



УДК 556.044

СПУТНИКОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ ПЛАСТИКОВОЙ ПЛЕНКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

Даниличева Ольга Аркадьевна, научный сотрудник отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН
Институт прикладной физики РАН
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Лещев Георгий Владимирович, инженер-электрик отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН
Институт прикладной физики РАН
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Ермаков Станислав Александрович, д.ф.-м.н., зав. отделом радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН, зав. кафедрой ГТКиЭБС ВГУВТ
Институт прикладной физики РАН
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46
Волжский государственный университет водного транспорта
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

Исследование в части обработки и анализа данных выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-17-00167) <https://rscf.ru/project/23-17-00167/>, организация эксперимента выполнена в рамках проекта РГО “Экспедиция Плавающий университет Волжского бассейна” № 06/2025-Р.

Аннотация. Представлены данные нового контролируемого подспутникового эксперимента по проявлению пластикового мусора на спутниковых мультиспектральных изображениях. Подобный эксперимент впервые проведен на поверхности внутреннего водоёма. Полученные данные сравниваются с данными аналогичных экспериментов в морских условиях, известных из литературы.

Ключевые слова: пластиковый мусор, подспутниковый эксперимент, спутниковые изображения, мультиспектральные данные, Sentinel-2

Антропогенный мусор, особенно пластик, проникая в морские и пресноводные экосистемы, наносит им значительный ущерб. Это выражается как в гибели животных от удушья и отравления [1], так и в распространении инвазивных видов, например, микроводорослей-обрастателей [2], которые способствуют выбросу токсичных химических веществ в окружающую среду [3]. Таким образом, пластиковое загрязнение

из многочисленных источников (включая речной сток) оказывает комплексное негативное воздействие на водные экосистемы, что подчеркивает важность эффективного мониторинга таких отходов.

Одним из ключевых инструментов для этого является дистанционное зондирование, а именно – применение спектральных индексов [4]. Для определения наиболее эффективного индекса для детектирования пластика из ряда существующих или для создания нового индекса требуется валидация данных на основе контролируемых подспутниковых экспериментов. Такие эксперименты достаточно редки, что связано с трудоёмкостью создания большой площади покрытия поверхности воды пластиком, порядка или больше элемента разрешения спутниковых данных. На данный момент самое высокое пространственное разрешение открытых мультиспектральных спутниковых данных – 10 м. При этом известные из литературы подспутниковые эксперименты проводились в морских условиях [5,6], в условиях внутренних водоемов о таких экспериментах авторам не известно.

Нами был проведен подспутниковый эксперимент на Горьковском водохранилище в августе 2025 года. На поверхности водоёма было размещено полотно размерами 15 м x 30 м из полиэтиленовой воздушно-пузырьковой плёнки (полиэтилен высокого давления HDPE) под спутник Sentinel-2 с мультиспектральным устройством MSI на борту (рис.1 слева). На рис. 1 справа представлено полученное спутниковое изображение пластикового полотна на поверхности водоёма. Изображение представлено в естественных цветах (комбинация красного, зеленого и синего диапазонов).



Рис.1. (Слева) Фото пластикового полотна на поверхности Горьковского водохранилища, сделанного в ходе проведения эксперимента 12.08.2025. (Справа) Спутниковое изображение полотна из пластика (светлая область), полученное с помощью Sentinel-2 MSI 12.08.2025.

На основе полученного спутникового изображения пластикового полотна на поверхности воды были рассчитаны спектральный индекс Plastic Index (PI), один из наиболее используемых для детектирования пластикового мусора (см. Даниличева, Ермаков, 2025). Полученные данные сравнивались с данными известных в литературе подспутниковых морских экспериментов с пластиковым мусором упомянутых выше (рис. 2).

Индекс рассчитывается следующим образом:

$$PI = \frac{R_{NIR}}{R_{NIR} - R_{Red}}, \quad (1)$$

где R_i – коэффициент отражения на длине волны i . Для расчётов индекса используются следующие значения длин волн: красный диапазон Red – 665 нм, ближний инфракрасный диапазон NIR (Near-Infrared) – 865 нм.

Следует отметить, что описанный в этой работе эксперимент проводился в условиях значительного уровня эвтрофикации водоёма, что видно на спутниковом изображении на рис. 1 справа. Такие сложные для анализа условия могли вносить вклад в рассчитанные индексы и в отображение пластика в них. Для лучшего понимания спектральные индексы также рассчитывались и для областей с высокой концентрацией фитопланктона на изображении, которые коррелируют с интенсивностью рассеяния в ближнем инфракрасном диапазоне. Эти данные в свою очередь сравнивались с данными наблюдений толстых биогенных плёнок на поверхности морей и внутренних водоемов, которые регулярно наблюдаются как плотные скопления фитопланктона.

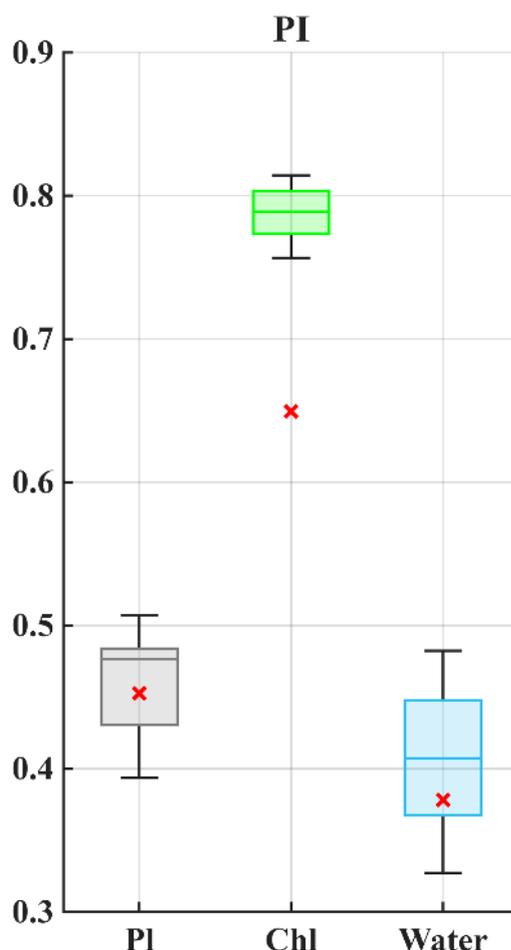


Рис.2. Рассчитанный спектральный индекс PI. Значения, рассчитанные на основе проведенного эксперимента, обозначены красным крестом. Данные для морских условий, известные из литературы, обозначены блочной диаграммой. По оси абсцисс слева направо: пластик, фитопланктон, вода.

На рис. 2 видно, что новые подспутниковые данные для пластика в условиях внутренних водоёмов хорошо согласуются с известными из литературы данными для морских условий. При этом значения индекса для пластика согласуются даже с учётом эвтрофикации водоёма. Отметим, что полученные значения индексов в ходе проведенного эксперимента для областей высокой концентрации фитопланктона значительно ниже, чем значения индексов для толстых биогенных плёнок. Это говорит о том, что в ходе эксперимента такие плёнки на поверхности воды не наблюдались и что фитопланктон был распределен в приповерхностном слое воды, соответственно, вклад в отображение пластика на поверхности воды вносил мало.

Дальнейшее проведение аналогичных подспутниковых экспериментов позволит расширить понимание отображения пластикового мусора, плавающего на поверхности воды внутренних водоёмов, на спутниковых мультиспектральных изображениях. Новые данные способствуют улучшению методов мониторинга пластиковых отходов, в том числе, на поверхности внутренних водоёмов.

Список литературы:

1. Rochman C. M. et al. The ecological impacts of marine debris: unraveling the demonstrated evidence from what is perceived //Ecology. – 2016. – Т. 97. – №. 2. – С. 302-312.
2. Vodeneeva E. et al. Epiplastic Algal Communities on Different Types of Polymers in Freshwater Bodies: A Short-Term Experiment in Karst Lakes //Water. – 2024. – Т. 16. – №. 22. – С. 3288.
3. Kwon B. G. et al. Global styrene oligomers monitoring as new chemical contamination from polystyrene plastic marine pollution //Journal of hazardous materials. – 2015. – Т. 300. – С. 359-367.
4. Waqas M. et al. Marine plastic pollution detection and identification by using remote sensing-meta analysis //Marine Pollution Bulletin. – 2023. – Т. 197. – С. 115746.
5. Papageorgiou D. et al. Sentinel-2 detection of floating marine litter targets with partial spectral unmixing and spectral comparison with other floating materials (plastic litter project 2021) //Remote Sensing. – 2022. – Т. 14. – №. 23. – С. 5997.
6. Themistocleous K. et al. Investigating detection of floating plastic litter from space using sentinel-2 imagery //Remote Sensing. – 2020. – Т. 12. – №. 16. – С. 2648.
7. Даниличева О.А., Ермаков С.А. О возможностях использования спектральных индексов для идентификации пластикового мусора на спутниковых мультиспектральных изображениях океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Принята к печати – 2025.

ON THE POSSIBILITY OF DETECTING PLASTIC DEBRIS ON THE SURFACE OF INLAND WATER BODIES USING SATELLITE MULTISPECTRAL DATA. A SUB-SATELLITE EXPERIMENT.

Olga A. Danilicheva, Georgy Leshchev, Stanislav A. Ermakov

Abstract. Data from a new controlled sub-satellite experiment on the detection of plastic debris in satellite multispectral imagery are presented. This is the first such experiment conducted on the surface of an inland water body. The obtained data are compared with data from similar experiments conducted in marine conditions, as reported in the literature.

Keywords: plastic debris, sub-satellite experiment, satellite images, multispectral data, Sentinel-2.