

СПЕКТРОСКОПИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 551.593.5

О.А. Букин*, М.С. Пермяков*, П.А. Салюк*, А.Ю. Майор*,
Д.В. Буров**, В.А. Хованец**, С.С. Голик***, Е.Л. Подопригора**

**Особенности формирования спектров
лазерной индуцированной флуоресценции морской воды
в период цветения водорослей
в различных районах Мирового океана**

* Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,

** Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского,

*** Дальневосточный государственный университет, г. Владивосток

Поступила в редакцию 2.03.2004 г.

Приводятся результаты исследования особенностей формирования спектров лазерной индуцированной флуоресценции (ЛИФ) пигментов фитопланктона и растворенного органического вещества (РОВ) в морской воде. Измерения ЛИФ-спектров проведены в трех наиболее биопродуктивных районах Мирового океана: Северном море и северо-восточной части Атлантического океана, юго-западной части Атлантического океана и на Тихоокеанском побережье Чили, а также в Охотском море. Измерения проведены в 2002–2003 гг. в период цветения водорослей. Показано, что в периоды времени, точно совпадающие с цветением водорослей, наблюдается линейная зависимость между концентрацией основного пигмента фитопланктона — хлорофилла А и величиной, характеризующей флуоресцентную часть РОВ. На акваториях, где наблюдаются такие линейные соотношения, возможно введение параметров, характеризующих темпы воспроизводства РОВ фитопланктонным сообществом.

Исследование спектров лазерной индуцированной флуоресценции (ЛИФ-спектров) морской воды представляет интерес с различных точек зрения. Прежде всего, параметры ЛИФ-спектров характеризуют стадию развития и состояние планктонного сообщества как такового. Исследование, например, спектров лазерной индуцированной флуоресценции позволяет оценивать состояние фотосинтезирующих клеток фитопланктона по соотношению интенсивностей линий флуоресценции от различных пигментов, входящих в состав клеток, а по динамическим параметрам спектров флуоресценции хлорофилла А возможно определение величин скоростей электронного транспорта при фотосинтезе [1, 2]. Метод ЛИФ-спектроскопии позволяет получать большие массивы непрерывных измерений концентрации хлорофилла А и флуоресцирующей части органического вещества в поверхностном слое океана, что в совокупности с гидрофизическими, гидрохимическими параметрами дает возможность исследовать влияние процессов различной природы (включая загрязнение морских акваторий) на развитие планктонных сообществ [3, 4].

ЛИФ-спектры содержат информацию как о живых клетках фитопланктона, так и об органическом веществе, которое воспроизводится фитопланктонным сообществом и присутствует в морской воде в растворенном и взвешенном состоянии. Это дает возможность использовать ЛИФ-метод для исследова-

ния углеродных циклов органического вещества на нашей планете. В задачах экологического контроля состояния фитопланктонных сообществ, изучения процессов трансформации и источников происхождения растворенного органического вещества (РОВ) необходимы методы исследования, позволяющие проводить непрерывный мониторинг на больших акваториях. Такие данные дают возможность понять основные особенности процессов трансформации и циклов органики в океане в больших масштабах. Дискретные измерения на станциях практически не дают возможность изучить в различных масштабах пространственно-временную изменчивость биологических и биохимических параметров морской воды, особенно в шельфовых зонах, проследить взаимосвязь параметров, характеризующих планктонное сообщество и РОВ.

Исследование углеродных циклов органического вещества является одной из фундаментальных проблем в океанологии и геохимии биосферы, поскольку процессы воспроизводства органического вещества и его превращения в процессе жизнедеятельности организмов определяют функционирование цепей биопродуктивности в океане [5]. Процессы трансформации органического углерода и деградация живых клеток в устойчивую к биохимическим превращениям часть РОВ, минерализация углерода в глубинных водах или его дальнейшее участие в бактериальном развитии и создании фракций, пре-

образующихся в органические формы в верхних слоях океана, активно исследуются в настоящее время [6]. Растворенное органическое вещество составляет примерно 90–95% от суммарного, остальные 5–10% присутствуют в воде в виде взвеси [7, 8] и именно РОВ и фитопланктон играют основную роль при формировании спектров восходящего излучения из морской толщи, т.е. в формировании цвета морской поверхности или ее биооптических параметров [9]. В этом смысле концентрацию РОВ, как и концентрацию пигментов фитопланктона, также можно отнести к одним из важнейших биооптических параметров.

Основным источником производства органического вещества в океане являются фитопланктонные сообщества [7, 8]. РОВ непрерывно трансформируется в процессе своего превращения, причем по данным работ [6–10] на быстро разлагающуюся (лабильную) часть приходится 75%, остальные 25% образуют стойкий к разложению гумус, сам углерод составляет до 50% от всего РОВ.

Основной вклад в интенсивность полосы флуоресценции РОВ, при возбуждении лазерным излучением, дает именно лабильная его часть или хромофорное (цветное) РОВ – важная фракция РОВ. Эта фракция является посредником в проведении фотохимических реакций в морской воде, определяет количество и качество солнечного излучения, достигающего фотосинтезирующие клетки фитопланктона, формирует цвет океана, который регистрируется спутниковыми сканерами и служит основой дистанционных методов оценок характеристик фитопланктона. Эта часть представляет наиболее «легко измеряемую» оперативными оптическими методами часть РОВ [11].

В последние годы широко используются флуориметрические методы для исследования органического вещества в морской воде (включая и нефтяные углеводороды) (например, [6, 12, 13]). Несмотря на то что в некоторых работах указывается на низкую корреляцию между интенсивностью сигнала флуоресценции и концентрацией общего РОВ (см., например, [14]), все большее число авторов используют методику лазерной индуцированной флуоресценции для исследования динамики концентрации флуоресцирующего РОВ в морской воде [1, 4, 11, 15], особенно это относится к районам с высокими концентрациями хлорофилла А, где концентрации лабильной части РОВ приближаются к значению суммарного РОВ.

1. Описание районов измерений

В данной статье проведен анализ параметров ЛИФ-спектров органического вещества и пигментов фитопланктона, а также соотношений между интенсивностями линий ЛИФ-спектра основного и дополнительных пигментов клеток фитопланктона и концентрацией флуоресцирующей части РОВ (выраженной в относительных единицах интенсивности линии комбинационного рассеяния воды), полученной из ЛИФ-спектров. Анализ проведен для трех наиболее биопродуктивных районов Мирового океана в периоды, совпадающие с цветением водорос-

лей или близкие к ним, для акваторий Северного моря и северо-восточной части Атлантического океана вблизи островов Ирландии и Великобритании (обозначается как район I), для юго-западной части Атлантического океана в районе Фолклендских островов и Тихоокеанского побережья Чили (район II), а также для Охотского моря (район III). Всего для анализа использовано около 12 тыс. ЛИФ-спектров, полученных в экспедициях на парусном судне «Надежда» в 2002 г. в Охотском море и в 2003 г. во время кругосветной экспедиции.

На рис. 1, *a–в* приведен маршрут судна, жирными линиями показаны участки маршрута, где проводились непрерывные измерения ЛИФ-спектров и гидрологических параметров на проточном флуориметре [16]. На рис. 1, *г–е* приведены результаты обработки данных сканера цвета морской поверхности SeaWiFS за 2002 г., по которым можно определить период цветения водорослей в каждом из указанных районов. По горизонтали отложены месяцы, по вертикали – концентрации хлорофилла А, усредненные по данному району за 8 дней (использовались данные сканера SeaWiFS второго уровня) [17]. Из данных сканера цвета спутника SeaStar выделялись районы, по которым непосредственно проходил маршрут судна.

В Северном море и прилегающем к нему районе Атлантики, в Атлантическом океане (на акватории, прилегающей к Фолклендским островам) и Тихоокеанском побережье Чили измерения пришлись точно на период биологического цветения водорослей, а именно в апреле в Северном море и в ноябре в районе Фолклендских островов (весенний период южного полушария). В Охотском море измерения проводились в июле, что примерно на 1,5 мес позже максимума концентрации, которая была отмечена по данным спутника SeaWiFS. Большое число облачных дней в Охотском море в период с мая по август не позволило достаточно точно определить период цветения по данным SeaWiFS. Тем не менее на отдельных участках маршрута судовые данные дают очень высокие значения концентрации хлорофилла А, характерные для периода цветения.

Для географической привязки к маршруту, анализа и отображения данных использовались специально разработанная геоинформационная система «Дальневосточные моря» [18] и программный продукт «Ocean data view» [19].

2. Характерные особенности ЛИФ-спектров

Характерный ЛИФ-спектр, соответствующий высокой концентрации хлорофилла А, равной 7,2 мкг/л (после исправления на спектральную функцию пропускания фильтра, служащего для подавления упругого рассеяния, и спектральную чувствительность фотокада регистрирующего ФЭУ), приведен на рис. 2. Исходный спектр, полученный на лазерном проточном флуориметре [16, 20] без усреднения и накопления сигнала, соответствует кривой 1.

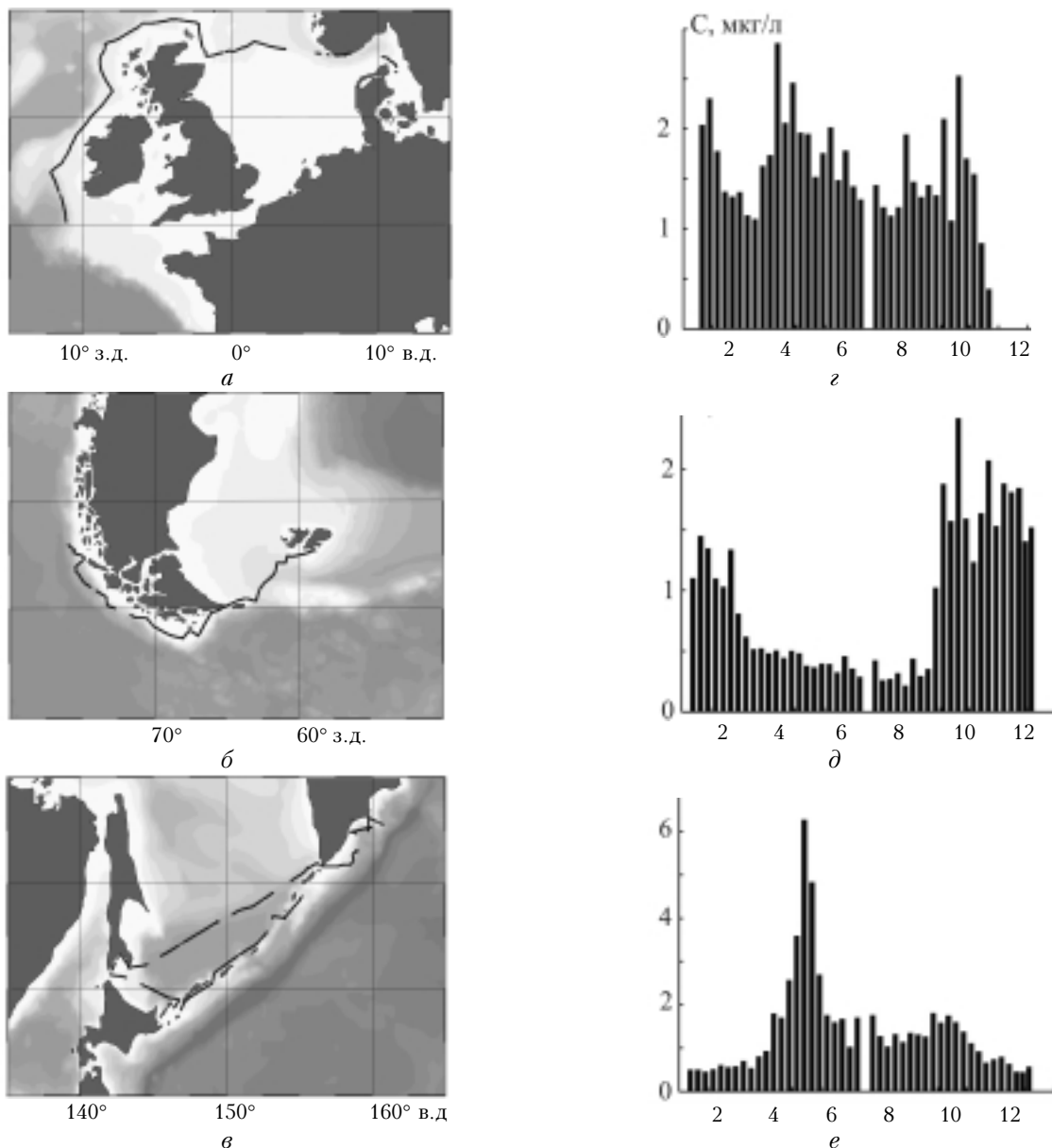


Рис. 1. Районы ЛИФ-измерений (*a–в*) и годовой ход средних по районам концентраций хлорофилла (*z–e*), восстановленный из данных сканера SeaWiFS

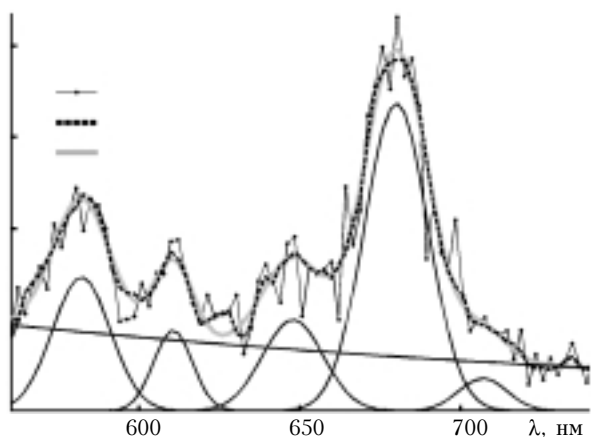


Рис. 2. Спектр ЛИФ морской воды, нормированный на интенсивность КР воды: кривая 1 – измеренный спектр; 2 – сглаженный спектр; 3 – сумма биооптических компонент

Для дальнейшей обработки спектр сглаживался и разлагался на следующие биооптические компоненты (БК): линия флуоресценции фикоэретрина (Ф), форма которой описывается гауссовой функцией с центром на длине волны 580 нм; линия с центром 610 нм (Y); комбинационное рассеяние воды (КР, линия с центром на 648 нм); флуоресценция хлорофилла А (X-A, линия с центром на 680 нм); флуоресценция хлорофилла Б (X-B, линия с центром на 710 нм); флуоресценция РОВ, описываемая ниспадающей экспонентой (сплошная линия ниже спектра ЛИФ на рис. 2, в диапазоне длин волн от 540 до 750 нм). Параметры всех составляющих функций БК определялись методом нелинейных наименьших квадратов [21]. Спектр, составленный из рассчитанных таким образом БК, соответствует кривой 3.

Линия флуоресценции с максимумом на длине волны 580 нм была отнесена к флуоресценции

одного из дополнительных пигментов клетки фитопланктона – фикоэретрину согласно работам [1, 22, 23]. Этот дополнительный пигмент поглощает свет в зеленой области спектра, где поглощение хлорофилла А мало, его содержание особенно высоко в синезеленых водорослях, цианобактериях и *Oscillatoria erythroa* [9, 23].

По нашим лабораторным экспериментам, которые совпадают с результатами работы [23], широкая полоса флуоресценции РОВ имела максимум на длине волны порядка 560 нм при возбуждении лазерным излучением с длиной волны 532 нм. От 560 нм в длинноволновую область наблюдался близкий к экспоненциальному спад. Результаты экспериментов, проведенных на отфильтрованной морской воде, бидистилляте и водопроводной воде показаны на рис. 3 (для фильтрации проб морской воды использовались фильтры с диаметром пор порядка 2,5 мкм).

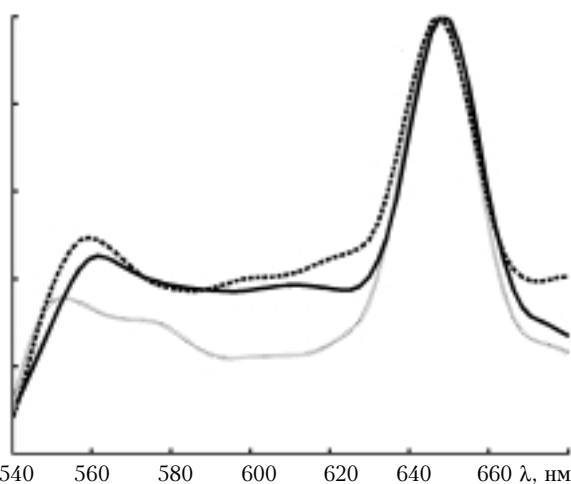


Рис. 3. Нормированный на интенсивность линии КР спектр ЛИФ фильтрованной морской (2), бидистиллированной (3) и водопроводной воды (1)

Рассмотрим подробнее особенность полосы ЛИФ-спектра в области 580–645 нм, т.е. между линиями флуоресценции фикоэретрина и КР воды. В исследуемых районах довольно устойчиво регистрируется линия с максимумом в диапазоне 610 нм, как показано на рис. 2 (линия обозначена У). Лабораторные эксперименты показали, что она отсутствует в спектре флуоресценции бидистиллированной, водопроводной и фильтрованной морской воды, при возбуждении лазерным излучением с длиной волны 532 нм (см. спектры на рис. 3).

Мы проанализировали связь между интенсивностью флуоресценции биооптической компоненты У с другими компонентами. Наилучшие корреляции БК У наблюдались с интенсивностью линий хлорофилла А и Б (максимум 0,75 в Охотском море и минимум 0,4 в Северном море), а наихудшие с РОВ. БК У наблюдалась во всех районах, но имела различную интенсивность. Из гистограмм значений интенсивности БК У (нормированных на интенсивность КР воды) были определены наиболее вероятные их величины, равные 0,3; 0,2 и 0,4 для I (рис. 1, а), II (рис. 1, б) и III (рис. 1, в) районов соответственно.

Для сравнения значения мод в гистограммах фикоэретрина равны 0,4; 0,3 и 0,25 для приведенных выше районов соответственно.

Высокие корреляции БК У с интенсивностью хлорофиллов позволяют говорить о том, что эта компонента, по-видимому, обусловлена пигментами, входящими в состав клеток фитопланктона. Необходимо отметить, что БК У может проявляться также в ЛИФ-спектрах водорослей и некоторых видов бактерий [23].

Во всех трех районах в местах с высокими концентрациями хлорофилла А наблюдалась линия в районе 710 нм, которая и была отнесена к флуоресценции хлорофилла Б [24]. Коэффициенты корреляции, определенные из диаграмм рассеяния относительных величин интенсивности флуоресценции хлорофилла А и хлорофилла Б, имели высокие значения 0,9; 0,82 и 0,9 для первого, второго и третьего районов соответственно. В среднем превышение относительной интенсивности хлорофилла А над хлорофиллом Б составило 5,2; 4,2 и 3,3 соответственно в каждом районе. Это дает возможность оценить отношение интенсивностей этих линий БК для каждого из рассматриваемых районов.

3. Особенности формирования ЛИФ-спектров растворенного органического вещества

Изменение интенсивности флуоресценции РОВ в области длин волн от зеленого (от 560 нм) к красному можно достаточно хорошо аппроксимировать экспоненциальной функцией:

$$I_{\text{РОВ}}(\lambda) = a \exp(-b\lambda). \quad (1)$$

Параметры экспоненты определяются в основном РОВ и должны отражать специфику условий образования РОВ и стадию распада органических соединений, входящих в него. Эта специфика заключается прежде всего в скорости производства РОВ фитопланктонным сообществом, которая зависит от времени года, типов водорослей и локальных условий, в которых развивается фитопланктон (гидрологические, гидрохимические, гидрофизические и другие особенности районов). Кроме того, параметры экспоненты, по-видимому, должны зависеть и от темпов протекания процессов разложения и трансформации органического вещества, вырабатываемого в процессе жизнедеятельности клеток фитопланктона. Процессы деградации, в свою очередь, зависят от внешних условий, в которых находится РОВ [7]. Поэтому показатель экспоненты в (1) отражает, скорее всего, «качество» РОВ в исследуемом районе. Для того чтобы связать параметры ЛИФ-спектра морской воды с концентрацией флуоресцирующей части РОВ, мы вводим для анализа интегральный параметр Q:

$$Q = \int_{560}^{740} \frac{I_{\text{РОВ}}(\lambda)}{I_{\text{КР}}} d\lambda. \quad (2)$$

Далее будем рассматривать этот параметр как некую условную концентрацию флуоресцирующей части, поскольку нам важны особенности статистических связей между концентрацией хлорофилла А и параметром, характеризующим не только количество РОВ, но и его качество (т.е. состав и стадию распада). В работах [20, 25, 26] мы сравнивали концентрацию хлорофилла А (C) и параметр S , который отличается от Q тем, что в него входят полосы флуоресценции дополнительных пигментов. Это осложняло интерпретацию полученных результатов с точки зрения определения соотношений между РОВ и фитопланктоном. Если корреляция между C и Q низкая, это означает, что есть большое количество флуоресцирующего РОВ, не связанного с фитопланктонным сообществом, функционирующим в рассматриваемый момент.

Такие воды мы ранее определили как воды второго типа [25]. В случаях, когда наблюдается хорошо выраженная линейная связь между C и Q (такие воды были отнесены к первому типу), эти параметры можно связать следующим соотношением:

$$Q(C) = Q_0 + vC, \quad (3)$$

где $Q_0 = Q(0)$ – фоновое значение РОВ; v – удельное воспроизводство РОВ фитопланктонным сообществом, функционирующим на исследуемой акватории в период измерений. Фактически Q_0 соответствует значению условной концентрации флуоресцирующего органического вещества, которая будет наблюдаться в данном районе при нулевой концентрации хлорофилла А, т.е. в отсутствие фитопланктона. Значение vC соответствует той лабильной части РОВ, которая вырабатывается фитопланктонным сообществом в данном районе в единицу времени. Тогда величину v можно рассматривать как параметр, характеризующий производство флуоресцирующего РОВ таким количеством клеток фитопланктона, которое содержит 1 мкг/л хлорофилла А. Этот параметр должен зависеть от многих внешних факторов, в которых развивается клетка, а также от видового состава и периода развития клеток фитопланктона.

На рис. 4 приведены диаграммы рассеяния Q и C для I–III районов, гистограммы концентрации хлорофилла А, параметра Q и показателя экспоненты b .

Наиболее четко линейные зависимости между концентрациями хлорофилла А и параметром Q проявляются в I и II районах, именно там, где время измерения пришлось точно на период цветения водорослей. В III районе (см. рис. 4, в) линейная связь между Q и C так четко не проявляется. При анализе отдельных малых выборок на диаграммах рассеяния Q и C можно выделить кластеры с высоким значением коэффициента корреляции R между C и Q . Но либо в силу различия гидрологических характеристик районов Охотского моря, либо из-за особенностей периода развития водорослей эти кластеры достаточно сильно отличаются друг от друга, и при их наложении не выделяется общая линейная

закономерность. Тем не менее большая часть мелко-масштабных районов (размерами порядка 10–30 км) имеет достаточно высокое значение коэффициента корреляции, что говорит о преобладании линейной связи между биооптическими компонентами C и Q и в III районе, но на более мелких масштабах. В I районе (рис. 4, а) коэффициент корреляции $R_1 = 0,62$ для всех измеренных значений (3 500 ЛИФ-спектров). При этом в данной работе можно выделить более мелкие кластеры. Но тем не менее наложение всех кластеров сохраняет линейность соотношения Q и C на больших масштабах (длина выборки вдоль маршрута судна составила порядка 2 500 км).

Во II районе (рис. 4, б) коэффициент корреляции также имел высокое значение: $R_2 = 0,7$ (3 300 ЛИФ-спектров) при длине участка маршрута порядка 1700 км. Здесь можно выделить, как минимум, два более мелких кластера, хотя они достаточно хорошо вписываются в один крупномасштабный кластер.

В районах со значением R более 0,4 мы провели регрессионный анализ по формуле (3). Для I и II районов были получены следующие значения фонового уровня и скорости воспроизводства РОВ: $Q_{01} = 77$, $Q_{02} = 31$, $v_1 = 5,2$, $v_2 = 6$. Необходимо отметить очень близкие значения параметра v , т.е. удельное воспроизводство РОВ фитопланктонным сообществом в районах I и II в период цветения.

Из рис. 4, г–е видно, что концентрация хлорофилла А имеет двухмодовое распределение с максимумами 4 и 16, 3 и 8, 2 и 6 мкг/л соответственно для I, II и III районов (см. рис. 4, г). Эти максимумы можно наблюдать также на диаграммах рассеяния, где около данных значений концентрации хлорофилла А группируются мелко-масштабные кластеры с характерными параметрами РОВ. Так как воды рассматриваемых районов в основном принадлежат к водам, где выражена линейная связь между Q и C , то большие значения концентраций хлорофилла А должны приводить к большим концентрациям РОВ. Это видно из рис. 4, д, где максимум распределения Q , равный 100, – наибольший в I районе.

Несмотря на то что в Охотском море невозможно получить линейные соотношения между Q и C в больших масштабах, удается все же провести некоторые сравнения, используя гистограммы значений, приведенные на рис. 4, г, д. Так как вид распределения C в районах II и III примерно одинаков (рис. 4, г), то по сравнению максимумов распределения Q (40 и 70 на рис. 4, д) можно сделать вывод о том, что в районе III наблюдались большие значения фонового РОВ или удельное воспроизводство РОВ было выше. Для выяснения истинной причины необходимо проводить мелко-масштабный анализ. При сравнении районов III и I можно лишь сделать вывод о том, что более высокие значения концентраций хлорофилла А приводят к большим значениям Q . Стоит отметить, что в отличие от распределения хлорофилла А распределение параметра Q для всех трех районов носит одномодовый характер.

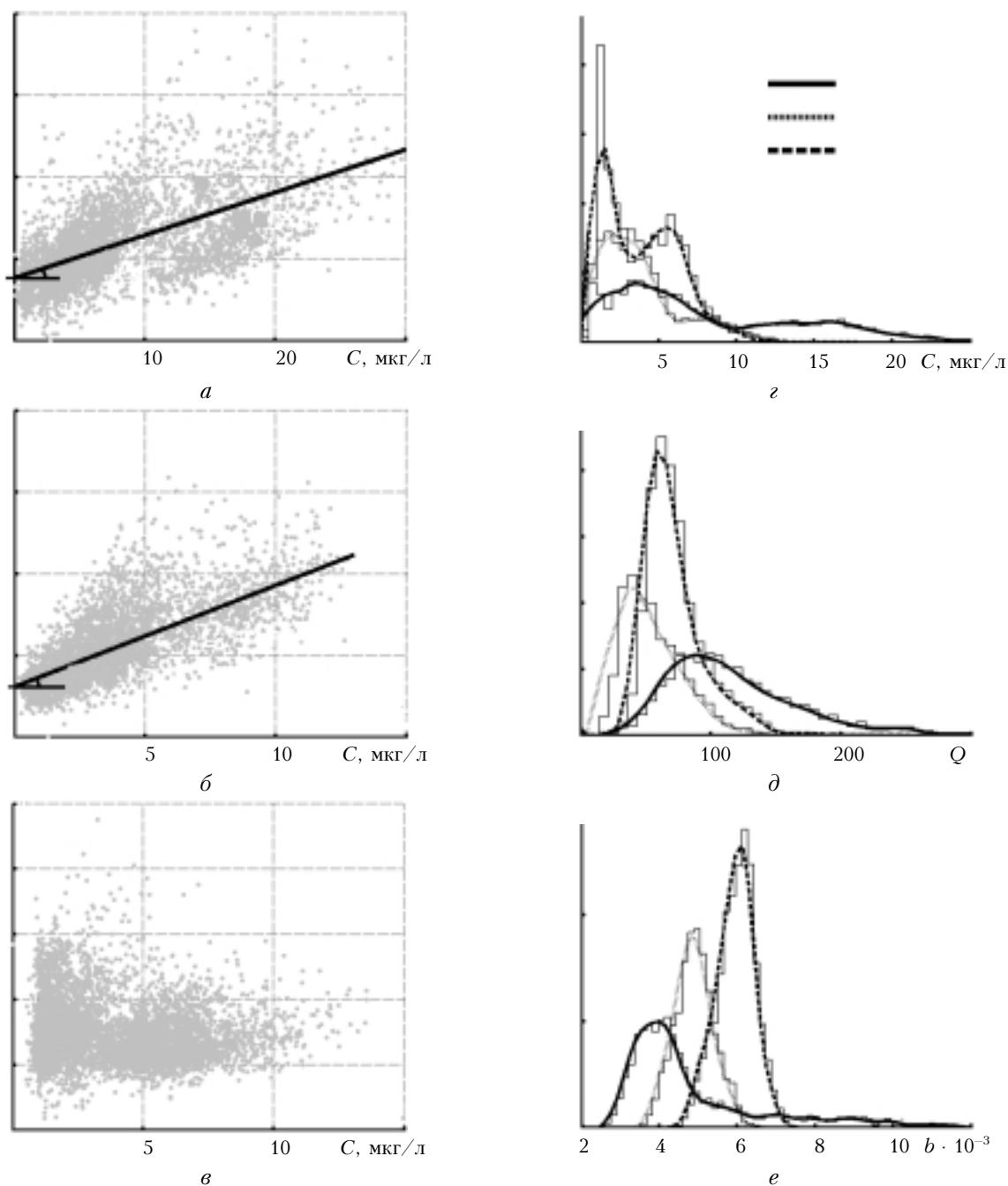


Рис. 4. Диаграммы рассеяния условной концентрации Q флуоресцирующей части РОВ и концентрации хлорофилла А C для I (а), II (б) и III (в) районов. Гистограммы значений C (г), Q (д) и показателя экспоненты, описывающей флуоресценцию РОВ (е); N – число точек

Из рис. 4, е видно, что в районах II и III наблюдаются подобные одномодовые распределения показателя экспоненты с модой около 0,005 и 0,006 соответственно. Первый район имеет также одномодовое распределение коэффициента b с максимумом 0,004, однако здесь наблюдается широкий «хвост» в область высоких значений. Эти высокие значения относятся к району Норвежской котловины и пролива Скагеррак.

Наименьшее значение показателя экспоненты (ниспадающая флуоресценция РОВ более пологая)

наблюдалось в Северном море, где происходило наиболее сильное цветение фитопланктона. Это может быть связано с тем, что в РОВ было относительно больше компонент, флуоресцирующих в красной области спектра, что в свою очередь может быть связано с большой концентрацией взвешенного вещества при сильном ветровом и приливном перемешивании в мелких водах Северного моря (во время измерений визуально наблюдалась мутная вода). Все три района хорошо различаются на гистограммах показателя экспоненты (см. рис. 4, е).

Приведенные результаты показывают возможность описания процесса воспроизводства флуоресцирующей части растворенного органического вещества планктонным сообществом с использованием биооптических компонент ЛИФ-спектров органического вещества в морской воде.

В период цветения водорослей, по крайней мере в двух наиболее продуктивных районах Мирового океана, наблюдается линейная связь между концентрацией хлорофилла А и условной концентрацией флуоресцирующей части РОВ.

При наличии таких линейных связей возможно введение параметра, характеризующего фоновые значения флуоресцирующего РОВ, в которых осуществляется реакция фотосинтеза, и величины, которая определяет удельное воспроизводство РОВ в процессе функционирования фитопланктонного сообщества в данном районе и в данный промежуток времени.

Масштабы, на которых параметры С и Q связаны линейно, довольно значительны в период цветения водорослей и составляют примерно 2 тыс. км в I и II районах. По-видимому, вне периода цветения водорослей, что имело место в III районе, подобные соотношения не сохраняются на больших масштабах и остаются лишь на малых.

1. Barbini R., Colao F., Fantoni R., Palucci A., Ribezzo S. Differential lidar fluorosensor system used for phytoplankton bloom and seawater quality monitoring in Antarctica // *Int. J. Remote Sens.* 2001. V. 22. N 2/3. P. 369–384.
2. Kolber Z.S., Falkowski P.G. Use of active fluorescence to estimate phytoplankton photosynthesis in situ // *Limnol. and Oceanogr.* 1993. V 38. N 8. P. 1646–1665.
3. Букин О.А., Пермяков М.С., Павлов А.Н., Майор А.Ю., Малеев А.В., Тархова Т.И., Скороход Г.В., Акмайкин Д.А. Использование пассивно-активных методов оптического зондирования для измерения структурных особенностей распределения биооптических характеристик в верхнем слое океана // *Оптика атмосф. и океана.* 2000. Т. 13. № 9. С. 847–850.
4. Пелевин В.Н., Абрамов О.И., Карлсен Г.Г., Пелевин В.В., Строгов А.М., Хлебников Д.В. Лазерное зондирование поверхностных вод Атлантики и морей, омывающих Европу // *Оптика атмосф. и океана.* 2001. Т. 14. № 8. С. 704–709.
5. Климов В.В. Фотосинтез и биосфера // *Сорос. образ. ж.* 1996. № 8. С. 6–13.
6. Guo L., Santchi P.H., Warnken K.W. Dynamics of dissolved organic carbon (DOC) in oceanic environments // *Limnol. and Oceanogr.* 1995. V. 40. N 8. P. 1392–1403.
7. Скопинцев Б.А. Новые данные о природе органического вещества океанических вод и его энергетические ресурсы // *Океанология.* 1981. Т. 21. № 5. С. 821–830.
8. *Атлантический океан* / Под ред. О.К. Леонтьева. М.: Мысль, 1977. 296 с.
9. Spinrad R.W., Carden K. L., Parry M. J. *Ocean Optics.* Oxford: Clarendon press, New York: Oxford University press, 1994. 283 p.
10. Norrman B., Zweifel U.L. Production and utilization of dissolved organic carbon during an experimental diatom bloom // *Limnol. and Oceanogr.* 1995. V. 40. N 5. P. 898–907.
11. Chen R.F. In situ fluorescence measurements in coastal waters // *Org. Geochem.* 1999. V 30. P. 397–409.
12. Глушков С.М., Фадеев В.В., Чубаров В.В. Лазерные спектрометры для диагностики органических примесей в природных водах // *Оптика атмосф. и океана.* 1994. Т. 7. № 4. С. 454–473.
13. Глушков С.М., Фадеев В.В., Филиппова Е.М., Чубаров В.В. Проблемы лазерной флуорометрии органических примесей в природных водах // *Оптика атмосф. и океана.* 1994. Т. 7. № 4. С. 433–449.
14. Карабаев Г.С., Агатова А.И. О соотношении интенсивности флуоресценции и концентрации растворенных органических веществ в водах океана // *Океанология.* 1984. Т. 24. № 6. С. 906–909.
15. Drozdowska V., Babichenko S., Lisin A. Natural water fluorescence characteristics based on lidar investigation of a surface water layer polluted by an oil film; the Baltic cruise – May 2000 // *Oceanologia.* 2002. V. 44. N 3. P. 339–354.
16. Майор А.Ю., Букин О.А., Павлов А.Н., Киселев В.Д. Судовой лазерный флуориметр для исследования спектров флуоресценции морской воды // *Приборы и техн. эксперим.* 2001. № 4. С. 151–154.
17. <http://daac.gsfc.nasa.gov>
18. Подопригора Е.Л., Чистяков Т.С., Хованец В.А., Пермяков М.С. Геоинформационная система мониторинга океана и атмосферы // *Исследовано в России.* 2003. № 128. С. 1517–1526. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/128.pdf>
19. Schlitzer R. Ocean Data View. <http://www.awi-bremerhaven.de/GEO/ODV>, 2003.
20. Букин О.А., Пермяков М.С., Майор А.Ю., Сагалев С.Г., Литилина Е.А., Хованец В.А. О калибровке метода лазерной флуорометрии при измерении концентрации хлорофилла «А» // *Оптика атмосф. и океана.* 2001. Т. 14. № 3. С. 223–226.
21. Marquardt D. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters // *SIAM J. Appl. Math.* 1963. V. 11. P. 431–441.
22. Hoge F.E., Swift R.N. Airborne simultaneous spectroscopic detection of laser-induced water Raman backscatter and fluorescence from chlorophyll a and other naturally occurring pigments // *Appl. Opt.* 1981. V. 20. N 18. P. 3197–3205.
23. Exton R.J., Houghton W.M., Esais W., Harris R.C., Farmer F.H., White H.H. Laboratory analysis of techniques for remote sensing of estuarine parameters using laser excitation // *Appl. Opt.* 1983. V. 22. N 1. P. 54–64.
24. Бункин Ф.В., Бункин А.Ф. Лидарное зондирование водоемов, почвы и растительности // *Оптика атмосф. и океана.* 2000. Т. 13. № 1. С. 63–69.
25. Букин О.А., Пермяков М.С., Майор А.Ю., Павлов А.Н., Скороход Г.В., Чекунова В.В., Царева О.С., Тархова Т.И. Связь параметров спектров флуоресценции морской воды, возбуждаемых лазерным излучением, с типом морских вод // *Оптика атмосф. и океана.* 2000. Т. 13. № 11. С. 1011–1014.
26. Букин О.А., Павлов А.Н., Пермяков М.С., Майор А.Ю., Константинов О.Г., Малеев А.В., Огай С.А. Continuous measurements of chlorophyll-a concentration in the Pacific Ocean by shipborne laser fluorometer and radiometer: comparison with SeaWiFS data // *Int. J. Remote Sens.* 2001. V. 22. N 2/3. P. 415–428.

O.A. Bukin, M.S. Permyakov, P.A. Saluk, A.Yu. Major, D.V. Burov, V.A. Khovanets, S.S. Golik, E.L. Podoprigora. **Peculiarities of formation of the laser-induced fluorescence spectra of sea water during the algae blooming in different regions of the World Ocean.**

The results of the laser induced fluorescence spectra investigation of the phytoplankton pigments and dissolved organic matter (DOM) are presented. Measurements were obtained at the most bioproductivity regions of the Great oceans: North sea and north-eastern part of the Atlantic ocean, south-western part of the Atlantic ocean and Pacific coast of the Chile, the Sea of Okhotsk. Measurements were done in 2002–2003 years during algae blooming. It is shown, that linear relations between concentration of the primary phytoplankton pigment – chlorophyll-a and quantity, which characterizes the fluorescent part of DOM are observed in the period most close to the algae blooming. It is possible to introduce parameters, which characterize the velocity of the DOM production by the phytoplankton community in the water area with such linear relations.