

УДК 528.88

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-180-191>

**МОНИТОРИНГ ВЫНОСОВ РЕЧНЫХ И ЛАГУННЫХ ВОД  
В АЗОВСКОЕ И БАЛТИЙСКОЕ МОРЯ НА ОСНОВЕ  
СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА\***

**М. С. Щеголихина,<sup>1</sup> О. Ю. Лаврова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

<sup>2</sup>ИКИ РАН, Москва

В ходе данной работы автором были исследованы два морских района на предмет выносов. Так районами исследования были выбраны акватории Азовского моря с выносами реки Кубань и Балтийского моря с выносами Куршского залива. Результатом исследования явились получение зависимостей. Было выяснено, что выносы реки Кубань зависят от сбросов Краснодарского водохранилища, а выносы Куршского залива происходят из-за разницы уровней воды в заливе и Балтийском море.

*Ключевые слова:* Куршский залив, река Кубань, речной плюм, вынос, Азовское море, Балтийское море, спутниковый мониторинг, STS.

Мониторинг водных объектов – система непрерывного и комплексного отслеживания состояния водных ресурсов, контроля и учета количественных и качественных характеристик во времени. Современные технологии мониторинга состояния водных объектов включают обработку и анализ изображений, полученных со спутников дистанционного зондирования Земли, как оптических, так и радиолокационных.

Мониторинг акваторий Азовского и Балтийского морей, который будет представлен далее, проводился при помощи системы STS.

Азовское море – полузамкнутое море Атлантического океана на востоке Европы, омывающее побережье Украины и России. Самое мелкое море в мире: глубина не превышает 13,5 метров, средняя глубина около 7,4 м. Азовское море соединяется с Атлантическим океаном длинной цепочкой проливов и морей (Керченский пролив — Чёрное море – пролив Босфор – Мраморное море – пролив Дарданеллы – Эгейское море – Средиземное море – Гибралтарский пролив – Атлантический океан).

---

\* Работа выполняется при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант №17-05-00715.

Усовершенствование информационной системы «SeeTheSea» выполнялось при поддержке РАН и ФАНО (тема «Мониторинг», госрегистрация № 01.20.0.2.00164)

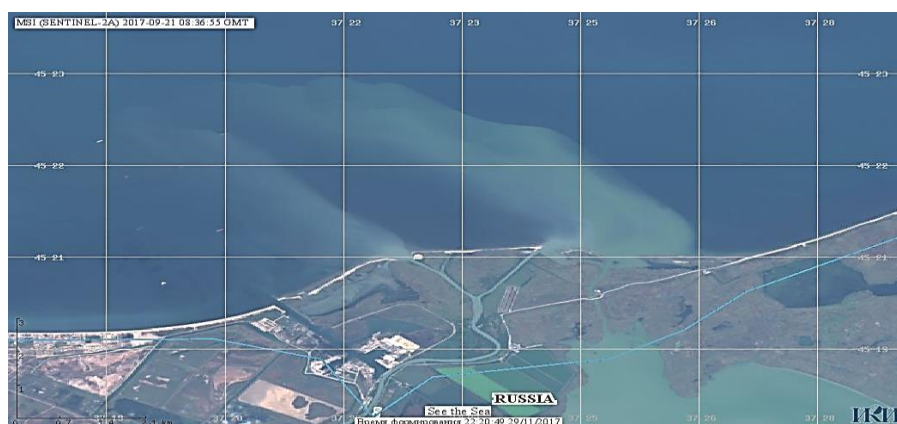
При помощи системы «STS» были проанализированы спутниковые изображения за 2016-2017 год, выявлен факт того, что действительно остро стоит проблема выносов реки Кубань в Азовское море. Спутниковые изображения были получены при помощи сенсора OLI, стоящего на спутнике Landsat 8, и MSI, находящегося на спутнике Sentinel-2A. Проведены первые исследования по выявлению причин данных выносов. Так были отсмотрены данные метеорологических станций трех крупных населенных пунктов, стоящих на реке, а именно: г. Темрюка, ст. Варениковской, г. Краснодара. В ходе анализа были обработаны следующие данные: наличие осадков непосредственно перед датой выноса, направление и скорость ветра в день осадков и в дату выноса, площадь выносов. Как показал проведенный анализ погодные условия и выносы, производившиеся в акваторию Азовского моря, не сильно коррелируют, что говорит о том, что существуют иные проблемы данных выносов. Так как было выявлено, что погодные условия, то есть наличие осадков не сильно коррелирует с данными о выносах в Азовское море реки Кубань, было выдвинуто предположение о возможной зависимости сбросов, осуществляемых из Краснодарского водохранилища и данных выносов. Таким образом, была проведена работа по выявлению данной корреляции.

На данный момент были исследованы данные за период с 1 января 2016 года по 31 декабря 2017, наблюдается прямая зависимость. Так, было выяснено, что и в 2016, и в 2017 гг. сбросы Краснодарского водохранилища видны на спутниковых изображениях в виде выносов спустя 5-9 дней, в зависимости от наблюдаемой скорости ветра вдоль реки Кубань. Данная корреляция представлена в приложениях 1 и 2. Выбросы отслеживались при помощи системы спутникового мониторинга «See the Sea», спутниковые изображения представлены на рисунках 1 и 2.



Р и с. 1. Цветосинтезированное изображение, полученное над акваторией Азовского моря с аппаратуры OLI-TIRS (LANDSAT 8) 10.02.16 г.

На рис. 1 представлено спутниковое изображение, полученное в феврале 2016 года, видна довольно внушительная площадь выноса, которая будет точно указана далее. Также необходимо представить спутниковое изображение полученное в 2017 году.



Р и с. 2. Цветосинтезированное изображение, полученное над акваторией Азовского моря с аппаратуры MSI (SENTINEL-2A) 21.09.17 г.

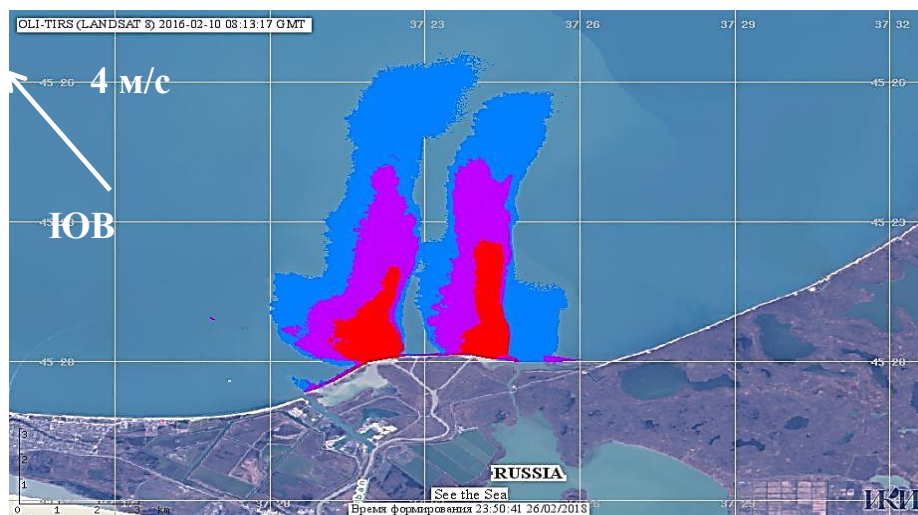
Данное изображение было сделано в сентябре 2017 года, площадь данного выноса практически в два раза меньше, о чем будет сказано далее. Также были просчитаны площади выносов через использование инструмента кластеризации, просмотрены погодные условия и направление ветра в день выноса непосредственно в районе дельты реки Кубань (использовались данные сайта [gr5](http://gr5.ru)). Такие данные представлены в приложениях 3 и 4 за 2016 и 2017 гг. соответственно.

Как уже было сказано, площади выбросов считались при помощи инструмента кластеризации в STS, примеры приведены на рисунках 5 и 6, соответственно за 2016 и 2017 гг.



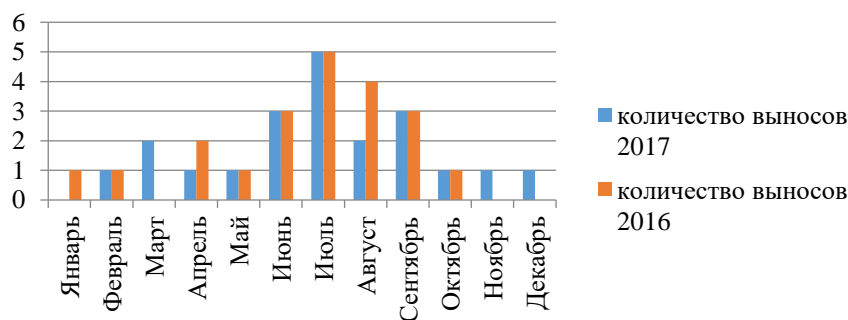
Р и с. 3. Кластеризованное изображение MSI Sentinel-2A (4-3-2 каналы), полученное над акваторией Азовского моря в районе дельты Кубани 21.09.2017г.

Как видно из приведенного рисунка, наблюдается довольно большой вынос, площадь которого достигает 23,5 кв. км. Если же обратиться к статистическим данным представленным выше, то площади выносов варьируются 4,9 – 290 кв. км. в 2017 году. Несомненно, что свою роль сыграло и направление, и скорость ветра в дельте Кубани в день выноса, например, на представленном рисунке дул ЮВ ветер со скоростью 1– 4 м/с. Для сравнения следует посмотреть на спутниковое изображение, полученное в 2016 году.



Р и с. 4. Кластеризованное изображение MSI Sentinel-2A (4-3-2 каналы), полученное над акваторией Азовского моря в районе дельты Кубани 10.02.2016 г.

Как видно из приведенного рисунка, ярко выражен выброс, равный по площади 51,44 кв. км, в день выноса дул юго-восточный ветер со скоростью 4 м/с. Далее было выявлено, что большее количество выносов приходится на месяц июль, как в 2016, так и в 2017 г., что отражено на рис. 5.



Р и с. 5. Количество произошедших выносов в 2016– 2017 гг. по данным STS

Также, исходя из данных, можно сказать, что пик сбросов приходится на конец мая, а именно 27 мая в 2017 году, и начала июня, а

именно 6 июня в 2016 году. По нашим предположениям это связано с таянием снега в горных районах Краснодарского края, где протекает река Кубань. Таким образом, проведя исследование, удалось выявить корреляцию между сбросами Краснодарского водохранилища и выносами реки Кубань в акваторию Азовского моря, также между размерами сбросов и площадью выносов, но не жесткую. Исходя из вышеизложенного, были получены следующие результаты:

- больше всего спутниковых изображений с выносами получено в июне;
- площади выносов варьируются 4,9 – 290 кв. км;
- наблюдается корреляция между большой площадью плюма и сбросами с Краснодарского водохранилища (выносы видны спустя 5-9 дней после сброса).

Вторым объектом исследования являлся Куршский залив. Куршский залив практически полностью замкнутый водоем, он является лагуной, отделен от Балтийского моря тонкой Куршской косой, которая является природным заповедником. Уровень воды в Куршском заливе несколько выше, чем в Балтийском море, поэтому существует постоянный выток воды из залива в море через узкий пролив в районе г. Клайпеда. Летом вода в заливе цветет, основной вид водорослей – сине-зеленые, которые являются токсичными. В залив впадает река Неман, весной она несет большое количество взвешенного вещества. Воды залива сильно отличаются по своим оптическим свойствам от морских вод, поэтому вынос из залива хорошо виден на спутниковых изображениях видимого диапазона.

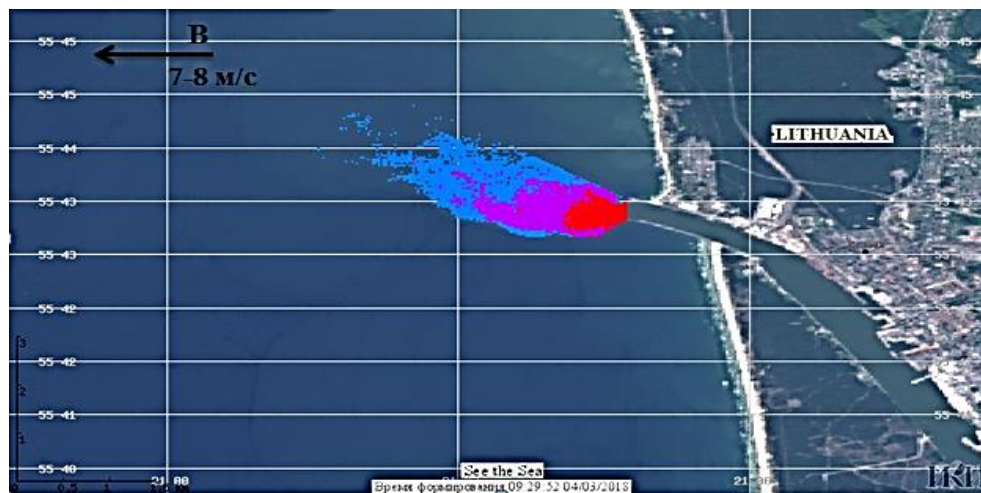
При помощи системы See The Sea были просмотрены и выявлены факты проявления выносов на спутниковых изображениях. Так, например, на рисунке 6 представлен пример выноса Куршского залива в акваторию Балтийского моря. Данное спутниковое изображение было получено 23.09.2016 с помощью MSI Sentinel-2A.



Р и с. 6. Цветосинтезированное изображение MSI Sentinel-2A (4-3-2 каналы), полученное над акваторией Балтийского моря в районе Куршского залива 23.09.2016 г.

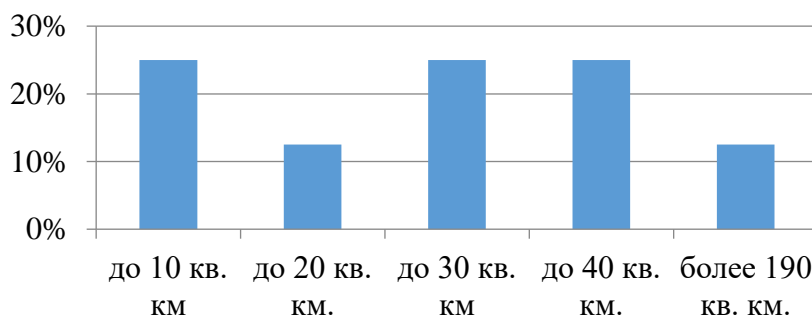
Видно, что вынос проявляется достаточно ярко, четко видна граница. Он распространяется сначала перпендикулярно береговой черте, а затем сносится на юго-запад под действием ветра. Направление ветра указано стрелкой на изображении.

Сначала необходимо было проанализировать площади выносов, что и было сделано в системе STS при помощи инструмента классификации. Пример представлен на рис. 7.

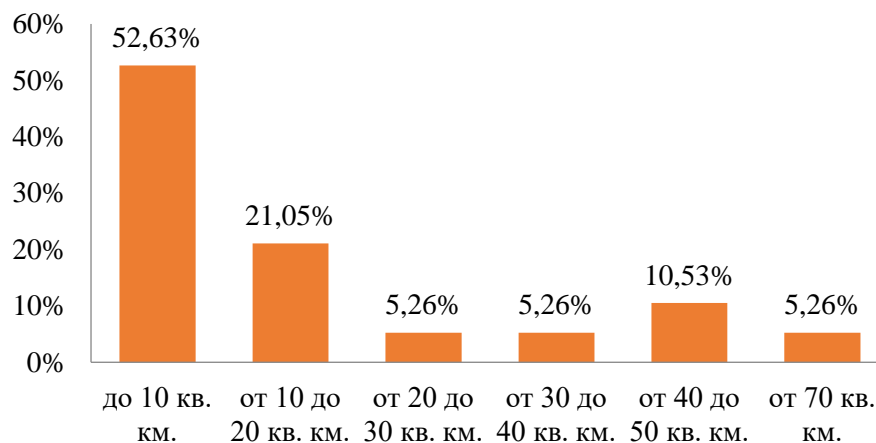


Р и с. 7. Результат классификации в STS. Изображение OLI Landsat 8 (4-3-2 каналы), полученное над акваторией Балтийского моря в районе Куршского залива 19.06.2016, площадь выноса – 3,13 кв. км.

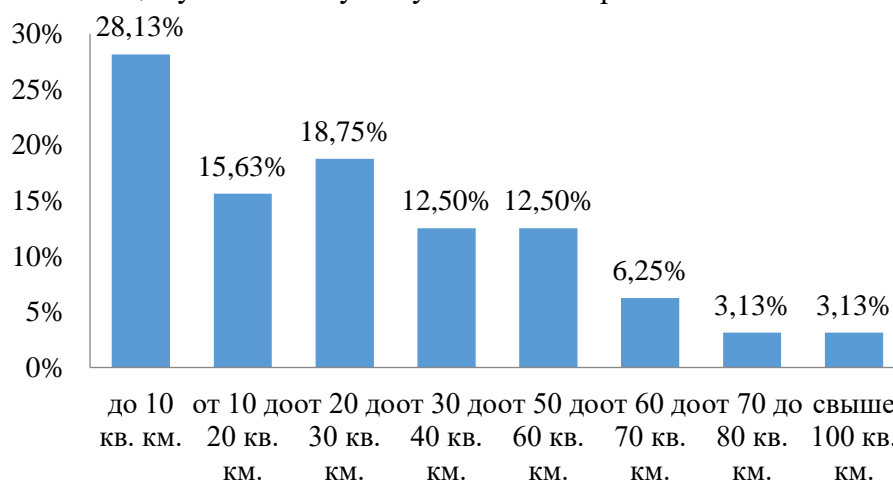
Классификация была проведена без обучения. Как видно на изображении ярко выделяются три области: красная, фиолетовая и голубая, они соответствуют областям выноса с разной мутностью. Далее в ходе исследования были проанализированы площади выносов в процентном отношении ко всем выносам, то есть количество снимков с определенными площадями были нормированы на общее количество изображений для получения более полной картины. Данные представлены на диаграммах (рис.8–10).



Р и с. 8. Соотношение количества определенных площадей выносов к общему количеству полученных изображений в 2014 г.



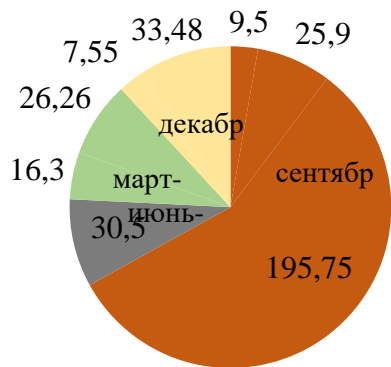
Р и с. 9. Соотношение количества определенных площадей выносов к общему количеству полученных изображений в 2015 г.



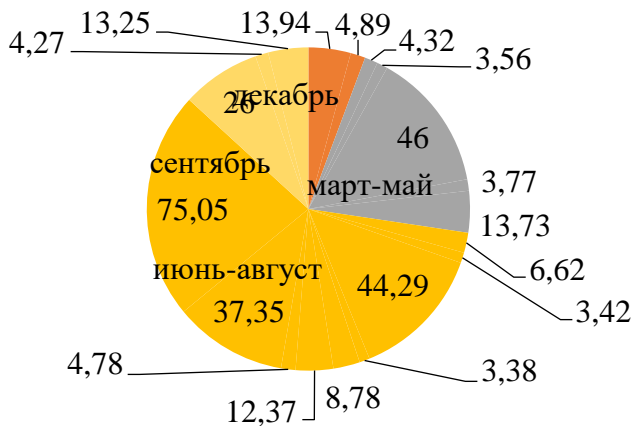
Р и с. 10. соотношение количества определенных площадей выносов к общему количеству полученных изображений в 2016 г.

Таким образом, из приведенных диаграмм видно, что больше всего на спутниковых изображениях было выявлено выносов с площадью от 0 до 10 кв. км. Это можно объяснить тем, что в заливе не наблюдается сильного течения при вытоке в Балтийское море, несмотря на то, что в залив впадает река Неман.

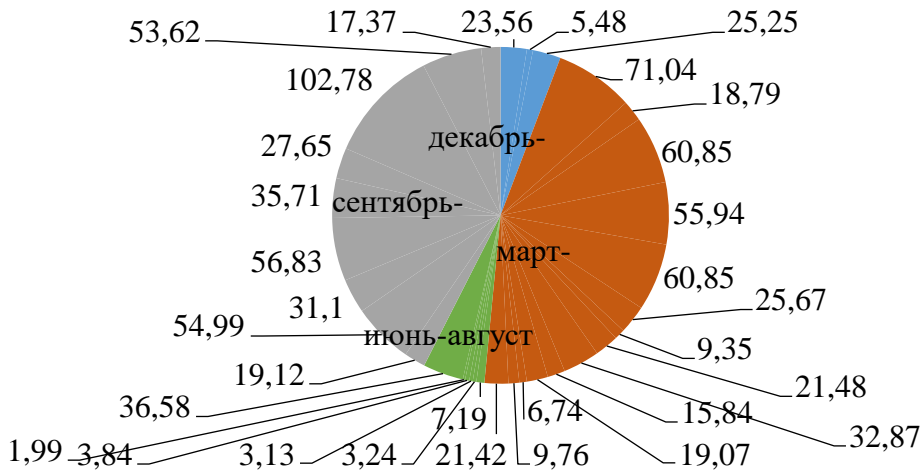
Далее на диаграммах представлена информация по площади и количеству выносов за определенное время года, с 2014 по 2016 гг.



Р и с. 11. Количество полученных спутниковых изображений с выносами по временам года в 2014 г.



Р и с. 12. Количество полученных спутниковых изображений с выносами по временам года в 2015 г.

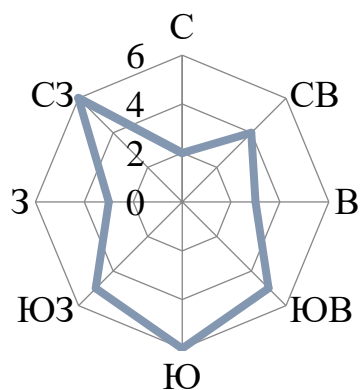


Р и с. 13. Количество полученных спутниковых изображений с выносами по временам года в 2016 г.



Из приведенных диаграмм видно, что площади варьируются от 7,55 кв. км. до 195,75 кв. км. в 2014 году, от 3,42 до 75,05 кв. км. в 2015 году и от 1,99 до 102,78 кв. км. в 2016 году.

Так же была проанализирована зависимость площади выносов от направления ветра. Для данного района Балтийского моря характерны западные и северо-западные ветра. Была построена роза ветров именно для тех дат, когда наблюдались выносы из Куршского залива, она представлена на рис. 14.



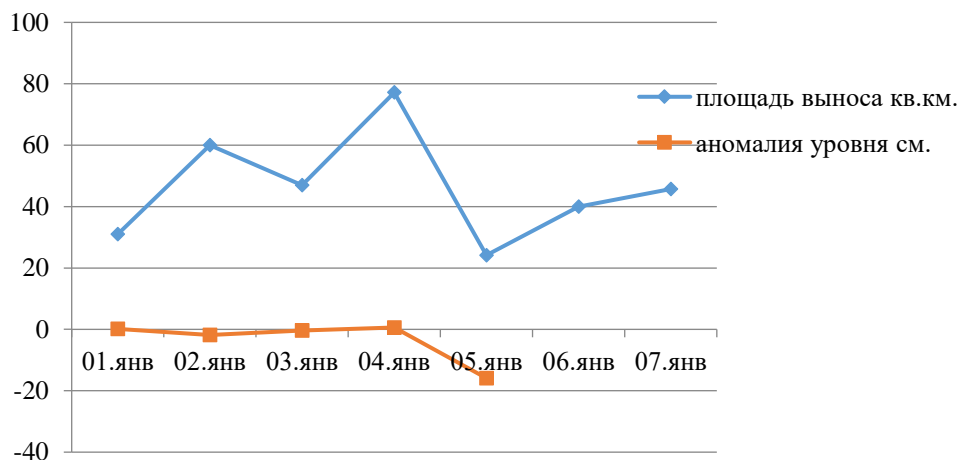
Р и с. 14. Роза ветров в дни проявления выносов на спутниковых изображениях в 2016 г.

Как видно из приведенной розы ветров четкой зависимости выносов от направления ветра не наблюдается. В дни четко прослеживаемых выносов ветер мог быть, как северо-западным, так и южным. Были рассмотрены радиолокационные изображения, выявлено, что граница четко видна даже на РЛИ, также иногда на границе наблюдались внутренние волны, пример РЛИ приведен на рис.15.

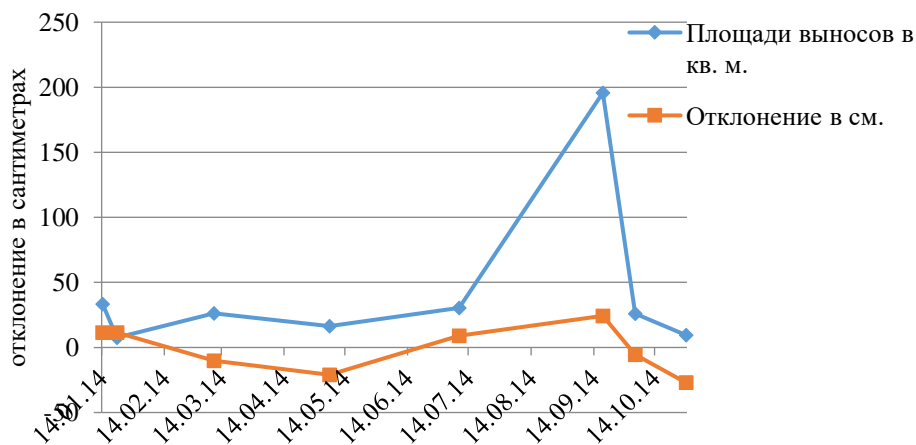


Р и с. 15. Радиолокационное изображение SAR-C Sentinel-1, полученное над акваторией Балтийского моря в районе Куршского залива 31.03.2017 г.

Далее так как наблюдается аномалия уровня воды в Куршском заливе и Балтийском море, была проанализирована зависимость уровня воды в заливе и площади выносов на рис. 16 и 17.



Р и с. 16. Сравнение площади выносов и отклонения уровня Куршского залива от нормали за 2013 г.



Р и с. 17. Сравнение площади выносов и отклонения уровня Куршского залива от нормали за 2014 г.

Видно, что существует данная зависимость, то есть, чем выше уровень воды в заливе, тем больший по площади вынос наблюдается и наоборот, чем меньше уровень воды, тем меньше вынос.

При анализе были использованы данные Jason-1 (с 1 по 260 циклы) и Jason-2 (с 000 по 303 циклы), полученные с сайта Radar Altimeter Data Acquisition from RADS (<http://rads.tudelft.nl>). При обработке данных учитывались следующие аспекты: поправки на сухость и влажность тропосферы (Dry tropospheric correction и Wet tropospheric correction),

ионосферная поправка (Ionospheric correction), аномалии уровня воды рассчитывались по модели «CNES-CLS11 mean sea surface height».

Таким образом, в ходе исследования было выявлено следующее:

- наибольшее количество выносов приходится на категорию до 10 кв. км;
- площади выносов варьируются в 2015 году – 4,78-75,05 кв. км; в 2016 году – 1,99-102,78 кв. км;
- выявлено отсутствие корреляции между направлением ветра и образованием хорошо выраженного выноса;
- выявлена корреляция между уровнем воды в заливе и площадью выноса.

Спутниковый мониторинг водных объектов является важной частью мониторинга гидросферы Земли в целом. Как видно из проведенного анализа, он подходит для наблюдений речных и лагунных плюмов на морской поверхности. Зачастую, это можно делать в оптическом диапазоне, но, например, выносы Куршского залива видны и в радиолокационном диапазоне. Возможность видеть выносы на спутниковых изображениях оптического диапазона обусловлена различием мутности морских, речных и лагунных вод. Так река Кубань несет воду с горных районов вместе с землей, глиной и др. В Куршском же заливе происходит цветение сине-зеленых водорослей, что позволяет четко видеть плюмы в Балтийском море.

#### **Список литературы**

1. Лаврова О. Ю., Костяной А. Г., Лебедев С. А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России – М.: ИКИ РАН, 2011. 480 с.
2. Бучнев А. А., Пяткин В. П. Спутниковый мониторинг водных поверхностей и ледяных полей – ИВМиМГ СО РАН, СГГА, Новосибирск. 2010. 8 с.
3. Архив погоды в г. Темрюк, ст. Варениковской, г. Краснодар. Электронный ресурс. URL: <https://rp5.ru/> (дата обращения: 28.11.17).
4. Информационная база по альтиметрии: Radar Altimeter Database System. Электронный ресурс. URL: <http://rads.tudelft.nl/rads/rads.shtml> (дата обращения: 07.05.18).
5. Информационная база по альтиметрическим спутникам. Электронный ресурс. URL: <https://www.aviso.altimetry.fr/en/home.html> (дата обращения: 27.04.18).
6. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.

7. Лупян Е. А., Матвеев А. А., Уваров И. А., Бочарова Т. Ю., Лаврова О. Ю., Митягина М. И. Спутниковый сервис See the Sea – инструмент для изучения процессов и явлений на поверхности океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 251–261.

## **MONITORING OF RIVER AND BAY DISCHARGES WITH THE HELP OF SATELLITE IMAGES OF VISIBLE RANGE**

**Shchegolikhina M. S.<sup>1</sup> Lavrova O. U.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow

<sup>2</sup>Space Research Institute Russian Academy of Sciences, Moscow

In this article for monitoring have been chosen two areas: the water area of the Azov Sea and the water area of the Baltic Sea. During the research the author used data of following satellites: Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat-7, Landsat-8. As a results the author get that the Kuban river discharges depend on Krasnodar reservoir water drops, and the Coursian bay discharges depend on different water levels of the bay and the Baltic Sea.

**Keywords:** *the Coursian bay, the Baltic Sea, Kuban river, the Azov Sea, remote sensing data, river discharges, satellite monitoring.*

*Об авторах:*

ЩЕГОЛИХИНА Мария Сергеевна, студент-магистр, МГУ им. Ломоносова, e-mail: Mariya.shegolikhina@yandex.ru

ЛАВРОВА Ольга Юрьевна, канд. физ.-мат. наук, доцент, Институт космических исследований Российской академии наук, Москва, e-mail: olavrova@iki.rssi.ru.