



- **Мониторинг массового цветения
микроводорослей на Камчатке**

А.И. Алексанин^{1,2}, В.А. Качур¹, Храмцова А.В.²

e-mail: aleks@iacp.dvo.ru

¹Институт автоматки и процессов управления ДВО РАН

² Дальневосточный федеральный университет

Владивосток



Постановка задачи

Цель. В связи с экологической катастрофой в Авачинском заливе во второй половине сентября рассмотреть обоснованность гипотезы о вредоносном/массовом цветении микроводорослей (фитопланктон).
(задание Президиума РАН по проверке гипотезы ИБМ ДВО РАН)

Условия, необходимые для наступления экологической катастрофы

Серьезные экологические последствия цветения микроводорослей могут наступать при смене вида доминирующей по биомассе водоросли, сопровождающейся генерацией цист (семян) и массы отмершей органики, и при недостатке питательных веществ у фитопланктона, сопровождающимся увеличенным выделением метаболитов (иногда в виде токсинов, вредных для животных и человека). Также необходим механизм концентрации продуктов жизнедеятельности фитопланктона в прибрежной зоне.

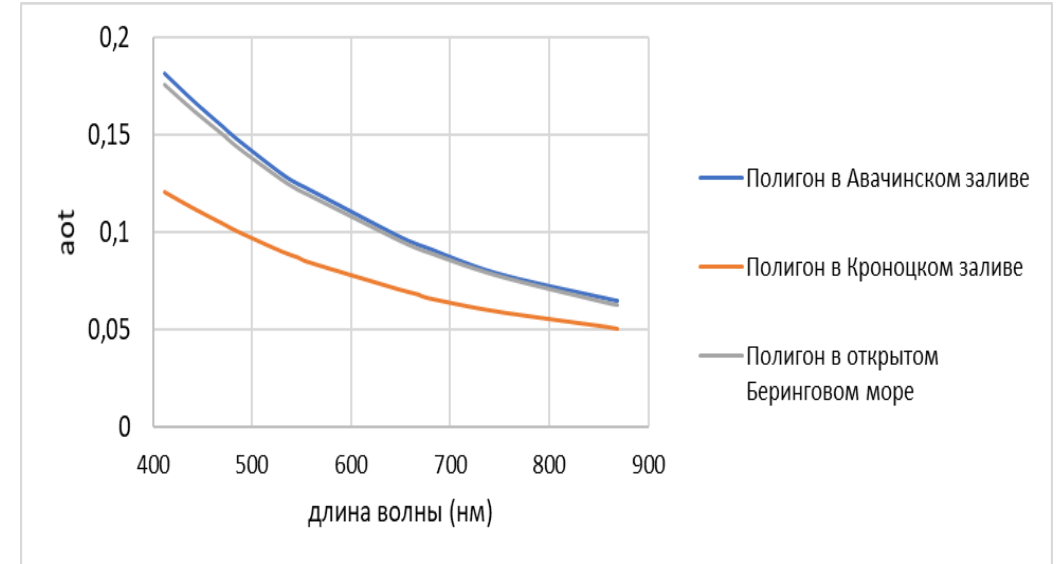


Используемые данные

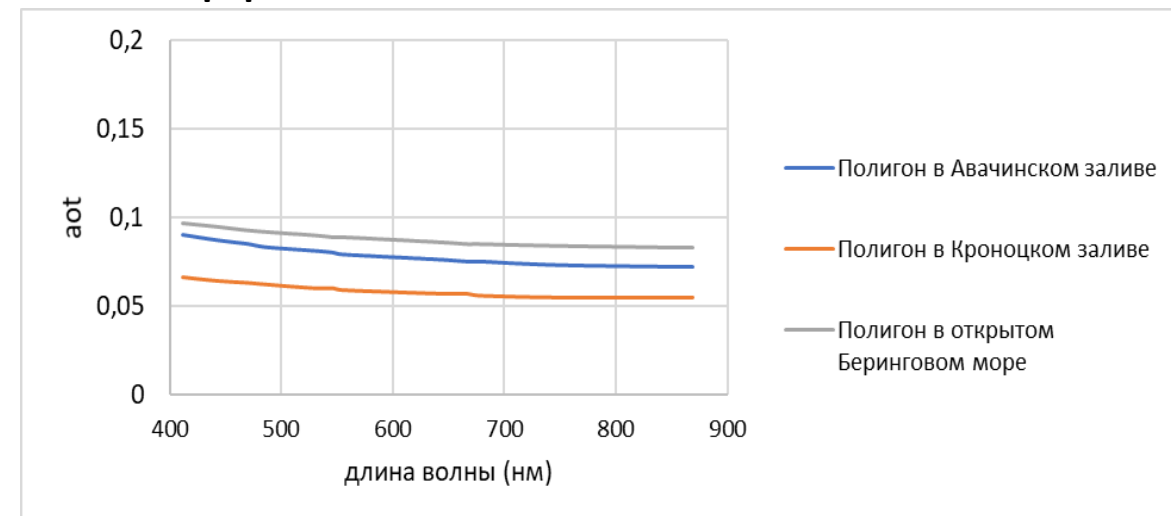
Основные используемые данные – радиометр MODIS спутника AQUA (пространственное разрешение 1 км) и RGB-изображения спутников Sentinel-2 (пространственное разрешение 10 м). Анализ ветровой обстановки проводился по данным спутника WindSat.

Используемые признаки: концентрация хлорофилла-а; ёмкость фотосинтеза; изменчивость индексов цветности моря – отношения коэффициентов яркости моря для двух выбранных спектральных каналов по формуле, аналогичной используемой при расчете вегетационного индекса NDVI; наличие пены на побережье. Первые три признака рассчитываются по данным радиометра MODIS, последний - по данным спутников Sentinel-2.

Особенности расчетов биооптических параметров моря. MUMM коррекция атмосферы. Стандартные алгоритмы (NIR-коррекция) обработки дают завышение концентрации хлорофилла-а в несколько раз (до 10) при низких углах солнца (работы Копелевича О.В. и др. 2006, 2015). Возможная причина – некорректная оценка спектра оптической толщины аэрозоля.



Аэрозольная оптическая толщина (aot). NIR-коррекции атмосферы.

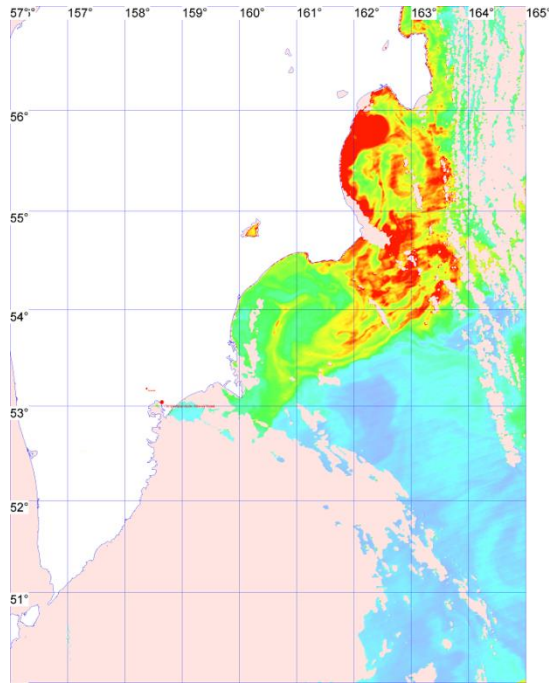


Аэрозольная оптическая толщина (aot). MUMM-коррекции атмосферы.

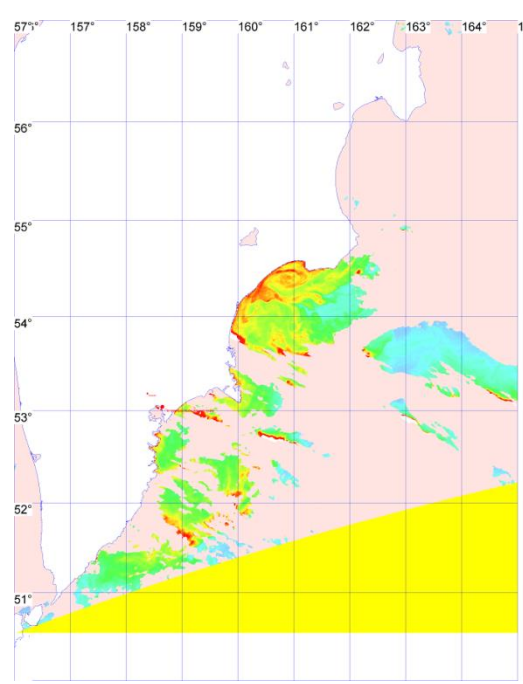


Мониторинг цветения

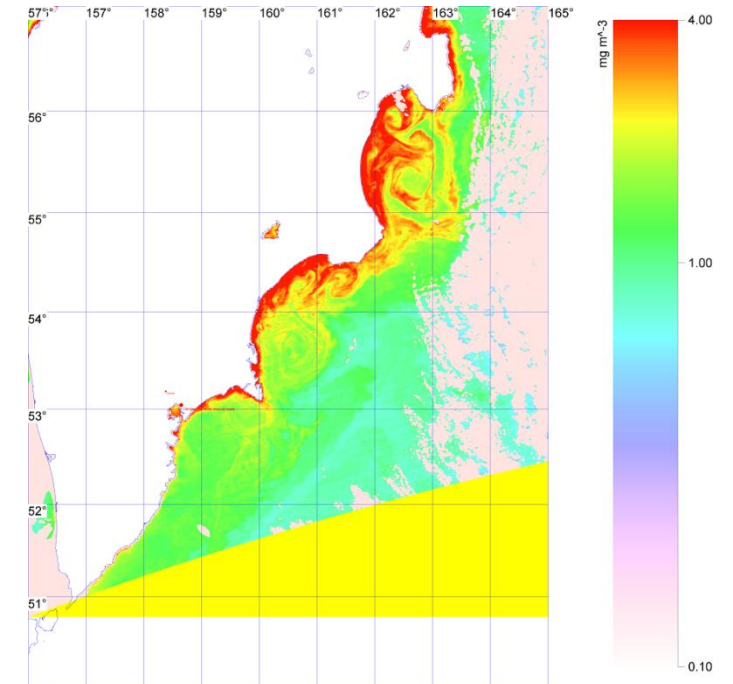
Концентрация хлорофилла-а



5.09



17.09



3.10

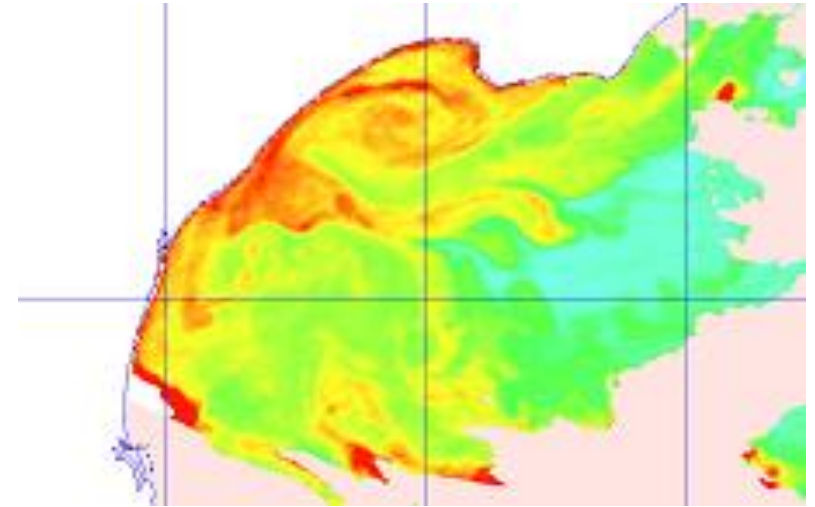
Концентрация хлорофилла-а была в среднем существенно выше, чем за то же время в 2019 году. Концентрации довольно высокие (до 2-7 мг/м³). И цветение было многократно более масштабное по площади.



Анализ поля ветра

Доминирующий ветер в сентябре – северо-западный. Такой ветер генерирует апвеллинг в северных частях заливов Камчатского, Кроноцкого и Авачинского, а также на юго-западном побережье – заливы Марии и Камбальский.

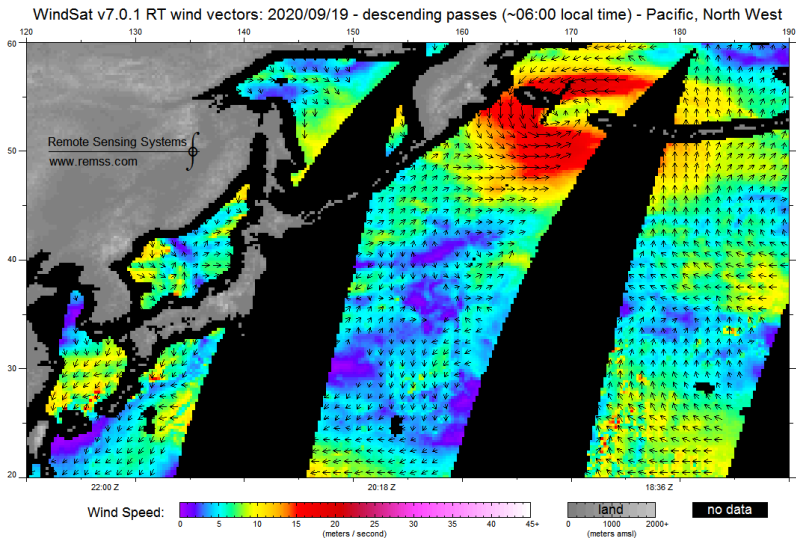
Апвеллинг генерирует вынос биогенов на поверхность, что способствует росту фитопланктона. Численность клеток может увеличиваться в 2-6 раз за сутки. Даунвеллинг за счет ослабления ветра или смены его направления генерирует поверхностное течение к берегу. Все, что легче воды, будет концентрироваться в прибрежной полосе.



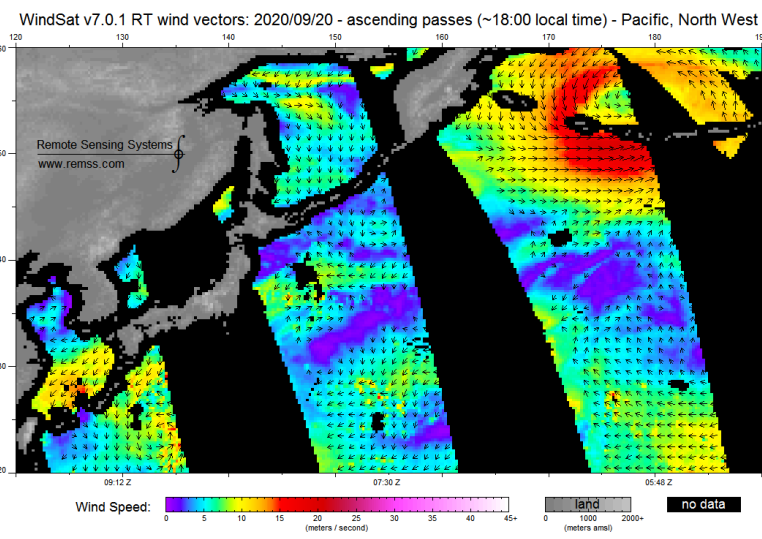
Пример динамики хлорофилла-а в Кроноцком заливе 17.09.2020 в результате апвеллинга. Ветер юго-западный.



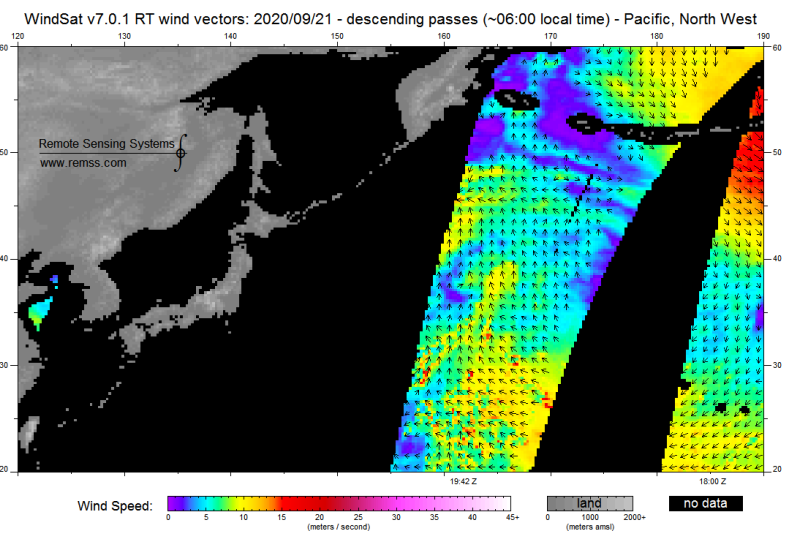
Ветер в период экологической катастрофы Спутник WindSat



19.09



20.09



21.09

19.09 – шторм. Ветер северо-западный 10-20 м/сек. 20.09 ветер 4-10 м/сек. 21.09 – почти штиль. Даунвеллинг после шторма собрал с поверхности продукты жизнедеятельности фитопланктона и сконцентрировал их в прибрежной полосе.

Ветер и жалобы серфенгистов

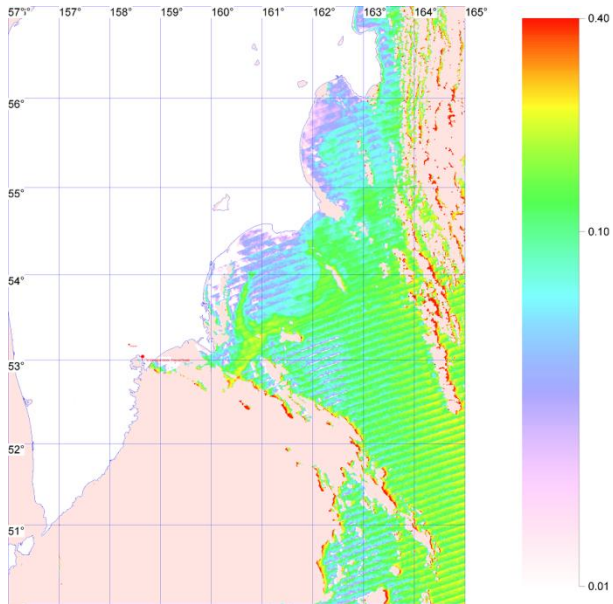
Екатерина Дыба, сообщала (Электронная газета Полит.ру от 16 октября, статья Анны Долгаревой), что 14-го сентября пошла в аптеку за каплями для глаз после катания на волнах. А 20-го получила серьезное воздействие на глаза.

13-го сентября ветер 5-16 м/сек северо-западный. 14-го - 2-10 м/сек. Ветер за 19 и 20-ое на рисунках.

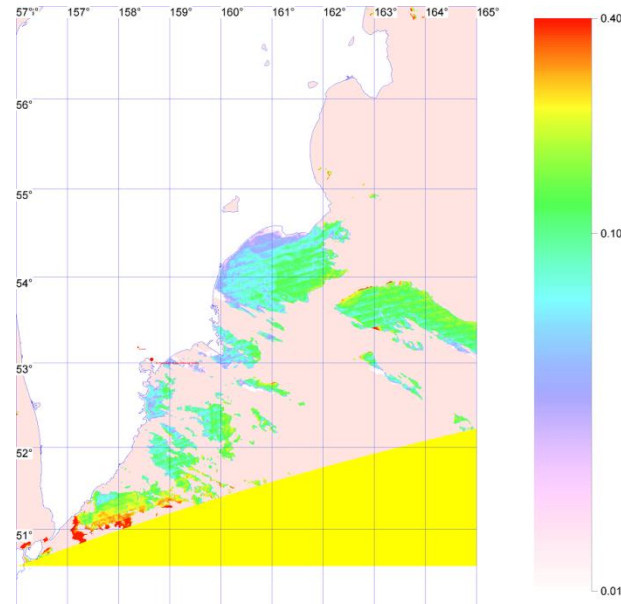
Анализ роста биомассы

Для экологической катастрофы требуется выделение токсинов микроводорослями.

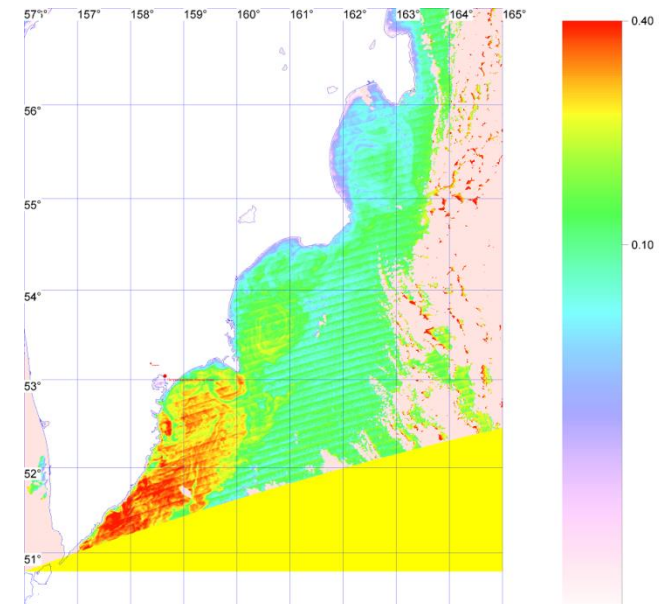
Емкость фотосинтеза (f_{lh}/chl). Чем меньше это отношение, тем больше процент прироста биомассы.



5.09



17.09



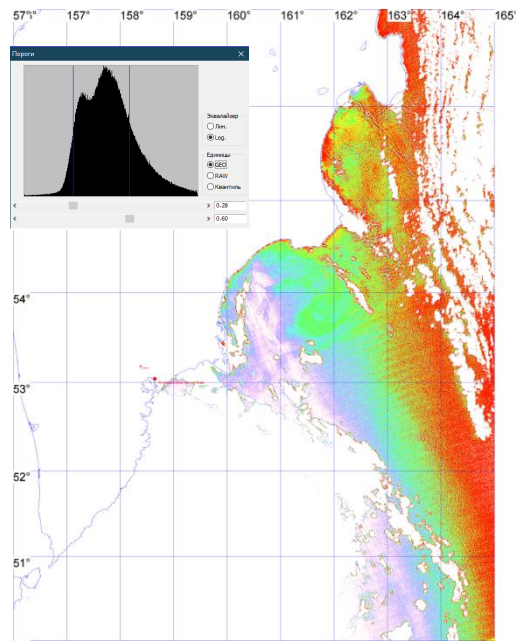
03.10

В открытых водах океана (светло-зеленый цвет) фитопланктон находится в стагнации, емкость фотосинтеза 0.1. В начале месяца в заливах Камчатки она существенно меньше, особенно в прибрежных частях заливов. 3-го октября в Камчатском заливе продолжался рост биомассы, в Кроноцком стагнация, а в Авачинском фитопланктон «голодал». Здесь наблюдалась нехватка биогенов и в таких условиях водоросли выделяют массово метоболиты (вредоносные вещества) для подавления конкурентов.

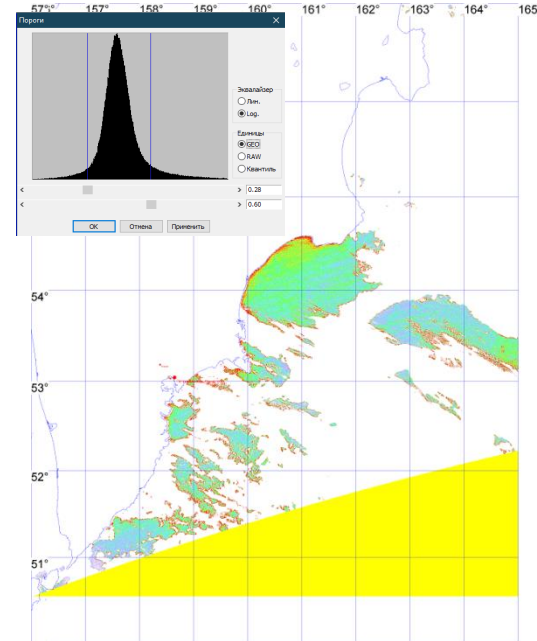
Анализ стадий цветения

Для экологической катастрофы требуется массовое отмирание клеток, обычно связанное со сменой доминирующей водоросли. Уходящая водоросль производит семена (цисты) и отмирает.

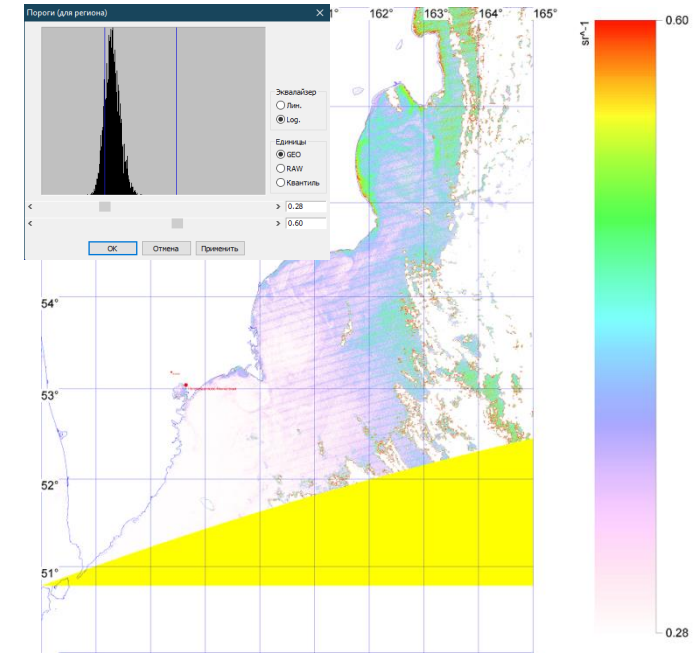
Смена доминирующей водоросли может менять спектр отражения. Индекс цветности $(Rrs_{555} - Rrs_{645}) / (Rrs_{555} + Rrs_{645})$. Величина индекса не зависит от концентрации фитопланктона



5.09



17.09

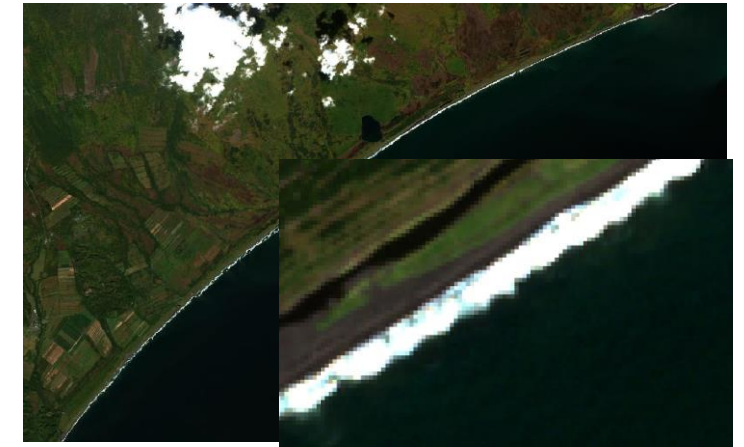
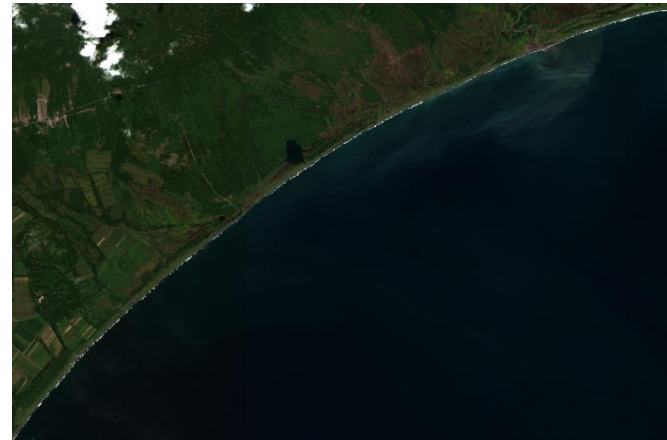


03.10

Интерпретация гистограмм. 5.09 – два горба – борьба за доминирование. 17.09 – доминирование (пик соответствует правому горбу первой гистограммы). 03.10 – доминирующая водоросль ушла (пик гистограммы соответствует левому горбу гистограммы 1).

«Пивной» красный прилив

Пена на Хадактырском пляже. Sentinel-1. Проблема – распознать полосу пены на фоне прибоя.



5.08

Ветер 2 м/сек

Ширина

полосы 0-20м

9.09

7 м/сек

10-40м

21.09

1.5 м/сек

100м

Пену дает цветение водоросли рода *Karenia*, массовое цветение которой прозвано «пивным красным приливом» и регулярно наблюдается в США. Метаболиты водоросли оказывают вредное воздействие на морские организмы на слизистые человека.

Заключение

Анализируя изображения можно прийти к выводу, что в течение сентября на данной акватории происходила смена доминирующего по биомассе вида фитопланктона. В начале сентября на севере и юге преобладали разные виды фитопланктона. В середине сентября на открытых участках акватории преобладал один вид. В начале октября доминирующий вид ушел.

Экологическая катастрофа на Камчатке, произошедшая во второй половине сентября, является стечением нескольких обстоятельств:

- доминирующее направление ветров в сентябре способствовало развитию фитопланктона за счет выноса биогенов на поверхность в результате апвеллинга;**
- смена вида доминирующей водоросли (рода *Karenia*) сопровождалась массовым отмиранием биомассы и выделением вредных для живых организмов метаболитов;**
- последовавший после шторма даунвеллинг сконцентрировал в прибрежной полосе продукты жизнедеятельности фитопланктона.**



Благодарю за внимание!