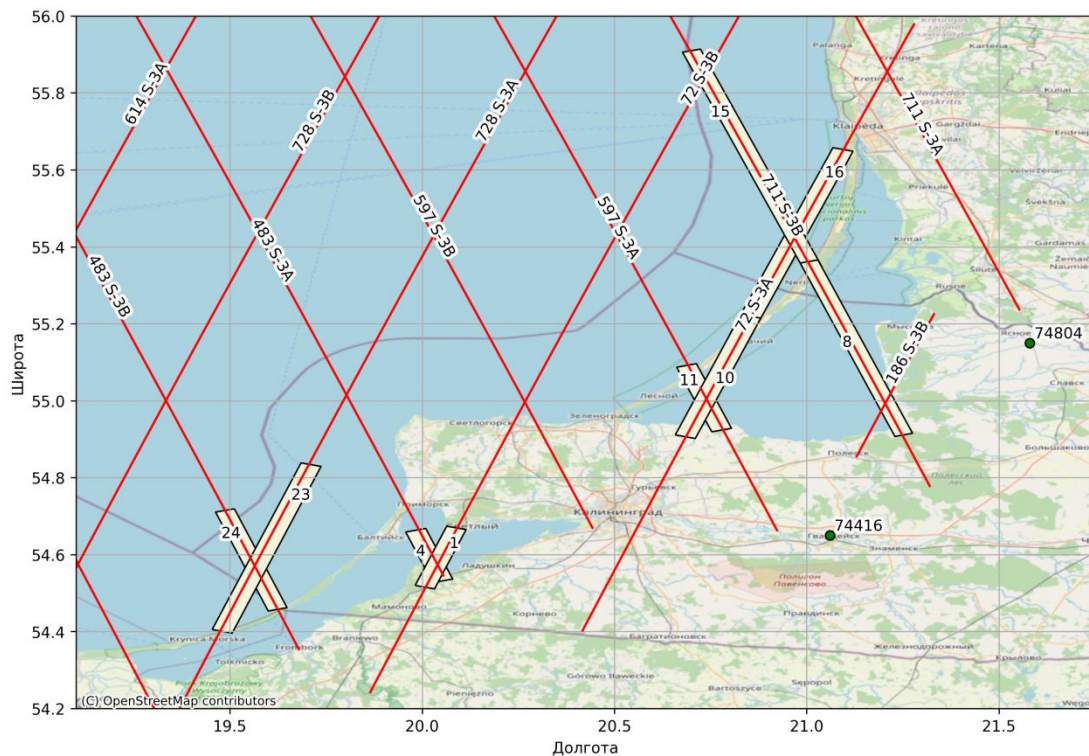
Привлечение спутниковых альтиметрических данных к мониторингу выносов из заливов

Использование данных спутниковой радиолокации существенно может расширить экспериментальную базу для изучения распространения речных и лагунных выносов и позволит избавиться от фрагментарности и разрозненности получаемой информации.

Для этого необходимо понимать механизмы проявления выносов на радиолокационных изображениях и условия, благоприятствующие их возникновению.

Одно из таких условий – наличие течений в проливах, возникающих между заливом и морем в результате разницы уровней.

Нами была предпринята попытка на основе спутниковых альтиметрических данных связать проявляемость выносов из Куршского и Калининградского заливов в Балтийское море на радиолокационных изображениях с разницей в аномалиях уровней в заливах и в море.



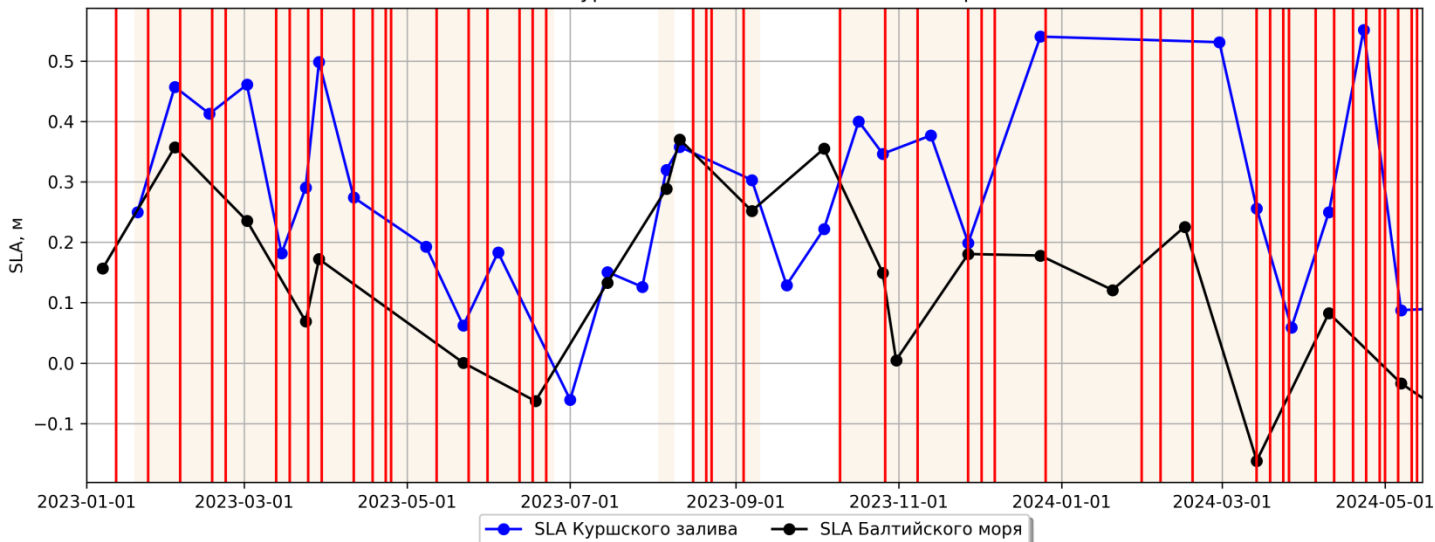
Красные линии — треки спутников Sentinel-3; прямоугольники — полигоны виртуальных станций, точки — наземные гидропосты

- Данные Synthetic aperture Radar Altimeter (SRAL) Sentinel-3 из центра AVISO
- Продукт Along-track Sea Level Anomalies Level-2+
- NTC (*англ.* Non-Time Critical) — уточнённый
- Данные аккумулированы в специально созданную базу данных.
- Был адаптирован ранее созданный программный модуль для создания виртуальных станций — симулированных полигональных объектов, в границах которых с помощью данных альтиметрии проводятся вычисления средних аномалий уровня моря на моменты измерения спутниками.
- Выбор спутника Sentinel-3 определялся тем, что AVISO предоставляет данные SLA не только для морей, но и для исследуемых заливов (по данным других спутников, Sentinel-6, Jason-2/3, вычисления SLA для этих заливов не ведутся)
- Проанализированы альтиметрические и радиолокационные данные за период 01.01.2023–15.05.2024

Подробности в статье М. В. Врублевский, О. Ю. Лаврова, М. И. Митягина, А. Н. Якушева. Использование данных спутниковой альтиметрии для оценки условий наблюдения на радиолокационных изображениях выносов из Калининградского и Куршского заливов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 5. С. 306-320.

Временные ряды SLA для заливов и моря

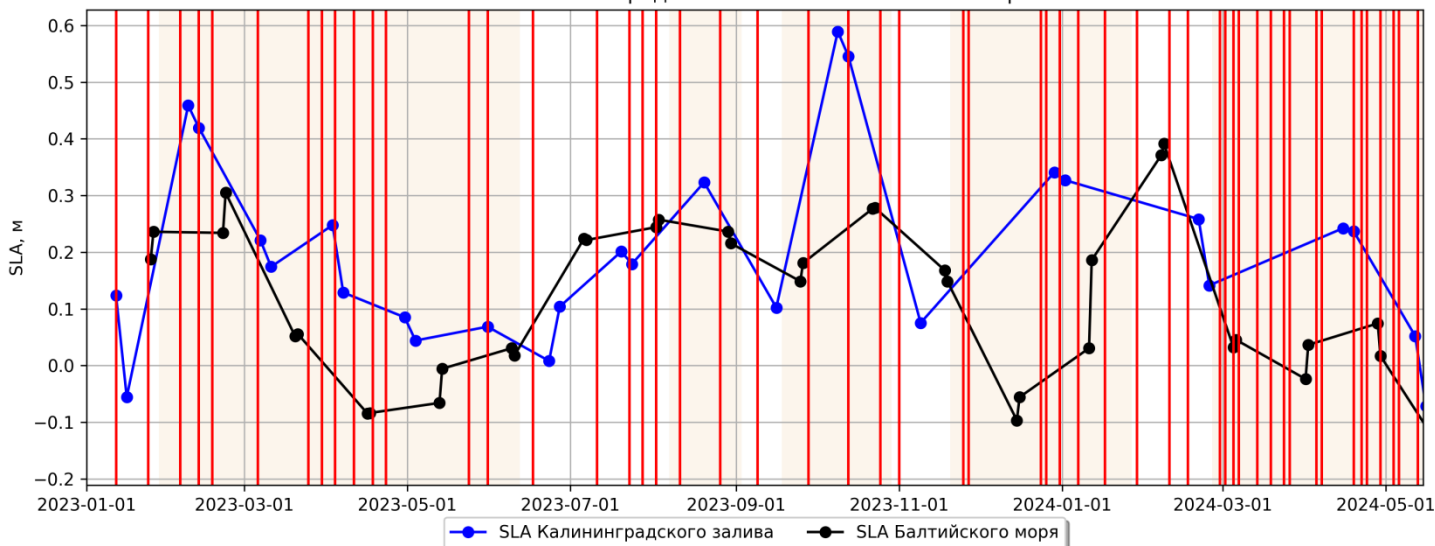
SLA Куршского залива и Балтийского моря



Периоды, когда SLA заливов выше, чем SLA Балтийского моря

- 19.01.2023 – 26.06.2023
- 03.08.2023 – 09.08.2023
- 15.08.2023 – 10.09.2023
- 09.10.2023 – 12.05.2024

SLA Калининградского залива и Балтийского моря



- 28.01.2023–12.06.2023
- 07.08.2023–03.09.2023
- 18.09.2023–29.10.2023
- 20.11.2023–27.01.2024
- 26.02.2024–07.07.2024

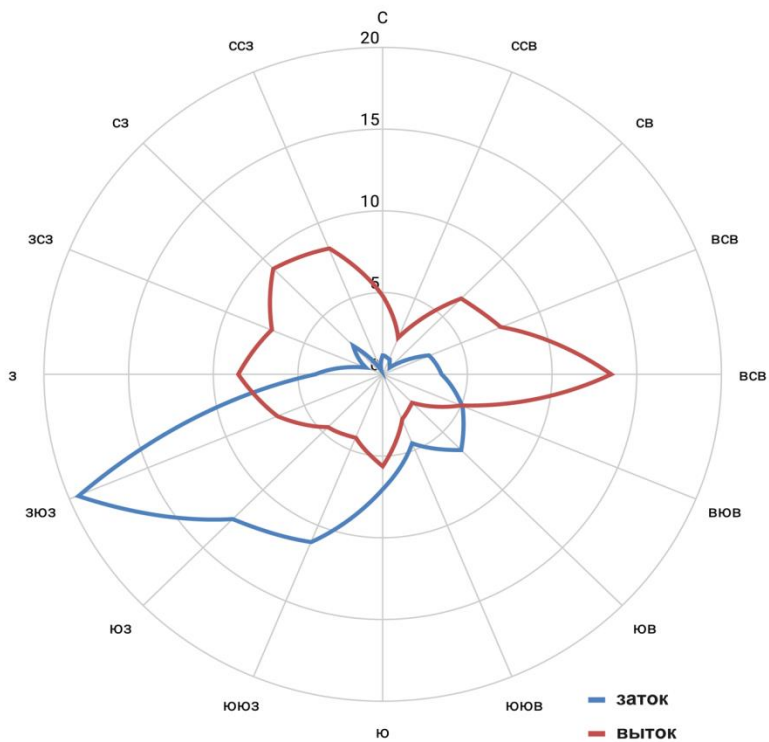
Выделенные области соответствуют периодам, когда SLA залива выше SLA моря, красные линии — даты наблюдения выносов из залива

Характеристики выносов, определенные по РЛИ и альтиметрическим данным

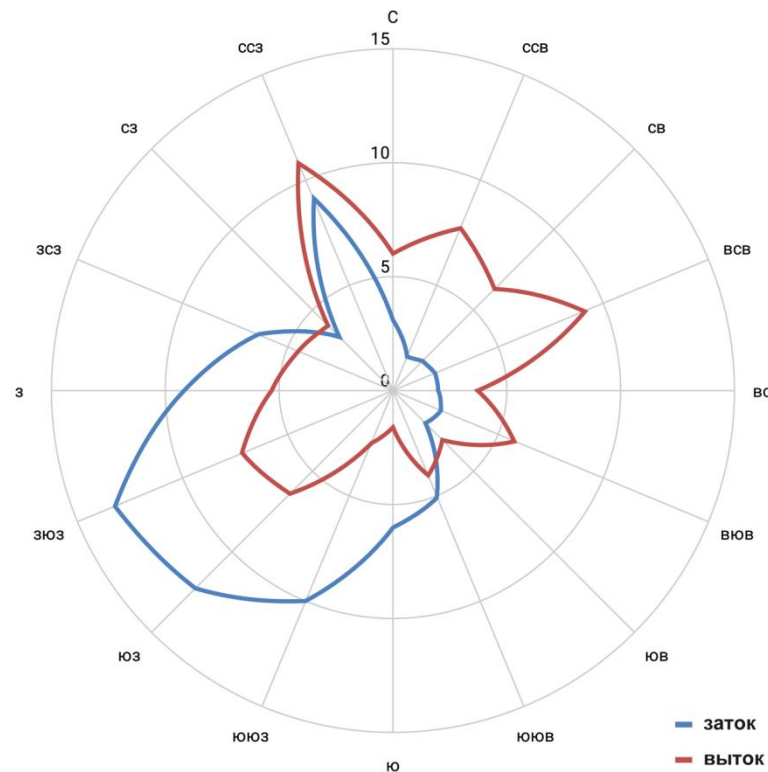
Залив	Площадь, км ²			
	минимальная	максимальная	средняя	
Куршский	0,99	349,08	51,35	
Калининградский	0,25	41,33	9,93	
	ΔSLA , м			
	минимальное	максимальное	среднее	
Куршский	-0,07	0,50	0,18	
Калининградский	-0,09	0,35	0,12	
	Частота встречаемости типа, %			
	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4
Куршский	13	20	67	0
Калининградский	17	19	6	4

Для исследования выносов на РЛИ из залива было проанализировано 404 изображения за период с 01.01.2023 по 15.05.2024, на которых были идентифицированы 99 проявлений выносов на РЛИ. Для каждого зарегистрированного проявления были определены площадь, направление ветра, разница SLA залива и моря и тип. Результаты представлены в таблице

Розы ветров для периодов, когда SLA моря выше, чем SLA заливов



По данным метеостанции в Клайпеде



По данным метеостанции в Балтийске

Для Куршского залива SLA моря выше SLA залива в первую очередь при западно-юго-западном ветре, а выток происходит главным образом при восточном-северо-восточном ветре. Для Калининградского залива заток, может происходить в более широком диапазоне ветров западных румбов, а вынос — практически при любом направлении ветра. Возможно, этим и объясняется отсутствие чёткой закономерности для Калининградского залива между разницей в SLA и в проявлениях выноса на РЛИ

В ходе исследования было установлено, что:

- использование данных спутниковой радиолокации может существенно расширить экспериментальную базу исследования распространения лагунных вод в бесприливном море и позволит избавиться от определенной фрагментарности и разрозненности получаемой информации
- данные спутниковой радиолокационной альтиметрии, а именно данные аномалий уровня моря, полученные по измерениям миссии Sentinel-3, позволяют определить взаимосвязь между отношением уровня Балтийского моря и Куршского и Калининградского заливов относительно друг друга и регистрацией выносов на РЛИ. Наблюдение перепада уровня позволяет регистрировать условия для наблюдения выносов на РЛИ.
- Не наблюдается чёткой зависимости площади и типа проявления выносов на РЛИ от разницы SLA заливов и моря. Это может объясняться двумя причинами.
- ✓ Первая и самая главная — необходимо учитывать силу и направление ветра. Площадь выноса и образование фронтов на его границе зависит в первую очередь от ветра.
- ✓ Вторая причина — низкое временное разрешение альтиметрических данных. Для установления зависимости между наблюдением выносов на РЛИ и SLA необходимо увеличить временную частоту измерений SLA, подключив другие альтиметрические миссии. Для этого потребуется использовать другие или разработать свои методы вычисления SLA по данным альтиметрических приборов разных миссий, так как измерения SLA от других миссий альтиметрии не содержатся в продукте Along-track Sea Level Anomalies Level-2+ (AVISO).

- Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-00182 «Развитие методов дистанционной диагностики распространения речных вод в прибрежной зоне морей» (<https://rscf.ru/project/24-17-00182/>) в Институте космических исследований РАН.
- Обработка и анализ спутниковых данных проводились с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-мониторинг» с помощью инструментария информационной системы See the Sea, развитие которой осуществляется в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8).

Спасибо за внимание!