

СУТОЧНАЯ ВЕРТИКАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА *a* И ОКРАШЕННОГО РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ЗАЛИВЕ ПОСЬЕТА ЯПОНСКОГО МОРЯ

© 2019 г. С. П. Захарков¹*, Т. Н. Гордейчук¹, Е. А. Штрайхерт¹

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН,
Владивосток 690041, Россия

*e-mail: zakharkov@poi.dvo.ru

Поступила в редакцию 01.06.2018 г.

После доработки 09.10.2018 г.

Принята к публикации 18.10.2018 г.

На двух суточных станциях, располагавшихся в близких координатах с недельным временным интервалом, и на разрезе из семи станций с интервалом в 1 милю в шельфовой зоне зал. Посьета Японского моря в осенний период 2014 г. исследовали вертикальное распределение концентрации хлорофилла *a* (ХЛ) и окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ), температуры (Т) и солености (S) воды. Концентрацию ХЛ оценивали по интенсивности флуоресценции (ФХЛ). Установлено, что в поверхностном слое на суточных станциях, концентрация ХЛ колебалась в 10% интервале от среднего значения. В столбе воды на данных станциях выявлена отрицательная зависимость интенсивности ФХЛ от Т и положительная связь таковой с S и ОРОВ. На всех станциях максимум концентрации ХЛ располагался под слоем сезонного пикноклина.

Ключевые слова: шельф, температура, соленость, интенсивность флуоресценции, концентрация хлорофилла *a*, окрашенное растворенное органическое вещество

DOI: 10.1134/S0134347519030112

На вертикальную структуру (распределение) фитопланктона оказывают влияние гидрологические, гидрохимические, а также биотические факторы (Liu et al., 2002, 2012, 2015; Sharples et al., 2007; Fujiki et al., 2013). К основным факторам среды, определяющим состояние фитопланктона, относятся интенсивность солнечной радиации, температура и соленость воды (Houliet et al., 2015). Индикатором биомассы фитопланктона часто служит пигмент хлорофилл *a*. Способность этого пигмента к флуоресценции позволяет использовать флуоресцентные методы для его регистрации, что часто применяют в океанологических исследованиях (Шавыкин и др., 2010; Brandini et al., 2014; Ильяш и др., 2015; Kakehi et al., 2015). Растворенное органическое вещество природного происхождения (ОРОВ) — один из наиболее важных компонентов морских экосистем. Оно присутствует во всех типах природной воды, служит значительным резервуаром органического углерода и играет ключевую роль в кругообороте данного элемента.

Особый интерес представляет исследование функциональной активности фитопланктона в области шельфа. Эта акватория характеризуется специфическими особенностями: небольшой глубиной, близостью термоклина к поверхности моря или ко дну и присутствием достаточно силь-

ных течений. Количество исследований суточной вариабельности концентрации хлорофилла *a* (ХЛ) в естественных условиях ограничено, несмотря на их важность для уточнения продукционных характеристик фитопланктона, в частности, для повышения точности моделирования первичного продуцирования (Canion et al., 2013). Пространственную и временную изменчивость концентрации ХЛ изучали в Черном, Баренцевом (Соловьева, Чурбанова, 1980; Ведерников и др., 1985; Трофимова, Макаревич, 2009) и Желтом морях (Liu et al., 2012). В большинстве исследований дискретность измерений составляла от 3 до 6 ч, за исключением измерений в Желтом море, где она составляла 1 ч. В Японском море суточную динамику распределения ХЛ ранее не исследовали.

Цель настоящей работы — изучение вертикальной суточной изменчивости распределения концентраций ХЛ и ОРОВ в зависимости от гидрологических условий в поверхностном слое, столбе воды и слое скачка в шельфовой зоне зал. Посьета Японского моря осенью 2014 г.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования выполнены в ходе прибрежной экспедиции на двух суточных станциях, распола-

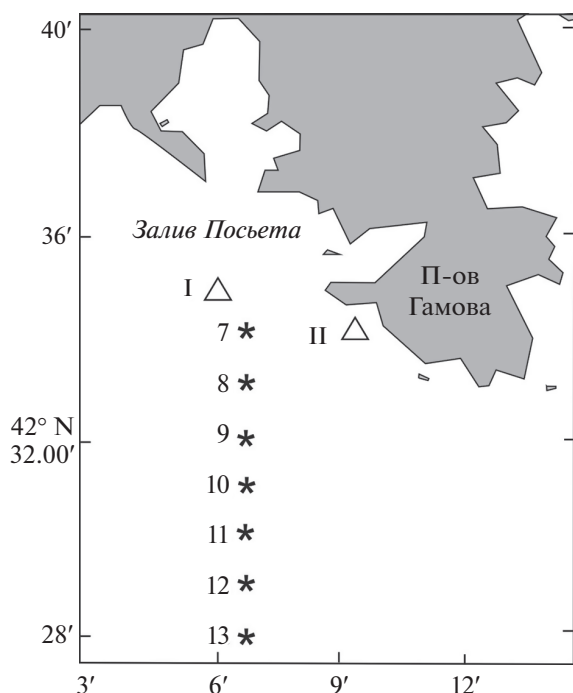


Рис. 1. Схема расположения суточных станций (I, II) и станций разреза (7–13).

гавшихся в близких координатах, и на разрезе из семи станций с интервалом в 1 милю в шельфовой зоне зал. Посьета Японского моря (рис. 1). Для работы использовали малое научно-исследовательское судно “Малахит”.

Суточная станция I была выполнена 6–7.09.2014 г., а станция II – 12–13.09.2014 г. (с недельным интервалом). На суточных станциях зондирование проводили каждый час в течение суток. Гидрологический разрез включал семь точек (станции 7–13) от п-ва Гамова до шельфового склона Японского моря. С помощью профилографа SBE-19plus измеряли интенсивность флуоресценции хлорофилла *a* (ФХЛ), концентрацию окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ), температуру (Т) и соленость (S).

Ошибка измерений температуры не превышала 0.01°C, солености воды – 0.02‰. Величины ФХЛ и ОРОВ измеряли соответствующими датчиками, установленными на профилографе: прокачиваемый флуоресцентный датчик ХЛ с чувствительностью от 0.03 мкг/л, диапазон измерений – 0.03–75 мкг/л (WetLabs); прокачиваемый флуоресцентный датчик концентрации ОРОВ с чувствительностью от 10⁻⁷ г/кг, диапазон измерений 0–10⁻³ г/кг, длина волны возбуждения флуоресценции 370 нм, длина волны регистрации флуоресценции 460 нм (WetLabs). Концентрацию ОРОВ определяли по его флуоресценции, используя заводские калибровки по сульфату хинина. Установлена высокая корреляция между показаниями флуоресценции ОРОВ, полученными на профилографе SBE-19plus, и общей концен-

трацией растворенного органического углерода. Коэффициент детерминации составил 0.96 (Пугач, Пипко, 2012). Параллельно с измерением интенсивности ФХЛ измеряли концентрацию ХЛ, которую использовали для калибровки зонда при измерении флуоресценции. Пробы воды для анализа на содержание ХЛ отбирали батометрами Нискина объемом 5 л с разных горизонтов, кратных значению прозрачности воды по диску Секки (0.5, 1.5, 3). На суточных станциях пробы воды отбирали, как правило, с глубины 1.5–2.0 м, и только на станции II с 17 до 21 ч их отбирали с глубины 30 м, где наблюдался максимум концентрации ХЛ. Пробы объемом 1–1.5 л фильтровали через мембранные фильтры “Vladipor” диаметром 35 мм с размером пор 0.6 мкм. Фильтрацию осуществляли под разрежением, не превышающим 1.5 м водяного столба. Образцы замораживали и хранили при температуре –18°C. В лаборатории их экстрагировали в 90% растворе ацетона и измеряли на спектрофотометре (Методика ..., 1990). В работе использовали статистические методы обработки материала (Джонсон, Лион, 1980), где, например, для 61 пары измерений (в нашем случае) при уровне значимости 0.001 все значения коэффициента корреляции выше критического уровня 0.4 являются значимыми.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Была проанализирована связь между интенсивностью ФХЛ и лабораторными измерениями ХЛ (рис. 2). Установленная тесная зависимость между выбранными параметрами (коэффициент детерминации $R^2 = 0.75$ для 61 пары параллельных измерений) показала, что значения ФХЛ можно использовать для оценки концентрации ХЛ (Захарков и др., 2014, 2016). На двух суточных станциях оценено изменение отношения ФХЛ/ХЛ в дневное и ночное время суток и проведен детальный статистический анализ зависимости интенсивности ФХЛ от концентрации ХЛ. Полученные данные показали, что интенсивность флуоресценции хлорофилла *a* на единицу хлорофилла в дневное время суток уменьшалась на обеих суточных станциях в поверхностном слое (0–3 м) (табл. 1). При этом отношение день/ночь ФХЛ/ХЛ изменялось симбатно с интенсивностью ФХЛ. Дисперсия выборки отношения ФХЛ/ХЛ была существенно выше, чем таковая выборки ФХЛ поверхностного слоя, из-за низкой точности определения малых значений ХЛ (<0.2 мкг/л) (Ведерников и др., 1973). В 3-метровом поверхностном слое на обеих суточных станциях интенсивность ФХЛ варьировала от 0.56 до 1.87 мкг/л и находилась в обратной зависимости от температуры воды (коэффициент корреляции равен –0.59 и –0.32) (рис. 3а, 3б). На станции II интенсивность ФХЛ значимо отрицательно коррелировала с S (–0.51; $\gamma = 0.001$). Зависимости концентрации ОРОВ от гидрологических параметров не наблюдалось. Средние значения интенсивности ФХЛ в полном столбе воды в дневное время на обе-

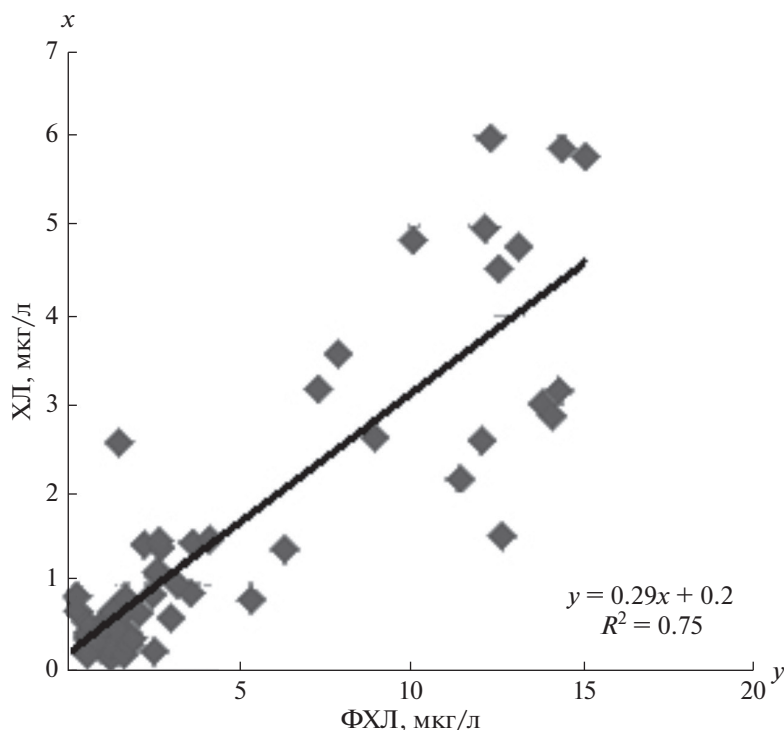


Рис. 2. Связь между интенсивностью флуоресценции хлорофилла *a* (ФХЛ), измеренной с помощью профилографа SBE-19plus, и стандартным спектрофотометрическим измерением концентрации хлорофилла (ХЛ).

их станциях были выше, чем в ночное (рис. 3в, 3г). Дисперсия ночных выборок, как правило, была меньше, чем дневных; исключение составило отношение ФХЛ/ХЛ на станции I (табл. 1).

На суточной станции I были измерены вертикальные профили *T*, *S*, ФХЛ и ОРОВ. Температура воды варьировала от 21.7°C на поверхности до 10.6°C в придонных горизонтах. Максимальные градиенты среднесуточной *T* (11.5 и 13.5°C) отмечены на глубинах 33.5 и 31.5 м (рис. 4а). Вблизи этих градиентов были определены среднесуточные вариации *T*, *S*, ФХЛ и ОРОВ (рис. 4). Анализ изменчивости глубины залегания изотерм 11.5 и 13.5°C показал хорошо выраженную полусуточную составляющую изменчивости с амплитудой около 5 м (рис. 4а). По аналогии с поверхностным

приливом фазу максимального заглубления изотермы обозначили как МВВП (малая вода внутреннего прилива), а фазу ее максимального подъема — ПВВП (полная вода внутреннего прилива). На фазе МВВП в придонных слоях наблюдалась максимально высокая *T*, а на фазе ПВВП отмечено ее минимальное значение.

Для рассмотрения характерных особенностей вариаций полей *S*, ОРОВ и ФХЛ выбирали средние значения изучаемых характеристик на глубинах залегания изотерм 11.5 и 13.5°C, затем строили графики изменения глубины залегания этих параметров на суточной станции (рис. 4б, 4в, 4г). На фазе МВВП в придонных слоях наблюдались максимально низкие значения *S* и концентрации ОРОВ, а на фазе ПВВП данные параметры имели

Таблица 1. Флуоресценция хлорофилла *a* на единицу хлорофилла *a* (ФХЛ/ХЛ); флуоресценция хлорофилла *a* (ФХЛ, мкг/л) в поверхностном слое (0–3 м) и в столбе воды на суточных станциях (средние значения и дисперсия выборок)

Станция	Интервал наблюдений	ФХЛ/ХЛ		ФХЛ			
		среднее значение	дисперсия выборок	среднее значение, поверхностный слой (п. с.)	дисперсия выборок, п. с.	среднее значение в столбе воды	дисперсия выборок в столбе воды
I	Сутки	4.36	2.15	1.04	0.05	1.54	0.05
	День	3.44	1.07	0.95	0.07	1.58	0.06
	Ночь	5.29	1.53	1.13	0.02	1.50	0.04
II	Сутки	4.28	0.93	1.46	0.09	2.68	0.45
	День	3.79	1.44	1.32	0.14	3.22	0.55
	Ночь	4.56	0.5	1.56	0.05	2.32	0.08

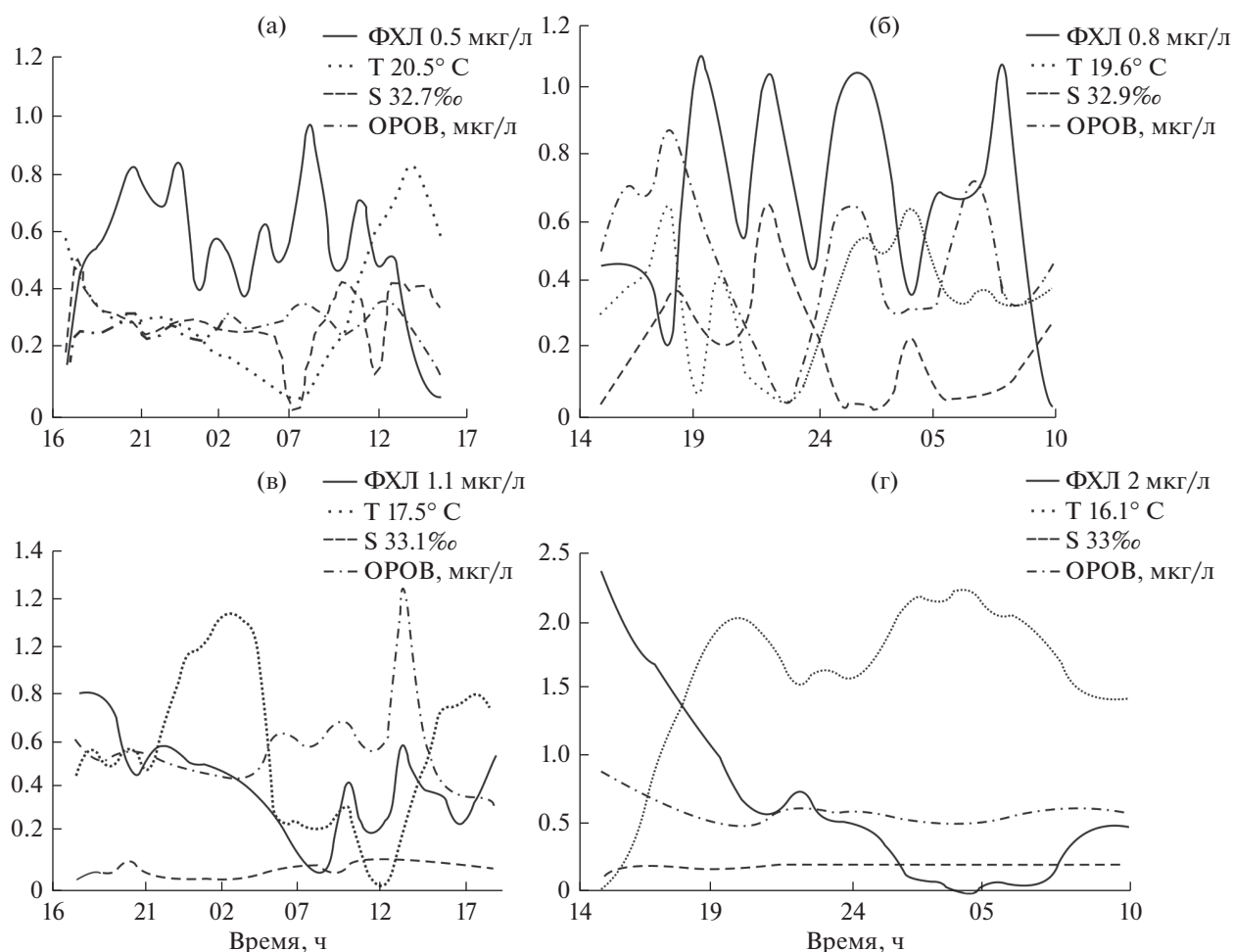


Рис. 3. Усредненные значения суточной изменчивости интенсивности флуоресценции хлорофилла *a* (ФХЛ), температуры (Т), солёности (S) и окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ) в верхнем 3-метровом слое воды на станциях I (а) и II (б), а также в полном слое воды на станциях I (в) и II (г).

максимальные значения. Как и в случае с изотермой, наблюдалась хорошо выраженная полусуточная составляющая изменчивости с амплитудой около 5 м. Изменчивость концентрации ХЛ в течение суток была высокой (рис. 4г). При этом показатель среднеквадратичного отклонения (СКО) достигал максимальных абсолютных (15 и 13.5) и относительных к среднесуточному значению (СЗ) величин (5.47 и 5.49) соответственно на горизонтах 28.5 и 32 м (рис. 5).

Для оценки связи интенсивности ФХЛ с изучаемыми параметрами были рассчитаны коэффициенты корреляции для усредненных значений по горизонтам с интервалом по глубине 0.5 м. Значимая отрицательная корреляция интенсивности ФХЛ наблюдалась с Т (коэффициент корреляции = -0.856 и -0.987) и положительная связь с S (коэффициент корреляции = 0.766 и 0.700) соответственно для станций I и II. Такая же закономерность наблюдалась и для концентрации ОРОВ (табл. 2).

Пространственное распределение интенсивности ФХЛ, концентрации ОРОВ, а также основных гидрологических параметров (Т и S) на стан-

циях гидрологического разреза представлено на рис. 6. На поверхности температура воды была практически одинаковой и изменялась от 20.5°C на станции 7 до 20.7°C на станции 13. На глубине 20 м варибельность температуры была также невысокой, в среднем она составляла $18.8 \pm 0.23^{\circ}\text{C}$. Наиболее значительные отклонения от средней температуры – с 12.8°C на станции 7 до 16.3°C на станции 9 – отмечены на глубине около 30 м. Ниже этой глубины Т снижался со средним градиентом $0.4^{\circ}\text{C}/\text{м}$. Солёность воды изменялась от 33.08‰ (станция 7) до 32.98‰ (станция 12). В 30-метровом слое она незначительно изменялась с глубиной, а глубже 30 м монотонно возрастала с градиентом около $0.03\text{‰}/\text{м}$. Концентрация ОРОВ в верхнем 20-метровом слое изменялась разнонаправленно. В диапазоне от 20 до 50 м она возрастала на 1 м в среднем по $0.07 \text{ мг}/\text{м}^3$. Глубже 50 м концентрация ОРОВ изменялась так же, как на поверхности, но с большими градиентами. Распределение интенсивности ФХЛ на глубине 25–30 м было относительно равномерным на всех станциях. Однако на разных станциях наблюдалось разное число мак-

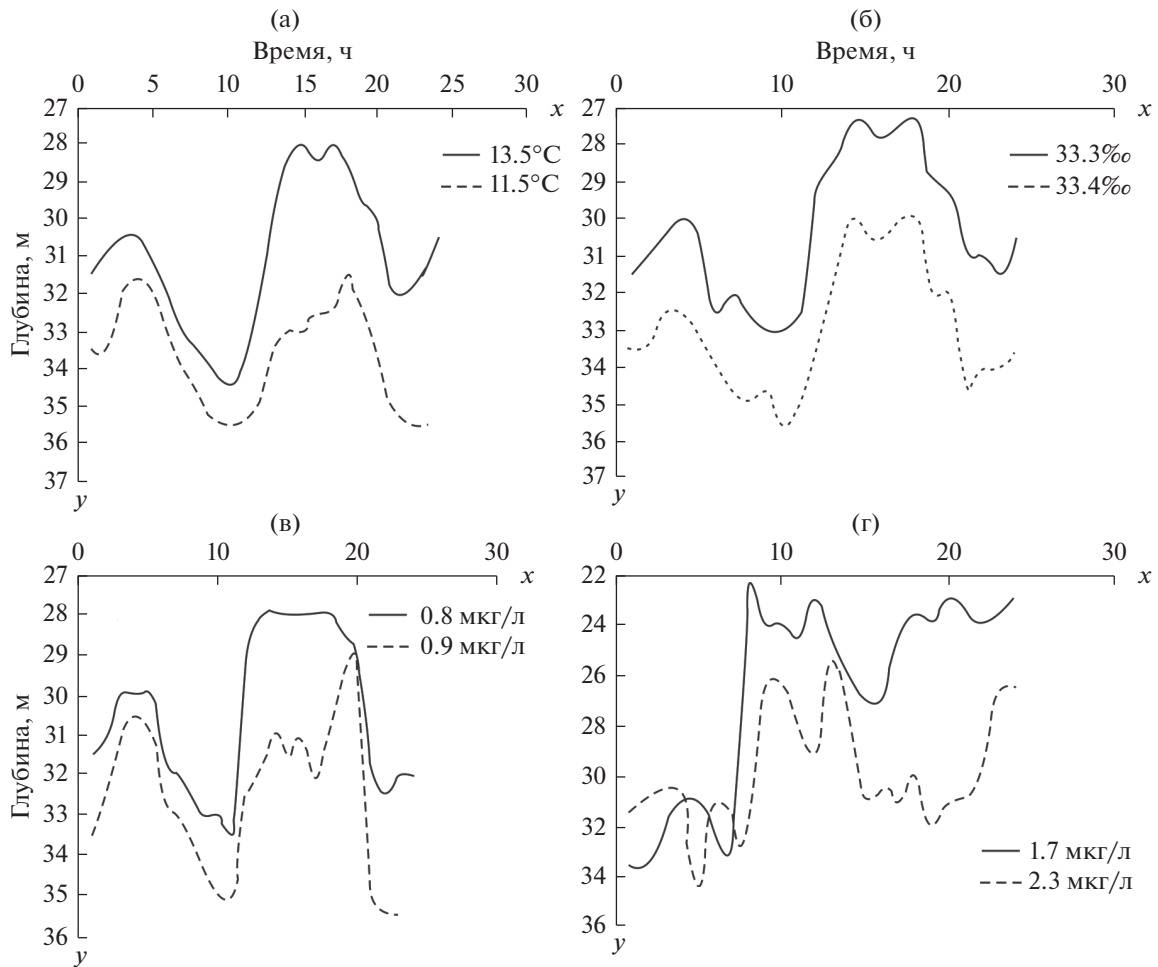


Рис. 4. Вариации глубин залегания изотерм 11.5 и 13.5°C (а), изохалин 33.3 и 33.4‰ (б), концентрации окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ) 0.8 и 0.9 мкг/л (в) и хлорофилла *a* (ХЛ) 1.7 и 2.3 мкг/л (г) (соответственно сплошная и пунктирная линии) на суточной станции I.

симумов этого показателя. Наибольший максимум отмечен на станции 7 на глубине около 30 м, при этом он был единственным на станции. На остальных станциях отмечено 2–3 максимума интенсивности ФХЛ. Наиболее выраженные максимумы зарегистрированы на станции 13 на глубинах 33.4 и 57.5 м.

Сопоставление результатов исследования, полученных на станциях I и II, показало выравнивание значений *T* и *S* по всей глубине: уменьшение значений в верхнем слое и их повышение под слоем скачка. Профиль концентрации ОРОВ существенно не изменялся, хотя в придонном слое наблюдалось небольшое снижение его концен-

трации. Концентрация ХЛ возрастала с глубиной и была максимальной ниже 35 м.

ОБСУЖДЕНИЕ

В поверхностных горизонтах обеих суточных станций наблюдалось уменьшение среднего значения интенсивности ФХЛ в дневное время суток по сравнению с таковой в ночное. Известно, что в условиях умеренного освещения почти вся поглощенная фитопланктоном энергия света используется в процессе фотосинтеза; при отсутствии фотосинтеза энергия переходит в тепло или флуоресценцию (Рубин, 2000). В нашем исследовании отсутствие фотосинтеза ночью приводило

Таблица 2. Коэффициенты корреляции средних значений интенсивности флуоресценции хлорофилла *a* (ФХЛ), окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ), температуры (*T*) и солёности (*S*) воды, полученные на суточных станциях I и II

Станция	ФХЛ– <i>T</i>	ФХЛ– <i>S</i>	ФХЛ–ОРОВ	<i>T</i> – <i>S</i>	<i>T</i> –ОРОВ	ОРОВ– <i>S</i>
I	–0.856	0.766	0.775	–0.896	–0.933	0.694
II	–0.987	0.700	0.954	–0.763	–0.927	0.482

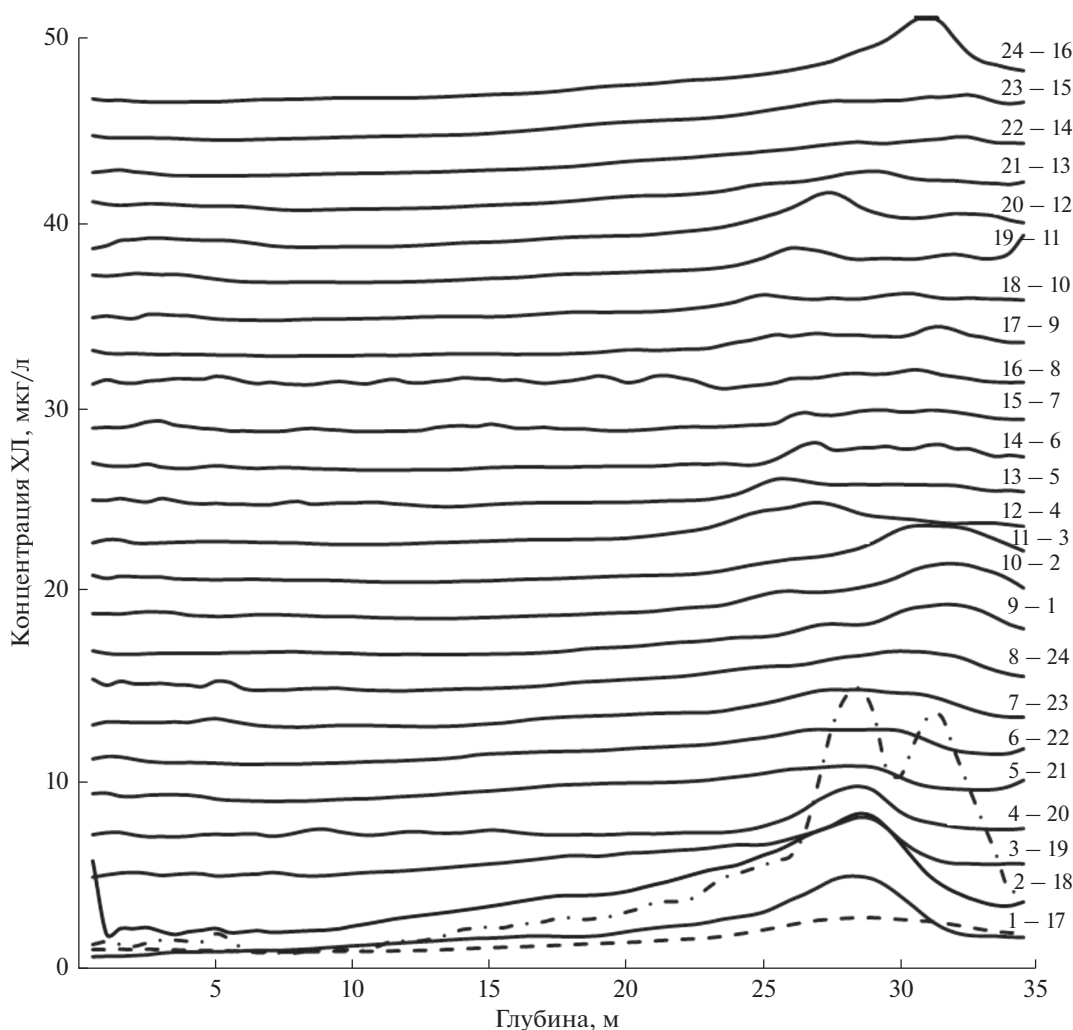


Рис. 5. Вертикальные профили распределения концентрации хлорофилла *a* (ХЛ) на суточной станции I. Среднесуточное значение (СЗ) – пунктирная линия; среднеквадратичное отклонение (СКО) – пунктирная линия с точкой; 1–24 зондирования (начиная со 2-го зондирования, каждое последующее значение ФХЛ отличается от предыдущего на 2 мкг/л).

к увеличению интенсивности ФХЛ. Аналогично изменялась суточная вариабельность интенсивности ФХЛ на единицу ХЛ. Это указывает на малую изменчивость средней концентрации хлорофилла в поверхностном слое.

Иная закономерность проявлялась на обеих суточных станциях при анализе средних значений интенсивности ФХЛ в столбе воды. Средние значения этого показателя в ночное время были выше, чем в дневное, так как освещенность снижалась и существенно не влияла на интенсивность ФХЛ.

При анализе суточного изменения *T*, *S*, ОРОВ и ХЛ на станции I отмечено, что первые три характеристики изменялись однонаправленно: минимальная глубина залегания наблюдалась с 6 до 9 ч утра (рис. 4). При этом минимальная глубина залегания фитопланктона с концентрацией ХЛ 1.7 и 2.3 мкг/л наблюдалась существенно раньше – около 1 ч ночи. Возможно, такая суточная динамика обусловлена миграцией микрозоопланктона, кото-

рый в ночное время поднимается к поверхности. Известно, что после поедания фитопланктона микрозоопланктоном последний некоторое время вносит вклад в интенсивность измеряемой флуоресценции, а флуоресценция единицы ХЛ в съеденном фитопланктоне в несколько раз выше данного показателя в его нативной форме (Maxwell, Johnson, 2000). При этом потребление фитопланктона микрозоопланктоном может достигать 65% от его продукции (Стельмах, 2017).

На станциях разреза распределение изучаемых показателей зависело от стратификации водной толщи. Ранее было установлено, что в зал. Посыета в осенний период формируется квазиустойчивая плотностная стратификация водных масс, которая включает верхний перемешанный слой глубиной до 20 м, промежуточный слой с сильной стратификацией и придонный слой со слабой стратификацией (Новотрясов и др., 2016). В верхнем 20-метровом слое на всех станциях разреза распределение параметров носило однородный характер. В про-

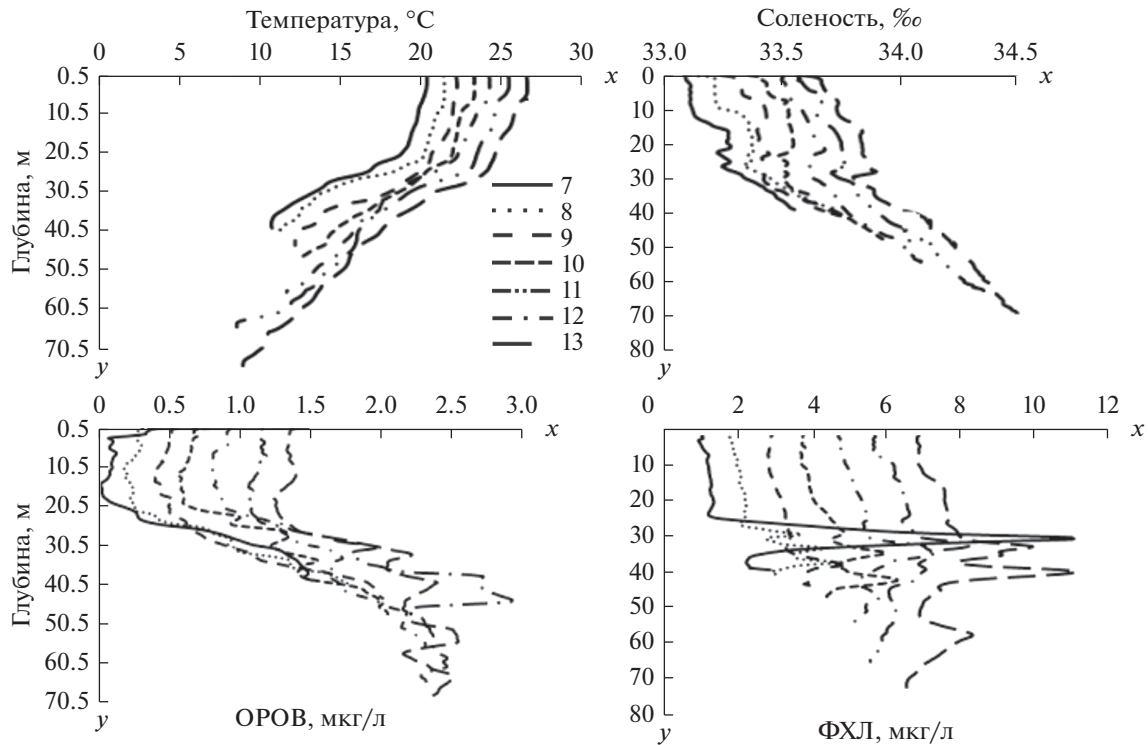


Рис. 6. Пространственное распределение основных параметров на станциях гидрологического разреза (7–13), где к значению каждой последующей станции прибавляется 1°C (Т), 0.1‰ (S), 0.3 мкг/л (ОРОВ) и 1 мкг/л (ФХЛ).

межуточном слое формировались высокие градиенты Т, S, ОРОВ и ФХЛ. Наибольшие значения концентрации ХЛ отмечены под слоем скачка температуры. Причем на станции 7, расположенной ближе к берегу, максимум концентрации ХЛ составлял около 11 мкг/л, что превышало максимальные значения этого параметра на других станциях разреза в 4–5 раз. Возможно, такое распределение концентрации ХЛ связано с тем, что станция 7 располагалась в зоне, где происходит разрушение внутренних волн (Новотрясов и др., 2016), которые способствуют поступлению биогенных элементов для развития фитопланктона (Sharples et al., 2007; Liu et al., 2012). Наличие нескольких пиков на более глубоких станциях говорит о нескольких стадиях развития фитопланктона и о его оседании ниже слоя скачка.

Для изучения внутрисезонной изменчивости факторов, влияющих на распределение концентрации ХЛ, сравнивали показатели двух рядом находящихся станций, выполненных с недельным интервалом. По-видимому, за неделю произошло перемешивание прогретого верхнего слоя воды с более холодным придонным слоем. Это привело к снижению градиентов Т и S, а также к поступлению биогенных элементов из-под слоя скачка в эвфотическую зону. Началось развитие осеннего фитопланктона, которое характеризовалось увеличением концентрации ХЛ не на поверхности, а в зоне скачка пикноклина.

Таким образом, выполненное исследование показало, что в осенний период распределение концентрации ХЛ на поверхности суточных станций было многомодальным, но усредненные за день/ночь данные различались в пределах 10% от среднего за сутки. Зависимости концентрации ОРОВ от гидрологических параметров в поверхностном слое не отмечено. Распределение концентрации ХЛ вблизи максимального градиента плотности носило сложный характер и было обусловлено влиянием на фитопланктон гидрологических и, предположительно, биотических факторов. Из полученных данных следует, что ниже 20-метрового слоя на всех исследованных станциях наблюдались пики максимальной концентрации ХЛ, что косвенно указывает на приток биогенных элементов, обусловленный распадом внутренних волн.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена на средства федерального бюджета, номера гос. регистрации № АААА-А17-117030110038-5 и АААА-А17-117030110033-0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ведерников В.И., Коновалов Б.В., Кобленц-Мишке О.И. Результаты применения спектрофотометрического метода определения феофитина-а в пробах морской воды // Тр. ИО АН СССР. 1973. Т. 95. С. 138–146.
- Ведерников В.И., Микаелян А.С., Столбова Н.Г. Суточные изменения фитопланктона в прибрежных водах северо-восточной части Черного моря // Ис-

- следования океанического фитопланктона. М.: Наука. 1985. С. 77–93.
- Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. М.: Мир. 1980. 510 с.
- Захарков С.П., Шамбарова Ю.В., Гордейчук Т.Н. и др. Возможность использования данных зонда SBE 19plus для калибровки спутниковых данных концентрации хлорофилла *a* в Японском море // Изв. ТИНРО. 2014. Т. 177. С. 209–218.
- Захарков С.П., Штрайхерт Е.А., Шамбарова Ю.В. и др. Определение концентрации хлорофилла *a* в Японском море с использованием зондирующего и проточного флуориметров // Океанология. 2016. Т. 56. № 3. С. 482–490.
- Ильяш Л.В., Белевич Т.А., Ступникова А.Н. и др. Влияние локальных гидрофизических условий на пространственную изменчивость фитопланктона Белого моря // Океанология. 2015. Т. 55. № 2. С. 241–251.
- Методика спектрофотометрического определения хлорофилла. ГОСТ 17.1.4.02-90. Вода. М.: Изд-во стандартов Госкомприроды. 1990. 16 с.
- Новотрясов В.В., Захарков С.П., Степанов Д.В. Осенний внутренний прилив в прибрежной зоне Японского моря // Метеорол. и гидрология. 2016. № 8. С. 64–69.
- Пугач С.П., Пупко И.И. Динамика растворенного окрашенного органического вещества на шельфе Восточно-Сибирского моря // Докл. РАН. 2012. Т. 447. № 6. С. 671–674.
- Рубин А.Б. Биофизические методы в экологическом мониторинге // Соровский образоват. журн. 2000. Т. 6. № 4. С. 7–13.
- Соловьева А.А., Чурбанова И.В. Суточная динамика фитопланктонного сообщества в прибрежье Баренцева моря // Гидробиол. журн. 1980. Т. 16. № 2. С. 15–20.
- Стельмах Л.В. Закономерности роста фитопланктона и его потребление микрозоопланктоном в Черном море: Дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.10. Севастополь. 2017. 310 с.
- Трофимова В.В., Макаревич П.П. Суточная динамика хлорофилла *a* фитопланктонного сообщества эстуарной зоны Кольского залива (Баренцево море) // Альгология. 2009. Т. 19. № 2. С. 145–154.
- Шавыкин А.А., Бердников С.В., Сапрыгин В.В., Вербицкий Р.Е. Непрерывные измерения океанографических параметров в приповерхностном слое Таганрогского залива. 1. Определение хлорофилла *a* флуориметрическим методом // Вестн. Южного науч. центра РАН. 2010. Т. 6. № 3. С. 39–48.
- Brandini F.P., Nogueira M., Simiao M. et al. Deep chlorophyll maximum and plankton community response to oceanic bottom intrusions on the continental shelf in the South Brazilian Bight // Cont. Shelf Research. 2014. V. 89. P. 61–75.
- Canion A., MacIntyre H.L., Phipps S. Short-term to seasonal variability in factors driving primary productivity in a shallow estuary: Implications for modeling production // Estuar. Coast. Shelf Sci. 2013. V. 131. P. 224–234.
- Fujiki T., Matsumoto K., Saino T. et al. Distribution and photo-physiological condition of phytoplankton in the tropical and subtropical North Pacific // J. Oceanogr. 2013. V. 69. P. 35–43.
- Houlliez E., Lizon F., Lefebvre S. et al. Phytoplankton photosynthetic activity dynamics in a temperate macrotidal ecosystem (the Strait of Dover, eastern English Channel): Time scales of variability and environmental control // J. Mar. Syst. 2015. V. 147. P. 61–75.
- Takehi S., Ito S., Kuwata A., Saito H. et al. Phytoplankton distribution during the winter convective season in Sendai Bay, Japan // Cont. Shelf Res. 2015. V. 97. P. 43–53.
- Liu H., Suzuki K., Saino T. Phytoplankton growth and microzooplankton grazing in the subarctic Pacific Ocean and the Bering Sea during summer 1999 // Deep-Sea Res. Part I. 2002. V. 49. P. 363–375.
- Liu H., Huang Y., Zhai W. et al. Phytoplankton communities and its controlling factors in summer and autumn in the southern Yellow Sea, China // Acta Oceanol. Sin. 2015. V. 34. № 2. P. 114–123.
- Liu X., Huang B., Liu Z. et al. High-resolution phytoplankton diel variations in the summer stratified central Yellow Sea // J. Oceanogr. 2012. V. 68. P. 913–927.
- Maxwell K., Johnson G.N. Chlorophyll fluorescence – a practical guide // J. Exp. Bot. 2000. V. 51. № 345. P. 659–668.
- Sharples J., Tweddle J.F., Green M. et al. Spring-neap modulation of internal tide mixing and vertical nitrate fluxes at a shelf edge in summer // Limnol. Oceanogr. 2007. V. 52. № 5. P. 1735–1747.

Diel Vertical Variability of Concentration of Chlorophyll *a* and Colored Dissolved Organic Matter in Possjet Bay, the Japan Sea

S. P. Zakharkov^a, T. N. Gordeychuk^a, and E. A. Shtraikhert^a

^a*Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok 690041, Russia*

The vertical distribution of the concentration of chlorophyll *a* (Chl) and colored dissolved organic matter (CDOM), temperature (T), and salinity (S) were studied at two diel stations located at close coordinates and performed at a weekly interval and seven stations spaced 1 mi apart on hydrological section in the shelf zone of Possjet Bay (Sea of Japan) in the autumn of 2014. The Chl concentration was estimated from fluorescence intensity (FChl). In the surface layer of diel stations, the Chl concentration varied within $\pm 10\%$ of the mean value. In the water column, a negative correlation of FChl with T and a positive relationship of S with CDOM were established at both stations. At all stations, the maximum Chl concentration occurred under the seasonal pycnocline layer.

Keywords: shelf, temperature, salinity, fluorescence intensity, chlorophyll *a* concentration, colored dissolved organic matter