



УДК 556.044

**ПРОЯВЛЕНИЕ ЗОН ИНТЕНСИВНОГО ЦВЕТЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В  
РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛАХ ПРИ ЗОНДИРОВАНИИ ВНУТРЕННИХ  
ВОДОЕМОВ**

**Даниличева Ольга Аркадьевна**, младший научный сотрудник 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

**Капустин Иван Александрович**, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН, старший научный сотрудник ВГУВТ  
Институт прикладной физики РАН  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46  
Волжский государственный университет водного транспорта  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

**Ермошкин Алексей Валерьевич**, к.ф.-м.н., научный сотрудник отдела нелинейных геофизических процессов ИПФ РАН  
Институт прикладной физики РАН  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

**Лазарева Татьяна Николаевна**, ведущий программист 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

**Доброхотова Дарья Васильевна**, стажер-исследователь отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН  
Институт прикладной физики РАН

**Сергиевская Ирина Андреевна**, к.ф.-м.н, зав.лаб. отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН, ведущий научный сотрудник ВГУВТ  
Институт прикладной физики РАН  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46  
Волжский государственный университет водного транспорта  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

*Аннотация. Анализ проявления зон интенсивного цветения фитопланктона в радиолокационных сигналах и на спутниковых мультиспектральных изображениях внутренних водоемов. Показано уменьшение интенсивности радиолокационного сигнала в областях повышенной концентрации фитопланктона, в частности, из-за наличия толстых биогенных плёнок на поверхности воды, гасящих мелкомасштабное ветровое волнение.*

*Ключевые слова: фитопланктон, радиолокационное зондирование, экологический мониторинг, плёнки ПАВ, мелкомасштабное волнение*

Интенсивное “цветение” фитопланктона вызывает снижение прозрачности воды, уменьшение концентрации растворенного кислорода, резкое повышение уровня содержания токсинов в воде и т.д., что приводит к массовой гибели рыбы, нарушению нормальной работы водоочистных сооружений, непригодность использования воды как питьевой и пр. Использование спутниковых систем для диагностики таких зон “цветения” является весьма актуальным для развития методов экологического мониторинга внутренних водоемов и прибрежных зон океана. Ранее на основе анализа данных спутниковых скаттерометров [1] сделали вывод о том, что зоны цветения фитопланктона могут детектироваться на радиолокационных изображениях морской поверхности. Первое прямое свидетельство связи интенсивности радиолокационного рассеяния, характеристик биогенных пленок, связанных с фитопланктоном, и его концентрации были представлены в работе [2].

В настоящей работе представлены, как развитие результатов предыдущих экспериментов, так и данные новых комплексных радиофизических исследований зон цветения фитопланктона. Работы проводились в 2022 году на Горьковском водохранилище с борта плавучей лаборатории ИПФ РАН “Геофизик”. Судовые наблюдения включали измерения концентрации фитопланктона зондом YSI EXO 2, отбор проб поверхностных пленок и анализ их характеристик, радиолокационное зондирование ветрового волнения СВЧ-скаттерометрами (длины волн 8 мм и 3 см), скорости ветра и течений. Наблюдения проводились квазисинхронно со съемкой акватории со спутника Sentinel-2 мультиспектральным устройством (инструмент MSI).

Из спутниковых данных было получено распределение плавающих на поверхности воды водорослей, через расчёт индекса FAI (Floating Algae Index), согласно [3]. На рис. 1(a) представлены данные натурных измерений и проекция индекса FAI на трек судна в зависимости от времени измерения. Пространственное распределение плавающих водорослей показало соответствие в положении между повышенными значениями индекса FAI и максимумами концентрации хлорофилла, измеренными с помощью зонда YSI. Такое соответствие говорит о наличии толстых биогенных плёнок на поверхности воды в областях высокой концентрации хлорофилла, которые наблюдаются благодаря скоплению сгустков водорослей и частиц (пыли, цвета растений, пыльцы и др.). Присутствие на поверхности воды таких толстых биогенных пленок подтвердили и полученные в эксперименте достаточно низкие значения коэффициента поверхностного натяжения в поверхностных пробах.

В целом, интенсивность сигналов СВЧ-скатерометров снижалась в зонах сильного цветения из-за подавления мелкомасштабной ветровой ряби (рис. 1(б)), хотя корреляция вариаций интенсивности радиолокационного рассеяния, концентрации водорослей и коэффициента поверхностного натяжения не всегда была высокой.

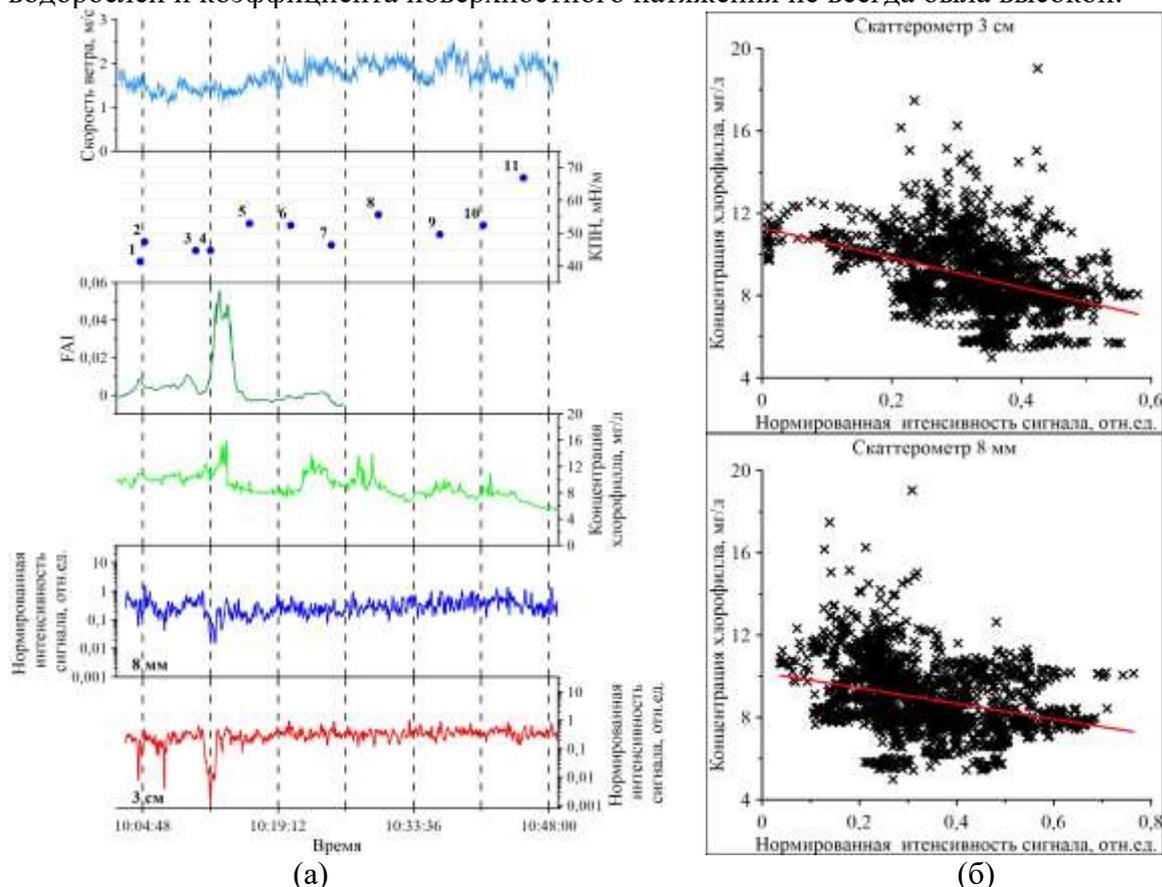


Рис. 1. а) Полученные данные от времени измерений, сверху-вниз: скорость ветра; коэффициент поверхностного натяжения; индекс FAI; концентрация хлорофилла, полученная с помощью зонда YSI; нормированная интенсивность сигнала 8-мм скатерометра; нормированная интенсивность сигнала 3-см скатерометра. б) Зависимость интенсивности нормированного радиолокационного сигнала для 3-см скатерометра (сверху) и для 8-мм скатерометра (снизу) от концентрации хлорофилла-а.

Такое несоответствие может быть связано с рядом причин. Во-первых, в условиях достаточно высокой в целом концентрации биогенных пленок, вариации этой концентрации уже не приводят к сильным вариациям коэффициента затухания и, соответственно, вариациям интенсивности ветровой ряби. Во-вторых, пульсации скорости ветра маскируют эффект подавления волн пленками. Наконец, сравнение “мгновенной” спутниковой панорамы с результатами судовых измерений, проводившихся в течение порядка часа, позволяет лишь качественно оценить соответствие спутниковых данных и данных натуральных экспериментов.

Работа выполнена в рамках Госзадания 0030-2021-0006, Соглашения с Минобрнауки №075-15-2020-776, а также гранта РГО 17\_2022-Р “Экспедиция Плавающий университет Волжского бассейна”.

### Список литературы:

1. Lin I. I., Alpers W., Liu W. T. First evidence for the detection of natural surface films by the QuikSCAT scatterometer // *Geophysical research letters*. – 2003. – Т. 30. – №. 13. <https://doi.org/10.1029/2003GL017415>
2. Ermakov, S. A., Kapustin, I. A., Lazareva, T. N., Sergievskaya, I. A., Andriyanova, N. V. On the possibilities of radar probing of eutrophication zones in water reservoirs // *Izvestiya*,

## **MANIFESTATION OF INTENSIVE PHYTOPLANKTON FLOWERING ZONES IN RADAR SIGNALS DURING INTERNAL WATER BODIE SOUNDING**

Olga A. Danilicheva, Stanislav A. Ermakov, Ivan A. Kapustin, Alexei V. Ermoshkin,  
Tatiana N. Lazareva, George V. Leshchov, Daria V. Dobrokhotova, Irina A. Sergiyevskaya

*Abstract. Analysis of intense phytoplankton bloom zones manifestation in radar signals and satellite multispectral images of inland waters. A decrease in the radar signal intensity in areas of increased phytoplankton concentration is shown, in particular, due to the presence of thick biogenic films on the water surface, which dampen small-scale wind waves.*

*Keywords: phytoplankton, radar sounding, environmental monitoring, surfactant films, small-scale waves.*