

УДК 582.26–117.41+551.507.362.2(265.54)

С.П. Захарков¹, Ю.В. Шамбарова¹, Т.Н. Гордейчук¹, И.В. Стоник²,
Е.А. Штрайхерт^{1*}

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43;

² Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ЗОНДА SBE ДЛЯ КАЛИБРОВКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА *a* В ЯПОНСКОМ МОРЕ

Изучено распределение хлорофилла *a* (Хл), измеренного с помощью флуориметра Wetlabs зонда SBE 911 и стандартным спектрофотометрическим методом в пробах воды, отобранных в приповерхностных горизонтах до 100 м в северо-западной части Японского моря во время проведения 1-го российско-китайского рейса осенью 2010 г. Параллельно на большинстве станций с поверхности определялась биомасса и видовой состав фитопланктона. Было построено регрессионное уравнение, связывающее концентрацию хлорофилла *a* (КХл), определённую двумя вышеуказанными методами для всей исследуемой акватории. Корреляция для всей акватории оказалась невысокой $R^2 = 0,2182$. Это стимулировало нас изучать связь между этими параметрами по различным районам. Разбиение изучаемой акватории Японского моря на пять районов было проведено на основании гидрологических характеристик и распределения Хл, полученного по 8 дневным синтезированным изображениям КХл, выполненным во время проведения 53-го рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев». При разбиении на районы коэффициенты корреляции выросли, и R^2 изменялся от 0,5723 до 0,9080. Выход флуоресценции на единицу Хл также существенно варьировал в различных районах — от 0,7621 для склона центрального Приморья до 1,6960 для банки Кито-Ямато. Такая вариабельность объясняется не только изменением гидрологических условий, но и изменчивостью видового состава фитопланктона. Учет этих факторов позволит более точно определять КХл фитопланктона по данным зондирования.

Ключевые слова: микроводоросли, хлорофилл, биомасса, модель, спутниковые данные.

* Захарков Сергей Петрович, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, e-mail: zakharkov@poi.dvo.ru; Шамбарова Юлианна Вениаминовна, младший научный сотрудник, e-mail: shambarova@poi.dvo.ru; Гордейчук Татьяна Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: tgordeichuk@poi.dvo.ru; Стоник Инна Валентиновна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: stonikiv@mail.ru; Штрайхерт Елена Аркадьевна, кандидат географических наук, научный сотрудник, e-mail: straj@poi.dvo.ru.

Zakharkov Sergey P., Ph.D., leading researcher, lecturer, e-mail: zakharkov@poi.dvo.ru; Shambarova Yulianna V., junior researcher, e-mail: shambarova@poi.dvo.ru; Gordeychuk Tatyana N., Ph.D., senior researcher, e-mail: tgordeichuk@poi.dvo.ru; Stonik Inna V., Ph.D., senior researcher, e-mail: stonikiv@mail.ru; Shtraikhert Elena A., Ph.D., researcher, e-mail: straj@poi.dvo.ru.

Zakharkov S.P., Shambarova Yu.V., Gordeychuk T.N., Stonik I.V., Shtraikhert E.A. Possibility of using the SBE profilometer data for calibration of satellite data on concentration of chlorophyll *a* in the Japan Sea // *Izv. TINRO.* — 2014. — Vol. 177. — P. 209–218.

Chlorophyll *a* (Chl) concentration in the upper 100 m layer of the northwestern Japan Sea is measured both by fluorimeter Wetlabs mounted on oceanographic sonde-profilometer SBE 911 and by standard spectrophotometric method in the 1st Russian-Chinese survey in the autumn of 2010. Biomass and species composition of phytoplankton at the seas surface are determined in the same time. For the whole area of measurements, the data on Chl defined by two methods correlate weakly ($R^2 = 0.22$). However, after dividing the investigated area onto five local areas taking into account oceanographic patterns and satellite data on Chl concentration (8-day composite images), the correlation becomes higher for any local area (R^2 from 0.57 to 0.91). Inclination of regression between the data measured by two methods (ratio fluorescence : concentration) varies between the areas, as well — from 0.76 above the continental slope of middle Primorye to 1.70 at Kito-Yamato Bank. This variability is reasoned by variations of both oceanographic conditions and species composition of phytoplankton. Instability of Chl fluorescent ability should be considered when satellite data on Chl concentration are used.

Key words: microalga, chlorophyll, phytoplankton biomass, regression model, satellite data.

Введение

Данные о содержании хлорофилла *a* (Хл) в морской воде традиционно используются для оценки продукционных характеристик фитопланктона — биомассы (БМ) и первичной продукции (ПП), а также как индикатор загрязнения вод (Бурлакова и др., 1988; Белоненко и др., 2010; Кудрявцева и др., 2011; Юнев, 2011; Yoshikazu et al., 2012; Pung-Guk et al., 2013). При этом методы определения основного фотосинтетического пигмента клеток фитопланктона различны. В лабораторных условиях чаще всего применяется спектрофотометрический метод (Кобленц-Мишке, 1983). Спектрофотометрический метод определения КХл предполагает измерение оптической плотности изучаемого экстракта на трех участках красной области спектра (630, 647 и 664 нм с учетом влияния светорассеивающей взвеси на 750 нм). В основе метода лежит спектрофотометрирование экстракта пигментов до и после его подкисления раствором соляной кислоты.

В последнее десятилетие наиболее широко используются спутниковые данные по КХл, полученные со сканеров цвета SeaWiFS и MODIS Aqua (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) (Копелевич, Лаппо, 2005; Ветров, 2008; Vantrepotte, Me'lin, 2011; Machado et al., 2013; Rueda-Roa, Muller-Karger, 2013). Тем самым искусственные спутники Земли дают возможность детально оценить величину ПП на разных океанических акваториях, ее сезонную и долговременную изменчивость (Platt, Sathyendranath, 1988; Шушкина и др., 1997). Получаемая со спутника информация о концентрации и пространственно-временном распределении Хл может быть использована для оценки видового состава фитопланктона, в частности наличия диатомовых микроводорослей (Alvain et al., 2005; Пат. № 2460770). Оценка КХл из космоса основана на измерении спектра уходящего излучения Земли на верхней границе атмосферы. Составляющая спектра этого излучения — восходящее излучение моря. Оно зависит от КХл, а также от концентрации распределения по размерам и составу частиц органического и неорганического происхождения. Взаимодействие восходящего излучения моря с атмосферой существенно усложняет определение КХл. Для оценки первичной продукции водоема необходимо знать значения КХл с минимальными погрешностями. Решение этой задачи сопряжено со значительными трудностями, так как точность спутниковых оценок КХл, особенно в прибрежных районах, мала. Погрешность спутниковых оценок зависит от таких факторов как состояние атмосферы (количества и состава аэрозоля, наличия дымки, вариаций содержания озона и др.), присутствие в воде оптически активных компонентов (взвесь терригенного и органического происхождения, растворенная органика) и их вертикального распределения в приповерхностном слое. Для снижения погрешности необходима верификация и региональная коррекция спутниковых оценок по судовым подспутниковым измерениям (Копелевич и др., 2006; Штрайхерт и др., 2006; Салюк и др., 2013).

Если спутниковые методы измерения основаны на расчете КХл по его линии поглощения света, то в судовых измерениях наиболее часто используется флуоресцентный анализ. Метод контактных флуориметрических измерений в природных водах осуществляется в масштабах десятков метров, что на порядок меньше размера пиксела спутниковых сканеров цвета океана. На океанологических станциях в режиме дрейфа судна для измерения вертикального профиля КХл используются флуориметры, выполненные в виде зонда или дополнительной насадки на гидрологический зонд. В флуориметрах, как правило, регистрируется интенсивность флуоресценции в одном спектральном канале — на одной длине волны, соответствующей максимуму линии флуоресценции Хл. Недостатком одноканальной спектральной регистрации таких флуориметров является то, что в шельфовых и прибрежных водах с большим содержанием растворенного органического вещества (РОВ) и наиболее богатых фитопланктоном линия флуоресценции Хл перекрывается с линией флуоресценции РОВ. Это вносит существенную систематическую ошибку при измерении КХл.

Помимо этого флуоресценция Хл зависит не только от КХл, но и от квантового выхода флуоресценции, который может меняться в зависимости от видового состава фитопланктона, его физиологического состояния (Маторин, Рубин, 2012). Несмотря на оперативность флуоресцентного метода и возможность получения большого количества данных по сравнению с трудоёмким стандартным спектрофотометрическим методом, точность которого зависит от абсолютной величины КХл и, например, при КХл, равной 1 мг/м^3 , составляет $0,05 \text{ мг/м}^3$ (Ведерников и др., 1973), он имеет существенные недостатки по точности получаемых КХл. При калибровке данных флуоресцентного метода требуется деление района исследований на подрайоны с относительно одинаковыми гидробиологическими условиями, определяющими содержание Хл в клетках и их состояние. При коррекции спутниковых оценок КХл также необходимо деление района исследований на подрайоны исходя из того, что спутниковое значение КХл зависит не только от содержания Хл в воде, но и от других оптически активных компонентов (жёлтого вещества и детрита, минеральной взвеси). Содержание оптически активных компонентов в воде, исключая влияние атмосферы, определяет ошибку спутникового значения КХл или коэффициент различия между спутниковыми и судовыми данными по КХл.

Вследствие этого деление на подрайоны может быть произведено и по этому коэффициенту. Кроме того, квантовый выход флуоресценции Хл зависит от времени суток. Совокупность всех перечисленных выше особенностей калибровки оценок КХл очень усложняет коррекцию спутниковых значений КХл по данным флуоресцентного метода.

Целью настоящей работы явилось выявление возможности коррекции спутниковых оценок КХл по данным флуоресцентного метода. Это включало в себя сопоставление результатов определения КХл различными методами, а также выявление особенностей пространственного распределения КХл по данным дистанционных (спутниковых) наблюдений и судовых спектрофотометрических и флуориметрических измерений с учетом гидрологических характеристик Японского моря и видового состава фитопланктона.

Материалы и методы

Исследования распределения Хл были выполнены в первом российско-китайском рейсе (53-й рейс НИС «Академик М.А. Лаврентьев»), проходившем с 27 октября по 13 ноября 2010 г. в Японском море. Изучаемая акватория была разбита на пять районов, условно названных: I район — Татарский пролив ($138\text{--}142^\circ$ в.д. $46\text{--}49^\circ$ с.ш.; станции № 1, 2, 4, 5, 7), II район — склон центрального Приморья ($136\text{--}140^\circ$ в.д. $42\text{--}46^\circ$ с.ш.; станции № 0-03, 7d, 8, 10–13), III район — склон южного Приморья ($134\text{--}136^\circ$ в.д. $42\text{--}44^\circ$ с.ш.; станции № 0-test, 14a, 14b, 17, 18), IV район — банка Кито-Ямато ($133\text{--}135^\circ$ в.д. $39\text{--}41^\circ$ с.ш.; станции № 18a, 19, 20, 21, 24, 26, 26a, 26b), V район — возвышенность Первенца ($132\text{--}133^\circ$ в.д. $41\text{--}42^\circ$ с.ш.; станции № 27, 30, 34). Разбиение изучаемой акватории Японского моря на пять районов было произведено на основа-

нии гидрологических характеристик и распределения Хл, полученного по 8 дневным синтезированным изображениям КХл, выполненным во время проведения 53-го рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев» (рис. 1).

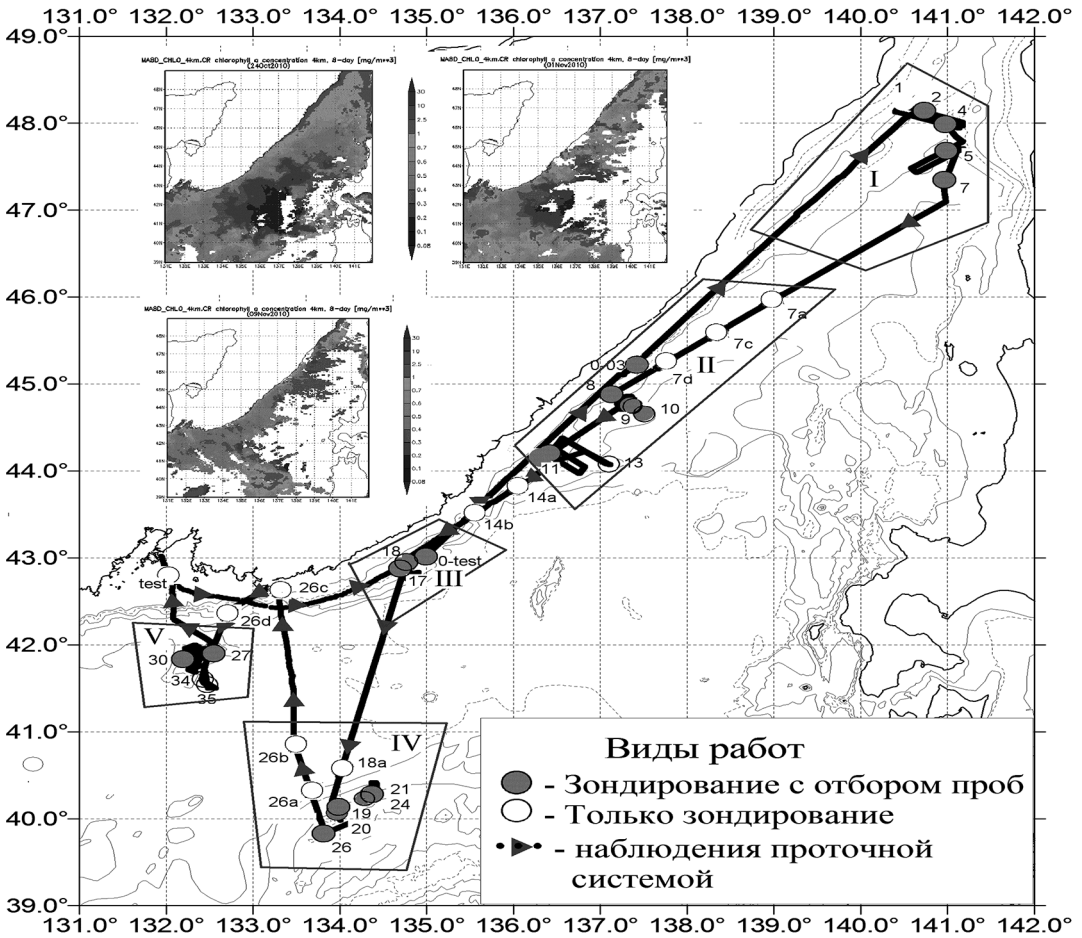


Рис. 1. Схема расположения станций 1-го российско-китайского рейса (НИС «Академик М.А. Лаврентьев» № 53)

Fig. 1. Scheme of the 1st Russian-Chinese survey (53rd cruise of RV Academican M.A. Lavrentyev)

Пробы воды для анализа фитопланктона и определения КХл брали из одних и тех же батометров Нискина объемом 10 л системой «Rosette» 1015 для выполнения основных анализов на борту судна и консервации проб для последующего анализа на берегу. Всего было выполнено 35 станций. Схема их расположения приведена на рис. 1. Пробы отбирались с горизонтов, выбранных после предварительного STD-зондирования в эвфотической зоне. Глубина эвфотической зоны определялась с помощью датчика освещенности и диска Секки (Pilgrim, 1987). Для параллельного определения КХл и фотосинтетической активности фитопланктона в пробах воды со всех горизонтов измерялась замедленная флуоресценция (ЗФ) фитопланктона (Звалинский и др., 2006). Концентрация пигмента определялась параллельно стандартным спектрофотометрическим методом (Кобленц-Мишке, 1983). Для этого метода проба воды объемом 1,5 л пропусклась через стекловолоконный фильтр GF/F фирмы Whatman с размером пор 0,65 мкм. Сразу после фильтрации определялась ЗФ фитопланктона, сконцентрированного на фильтре. Это позволяло поднять чувствительность метода и получить более подробную индукционную кривую ЗФ. После замера ЗФ подсушенные фильтры замораживались и хранились при температуре минус 18 °С для дальнейшей обработки в лабораторных условиях на берегу.

Пробы воды для анализа видового состава фитопланктона фиксировали раствором Утермеля до светло-желтого цвета и концентрировали методом обратной фильтрации через нуклеопоровые фильтры с диаметром пор 2 мкм. Подсчет клеток наннопланктона производили в камере Ножотта объемом 0,07 мл, микропланктона — объемом 1,0 мл. Биомассу водорослей оценивали объемным методом, используя оригинальные и литературные данные измерений объема клеток каждого вида и считая удельный вес водорослей равным единице (Коновалова, 1972; Нестерова, Василенко, 1986). Доминирующими считали виды, плотность которых составляла не менее 20 % общей плотности фитопланктона, субдоминирующими — 5–19 % (Коновалова, 1984). При установлении систематического положения диатомовых водорослей применяли систему Еленкина с изменениями (Прошкина-Лавренко, Макарова, 1968; Диатомовые водоросли СССР ..., 1988*). Для остальных отделов в основу классификации положена система Парке и Диксона (Parke, Dixon, 1976) с некоторыми изменениями и дополнениями (Sournia, 1986; Dinet, 1990).

Для планирования съемки и последующего анализа пространственной структуры вод и распределения КХл использовалась спутниковая информация, полученная в Центре космического мониторинга ИАПУ ДВО РАН (www.satellite.dvo.ru) и в Центре хранения и обработки спутниковой информации NASA GSFC (Goddard Space Flight Center — www.oceancolor.gsfc.nasa.gov). Данные по КХл были получены по алгоритму ОСЗ с использованием программного обеспечения SeaDAS версий 6.4.

Величины *in situ* КХл получены по данным CTD-зонда Sea Bird 911 производства Sea Bird Electronic (США) и основаны на заводской калибровке штатного флуориметра. Измерения записывались в электронной форме.

Результаты и их обсуждение

Концентрация хлорофилла *a*, измеренная спектрофотометрическим методом, и флуоресценция Хл, измеряемая зондом Sea Bird 911 (SBE), в рейсе показали невысокую взаимную корреляцию ($R^2 = 0,2182$) (рис. 2). Это стимулировало нас изучать связь между этими параметрами по различным районам. При разбиении на районы коэффициенты корреляции выросли и составили соответственно для зоны Татарского пролива 0,5933, для склона центрального Приморья 0,7621, для склона южного Приморья 0,5859, для банки Кито-Ямато 0,5723 и для возвышенности Первенца 0,9080. Выход флуоресценции, калиброванной в заводских условиях в миллиграммах Хл на единицу Хл, измеренного стандартным спектрофотометрическим методом (Кобленц-Мишке, 1983), в зоне Татарского пролива составил 0,8530, для склона центрального Приморья — 0,7621, для склона южного Приморья — 1,4620, для банки Кито-Ямато — 1,6960 и для возвышенности Первенца — 1,3010 (рис. 3). Полученные высокие значения корреляции между КХл и флуоресценцией хлорофилла *a*, измеряемой зондом Sea Bird 911 для выделенных районов, позволяют использовать последнюю для калибровки спутниковых данных по КХл после валидации этих данных стандартным спектрофотометрическим методом. Эти же калиброванные данные по флуоресценции Хл могут использоваться и для определения первичной продукции фитопланктона.

По данным натурных измерений по трем горизонтам (до 75 м), максимальная КХл отмечалась в северной части Японского моря. В районе склона центрального Приморья она составила 1,278 мг/м³, в районе Татарского пролива — 1,017 мг/м³. При продвижении на юг средние показатели КХл снижались: в районе склона южного Приморья КХл была равна 0,352 мг/м³, на возвышенности Первенца — 0,509 мг/м³. В районе банки Кито-Ямато, находящейся в мористой части моря, показатель КХл равнялся 0,795 мг/м³. По всей видимости, такое распределение связано с завершением осеннего цветения в южной области Японского моря.

Высокая изменчивость выхода флуоресценции связана, очевидно, не только с гидрологическими условиями, но и с изменчивостью видового состава фитопланктона.

* Диатомовые водоросли СССР: ископаемые и современные. Л.: Наука, 1988. Т. 2, вып. 1. 116 с.

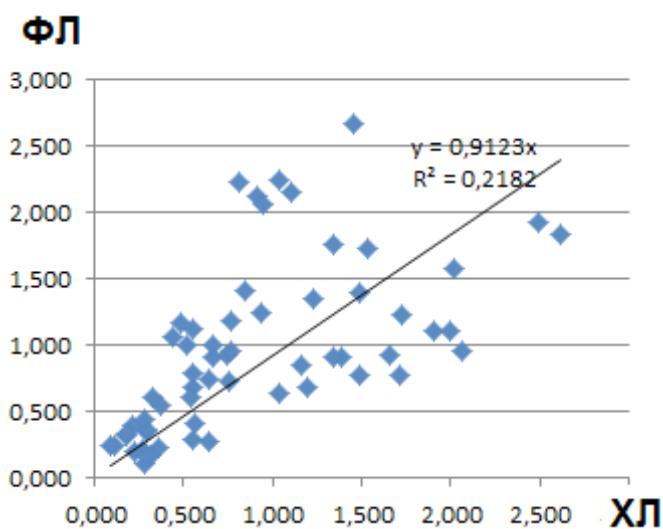


Рис. 2. Связь между КХл (Хл) и флуоресценцией хлорофилла *a*, измеряемой зондом SBE (Фл), для всей изучаемой акватории Японского моря

Fig. 2. Relationship between Chl *a* concentration (Хл) and its fluorescence (Фл) for the whole investigated area in the northwestern Japan Sea

В каждом исследуемом районе были выявлены особенности в видовом составе природных сообществ микроводорослей (рис. 3). В зоне Татарского пролива преобладают динофитовые микроводоросли — 76,75 %, диатомовые — 21,03 %, криптофитовые — 0,75 %, незначительное содержание БМ мелких флагеллят — 0,08 %, отсутствуют золотистые, зеленые и эвгленовые микроводоросли. На склоне центрального Приморья содержание БМ диатомовых и динофитовых водорослей почти равнозначно и составляет 45,17 и 48,02 %, криптофитовых — 3,80 %, зеленых — 0,11 %, золотистые, эвгленовые, мелкие флагелляты не были обнаружены. Склон южного Приморья отличается высоким содержанием БМ динофитовых микроводорослей — 60,38 %, диатомовых — 37,15 %, криптофитовых — 2,68 %, мелких флагеллят и зеленых — 0,38 и 0,46 %, отсутствующие виды — золотистые и эвгленовые. Банка Кито-Ямато примечательна наличием почти всех исследуемых видов, за исключением золотистых. Здесь преобладают диатомовые — 58,77 %, динофлагелляты — 33,27 %, криптофитовые — 6,35 %, мелкие флагелляты и эвгленовые — 1,25 %, зеленые — 0,22 %. В районе возвышенности Первенца среди видов фитопланктонного сообщества по содержанию БМ выделяются динофлагелляты — 52,50 %, диатомовые — 31,80 %, золотистые — 9,20 %, криптофитовые — 5,17 %, не обнаружены зеленые, эвгленовые и мелкие флагелляты.

Изучение возможности коррекции спутниковых оценок КХл по данным флуоресцентного метода актуально, потому как почти все STD-зонды и ряд буев Argo комплектуются датчиками флуоресценции для определения Хл. И было бы интересно использовать эти данные для калибровки спутниковых наблюдений и для других продукционных исследований, в частности для определения ПП фитопланктона. В связи с этим нами была рассмотрена связь между КХл и флуоресценцией, измеряемой датчиком зонда SBE.

Изменение КХл с глубиной, как правило, повторяло профили флуоресценции Хл, полученной датчиком зонда SBE. Как видно из данных таблицы, усредненные значения КХл были наибольшими в северных районах (I и II), и это объясняется развитием осеннего цветения фитопланктона, вызванного разрушением летней стратификации вод. Минимальные значения КХл наблюдались в зоне склона южного Приморья. Максимальные значения относительного квантового выхода флуоресценции, усредненного по районам, наблюдаются в районе банки Кито-Ямато (100 %), где преобладают диатомовые виды водорослей (58,77 %), а наименьшие значения этого параметра в северных районах (50,0 и 47,66 %), где отмечается максимальное содержание БМ динофитовых микроводорослей — 76,75 и 48,02 %. Районы III и V занимают промежуточное положение по усредненному относительному квантовому выходу флуоресценции (86,0 и 76,53 %), в которых преобладают динофитовые водоросли (60,38 %) и динофлагелляты (52,50 %).

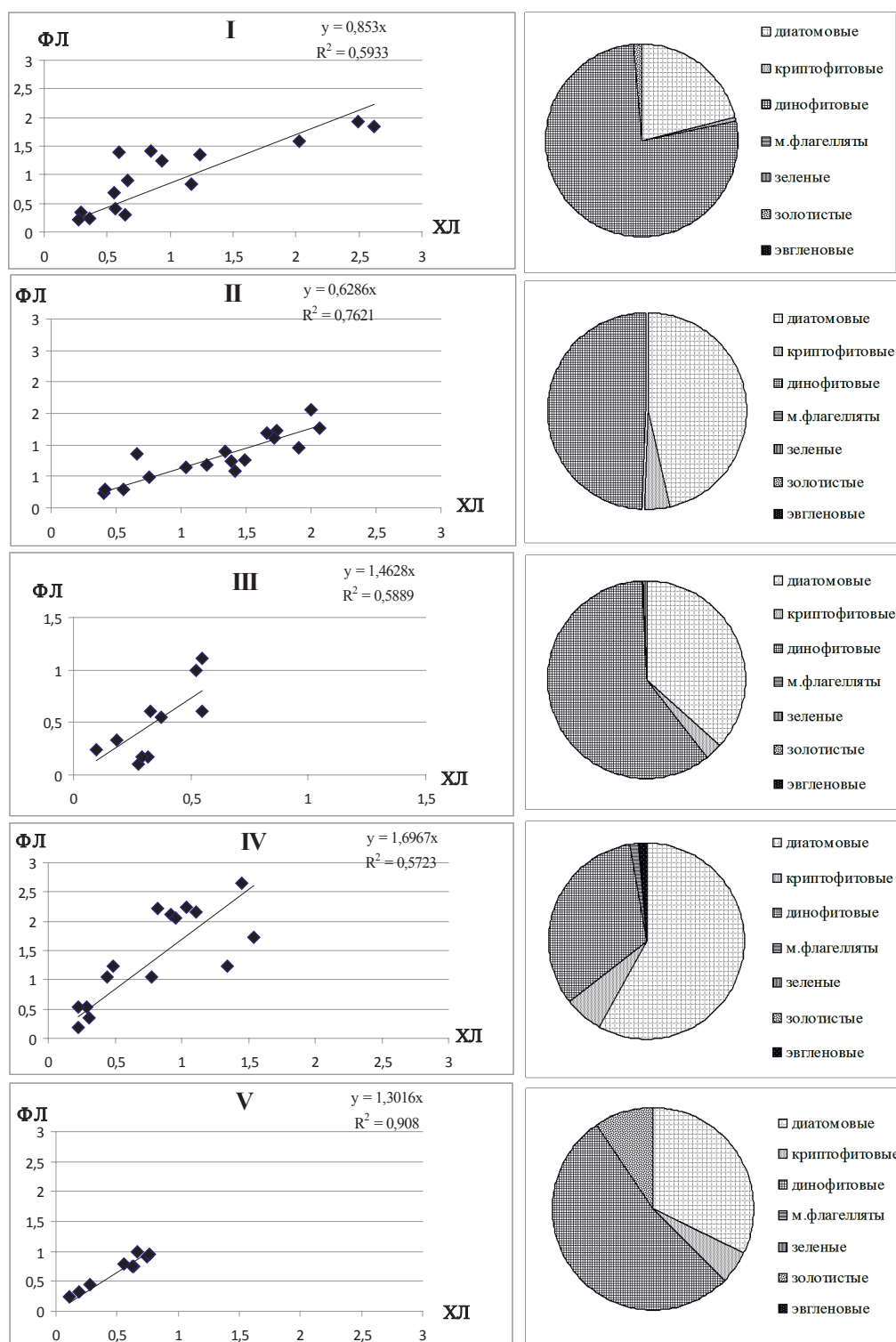


Рис. 3. Связь между флуоресценцией хлорофилла *a*, измеряемой зондом SBE, и КХЛ в зависимости от видового состава фитопланктона по выделенным районам изучаемой акватории Японского моря (I район — Татарский пролив; II район — склон центрального Приморья; III район — склон южного Приморья; IV район — банка Кито-Ямато; V район — возвышенность Первенца)

Fig. 3. Relationship between Chl *a* concentration and its fluorescence, by local areas in the northwestern Japan Sea (I — Tatar Strait; II — continental slope of middle Primorye; III — continental slope of south Primorye; IV — Kito-Yamato Bank; V — Pervenets Rise (Siberian Seamount))

Усредненные по районам значения КХл и относительные квантовые выходы быстрой и замедленной флуоресценции на единицу Хл
 Chl *a* concentration and relative quantum yields for fast and delayed fluorescence per unit of Chl *a*, averaged by local areas in the northwestern Japan Sea

Район	Хл, мг/м ³	ФЛ/ХЛ, %	ЗФ/ХЛ, %
I	1,02	50,00	49,77
II	1,28	47,66	23,78
III	0,35	86,00	81,61
IV	0,79	100,00	69,76
V	0,51	76,53	100,00

Примечание. ХЛ — усредненные по районам КХл; ФЛ/ХЛ — усредненный относительный квантовый выход быстрой флуоресценции по районам; ЗФ/ХЛ — усредненный относительный квантовый выход замедленной флуоресценции по районам.

Профили ЗФ и КХл одинаково изменялись с глубиной, при этом отмечалось увеличение выхода ЗФ на единицу Хл с глубиной. Такие изменения отмечались ранее для исследуемого района (Звалинский и др., 2006). Изменения значений относительного квантового выхода флуоресценции, усредненного по районам, были аналогичны изменениям значений квантового выхода замедленной флуоресценции по районам, но не совпадали полностью. Минимальные значения параметра ЗФ/ХЛ отмечались также для северных районов (I — 49,77 %, II — 23,78 %), а максимальные — для южных (III, IV, V). Это было связано с различными механизмами, вызывающими быструю и замедленную флуоресценции микроводорослей. Быстрая и замедленная флуоресценции микроводорослей пропорциональны БМ микроводорослей, но при повреждении фотосинтетического аппарата клеток фитопланктона быстрая флуоресценция возрастает, а ЗФ падает до нуля (Диденко и др., 1985; Маторин, Рубин, 2012).

Таким образом, применение данных о КХл, полученных с использованием зондирующих флуориметров, позволяет в общих чертах изучить распределение Хл на любой акватории Япономорского региона. Для более точных оценок, необходимых, например, для оценки точности спутниковых данных, следует верифицировать данные зондирующего флуориметра стандартными лабораторными методами (Кобленц-Мишке, 1983).

В зависимости от района исследования изменялась не только КХл, но и выход флуоресценции на единицу Хл. Выход флуоресценции на единицу Хл существенно варьировал — от 0,7621 в районе склона центрального Приморья до 1,6960 в акватории банки Кито-Ямато.

При разбиении исследуемой акватории коэффициенты корреляции между КХл и флуоресценцией выросли и составили для зоны Татарского пролива — 0,7489, для склона центрального Приморья — 0,5888, для склона южного Приморья — 0,5889, для банки Кито-Ямато — 0,6554 и возвышенности Первенца — 0,9178.

Высокая изменчивость выхода флуоресценции связана, очевидно, не только с гидрологическими условиями, но и с изменчивостью видового состава фитопланктона. Так, в районе склона центрального Приморья преобладают динофитовые, а в районе банки Кито-Ямато диатомовые микроводоросли.

Учет этих факторов позволит более точно определять по данным зондирования продукционные характеристики фитопланктона.

Выводы

Таким образом, данные флуоресцентного метода позволяют производить коррекцию спутниковых оценок КХл. Однако следует учитывать, что к данным по флуоресценции Хл без калибровок в выделенных гидробиологических районах, пространственно-временные границы которых меняются, необходимо относиться с осторожностью и что коррекция спутниковых значений Кхл по ним осложнена.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ, проект № 14-05-31219 мол а, и ДВО РАН, проект 12-III-A-07-118.

Авторы благодарят соруководителей 1-го российско-китайского рейса д-ра геол.-минерал. наук С.А. Горбаренко (ТОИ ДВО РАН) и профессора С. Шу (FIO SOA China) за помощь в проведении исследований.

Список литературы

- Белоненко Т.В., Захарчук Е.А., Колдунов А.В. и др.** Опыт использования спутниковой информации для оценки и прогноза биологической и промысловой продуктивности различных районов Мирового океана // *Вопр. промысл. океанол.* — 2010. — Вып. 7, № 1. — С. 206–226.
- Бурлакова З.П., Шемшура В.Е., Чмыр В.Д.** Взаимосвязь между первичной продукцией, хлорофиллом «а» и относительной прозрачностью морских вод // *Экол. моря.* — 1988. — Т. 30. — С. 6–8.
- Ведерников В.И., Коновалов Б.В., Кобленц-Мишке О.И.** Результаты применения спектрофотометрического метода определения феофитина-а в пробах морской воды // *Тр. ИОАН СССР.* — 1973. — Т. 95. — С. 138–146.
- Ветров А.А.** Хлорофилл, первичная продукция и потоки органического углерода в Карском море // *Океанол.* — 2008. — Т. 48, № 1. — С. 38–47.
- Диденко Ю.Т., Аникиев В.В., Ильичев В.И. и др.** Исследование влияния ультразвуковой кавитации на монокультуры водорослей методом замедленной флуоресценции // *Биофизика.* — 1985. — Т. 30, № 1. — С. 103–106.
- Звалинский В.И., Лобанов В.Б., Захарков С.П., Тищенко П.Я.** Хлорофилл, замедленная флуоресценция и первичная продукция в северо-западной части Японского моря осенью 2000 г. // *Океанол.* — 2006. — Т. 46, № 1. — С. 135–145.
- Кобленц-Мишке О.И.** Экстрактный и безэкстрактный методы определения фотосинтетических пигментов в пробе // *Современные методы количественной оценки распределения морского планктона.* — М. : Наука, 1983. — С. 114–125.
- Коновалова Г.В.** Сезонная характеристика фитопланктона в Амурском заливе Японского моря // *Океанол.* — 1972. — Т. 12, № 1. — С. 123–128.
- Коновалова Г.В.** Структура планктонного фитоценоза залива Восток Японского моря // *Биол. моря.* — 1984. — № 1. — С. 13–23.
- Копелевич О.В., Буренков В.И., Шеберстов С.В.** Разработка и использование региональных алгоритмов для расчета биооптических характеристик морей России по данным спутниковых сканеров цвета // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса : сб. науч. статей.* — М. : Азбука-2000, 2006. — Т. 2, вып. 3. — С. 99–105.
- Копелевич О.В., Лаппо С.С.** Использование спутниковых данных для исследования морей и океанов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса : сб. науч. статей.* — М. : Полиграфсервис, 2005. — Т. 2, № 1. — С. 30–39.
- Кудрявцева Е.А., Пименов Н.В., Александров С.В., Кудрявцев В.М.** Первичная продукция и хлорофилл в юго-восточной части Балтийского моря в 2003–2007 гг. // *Океанол.* — 2011. — Т. 51, № 1. — С. 33–41.
- Маторин Д.Н., Рубин А.Б.** Флуоресценции хлорофилла высших растений и водорослей : монография. — Ижевск ; М. : Ижевский институт компьютерных исследований, 2012. — 256 с.
- Нестерова Д.А., Василенко Л.С.** Размерная характеристика массовых видов фитопланктона западной части Чёрного моря // *Гидробиол. журн.* — 1986. — Т. 22, № 3. — С. 16–21.
- Пат. № 2460770 С1 РФ** Способ мониторинга распределения диатомовых микроводорослей в Японском море / С.П. Захарков, Т.Н. Гордейчук. — Заявлено 02.02.2011; опубл. 10.09.2012. — *Бюл.* № 25.
- Прошкина-Лавренко А.И., Макарова И.В.** Водоросли планктона Каспийского моря : монография. — Л. : Наука, 1968. — 295 с.
- Салюк П.А., Стёпочкин И.Е., Голик И.А. и др.** Разработка эмпирических алгоритмов восстановления концентрации хлорофилла-а и окрашенных растворенных органических веществ для Дальневосточных морей из дистанционных данных по цвету водной поверхности // *Исследование Земли из космоса.* — 2013. — № 3. — С. 45–57.
- Штрайхерт Е.А., Захарков С.П., Дьяков С.Е.** Коррекция спутниковых оценок на основе судовых измерений концентрации хлорофилла-А для Японского моря // *Исследование Земли из космоса.* — 2006. — № 6. — С. 72–82.
- Шушкина Э.А., Виноградов М.Е., Гагарин В.И. и др.** Оценка продуктивности, скорости обмена, трофодинамики, а также запасов планктонных организмов в разнопродуктивных районах океана на основании спутниковых и экспедиционных наблюдений // *Информ. бюл. РФФИ.* — 1997. — Т. 5, № 4. — С. 278.

Юнёв О.А. Эвтрофикация и годовая первичная продукция фитопланктона глубоководной части Чёрного моря // *Океанол.* — 2011. — Т. 51, № 4. — С. 658–668.

Alvain S., Moulin C., Dandonneau Y., Breron F.M. Remote sensing of phytoplankton groups in case 1 waters from global SeaWiFS imagery // *Deep-Sea Res. I.* — 2005. — Vol. 52. — P. 1989–2004.

Dinet M.J. Atlas du phytoplancton marin. Vol. 5. Chlorarachniophycees, Chlorophycees, Chrysophycees, Cryptophycees, Eyglenophycees, Eustigmatophycees, Prasinophycees, Prymnesiophycees, Rhodophycees et Tribophycees. — Paris : Centre National de la Recherche Scientifique, 1990. — P. 261.

Machado I., Barreiro M., Calliari D. Variability of chlorophyll-a in the Southwestern Atlantic from satellite images: Seasonal cycle and ENSO influences // *Continental Shelf Research.* — 2013. — Vol. 53. — P. 102–109.

Parke M., Dixon P.S. Check list British marine algae third revision // *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* — 1976. — Vol. 56, № 3. — P. 527–594.

Pilgrim D.A. Measurement and estimation of the extinction coefficient in turbid estuarine waters // *Continental Shelf Res.* — 1987. — Vol. 7. — P. 1425–1428.

Platt T., Sathyendranath S. Oceanic primary production estimation by remote-sensing at local and regional scales // *Science.* — 1988. — Vol. 241. — P. 1613–1620.

Pung-Guk J., Tong S.L., Jung-Hoon K., Kyoungsoon S. The influence of thermohaline fronts on chlorophyll a concentrations during spring and summer in the southeastern Yellow Sea // *Acta Oceanol. Sin.* — 2013. — Vol. 32, № 9. — P. 82–90.

Rueda-Roa D.T., Muller-Karger F.E. The southern Caribbean upwelling system: Sea surface temperature, wind forcing and chlorophyll concentration patterns // *Deep-Sea Res. I.* — 2013. — Vol. 78. — P. 102–114.

Sournia A. Atlas du phytoplancton marin. Vol. 1. Introduction, Cyanophycees, Dictyochaphycees et Raphidophycees. — Paris : Centre national de la Recherche Scientifique, 1986. — 219 p.

Vantrepotte V., Me´lin F. Inter-annual variations in the SeaWiFS global chlorophyll a concentration (1997–2007) // *Deep-Sea Res. I.* — 2011. — Vol. 58. — P. 429–441.

Yoshikazu S., Kelvin J.R., Akio I., Hideharu S. Spatial and temporal variabilities of the chlorophyll distribution in the northeastern tropical Pacific: The impact of physical processes on seasonal and interannual time scales // *Journ. of Marine Systems.* — 2012. — Vol. 96–97. — P. 24–31.

Поступила в редакцию 22.01.14 г.