

**Использование эмпирических ортогональных  
функций для мониторинга цветения *Karenia  
brevis***

**Г.С. Моисеенко**

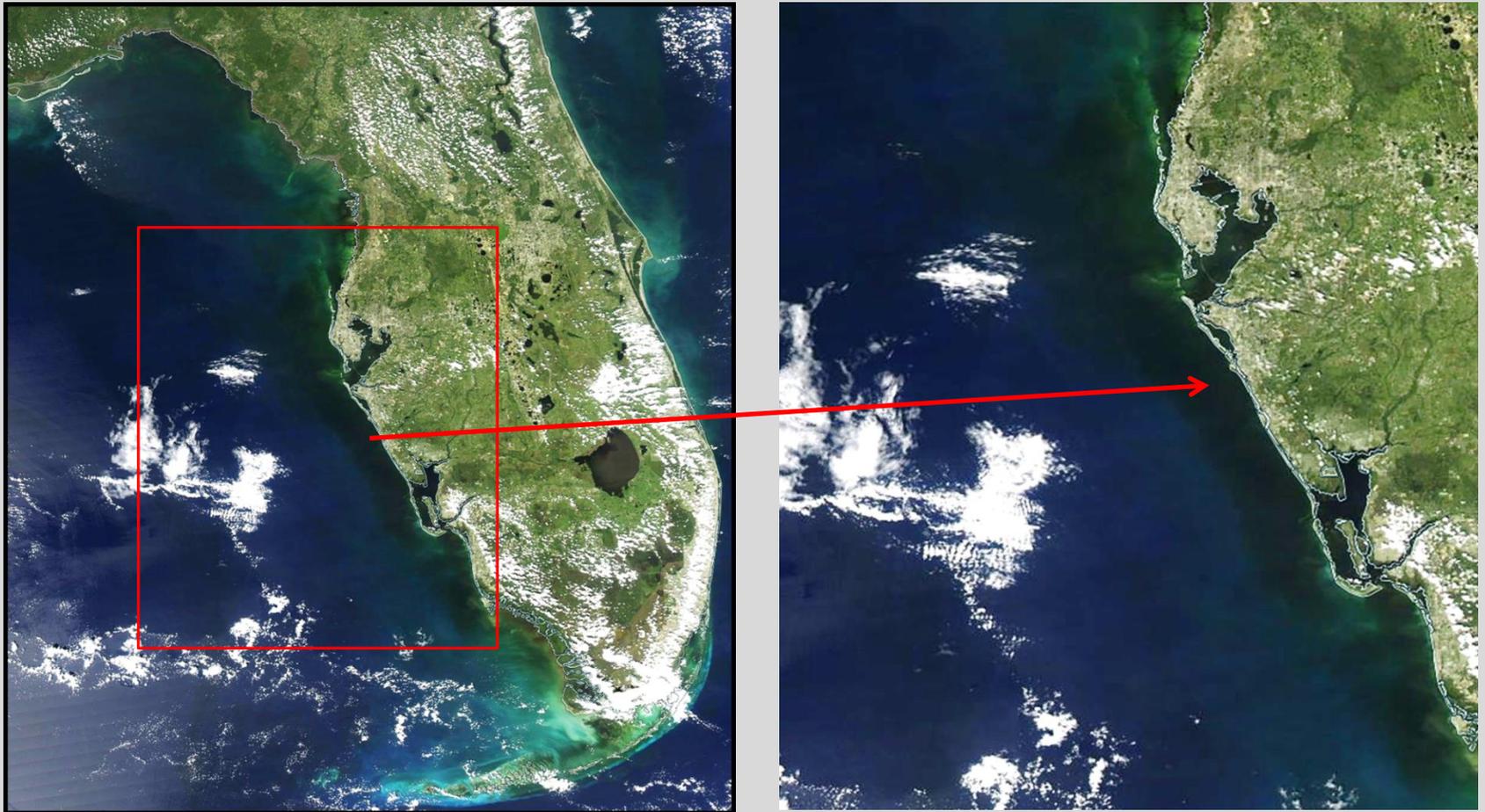
*Институт космических исследований РАН,  
Москва, 117997, Россия, Профсоюзная ул. 84/32,  
E-mail: georgiy-moiseenko@yandex.ru*

## **Введение**

Явление Красного прилива (Red tide), обусловленное вспышками цветения токсичной водоросли *Karenia brevis*, оказывает отрицательное воздействие на здоровье человека и наносит ущерб рыболовству и хозяйствам аквакультуры. Поэтому вопросам мониторинга цветения *Karenia brevis* уделяется большое внимание, в том числе с помощью технологий спутникового мониторинга (Bernard et al, 2021). В большинстве исследований для качественной оценки интенсивности и/или пространственной распространённости области цветения используются концентрация хлорофилла «а», интенсивность линии флуоресценции и различные индексы, составленные из комбинаций значений коэффициента яркости выходящего из морской воды излучения для различных длин волн (Hu et al, 2016).

В представленной работе для выявления пространственной распространённости области цветения *Karenia brevis* в водах у юго-западного побережья Флориды применён подход, основанный на использовании эмпирических ортогональных функций (ЭОФ). Применялись те же ЭОФ, что и в работе (Моисеенко и др., 2020). Коэффициенты разложения спектров коэффициента яркости, измеренных спектрорадиометром MODIS спутника Aqua, занимают компактные области в пространстве, базис которого образуют эмпирические ортогональные функции.

**Цель работы** - исследовать возможность мониторинга цветения *Karenia brevis* в водах у юго-западного побережья Флориды с использованием эмпирических ортогональных функций.



*Рис. 1. Цветное изображение полуострова Флорида и Мексиканского залива (MODIS Aqua, 21 сентября 2006 года, NASA Worldview).*

На изображении и на выделенном фрагменте прослеживается тёмная бурая область воды недалеко от центральной части западного побережья Флориды. Согласно (Hu et al, 2016, Bernard et al, 2021) в этой части акватории наблюдалось бурное цветение водоросли *Karenia brevis*.

Географические координаты полигона, соответствующего области цветения (рис. 1), использовались в ГИС ArcGIS для выделения пикселей фрагмента A2006264.1850.061. Для сравнения были выбраны данные для акватории, в которой отсутствовала *Karenia brevis* (рис.2).

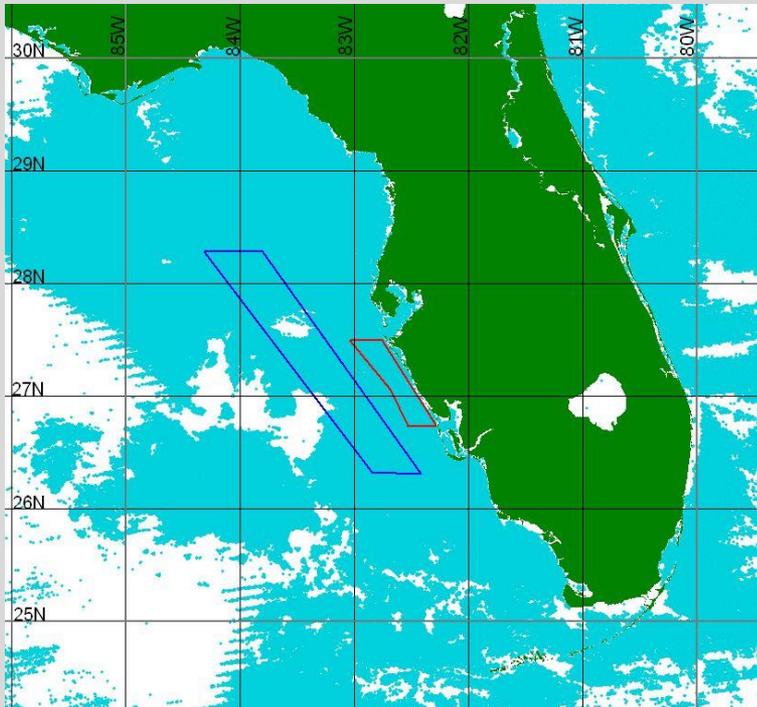


Рис. 2. Положение границ тестовых полигонов в акватории Мексиканского залива: красный цвет – область цветения, синий – область, где цветение отсутствует.



Рис. 3. Данные натурных измерений концентрации *Karenia brevis* в сентябре 2006 г. (<https://www.flickr.com/photos/myfwc>)

Рис. 3, на котором отображены результаты натуральных измерений концентрации клеток, проводящихся регулярно Комиссией по сохранению рыб и дикой природы Флориды, позволил уточнить положение тестовых полигонов. На рис. 4 – 7 представлены трёхмерные проекции четырёхмерного пространства, базис которого образуют первые четыре эмпирические ортогональные функции (Моисеенко и др., 2020). Коэффициенты разложения спектров коэффициента яркости излучения, выходящего из водной толщи, измеренных спектрорадиометром MODIS спутника Aqua, занимают компактные области в пространстве, базис которого образуют ЭОФ. Точки, соответствующие пикселям из полигона цветения *Karenia brevis* (красные), и полигона, где отсутствует цветение (синие) расположены в разных областях пространства.

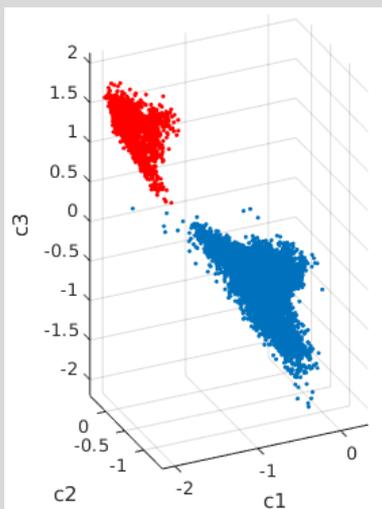


Рис. 4.

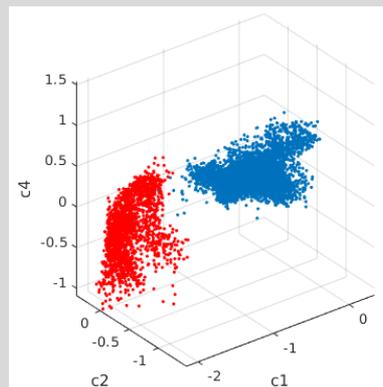


Рис. 5.

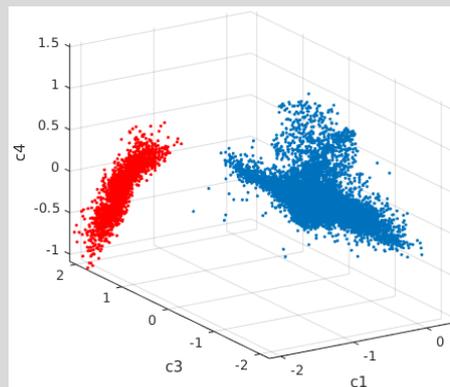


Рис. 6.

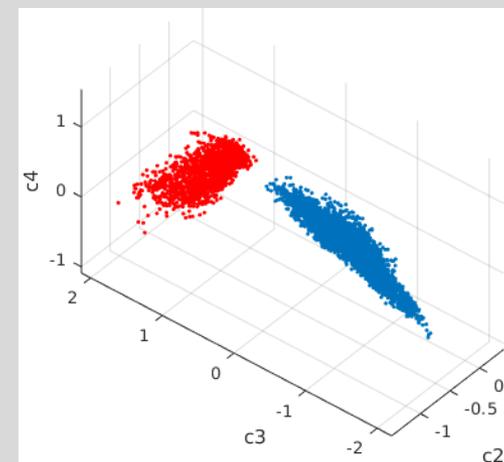


Рис. 7.

Диапазон изменения коэффициентов разложения спектральных коэффициентов яркости в ряд по эмпирическим ортогональным функциям, с исключением отклонений от среднего, превосходящих три среднеквадратичных отклонения, выбран в качестве критерия отнесения пиксела к области цветения.

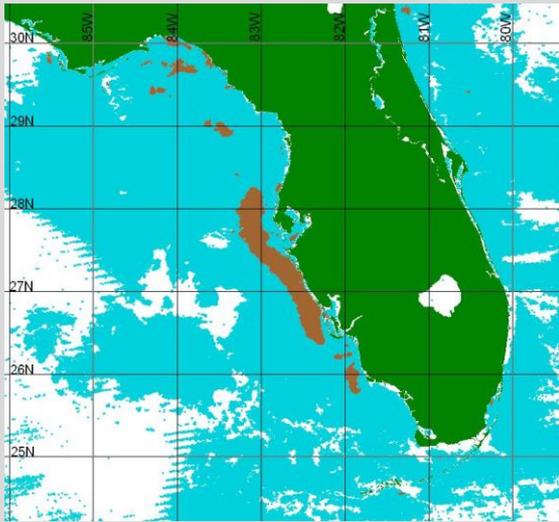


Рис. 8. 21 сентября 2006 г.

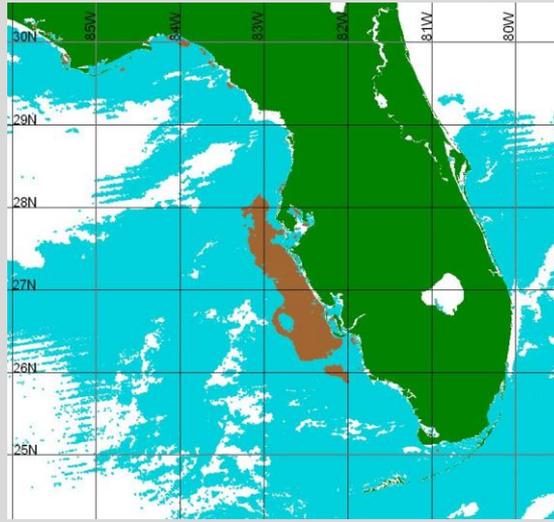


Рис. 9. 7 октября 2006 г.

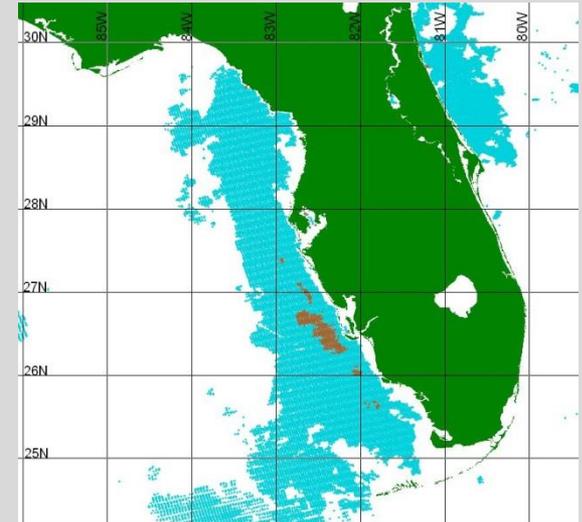


Рис. 10. 30 ноября 2006 г.

На рис. 8 – 10 представлены результаты применения выбранного критерия для выявления районов цветения *Karenia brevis* (выделено на всех рисунках коричневым цветом). Сравнение с результатами работ (Hu et al, 2016, Bernard et al, 2021) показывает качественное совпадение результатов.

## **Заключение.**

Результаты исследования показали возможность мониторинга цветения *Karenia brevis* в водах у юго-западного побережья Флориды с использованием эмпирических ортогональных функций.

Предложенный метод позволяет проводить качественную оценку по принципу «есть/нет», и, возможно, количественную оценку площади цветения.

Однако вопрос чувствительности метода, то есть определение минимума концентрации клеток в единичном объёме воды, начиная с которого область идентифицируется как область цветения, и каких-либо количественных оценок концентрации клеток *Karenia brevis* требуют дальнейших исследований.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема "Мониторинг", госрегистрация № 01.20.0.2.00164).

## **Литература**

1. IOCCG (2021) Observation of Harmful Algal Blooms with Ocean Colour Radiometry. Bernard, S., Kudela, R., Robertson Lain, L. and Pitcher, G.C. (eds.), IOCCG Report Series, No. 20, International Ocean Colour Coordinating Group, Dartmouth, Canada. <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-1042>
2. Hu, C., Feng, L. Modified MODIS fluorescence line height data product to improve image interpretation for red tide monitoring in the eastern Gulf of Mexico, J. Appl. Remote Sens. 11(1), 012003 (2016), doi: 10.1117/1.JRS.11.012003.
3. Моисеенко Г.С., Левашов С.Д. Применение эмпирических ортогональных функций при спутниковом мониторинге верхнего слоя морской воды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. С. 42-49. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-42-49.

## **Признательность**

We acknowledge the use of imagery from the NASA Worldview application (<https://worldview.earthdata.nasa.gov>), part of the NASA Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS).

The MODIS L1 datasets were acquired from the Level-1 and Atmosphere Archive & Distribution System (LAADS) Distributed Active Archive Center (DAAC), located in the Goddard Space Flight Center in Greenbelt, Maryland (<https://ladsweb.nascom.nasa.gov>).

Спасибо за внимание !