

# СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХЛОРОФИЛЛА-*a* В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

*Жарова А.Д. (РГГМУ, zharovasasha94n@yandex.ru),*

*Зуенко Ю.И. (ТИНРО-Центр)*

## ВВЕДЕНИЕ

Хлорофилл-*a* является основным фотосинтезирующим пигментом зеленых растений, в том числе одноклеточных водорослей (фитопланктона). По данным о концентрации хлорофилла-*a* и ее изменчивости во времени можно судить о биомассе фитопланктона и его продукции, о трофности водоема, а также о приёмной ёмкости водоёма, то есть возможности его использования для марикультуры. В настоящее время концентрации хлорофилла-*a* все чаще оценивают с помощью спутниковых данных, однако эти данные применимы только к приповерхностному слою моря, а характер вертикального распределения хлорофилла для большинства акваторий исследован недостаточно, либо совсем не известен. Целью работы было определение особенностей вертикальной структуры концентраций хлорофилла-*a* в Амурском зал. Японского моря, где она ранее не исследовалась, учитывая ее сезонные изменения. В перспективе на основе полученных результатов, по мере накопления рядов данных, может быть определена эмпирическая зависимость общего обилия фитопланктона от его концентрации на поверхности моря, с помощью которой данные о Chl-*a*, получаемые со спутников, могут быть интерпретированы для практического применения в морской экологии.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данные для анализа собраны в серии морских экспедиций в прибрежную зону моря с помощью зонда-профилометра Rinko-Profiler ASTD102 (Япония). Измерения выполнены ежемесячно с мая по октябрь 2017 года на всей акватории Амурского залива по 16 станциям, расположение которых представлено на **рис.1**. Показания флуориметра зонда пересчитывали в реальные концентрации хлорофилла-*a* с помощью калибровочного уравнения, которое представляет собой уравнение линейной регрессии статистического соотношения между средними в верхнем 0,5-метровом слое концентрациями хлорофилла-*a*, измеренными флуориметром зонда, и концентрациями хлорофилла-*a* в пробах воды, определёнными в лабораторных условиях стандартным методом по ГОСТ 17.1.4.02-90. Коэффициент детерминации линейной аппроксимации связи составил  $r^2 = 0,82$ .

При анализе характера вертикального распределения Chl-*a* вертикальные профили его концентрации, измеренные с высокой дискретностью, предварительно сглаживали скользящим осреднением с целью удаления микрофлуктуаций с масштабом менее метра, которые не являлись предметом исследования.

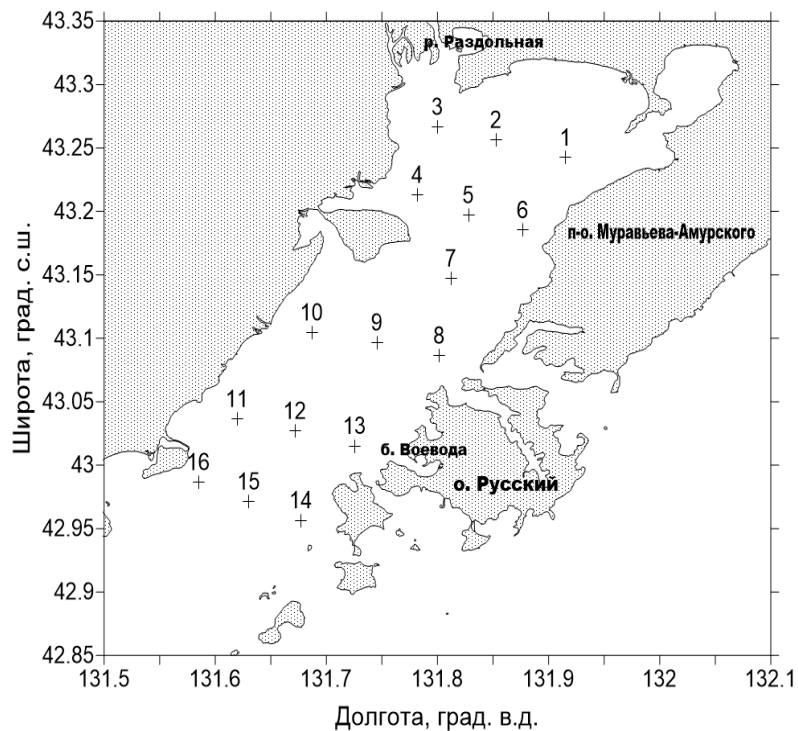


Рис.1. Схема расположения станций съемки в Амурском заливе

Для характеристики концентрации хлорофилла-*a* в поверхностном слое моря использованы также композитные 8-дневные спутниковые снимки с пространственным разрешением 4 км для квадрата с десятичными координатами 42,8125-42,9375° с.ш. 131,4792-131,8952° в.д., соответствующего южной части Амурского залива, за период с 15 апреля по 24 октября 2017 г, полученные на сайте: [http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com\\_csw&view=details&product\\_id=OCEANCOLOUR\\_GLO\\_CHL\\_L4\\_NRT\\_OBSERVATIONS\\_009\\_033](http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com_csw&view=details&product_id=OCEANCOLOUR_GLO_CHL_L4_NRT_OBSERVATIONS_009_033). К сожалению, для северной части Амурского залива не удалось получить данные спутниковых наблюдений в количестве, пригодном для анализа, по-видимому из-за частых туманов на этой акватории.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По данным изменений обнаружилось, что вертикальные профили хлорофилла-*a* в пределах исследованного района весьма разнообразны. Тем не менее, по сходству мезомасштабных особенностей профилей удалось выявить два основных типа его вертикального распределения (**рис. 2, 3**). Для первого типа характерно наличие поверхностного либо приповерхностного максимума концентрации хлорофилла-*a* и, в целом, убывание концентрации с глубиной, иногда с небольшим локальным максимумом в слое скачка плотности. Для второго типа характерно возрастание концентраций хлорофилла-*a* с глубиной при отсутствии поверхностного максимума, максимум концентрации располагается ниже скачка плотности. В чистом виде эти типы наблюдаются соответственно в северной части Амурского залива, занятой эстуарными водами, и в южной его части, свободно сообщаемой с открытым морем, поэтому их можно определить как эстуарный и морской типы. Между

двумя основными типами располагается переходная зона, которая может занимать большую часть Амурского залива, для которой характерна тенденция убывания концентраций хлорофилла-*a* с глубиной, но поверхностный максимум отсутствует, а наблюдаются один или несколько локальных максимумов выше пикноклина, в пикноклине и ниже пикноклина.

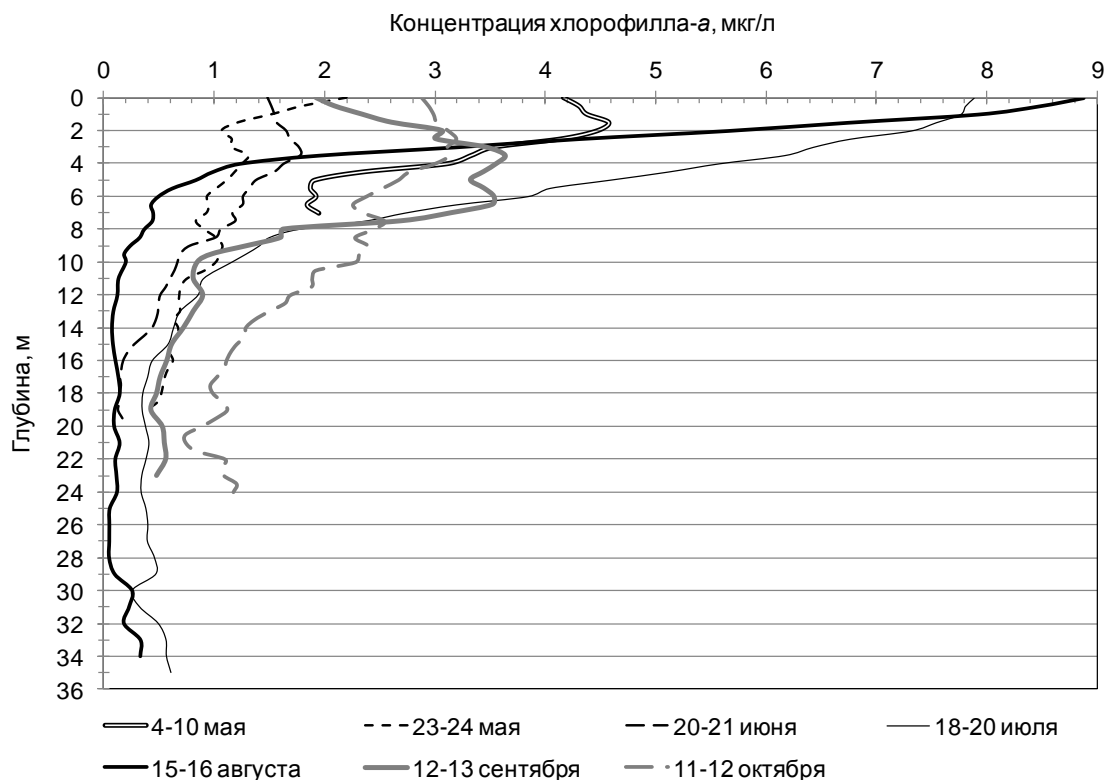


Рис. 2. Средние по съёмкам вертикальные профили концентрации хлорофилла-*a* эстуарного типа, наблюдаемые в северной части Амурского залива в мае-октябре 2017 г.

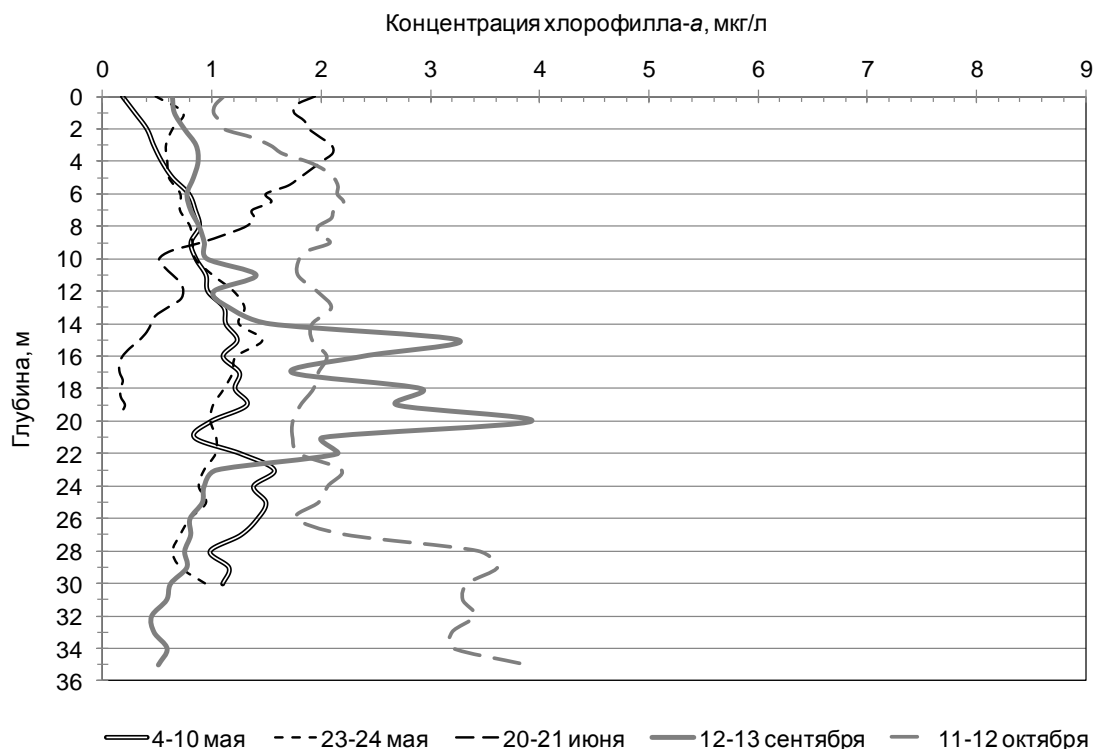


Рис. 3. Средние по съёмкам вертикальные профили концентрации хлорофилла-*a* морского типа, наблюдаемые в южной части Амурского залива в мае-октябре 2017 г.

Формирование двух различных типов вертикальной структуры хлорофилла-а обусловлено принципиально разной их природой. Первый тип формируется в эстуарной зоне р. Раздольная, которая выносит в море воду, богатую биогенными элементами. Смешиваясь с морской водой, речной сток образует тонкий приповерхностный слой низкой солености, в котором и образуется максимум концентраций хлорофилла-а, либо у самой поверхности моря, либо на нижней границе приповерхностного слоя, куда хлорофиллсодержащие клетки оседают под действием силы тяжести. Глубина расположения этого максимума определяется толщиной приповерхностного слоя и может достигать 2-4 м. Второй тип формируется в открытой части залива и по-видимому характерен для открытого моря, где обеспечение фотосинтеза биогенными элементами происходит снизу, за счет обменных процессов через пикноклин, поэтому наиболее благоприятные условия для развития фитопланктона складываются в нижней части пикноклина. Области распространения того и другого типов неустойчивы. Эстуарный тип постоянно наблюдается только вблизи устья реки Раздольной (станции 1-3 на рис. 1). От весны к лету происходит расширение области эстуарного типа практически на всю акваторию Амурского зал., а осенью граница его распространения отступает назад на север.

Величины концентрации хлорофилла-а в эстуарной зоне очень изменчивы. Летом, по мере увеличения стока реки Раздольной, которая питается в основном муссонными дождями, происходит рост глубины расположения максимума концентрации Chl-а и увеличении самих максимальных значений. Соответствие глубины максимальной концентрации толщине распреснённого приповерхностного слоя хорошо видно при рассмотрении сезонных изменений вертикальных профилей удельной плотности воды в этой зоне (**рис. 4**). За пределами эстуарной зоны значения концентрации хлорофилла-а меняются гораздо меньше, причём с глубиной изменчивость уменьшается. Основные изменения профиля хлорофилла-а здесь связаны с изменением глубины максимальной концентрации. Так, в начале мая максимальная концентрация хлорофилла-а отмечена на глубине 19 м, в конце мая – на 15 м, а в июне – на 26 м. Глубина максимальной концентрации Chl-а в этой зоне соответствует глубине максимального градиента плотности в сезонном пикноклине (**рис. 4**).

Характер сезонных изменений концентраций хлорофилла-а различен для разных типов его вертикального распределения (**рис. 5**). В эстуарной зоне сезонный ход концентрации хлорофилла-а обусловлен изменениями стока р. Раздольная, поэтому для него характерны весенний и летний максимумы, обусловленные таянием снегов и муссонными дождями. В открытых водах Амурского залива «цветение» в летний период отсутствует и возникает лишь в начале осени, после смены муссона. Однако, поскольку раннеосеннее «цветение» происходит в подповерхностном слое, рост концентраций хлорофилла-а в это время не отражается спутниковыми данными. Лишь в октябре, когда «цветение» охватывает всю толщу прибрежных вод, оно проявляется и на спутниковых снимках.

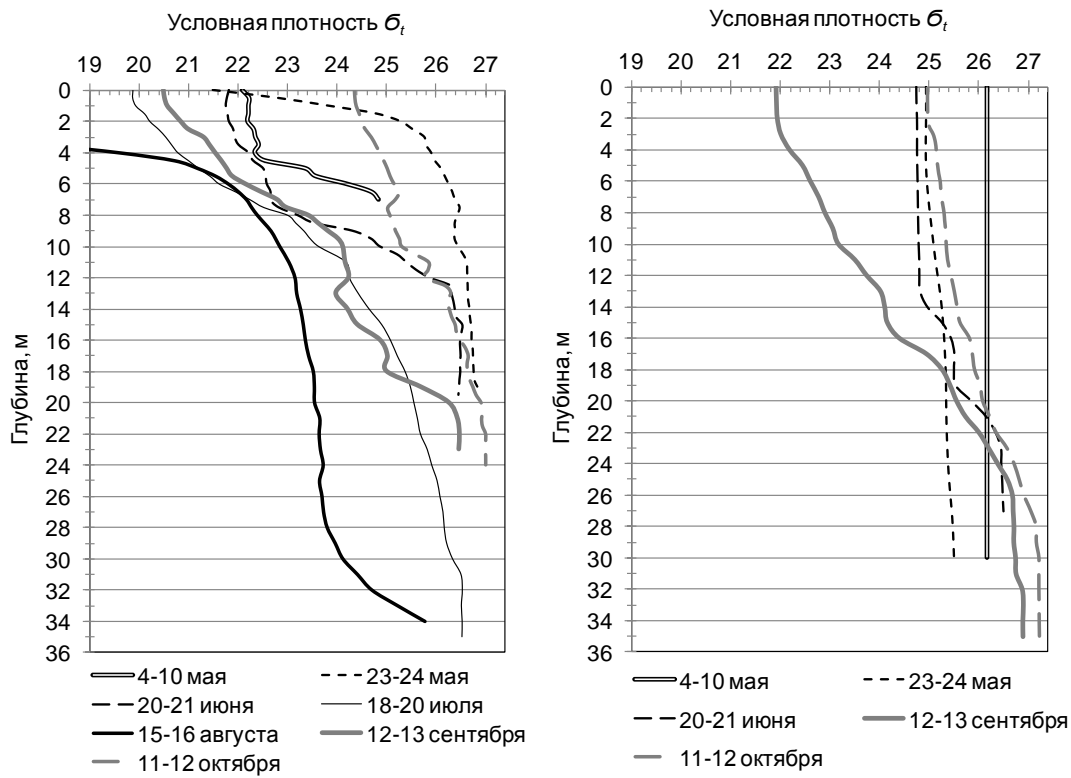


Рис. 4. Вертикальные профили условной плотности вод Амурского залива в мае-октябре 2017 г., осреднённые по зонам эстуарного (слева) и морского (справа) типов вертикального распределения хлорофилла-а

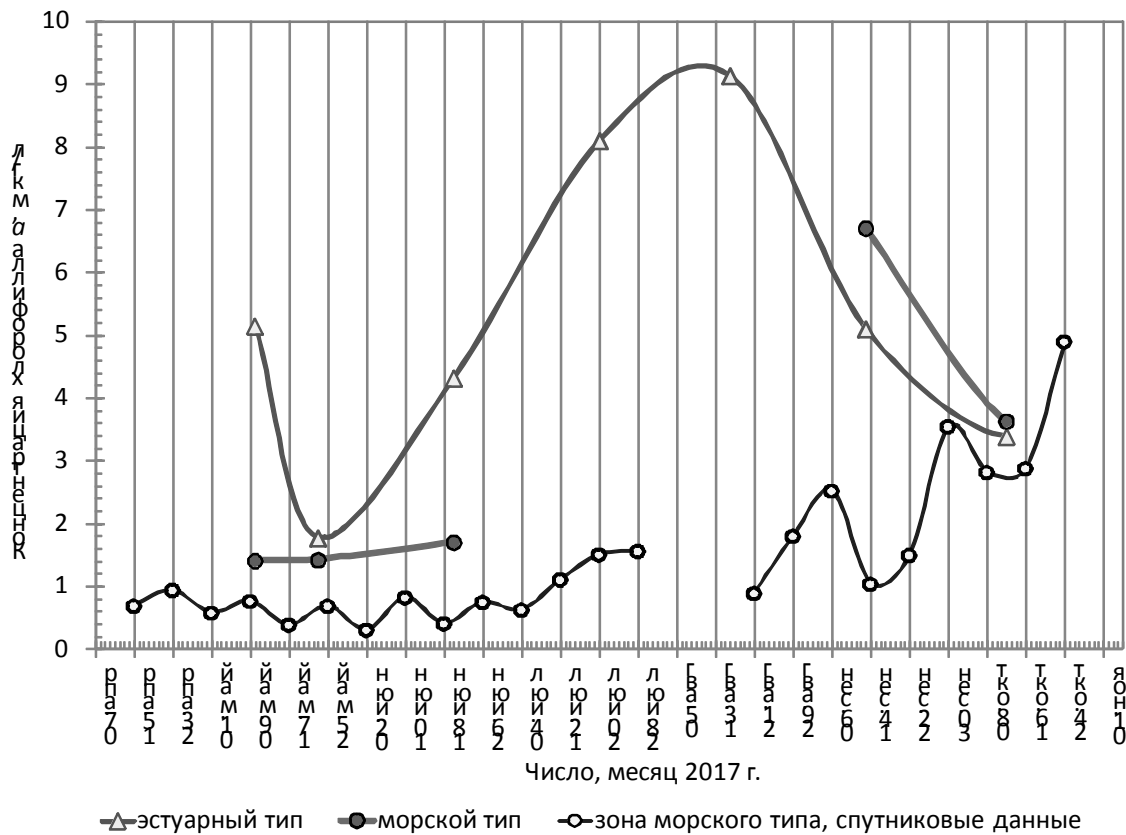


Рис. 5. Сезонные изменения максимальных концентраций хлорофилла-а в Амурском заливе в течение мая-октября 2017 года, осреднённых по зонам разных типов его вертикального распределения (безотносительно глубины их наблюдения)

Полученные данные о характере вертикального распределения хлорофилла-*a* подтверждают сведения, известные для других акваторий, как эстуарных, для которых типичен приповерхностный максимум (см. напр. Суханова и др., 2010), так и открытых вод субарктических морей, где в летнее время максимум хлорофилла-*a* обычно наблюдается в слое пикноклина (см. напр. Финенко и др., 2005). Однако сезонные изменения профилей хлорофилла-*a* рассмотрены впервые, выявленные закономерности изменчивости его максимальных концентраций были известны лишь отчасти. В частности, о раннеосеннем «цветении» в прибрежной зоне зал. Петра Великого ранее было известно лишь по косвенным данным о смене видового состава фитопланктона (Zuenko et al., 2006), а по спутниковым данным о концентрации хлорофилла-*a* оно не отмечалось.

#### ВЫВОДЫ:

1. В Амурском заливе присутствуют два типа вертикального распределения хлорофилла-*a*: эстуарный тип, для которого характерно наличие приповерхностного максимума и, в целом, убывание концентрации с глубиной, и морской тип, для которого характерен рост концентрации хлорофилла-*a* с глубиной с максимумом ниже слоя скачка плотности.

2. Механизмы формирования двух типов вертикального распределения хлорофилла-*a* различны: первый тип формируется в эстуарной зоне, где развитие фитопланктона обеспечивается биогенными элементами, поступающими с материковым стоком, а второй – в открытой части залива, где биогенные элементы поступают в фотический слой снизу благодаря процессам перемешивания и апвеллинга.

3. Вследствие разной природы формирования высоких концентраций хлорофилла-*a*, сезонные изменения его концентрации также различны между разными частями Амурского залива: помимо периодов весеннего и осеннего «цветения», наблюдающихся повсеместно, для северной, эстуарной зоны залива характерен летний максимум хлорофилла-*a* с наибольшими концентрациями у поверхности моря, а для южной, морской зоны – раннеосенний максимум с наибольшими концентрациями под сезонным пикноклином.

4. Спутниковые данные о концентрации хлорофилла-*a* не отражают её реальные величины в толще воды, что за пределами эстуарных зон может приводить к заниженным оценкам содержания фитопланктона и трофности акваторий.

#### ЛИТЕРАТУРА

Суханова И.Н., Флинт М.В., Мошаров С.А., Сергеева В.М. Структура сообществ фитопланктона и первичная продукция в Обском эстуарии и на прилежащем Карском шельфе // Океанология. – 2010. – Т. 50, № 5. – С. 785-800.

Финенко З.З., Чурилова Т.Я., Ли Р.И. Вертикальное распределение хлорофилла и флуоресценции в Чёрном море // Морской экологический журнал. - 2005.- Т.4, № 1.- С.15-45.

Zuenko Y., Selina M., Stonik I. On conditions of phytoplankton blooms in the coastal waters of the north-western Japan/East Sea // Journal of Ocean Science. – 2006. - V. 41, № 1. - P. 31-41.