

ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А» В НЕКОТОРЫХ РАЙОНАХ ТИХОГО ОКЕАНА

Д.А. Акмайкин¹, О.А. Букин², М.С. Пермяков², П.А. Салюк²

¹*Морской Государственный Университет имени адмирала Г.И. Невельского
690059 Владивосток Верхнепортовая 50-А.
E-mail: akmaykin@msun.ru;*

²*Тихоокеанский океанологический институт им.В.И. Ильичева ДВО РАН
600041 Владивосток Балтийская 43
E-mail: permyakov@poi.dvo.ru*

Проанализировано воздействие тропических циклонов на поля планктона. В настоящей работе предпринята попытка оценки возможного воздействия тропических циклонов на планктонное сообщество по изменчивости полей концентрации хлорофилла *a*, восстанавливаемых по спутниковым данным сканера SeaWiFS. В работе использовались данные по Филиппинскому, Восточно-Китайскому, Охотскому морям и прилегающим районам Тихого океана для периодов в несколько суток до прохождения отдельных тайфунов и после. Прослежен временной ход некоторых статистических характеристик полей концентраций. Результаты обработки показывают сильную изменчивость в средних концентрациях и гистограммах при прохождении тайфунов. При этом отмечаются характерный всплеск концентрации на 7-9 день после ухода тайфунов из рассматриваемого района. Амплитуда всплеска концентрации, как правило, больше в зонах континентального шельфа. Влияние тайфунов проявляется так же в гистограммах концентраций – происходит изменение их форм, смещение мод и расширение в сторону больших концентраций. За счет инерции вод эти процессы в своем развитии отстают по времени от причины вызвавшей их, т.е. от динамического и теплового воздействия при прохождении тайфунов. Применяя типовую классификацию вод, было показано изменение типа воды вследствие прохождения тайфуна через исследуемый район.

Введение

Изучение пространственно-временного распределения хлорофилла «а» по спутниковым данным сканеров цвета морской поверхности является важной задачей океанологии, имеющей большой научный интерес и важное практическое значение, так как он является основным пигментом фитопланктона - начальном звене пищевых цепей в морских экосистемах. Основная масса фитопланктона сосредоточена в верхней части деятельного слоя океана и морей, поэтому его состояние и концентрация определяется разнообразными физическими процессами, связанными с воздействием атмосферы на верхний слой океана и морей. Распределение концентрации планктона и, следовательно, хлорофилла «а» могут служить индикаторами этих физических процессов. Значительное воздействие на весь верхний слой океана и морей оказывают синоптические атмосферные возмущения – циклоны, антициклоны, фронты. Среди них можно выделить тропические циклоны (ТЦ) - депрессии, штормы, ураганы и тайфуны - наиболее интенсивные погодные образования, оказывающие сильное динамическое и термодинамическое воздействие на верхние слои океана и окраинных морей. Результатом такого воздействия являются возмущения полей гидрологических характеристик – температуры и солености, которые могут сохраняться длительное время, порядка недель и даже месяцев [1,2]. Влияние циклонов проявляется и в полях гидробиологических характеристик и, в частности, в полях концентраций хлорофилла «а» [3, 4], получаемых по данным спутникового сканера цвета морской поверхности Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS). Так в работе [4] приводится пример влияния медленно движущегося (скорость перемещения до 1,4 м/с) тайфуна на поле концентрации хлорофилла в Южно-Китайском море и отмечается резкий всплеск концентраций, более чем на порядок, примерно через неделю после ухода тайфуна. Однако, влияние интенсивных атмосферных синоптических процессов и в том числе тропических циклонов на поля планктона и хлорофилла «а» в различных районах океана и морей остается практически неизученным.

В настоящей работе проведен анализ изменений в полях концентрации хлорофилла «а» при прохождении трех ТЦ в северо-западной части Тихого океана по данным 8 полосного сканера цвета морской поверхности SeaWiFS с помощью которого возможно определение концентрации основных биооптических параметров. Показаны различия реакции полей хлорофилла на ТЦ для шельфовых вод и районов открытого океана и морей.

Районы исследования, данные и методы обработки

В работе использовались данные сканера SeaWiFS второго уровня. Данные представлены файлами с пространственным разрешением 4 км в надире. Использовались файлы по Южно-Китайскому, Восточно-Китайскому, Японскому, Охотскому, Филиппинскому морям, а также прилегающим районам Тихого океана в периоды до и после прохождения ряда интенсивных ТЦ в 2001 и 2002 годах. В проведенном анализе использовались данные о концентрации хлорофилла «а», восстановленной с помощью алгоритма OC4, и нормированные яркости восходящего излучения на длинах волн 412 и 490 нм. Выбор этих длин волн обусловлен тем, что желтое вещество наиболее сильно поглощает излучение длиной волны 412 нм, а для восстановления концентрации хлорофилла «а» биооптическим алгоритмом OC4 в основном используется яркость излучения на длине волны 490 нм (<http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS.html>).

Данные о траекториях движения тайфунов и их параметрах были взяты с сайта Японского Метеорологического Агентства (<http://www.jma.go.jp>). Для выделения влияния на поля концентраций только отдельного ТЦ (с давлением ниже 995 мб) он выбирался из списка всех ТЦ по региону за год так, что бы в период за неделю до прохождения его и в течение двух недель после в рассматриваемом районе не наблюдалось других. Таким образом, из всех ТЦ в 2001-2002 годах в северо-западной части Тихого океана для целей работы удалось выбрать только три: Цимарон (2001г.), Пабук (2001г.), Руса (2002г.). В своем развитии, эти ТЦ достигли интенсивности тайфунов (ветер более 33 м/с). В периоды до и после них наблюдалась обычная для выбранных районов и времени года погода. На рис.1 показаны траектории выбранных ТЦ и выделены районы, по которым производился анализ.

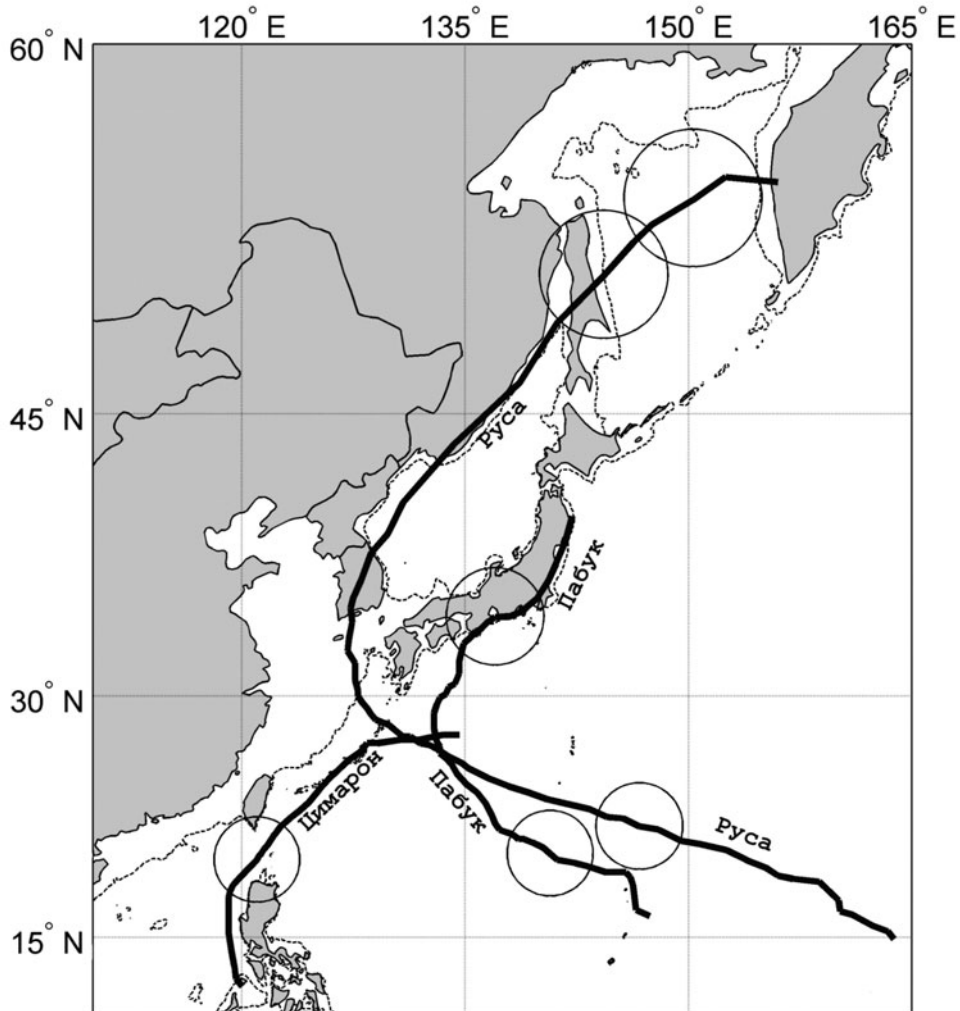


Рис. 1. Траектории тайфунов и районы анализа (круги).

Выборка данных сканера SeaWiFS проводилась в движущемся вдоль траектории отдельного тайфуна окне радиусом 300 км, что соответствует размерам области наибольшего влияния тропических циклонов на верхний слой океана [2]. Выбор районов ограничивался наличием достаточно количества в них данных сканера до и после прохождения ТЦ, а окончательно он определялся возможностью проведения сравнительного анализа, реакции полей концентраций в районах океана и в окраинных морях, в шельфовых водах

и в открытой части морей. Координаты центров выбранных районов и характеристики ТЦ (минимальное давление воздуха у поверхности и максимальные скорости ветра) сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Координаты выбранных районов и характеристики тропических циклонов.

<i>Тайфун</i>	<i>Дата</i>	<i>Координаты</i>	<i>Давление</i>	<i>Скорость ветра</i>
Цимарон	12.05.01	20.0°с.ш. 121.0°в.д.	994 мб	40 м/сек
Пабук	15.08.01	20.4°с.ш. 140.7°в.д.	980 мб	55 м/сек
Пабук	21.08.01	34.5°с.ш. 137.0°в.д.	975 мб	50 м/сек
Руса	26.08.02	23.2°с.ш. 143.3°в.д.	950 мб	80 м/сек
Руса	02.09.02	51.2°с.ш. 144.3°в.д.	992 мб	33 м/сек
Руса	03.09.02	54.3°с.ш. 150.3°в.д.	984 мб	35 м/сек

Для ТЦ Цимарон выбран район в проливе Баши. Выбранные районы для тайфуна Пабук позволяют сравнить реакции полей концентраций в открытых водах Тихого океана и в районе континентального шельфа у восточных берегов Японии. Для тропического циклона Руса выделенные районы позволяют провести сравнительный анализ реакции полей хлорофилла «а» в океане, в центральной части Охотского моря и на шельфе острова Сахалин.

В выделенных районах в каждый день до и после ТЦ проводились оценки статистических характеристик полей концентраций: средних и медианных значений, характеристик разброса, гистограмм распределений концентраций. Также в указанных окнах рассчитывались диаграммы рассеяния на нормированные яркости восходящего излучения для длин волн 412 и 490 нм.

Результаты и обсуждение

Отклик на прохождение тайфунов довольно четко проявляется во временном ходе средних по районам концентраций и в изменениях гистограмм распределения концентраций.

Рис. 2 показывает примеры динамики этих характеристик полей. На рисунках в левой колонке разрыв линий хода средних концентраций соответствует периоду прохождения ТЦ (спутниковые данные обычно полностью отсутствуют из-за облачности). В течение недели после прохождения ТЦ, во всех случаях, наблюдается рост средних концентраций. В течение второй недели, после ТЦ, концентрации хлорофилла «а» обычно возвращались к невозмущенным значениям. Но особенности такого «переходного процесса» после воздействия ТЦ существенно зависят от географических условий. Так в открытых океанических водах изменения концентрации хлорофилла «а» происходят сравнительно медленнее, чем на континентальном шельфе, а на шельфе Сахалина во временном ходе концентраций наблюдаются колебания значительной амплитуды.

Более подробное представление об изменениях полей хлорофилла «а» под влиянием ТЦ дают гистограммы распределения концентраций, усредненные за неделю до, первую неделю после и в течении второй недели после ТЦ и показанные в правом столбце рис. 2. Распределения концентраций в течение недели до ТЦ показано пунктирными линиями, в течении первой недели после – сплошными, в течении второй недели – пунктирами с точками. Во всех случаях можно наблюдать смещение и расширение распределений в сторону больших концентраций после прохождения ТЦ, изменение их форм, появление новых мод.

Так в проливе Баши гистограммы многомодовые как до тайфуна, так и после. Это может быть связано с присутствием и смешением здесь вод Филиппинского, Южно-китайского морей и вод Тихого океана. Однако до прохождения ТЦ средняя в районе концентрация хлорофилла «а» равняется 0,08 мкг/л, после 0,12 мкг/л.

Для ТЦ Пабук в открытом океане можно отметить, что до прохождения тайфуна гистограмма распределения концентраций имеет ярко выраженную моду на уровне 0,048 мкг/л, а после прохождения тайфуна структура гистограммы меняется, появляются дополнительные моды, обусловленные воздействием ТЦ мода смещается к уровню 0,085 мкг/л, на второй неделе вид гистограмм возвращается к состоянию, которое было до воздействия ТЦ мода средней концентрации возвращается к первоначальным концентрациям 0,04 мкг/л. На гистограммах в районе континентального шельфа Японии ситуация схожая, однако несколько мод на распределении в течении всего периода наблюдений, отражают наличие здесь локализованных областей со значительно различающимися концентрациями, которые в этом районе связаны с интенсивными динамическими процессами [5] – вихри западных пограничных течений (вихри течения Куроисио). До прохождения ТЦ центральная мода находится на уровне 0,20 мкг/л, в течении следующей недели 0,29 мкг/л, на второй неделе после прохождения ТЦ через рассматриваемый район, мода падает до уровня 0,17 мкг/л.

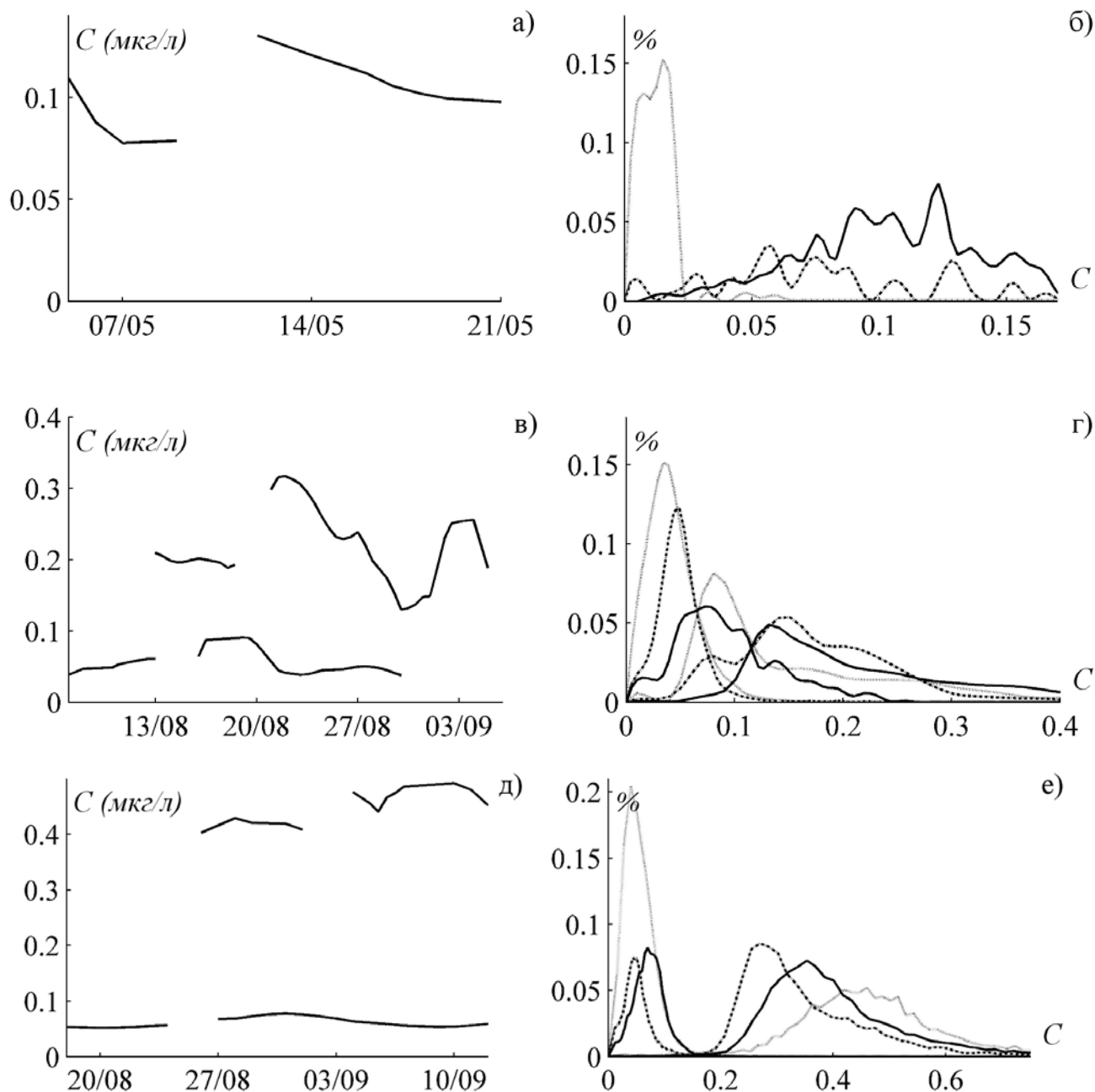


Рис. 2 Динамика характеристик полей хлорофилла «а». а) изменение средней концентрации в проливе Баши, б) гистограммы распределения концентраций в проливе Баши, в) изменение средних концентрации ТЦ Пабук в открытом океане (внизу) и на шельфе Японии (вверху), г) гистограммы распределения концентраций ТЦ Пабук, д) изменение средних концентраций ТЦ Руса в открытом океане (внизу) и в Охотском море (вверху), е) гистограммы распределения концентраций ТЦ Руса.

В случае ТЦ Руса гистограммы в открытом океане унимодальные, как и у ТЦ Пабук в первом районе. Уровни меняются соответственно 0,04 мкг/л, 0,06 мкг/л, 0,05 мкг/л во второй неделе после прохождения ТЦ. В Охотском море после ТЦ появляются дополнительные моды. Однако в отличие от прочих случаев шельфовых вод, рост концентраций хлорофилла «а» продолжается и в течение второй недели после прохождения ТЦ. До прохождения ТЦ мода на уровне 0,41 мкг/л, после прохождения 0,45 мкг/л и в течение второй недели после прохождения ТЦ 0,48 мкг/л. Как видно из вышеприведенных цифр, в районах с малыми концентрациями, океанические воды концентрация возрастает в несколько раз, а на шельфах, где концентрации изначально выше, рост средних концентраций в относительных величинах меньше, не превышает 1,5 раза.

Судить об изменении свойств полей хлорофилла «а» можно с помощью диаграмм рассеяния нормированных на солнечный свет яркостей восходящего излучения длин волн 412 и 490 нм, деленных в обоих случаях на значение нормированной яркости восходящего излучения на длине волны 555 нм. Выбор этих длин волн обусловлен тем, что желтое вещество наиболее сильно поглощает излучение длиной волны 412 нм, а длина волны 490 нм в основном используется для восстановления концентрации хлорофилла «а» биооптическим алгоритмом ОС4.

На рис. 3 приведены примеры диаграмм рассеяния до и после ТЦ для двух типовых случаев. Рассеяние нормированных яркостей восходящего излучения до прихода ТЦ в исследуемый район показано черными точками, после прохождения – серыми точками. На каждой диаграмме соответствующим цветом нанесена линия регрессионной кривой, и приведена функциональная зависимость, описывающая функцию прохождения линии регрессии.

В левой части рис. 3 представлен типичный случай, когда угол наклона регрессионной кривой практически не изменился и рост концентрации хлорофилла «а» не существенный. Такое поведение диаграмм рассеяния наблюдалось практически повсеместно в открытых океанических водах.

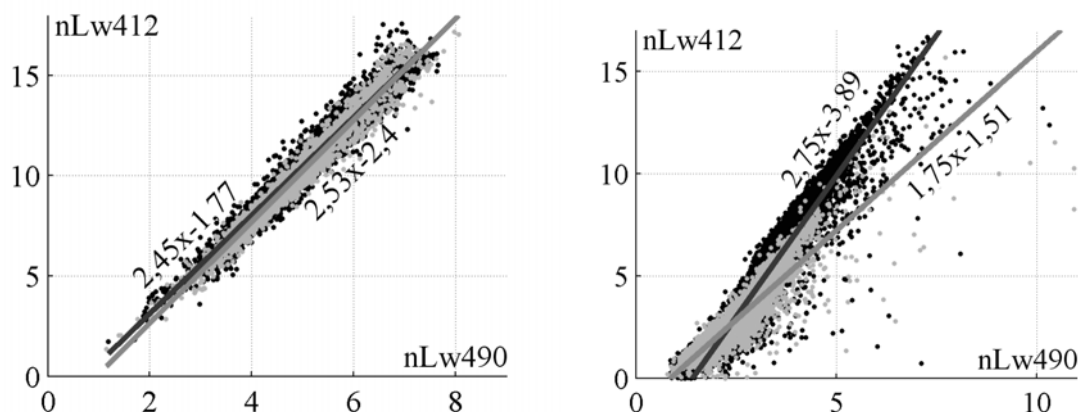


Рис. 3 Примеры диаграмм рассеяния спектров нормированного восходящего излучения nLw490 и nLw412.

На другой диаграмме рассеяния показан случай, когда угол наклона регрессионной кривой заметно уменьшился. В данном случае прохождение ТЦ привело к заметному росту концентрации хлорофилла «а». Такое изменение диаграмм рассеяния указывает на изменение структуры морской воды, которое может быть связано. Распределение яркостей нормированного восходящего излучения представлено серым цветом, типично для прибрежных и шельфовых вод, а черное распределение типично для океанических вод. Таким образом данный рисунок наглядно указывает на то, как прохождение ТЦ изменяет структуру воды, и из типично океанического состава воды, интенсивное (горизонтальное) перемешивание, вызванным сильными и изменчивыми ветрами в тайфуне, приводит к тому, что диаграмма рассеяния принимает вид, типичный для шельфовых вод.

Отмеченные изменения в полях концентраций хлорофилла «а» и в яркости излучения на полосах 412 и 490 нм, можно интерпретировать в рамках известных фактов о влиянии тропических циклонов на гидрологические процессы в верхнем слое океана и морей. Известно, что тропические циклоны вызывают сильное ветровое перемешивание и заглубление верхнего квазиоднородного слоя толщиной в несколько десятков метров, за счет турбулентного вовлечения ниже лежащих вод, а в динамике течений вследствие воздействия циклонического ветра возможно появление зон интенсивного апвеллинга [6]. Так в приповерхностные слои океана и морей поступают воды богатые биогенными элементами, способствующие увеличению биопродуктивности. Области апвеллинга и интенсивного вовлечения распределены в пространстве неравномерно и, например, поля возмущений температуры при прохождении ТЦ часто имеют пятнистую структуру [6,7]. Также сложная и динамичная картина отклика гидрологических полей наблюдается в мелком море и на его шельфе. За счет инерционности вод, процессы изменения гидрологических полей в своем развитии отстают по времени от динамического (ветер) и теплового (охлаждение) воздействия тайфуна, что отражается во временном ходе средних концентраций хлорофилла «а». Аномалии в полях концентрации хлорофилла «а», таким образом, могут служить индикаторами упомянутых процессов в верхнем слое океана и морей.

Следует отметить, что при интерпретации данных SeaWiFS в настоящей работе мы не затронули серьезную проблему региональных алгоритмов для оценок концентрации хлорофилла «а» по спектральным коэффициентам яркости морской поверхности [8,9], полагая, что используемый алгоритм OC4 качественно правильно отражает пространственно-временную изменчивость реальных полей хлорофилла «а» (сохраняет участки монотонности в них). В контексте изучения отклика полей концентрации на ТЦ, учитывая сильное их влияние на гидрологические и, как следствие, на все биооптические характеристики, особенно в мелких морях и на их шельфе, необходимо некоторым образом локально корректировать эмпирические алгоритмы типа OC4, принимая во внимание возможную смену типов (оптических и гидрологических) вод [9, 10] под влиянием ТЦ. Как и было показано ранее, одним из таких методов может быть использование угла наклона регрессионной кривой на диаграммах рассеяния описанных выше.

Заключение

Представленные в работе результаты носят предварительный характер и демонстрируют лишь отдельные примеры реакции полей хлорофилла «а» на тропические циклоны. Тем не менее, они показывают, что тропические циклоны вносят значительный вклад в пространственно-временную изменчивость полей хлорофилла. После их прохождения отмечаются характерные переходные процессы во временном ходе статистических характеристик полей, существенно различающиеся в шельфовых водах, в водах открытого океана и окраинных морей. Такие эффекты необходимо учитывать при интерпретации или обобщении данных дистанционного зондирования цвета моря. Большое разнообразие параметров ТЦ, географических и гидрологических условий в океане и морях, где проходят их траектории, требует дальнейших систематических исследований. При этом важным направлением остается изучение особенностей реакции полей хлорофилла «а» на ТЦ, связанных с региональными гидрологическими характеристиками акваторий, и выявление связи характеристик возмущений в полях концентраций с интенсивностью и скоростью перемещения ТЦ, их размерами.

Литература

1. Григоркина Р.Г., Фукс В.Р. Воздействие тайфунов на океан// Л.: Гидрометеоздат, 1986. 243 с.
2. Хаин А.П., Сутырин Г.Г. Тропические циклоны и их взаимодействие с океаном// Л.: Гидрометеоздат, 1983. 272 с.
3. Liu C.T., Chen Y.L.L. The simulation of typhoon induced chlorophyll a patch east of Taiwan// Proceedings of "The 4-th Pacific Ocean Remote Sensing Conference". Qingdao, China, 1998. P.29-31.
4. Lin I., Liu W.T., Wu C.C., Wong G.T.F., Hu C., Chen Z., Liang Y., Yang Y., Liu K.K. New evidence for enhanced ocean primary production triggered by tropical cyclone// Geophysical Res. Let. 2003. vol. 30. № 13. P. 51-1 – 51- 4.
5. Монин А.С., Каменкович В.М., Корт В.Г. Изменчивость мирового океана// Л.: Гидрометеоздат, 1974. 268 с.
6. Tarkhova T. I., Sergeyenko A. S., Permyakov M.S. The Thermal trace features of tropical cyclones of the Northwest Pacific in the area with convergence and divergence zones// International symposium on North Pacific transitional areas. La Paz, Mexico. 2002. P.18-21.
7. Stramma L., Cornillon P. Satellite observations of the sea surface cooling by hurricane// J. Geophysical. Res. Let 1986. vol. 91. № С4. P.5031- 5035.
8. Букин О.А., Пермяков М.С., Зенкин О.Л., Хованец В.А., Пузанков К.А., Буров Д.В., Салюк П.А. Сравнительный анализ результатов измерения концентраций хлорофилла «а», полученных с использованием данных сканера цвета морской поверхности SeaWiFS и методом лазерной индуцированной флуоресценции в Охотском море// Исследования Земли из космоса, 2003. №4. С.84-90.
9. Пермяков М.С., Букин О.А., Акмайкин Д.А., Салюк П.А., Подопригора Е.Л. О региональных алгоритмах восстановления концентрации хлорофилла А по данным сканера SeaWiFS для Охотского моря// Электронный журнал "Исследовано в России". 2004, №087, С.972-981
10. Weichman P.B., Glazman R.E. Spatial variations of a passive tracer in a random wave field// J. Fluid Mech. 2002. vol.453. P.263–287.