

ANALYSIS OF SPATIAL INHOMOGENEITY OF PHYTOPLANKTON AND YELLOW SUBSTANCE IN THE KARA SEA BAYS

*Vladimir V. Kirillov¹, Nelly M. Kovalevskaya¹, Alexander S. Pechkin²,
Anton V. Kotovshchikov¹, Tatiana V. Skrospechova³, Aleksandra S. Skachkova⁴,
Alexander N. Semchukov¹*

¹Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

²Arctic Research Center, Salekhard, Russia

³Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

⁴Sovzond Company Ltd., Moscow, Russia

Abstract

Ship and satellite (RapidEye, Terra / ASTER, Landsat-8) data are used for analysis. Depth Delft3D-maps is a tool for preliminary analysis. Statistical relationships (determination coefficient changes from 0.92 to 0.99) between optically active substance concentrations and apparent optical properties are revealed. The relationships shows optical complexity of the studied area waters and necessity to use the bands (CoastalBlue, Green, RedEdge) for detailed monitoring of phytoplankton and yellow matter in the Kara Sea bays.

Keywords: phytoplankton, yellow matter, Delft3D-bathymetry, satellite data of high resolution

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ КОЛИЧЕСТВА ФИТОПЛАНКТОНА И ЖЕЛТОГО ВЕЩЕСТВА В ЗАЛИВАХ КАРСКОГО МОРЯ

Кириллов В.В.⁽¹⁾, Ковалевская Н.М.⁽¹⁾, Печкин А.С.⁽²⁾, Котовицков А.В.⁽¹⁾,
Скороспехова Т.В.⁽³⁾, Скачкова А.С.⁽⁴⁾, Семчуков А.Н.⁽¹⁾

¹ Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

² Научный центр изучения Арктики, Салехард

³ АНИИ Росгидромета, Санкт-Петербург

⁴ СОВЗОНД, Москва

Для анализа используются судовые и спутниковые данные (RapidEye, Terra/ASTER, Landsat-8). Инструментом предварительного анализа являются Delft3D-карты глубин. Построены корреляционные соотношения (коэффициент детерминации от 0.92 до 0.99) между концентрациями оптически активных веществ и полученными спутниковыми данными. Эти соотношения продемонстрировали оптическую сложность вод исследуемых акваторий и необходимость использовать данные наборов диапазонов (CoastalBlue, Green, RedEdge) для детального мониторинга фитопланктона и желтого вещества в заливах Карского моря.

Ключевые слова: фитопланктон, желтое вещество, Delft3D-batimетрия, спутниковые данные высокого разрешения.

Введение. В заливы Карского моря – Обскую и Гыданскую губы – поступают водный, химический и биологический стоки с реками Обь, Таз, Пур, Надым и другими водотоками, дренирующими территорию Ямало-Ненецкого автономного округа, включая полуострова Ямал и Гыдан, которые испытывают на себе воздействие предприятий нефтегазового комплекса.

Комплексные исследования Обской Губы, Гыданской губы и их водосборных бассейнов одновременно методами дистанционного биооптического зондирования и контактными методами дают новое знание о современном состоянии экотональной экосистемы исследуемого региона, позволяя оценить относительную значимость природных и антропогенных факторов в водных экосистемах Субарктики.

Фитопланктон – экологическое сообщество обитающих в водной толще микроскопических растительных клеток – водорослей, представителей различных биологических видов, разнообразных по форме, размерам, скорости роста и биохимическим характеристикам. Уровень развития фитопланктона определяет трофический статус водных экосистем, отражает количество биогенных и органических веществ и одновременно является фактором биологического самоочищения поверхностных вод от загрязнения. К числу интегральных, количественных и оперативных методов исследования уровня развития, динамики, пространственного распределения, продукционных характеристик и физиологического состояния фитопланктона относится определение в поверхностных водах содержания основного фотосинтетического пигмента водорослей – хлорофилла а (ХЛ). Хлорофилльный метод используется для экологического мониторинга по автотрофному звену экосистем, оценки уровня трофности и качества воды водных объектов.

Процессы, формирующие и поддерживающие функционирование водных экосистем, также отражаются на таком интегральном показателе, как желтое вещество или растворенное органическое вещество (РОВ). Поэтому, чтобы понять эти процессы, необходимо изучение изменчивости его состояния во времени и пространстве [1].

Предыдущие исследования на основе судовых и спутниковых наблюдений продемонстрировали, что максимальные значения интенсивности флуоресценции ХЛ и РОВ наблюдаются в Обской губе. Также выделяются фронтальные зоны с резкими изменениями этих параметров [2]. При этом полученное ранее количество судовых наблюдений было недостаточным, чтобы построить надежные регрессионные модели на основе использования, в частности, спутниковых данных Terra/MODIS [3].

В июле и августе 2015 были проведены экспедиционные исследования в заливах Карского моря, в том числе с целью изучения первично-продукционных характеристик и РОВ. Получены концентрации ХЛ, как интегрального показателя уровня развития фитопланктона, и коэффициенты поглощения РОВ на основе анализов проб воды, отобранных на различных участках Обской губы и Гыданской губы.

Данные in-situ были использованы в биооптических алгоритмах эвристического типа. Традиционно такие алгоритмы использовались для открытых морских и океанических вод (типа 'case-1'), главной характеристикой которых является уровень концентрации ХЛ. Поэтому соответствующие модели опираются на данные диапазонов максимума поглощения ХЛ (Blue) и минимума поглощения ХЛ (Green). Этим моделям противопоставляются модели вод типа 'case-2', где содержание фитопланктона, ВВ и РОВ гораздо выше, чем для вод типа 'case-2'. Биооптические алгоритмы для эвтрофных вод (высокие концентрации ХЛ) и для мутных вод (высокие концентрации ВВ) основаны на данных диапазонов Red и NIR [4]. В общем, деление вод только на два типа является достаточно условным и необъективным. Наше исследование продемонстрировало оптическую сложность вод заливов Карского моря, не относящихся ни к одному перечисленным условиям. Полученные регрессионные зависимости показали необходимость учитывать одновременно данные следующих диапазонов:

- для концентраций ХЛ – Green и RedEdge (или Red),
- для коэффициента поглощения РОВ – CoastalBlue и Green.

В результате пространственного анализа установлены значительные отличия по концентрации ХЛ (и другим пигментным характеристикам водорослей фитопланктона [5]) с тенденцией уменьшения количества фитопланктона по мере продвижения от дельты реки Обь к выходу из губы в Карское море, на градиенте солености [6].

Используемые данные и методы для предварительного анализа. Для анализа пространственного распределения фитопланктона по содержанию ХЛ и коэффициента поглощения РОВ использованы данные измерений физико-химическими (экстрактными) методами. Технологическая схема включала:

- определение содержания хлорофилла в воде спектрофотометрированием ацетонового экстракта концентрата планктонных водорослей;
- обработку проб воды на содержание РОВ на основе измерения на двулучевом спектрофотометре SPECORD 200 Analytik Jena и вычислений с помощью программных комплексов Winaspect, CDOM.

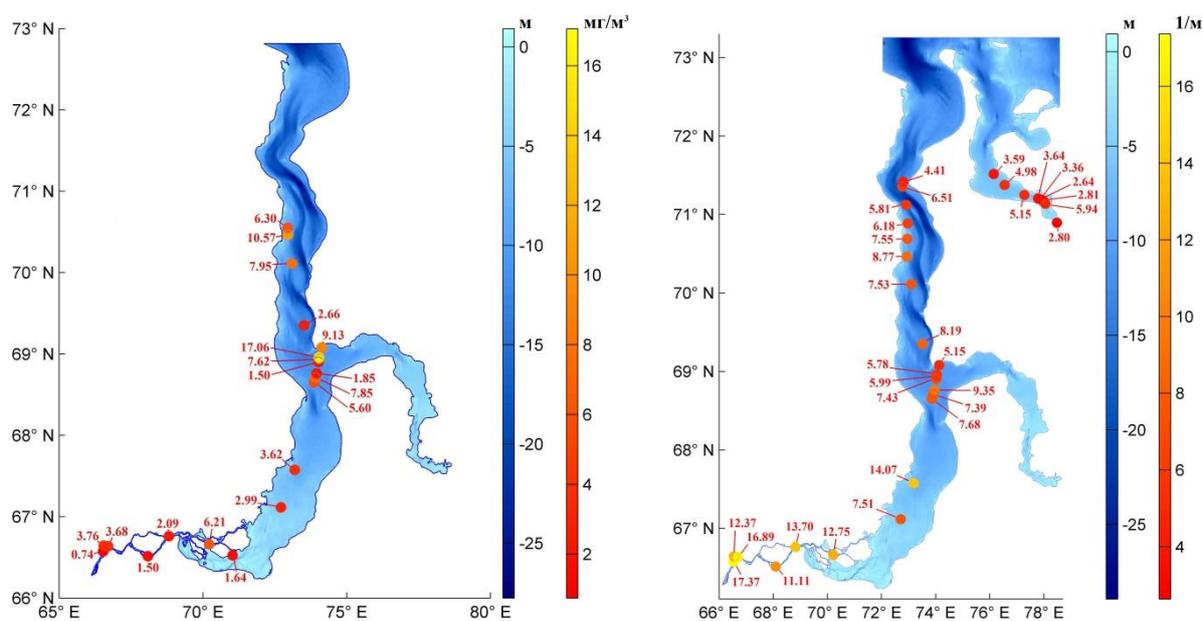


Рис. 1. Представление концентраций ХЛ (слева) и коэффициентов поглощения РОВ (справа) с использованием батиметрических Delft3D-карт.

Учитывая изменчивость процессов и возможное ветровое воздействие в исследуемой акватории, полученные данные были представлены с использованием батиметрических Delft3D-карт, полученных с помощью набора криволинейных ортогонализированных сеток (рис. 1).

Обработка спутниковых данных. Расчет концентраций хлорофилла и коэффициентов поглощения РОВ проводился на основе спутниковых данных высокого разрешения и эвристического моделирования. Для исследования использовались следующие спутниковые данные: RapidEye (5м, 04.08.2015), Terra/ASTER (15м; 07.07.2015, 16.07.2015, 04.08.2015), Landsat-8 (30м, 31.07.2015).

Самый высокий коэффициент детерминации для определения концентраций ХЛ с использованием полученных in-situ данных показали эвристические модели, основанные на использовании диапазонов спутника RapidEye: RedEdge и Green (рис.2,3).

Модели для определения концентраций ХЛ с использованием данных Terra/ASTER продемонстрировали необходимость одновременно использовать данные диапазонов Green и NIR (рис.2,4). Аналогичные результаты для оценок концентраций ХЛ были получены на основе использования данных Landsat-8 (рис.2,5).

Модели для оценки коэффициента поглощения РОВ на основе данных Landsat-8 показали эффективность использования диапазона CoastBlue (рис.2,6), который соответствует максимуму поглощения РОВ [7].

Заключение. Исследования, проведенные на основе использования in-situ данных Обской и Гыданской губ и эвристического моделирования, продемонстрировали оптическую сложность заливов Карского моря. Если в прибрежных водах с невысоким содержанием ХЛ спектральные диапазоны Green и Blue являются наиболее чувствительными к изменениям концентраций ХЛ, а в мутных и/или эвтрофных водах диапазоны Red и NIR становятся более значимыми, то для мониторинга исследуемой акватории необходимо использовать данные наборов диапазонов $\{(Green, RedEdge)_{ХЛ}, (CoastalBlue, Green)_{РОВ}\}$.

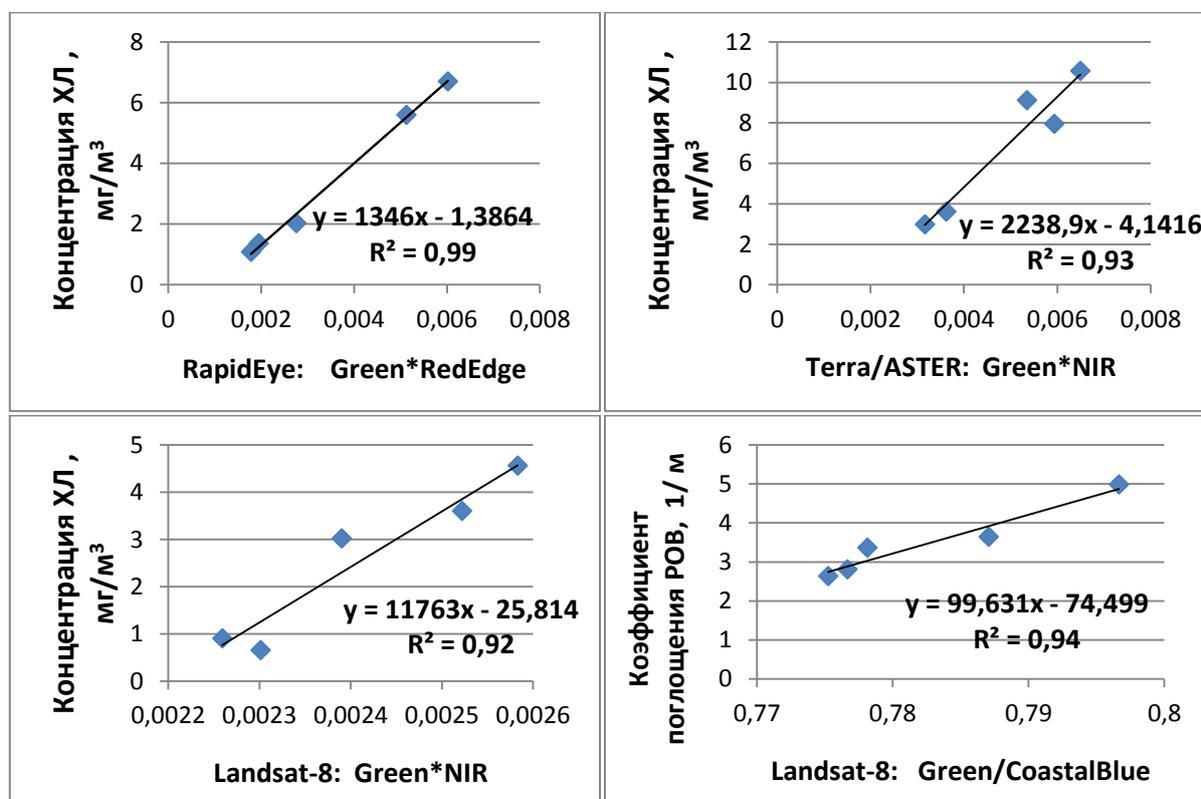


Рис. 2. Регрессионные зависимости данных in-situ и спутниковых наблюдений.

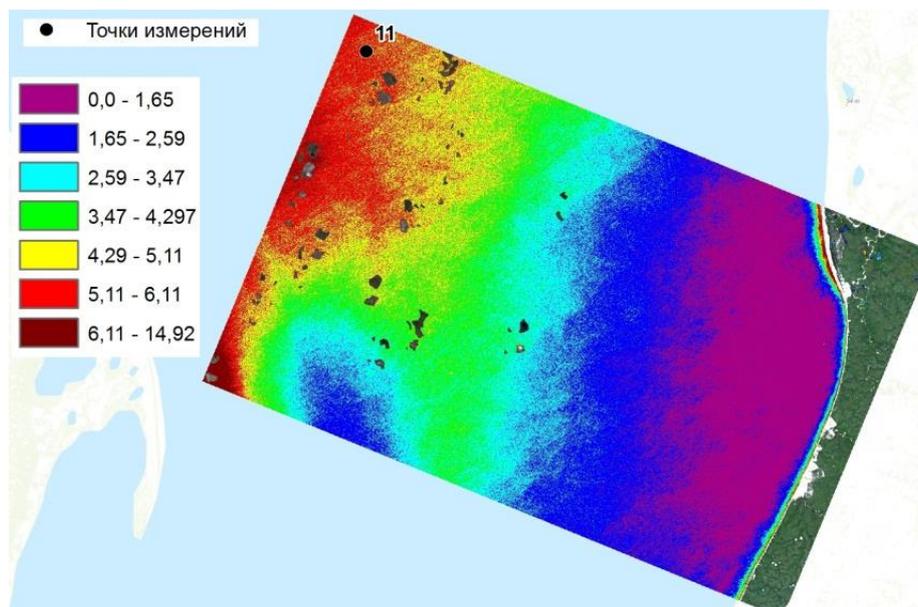


Рис.3. Распределение концентрации ХЛ ($\text{мг}/\text{м}^3$) по данным спутника RapidEye (04.08.2015).

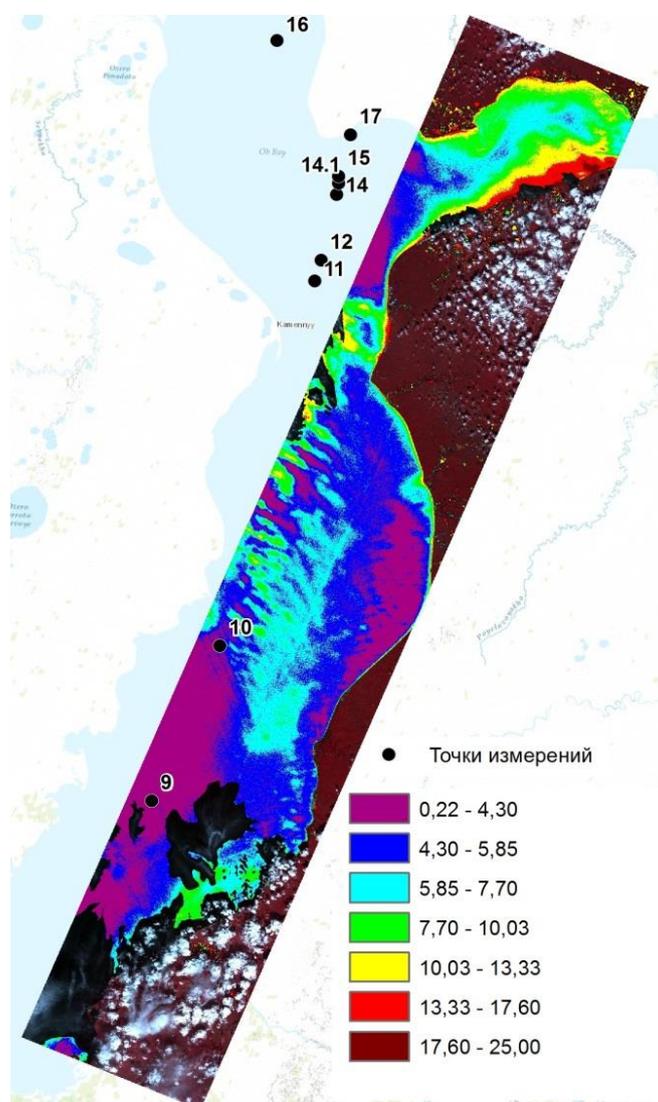


Рис.4. Распределение концентрации ХЛ ($\text{мг}/\text{м}^3$) по данным спутника Terra/ASTER (16.07.2015)

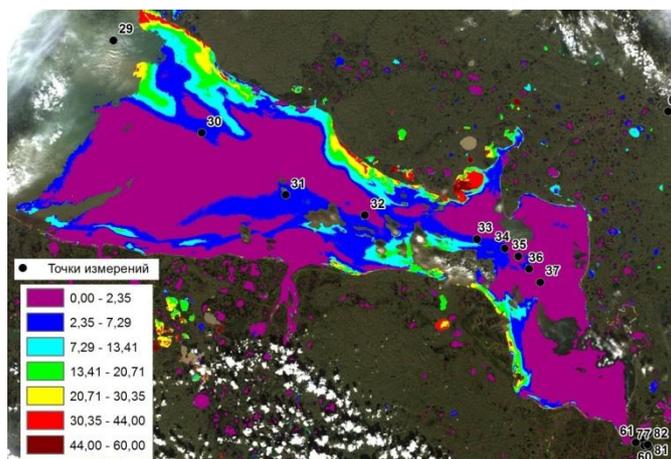


Рис.5. Распределение концентрации ХЛ ($\text{мг}/\text{м}^3$) по данным спутника Landsat-8 (31.07.2015).

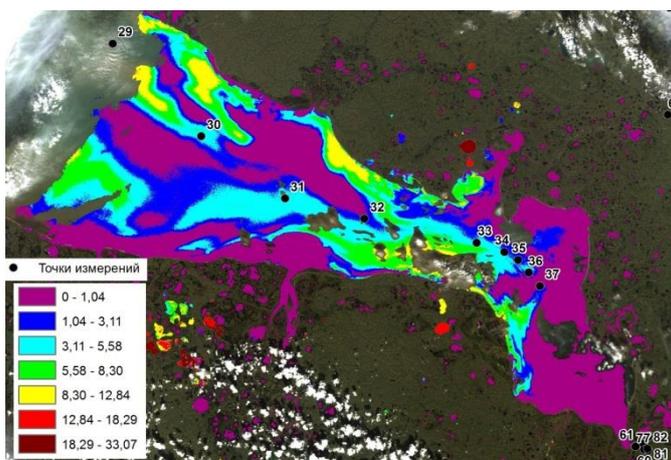


Рис.6. Распределение коэффициента поглощения РОВ ($1/\text{м}$) по данным спутника Landsat-8.

Особый интерес для будущего исследования представляет тот факт, что структуры полей фитопланктона и желтого вещества во фронтальных зонах характеризуются особой сложностью процессов и динамикой размеров фронтальных зон. При этом, содержание ХЛ во фронтальной зоне Обской губы значительно ниже, чем в ее речной части. Поскольку факторы, определяющие распределение фитопланктона, определяются вдоль градиента солености, следующим шагом исследования будет сопоставление деталей полей концентраций ХЛ с результатами Delft3D-моделирования солевого режима с учетом интрузии речных вод.

Полученные результаты позволяют определить условия эффективного мониторинга водных экосистем региона в условиях изменения климата и увеличения антропогенной нагрузки вследствие использования природных ресурсов Гыданского полуострова, строительства и эксплуатации порта Сабетта.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-45-890664).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И. Пространственно-временная изменчивость органического вещества и скоростей его трансформации в Обской губе // Океанология. 2013. Т. 53. № 2. С. 175-191.
- [2] Буренков В.И., Гольдин Ю.А., Артемьев В.А., Шеберстов С.В. Оптические характеристики вод Карского моря по судовым и спутниковым наблюдениям // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 716-729.
- [3] Кузнецова О.А., Копелевич О.В., Шеберстов С.В. и др. Оценка концентрации хлорофилла в Карском море по данным спутникового сканера MODIS-Aqua // Исследование Земли из космоса. 2013. № 5. С. 21-31.

- [4] Moore T.S., Dowell M.D., Bradt S., Verdu A.R. An optical water type framework for selecting and blending retrievals from bio-optical algorithms in lakes and coastal waters // *Remote sensing of environment*. 2014. 143:97-111. doi:10.1016/j.rse.2013.11.021.
- [5] Митрофанова Е.Ю. Фитопланктон нижней Оби, Обской и Гыданской губ летом 2015 г. // *Известия Алтайского отделения Русского географического общества*. 2016. № 3 (42). С. 61-71.
- [6] Суханова И.Н. и др. Структура сообществ фитопланктона и первичная продукция в обском эстуарии и на прилежащем карском шельфе // *Океанология*. 2010. Т. 50, № 5. С. 785-800.
- [7] Буканова Т.В. Тенденции эвтрофирования юго-восточной части Балтийского моря по спутниковым данным: Дис. канд. геогр. наук. Калининград, АО ИО РАН, 2014. 142 с.