

УДК 574.5.583

В.В. ТРОФИМОВА, П.Р. МАКАРЕВИЧ

Мурманский морской биологический ин-т КНЦ РАН,
183010 Мурманск, ул. Владимирская, 17, Россия

**СУТОЧНАЯ ДИНАМИКА ХЛОРОФИЛЛА *a*
ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА ЭСТУАРНОЙ ЗОНЫ
КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА (БАРЕНЦЕВО МОРЕ)**

Исследована суточная изменчивость концентрации хлорофилла *a* фитопланктона в эстуарной зоне Кольского залива (Баренцево море) в период трех гидрологических сезонов (в условиях различной продолжительности дня и приливо-отливных явлений). Выявлено два типа короткопериодной динамики содержания данного пигмента. Первый отмечен в весенний и зимний гидрологические сезоны и представлял собой суточные колебания концентрации хлорофилла *a* в поверхностном слое с максимумами в ночное время (период полной темноты) при минимальных скоростях приливных течений. Второй наблюдался летом, в условиях максимального влияния приливных явлений, и характеризовался ритмическими колебаниями концентрации пигмента в пелагиали в течение суток в соответствии с периодами малых и полных вод приливо-отливного цикла.

Ключевые слова: эстуарный фитопланктон, хлорофилл *a*, суточная изменчивость, приливо-отливной цикл, гидрологические сезоны.

Введение

Фитопланктон является базовым звеном водных экосистем, определяет их биологическую продуктивность и функционирование всех звеньев трофической цепи (Константинов, 1986; Алимов, 1989). Исследование пространственно-временного распределения концентрации основного пигмента клеток фитопланктона – хлорофилла *a* позволяет, с одной стороны, изучить процессы формирования и развития планктонного сообщества, а с другой – выявить короткопериодные изменения, происходящие в экосистемах под воздействием различных природных процессов.

Изучению суточной динамики фотосинтетических пигментов в прибрежной зоне Баренцева моря посвящена лишь одна работа (Соловьева, Чурбанова, 1980). Публикаций по эстуарным зонам Баренцева моря и, в частности, по Кольскому заливу, по данной тематике нет.

Сезонная динамика фотосинтетических пигментов в пелагиали водных экосистем обусловлена фазами сукцессионного цикла сообществ планктонных микроводорослей. Суточные изменения концентрации хлорофилла *a* фитопланктона объясняются чередованием низкой и высокой интенсивности света или проявлением циркадных клеточных ритмов (Анцупова, 1973; Соловьева, Чурбанова, 1980; Ведерников и др., 1985; Стельмах, 1985).

© В.В. Трофимова, П.Р. Макаревич, 2009

Географическое положение залива вызывает особый интерес: расположение в высоких широтах обуславливает разнообразие режима инсоляции в течение года (продолжительность дня изменяется от 0 ч в период полярной ночи до 24 ч во время полярного дня), а также суточных флуктуаций гидрологических и биологических параметров в связи с приливно-отливными явлениями и т.д.

Целью данной работы было изучение короткопериодной суточной изменчивости содержания хлорофилла *a* эстуарного пелагического альго-сообщества Кольского залива в разные гидрологические сезоны.

Полученные результаты помогут понять, как функционирует планктонное автотрофное сообщество эстуарных экосистем и оценить трофическое состояние и продукционный потенциал изучаемого водоема.

Материалы и методы

Для изучения короткопериодной изменчивости содержания фотосинтетических пигментов в фитопланктоне проведено три суточных опыта у восточного побережья южного колена Кольского залива (68°56'93" N, 33°01'83" E). Данную часть залива на основании структурного анализа микропланктона квалифицируют как эстуарную экосистему (Матишов и др., 2000; Макаревич, 2004).

Суточный опыт № 1 был проведен в весенний период (25-26 апреля 2005 г.), опыт № 2 – летом (4-5 августа 2005 г.), опыт № 3 – во время гидрологической зимы в условиях полярной ночи (22-23 декабря 2005 г.). Пробы отбирали в точке, удаленной от берега на 100 м (глубина 12 м), с поверхностного и придонного горизонтов. Периодичность отбора проб составляла 6 ч и соответствовала времени наступления полных (ПВ) и малых (МВ) вод приливно-отливного цикла (Европейские ..., 2004).

Отбор и фильтрацию проб фитопланктона, а также определение фотосинтетических пигментов проводили стандартными методами (Современные ..., 1983). Одновременно с определением концентрации фотосинтетических пигментов исследовали качественные и количественные показатели фитопланктона (Федоров, 1979). Количественные характеристики фитопланктонного сообщества приведены в работе в пределах варьирования значений в период проведения суточных опытов. Из-за отсутствия корреляции между значениями численности, биомассы фитопланктона и содержанием хлорофилла *a* анализ зависимости между этими показателями не проводился.

Температуру и соленость воды измеряли согласно стандартным гидробиологическим методикам (Руководство ..., 1959).

Спектрофотометрирование ацетонового экстракта пигментов осуществляли на спектрофотометре Nicolett Evolution 500 фирмы «Spectronic Unicam», Великобритания. При определении концентрации хлорофилла *a* (с поправкой на феофитин *a*) учитывали суммарную концентрацию каротиноидов и пигментный индекс (E_{430}/E_{664}) – отношение поглощения света в ацетоновом экстракте при 430 и

664 нм соответственно. Концентрации фотосинтетических пигментов вычисляли по формулам, приведенным в литературе (Lorenzen, 1967; Jeffrey, Humphrey, 1975).

Результаты и обсуждение

Весенний гидрологический сезон. Основными доминантами пелагического альгосообщества в период исследований были морские диатомовые водоросли: *Chaetoceros socialis* Laud., *C. furcellatus* Bail., *Melosira nummuloides* (Dillw.) Ag., *M. jurgensii* Ag., *Thalassiosira nordenskiöldii* Cl., *T. gravida* Cl. Общая численность клеток микроводорослей составляла 100-150 тыс. кл/дм³, биомасса достигала 100-140 мкг/дм³.

В поверхностном горизонте пелагиали в период проведения опыта № 1 концентрация хлорофилла *a* снизилась с 0,13 до 0,02 мкг/дм³ (среднее 0,10 ± 0,05 мкг/дм³). Единственный выраженный максимум содержания пигмента (0,15 мкг/дм³) отмечен в фазу малой воды приливно-отливного цикла, минимум концентрации хлорофилла *a* (0,02 мкг/дм³) наблюдали в фазу полной воды (см. рисунок).

В придонном горизонте концентрация исследуемого пигмента за период наблюдений постепенно снизилась от 0,12 до 0,05 мкг/дм³ (среднее 0,09 ± 0,03 мкг/дм³). Выраженных максимумов и минимумов содержания хлорофилла *a* в течение суток не выявлено (см. рисунок). Солевой баланс с наступлением полной или малой вод колебался незначительно, соленость несколько уменьшалась в фазы малой воды приливно-отливного цикла. Температура воды была практически постоянна (см. табл. 1).

Таблица 1. Изменение солености (*S*) и температуры (*T*) воды на станции за 30-часовой промежуток времени в весенний сезон

Фаза приливно-отливного цикла	ПВ 08 ч 09 мин	МВ 14 ч 29 мин	ПВ 20 ч 19 мин	МВ 02 ч 42 мин	ПВ 08 ч 46 мин	МВ 15 ч 07 мин
Поверхностный горизонт						
<i>S</i> , ‰	9,2	12,0	15,7	12,5	10,3	13,3
<i>T</i> , °C	1,7	1,9	2,0	1,9	1,9	2,3
Придонный горизонт						
<i>S</i> , ‰	33,2	32,0	33,2	32,0	33,3	30,9
<i>T</i> , °C	1,98	1,98	1,98	1,99	1,98	2,03
Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: ПВ – полная вода; МВ – малая вода.						

В весенний период выраженной зависимости между динамикой концентрации хлорофилла *a* и фазами приливно-отливного цикла в поверхностном и придонном горизонтах пелагиали в течение суток не выявлено. Отчасти это

можно объяснить сезонными особенностями приливно-отливных и неперидических (стоковых, компенсационных) течений, которые весной характеризуются наиболее близкими скоростями потоков (Потанин, Ларин, 1989). Можно предположить, что вследствие этого эффекты приливно-отливного цикла в фитопланктонном сообществе и экосистеме южного колена нивелируются и не влияют на концентрацию фотосинтетических пигментов.

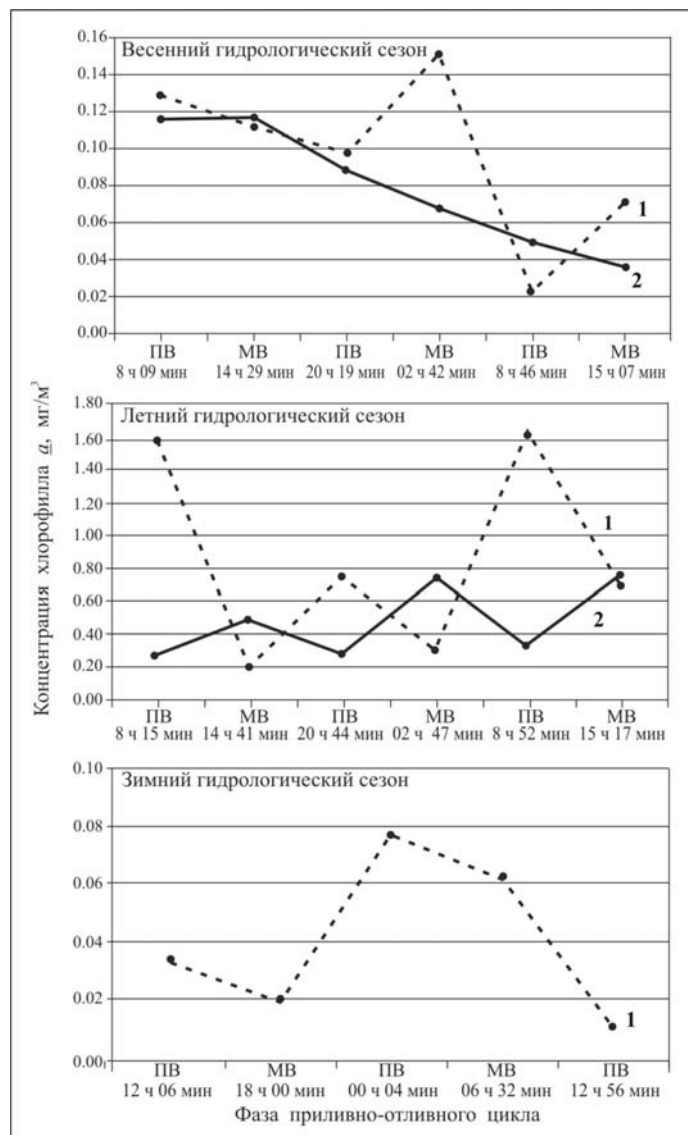


Рисунок. Суточная динамика концентрации хлорофилла *a* фитопланктона Кольского залива.

1 – поверхностный горизонт; 2 – придонный

В ходе проведения опыта № 1 время темного периода суток (полная темнота и сумерки) составляло не более 5 ч. Отмеченный в поверхностном

горизонте максимум содержания хлорофилла *a* пришелся на период "абсолютной" темноты (02 ч 42 мин) (см. рисунок).

Полученные нами данные соответствуют результатам суточных исследований концентрации этого пигмента, проведенных А.А. Соловьевой и И.В. Чурбановой (1980) в прибрежье Баренцева моря, когда в слое 0-10 м содержание хлорофилла *a* возрастало в ночные часы в 2-3 раза. Авторы связывают суточные колебания его концентрации не только с увеличением или уменьшением численности фитопланктона, но и с изменением содержания пигмента в клетке, рассматривая свет как фактор, влияющий на скорость синтеза и распада пигмента.

После отмеченного ночного максимума концентрация исследуемого пигмента резко снизилась, что можно объяснить процессом распада хлорофилла и образованием его дериватов. Содержание феофитина *a* (% суммы с хлорофиллом *a*) в это время повысилось до 93 %. В остальной период наблюдений этот показатель не превышал 60-70 %.

Вполне возможно, что в данном случае, в условиях минимального влияния приливно-отливных явлений, мы наблюдаем проявление малоизученного циркадного ритма фитопланктона высоких широт, описанного в сходных условиях (апрель) для прибрежья Баренцева моря (Соловьева, Чурбанова, 1980).

Пигментный индекс и отношение суммарной концентрации каротиноидов к концентрации хлорофилла *a* ($C_{кар}/C_{хл.а}$) в течение суток характеризовались достаточно стабильными низкими показателями (3,1-3,60 и 2,4-3,11 соответственно), резко увеличившимися в период, соответствующий наиболее низкой концентрации хлорофилла *a* и наибольшему процентному содержанию феофитина *a*. Возросшие абсолютные значения могут свидетельствовать об угнетенном состоянии водорослей (Курейшевич и др., 1999).

В придонном горизонте при проведении суточного опыта не выявлено связи между продолжительностью светового периода и изменчивостью содержания хлорофилла *a*. Отмечено снижение концентрации данного пигмента за сутки и, напротив, увеличение содержания феофитина *a* с 50 до 70 % (% суммы с чистым хлорофиллом *a*). Между этими показателями установлена тесная отрицательная корреляция ($r = -0,73$).

Летний гидрологический сезон. На момент отбора проб при проведении опыта № 2 основу ведущего комплекса планктонных микроводорослей Кольского залива составляли пресноводные и морские таксоны. Наиболее массовыми видами, определяющими максимальную биомассу, были диатомовые *Melosira nummuloides*, *Skeletonema costatum* (Grev.) Cl. и эвгленовая водоросль *Eutreptia lanowii* Stener. В придонном горизонте отмечено присутствие крупных динофитовых, из которых наиболее встречаемы – *Protoperdinium depressum* (Bail.) Balech, *Ceratium longipes* (Bail.) Gran и *Dinophysis arctica* Mereschk. Биомасса фитопланктона варьировала в пределах 15-50 мкг/дм³.

Наибольшие концентрации хлорофилла *a* в поверхностном горизонте в течение суток отмечены в период полной воды (1,59; 0,75; 1,62 мг/м³). Самое

низкое содержание данного пигмента в планктоне наблюдали в фазы малой воды приливно-отливного цикла (0,20; 0,30 мкг/дм³) (см. рисунок).

Кривая динамики концентрации хлорофилла *a* фитопланктона в придонном горизонте во время наблюдений находилась в противофазе с кривой изменения этого параметра в поверхностном слое. Минимальные концентрации хлорофилла *a* в течение суток (0,28; 0,28; 0,32 мкг/дм³) отмечены в фазу полной воды. Максимальное содержание пигмента (0,49 0,75 мкг/дм³) наблюдали в промежутки малой воды (см. рисунок).

Следовательно, в летний период наблюдается выраженное влияние приливно-отливных явлений на суточную динамику концентрации хлорофилла *a*. Исследования в начале августа проводились в условиях максимальных скоростей потоков приливных течений и минимальных – неперидических (Потанин, Ларин, 1989).

В период полной воды в поверхностном слое пелагиали движется с минимальной (в этот период года) скоростью стоковое течение с характерными значениями солености 6,8; 6,9; 6,1 ‰ (табл. 2).

Таблица 2. Изменение солености (*S*) и температуры (*T*) воды на станции за 30-часовой промежуток времени в летний период

Фаза приливно-отливного цикла	ПВ 08 ч 15 мин	МВ 14 ч 41 мин	ПВ 20 ч 44 мин	МВ 02 ч 47 мин	ПВ 08 ч 52 мин	МВ 15 ч 17 мин
Поверхностный горизонт						
<i>S</i> , ‰	6,8	13,1	6,9	11,5	6,1	12,5
<i>T</i> , °С	1,7	11,5	13,0	11,5	13,0	11,7
Придонный горизонт						
<i>S</i> , ‰	32,7	21,1	32,6	27,2	32,7	19,6
<i>T</i> , °С	6,6	6,8	6,9	6,8	7,1	7,1

Отмеченные нами в эти промежутки приливно-отливного цикла повышенные значения хлорофилла *a*, скорее всего, обычны для этого типа вод и комплекса присущих им микроводорослей. В период малой воды скорость поверхностных вод, индуцируемая отливной волной, увеличивается, при этом возникает значительная турбулентность, размыв этого слоя и частичное перемешивание с лежащими ниже слоями (Альтшулер, 1972), о чем в наших наблюдениях свидетельствует увеличение солености до 11,5-13,1 ‰ и некоторое понижение температуры водных масс (см. табл. 2). Очевидно, в этом случае происходит вынос некоторых видов фитопланктона в лежащие ниже слои (смешанные воды) и, соответственно, отмеченное нами уменьшение концентрации исследуемого пигмента в поверхностном слое.

В фазу полной воды приливо-отливного цикла в придонный слой южного колена Кольского залива с большой скоростью поступают морские воды высокой солености 32,6-32,7 ‰ (см. табл. 2), бедные фитопланктоном. Для этих вод характерны отмеченные ранее низкие значения концентрации хлорофилла *a*. В период малой воды в придонном горизонте в сторону кута движется компенсационное течение с низкой скоростью. Вероятно, из-за его малой скорости происходит адвекция с лежащим выше слоем вод противоположного направления. Это отражается в понижении солености до 19,6-27,2 ‰ (см. табл. 2) и увеличении концентрации хлорофилла *a* в эти периоды приливо-отливного цикла (возможно, за счет выноса из смешанного слоя некоторой доли фитопланктона).

Во время проведения опыта № 2 связь между изменчивостью концентрации хлорофилла *a* и продолжительностью светлого и темного периодов суток не обнаружена. В начале августа, в отсутствие промежутка полной темноты (восход – 03 ч 53 мин, закат 23 ч 50 мин), свет уже не являлся главным фактором, определяющим колебания концентрации хлорофилла *a* в течение суток. Несомненно, суточная динамика концентрации хлорофилла *a* зависит от географической широты местности с продолжительностью светового дня (Романкевич, 2001). Так, в озерах Карелии в период белых ночей интенсивность фотосинтеза фитопланктона была практически одинакова в течение суток (Романенко, Даукшта, 1985).

Зимний гидрологический сезон. Пелагиаль в этот период была заселена комплексом морских и пресноводных диатомовых водорослей (с доминированием *Asterionella formosa* Hass., *Melosira jurgensii* Ag., и *M. nummuloides*, а также морскими формами мелких жгутиковых (*Gymnodiniaceae*). Численность и биомасса фитопланктона варьировала в пределах 3-9 тыс. кл/дм³ и 10-50 мкг/дм³ соответственно.

В поверхностном горизонте залива на протяжении суточного опыта № 3 максимальные значения концентрации хлорофилла *a* (0,08 и 0,06 мкг/дм³) отмечены в 00 ч 04 мин (полная вода) и в 06 ч 32 мин (малая вода). В остальное время суток содержание данного пигмента было значительно меньше (0,01-0,03 мкг/дм³) (см. рисунок).

Наблюдаемые в пелагиали достаточно высокие концентрации хлорофилла *a* в зимний период не являются артефактом. Известно (Макаревич и др., 2004), что даже в полярную ночь при минимальном уровне солнечной радиации фитоценоз эстуарной части Кольского залива может находиться в состоянии активного функционирования и состоит из организмов, характеризующихся автотрофным типом питания. Полученные значения концентрации хлорофилла *a* не выходят за пределы нижней границы этого показателя для Баренцева моря в зимний период – 0,01 мг/м³ (Жизнь ..., 1985; Кузнецов, Шошина, 2003).

В придонном горизонте в течение всего периода наблюдений концентрация исследуемого пигмента находилась ниже пороговых значений, предусмотренных применяемой методикой.

Соленость поверхностных вод в зимний период увеличивалась в период малой воды (аналогично опыту, проведенному летом), максимумы температуры совпадали с таковыми концентрации хлорофилла *a* (табл. 3). Отбор проб на станции № 3 проводили в полярную ночь, когда период сумерек не превышал 6 ч. Зарегистрированный максимум концентрации хлорофилла *a* зимой приходился, как и в весенний сезон, на период полного отсутствия света. Возможно, в данном случае (подобно апрельскому опыту) мы наблюдаем малоизученный клеточный ритм синтеза и распада пигментов фитопланктона высоких широт.

Таблица 3. Изменение солености (*S*) и температуры (*T*) воды на станции за 24-часовой период в зимний сезон в поверхностном горизонте

Фаза приливо-отливного цикла	ПВ	МВ	ПВ	МВ	ПВ
	12 ч 06 мин	18 ч 00 мин	00ч 04 мин	06 ч 32 мин	12 ч 56 мин
<i>S</i> , ‰	13,3	18,1	14,1	18,3	14,0
<i>T</i> , °C	1,5	1,5	1,8	2,0	0,0

Значение пигментного индекса в среднем за сутки составляло $4,39 \pm 0,83$. Выраженных изменений этого показателя при увеличении концентрации хлорофилла *a* в течение суток не наблюдалось, что может свидетельствовать о стабильном уровне физиологического состояния фитопланктонного сообщества в зимний период.

Соотношение $C_{кар}/C_{хл.а}$ в периоды отмеченных максимумов содержания хлорофилла *a* составило 2,89 и 4,50, в остальное время – >10 . Содержание феофитина *a* (% суммы с хлорофиллом *a*) при максимальной концентрации хлорофилла *a* составило 70 и 76 %, в период минимального содержания данного пигмента процент феофитина *a* находился в диапазоне 88-95 %. Представленные данные свидетельствуют о том, что при отмеченном повышении концентрации хлорофилла *a* в фитопланктоне функциональная активность альгосообщества должна увеличиваться.

Во время проведения исследований в суточном опыте в зимний период не выявлено связи, наблюдаемой в поверхностном горизонте изменчивости концентрации хлорофилла *a* с фазами приливо-отливного цикла. Суточная станция № 3 по режиму приливо-отливной циркуляции близка суточной станции № 1, т.е. скорость приливо-отливных потоков зимой также компенсируется неперiodическими течениями (Потанин, Ларин, 1989). В связи с этим приливо-отливная гармоническая составляющая в суточной динамике хлорофилла *a* фитопланктона отсутствует.

Заключение

Во время исследования суточной динамики содержания хлорофилла *a* эстуарного фитопланктона в разные гидрологические сезоны выявлено два типа его короткопериодной изменчивости. Для первого типа характерна суточная динамика концентрации хлорофилла *a* в поверхностном горизонте с максимумом в ночные часы (период полной темноты). Подобная ситуация наблюдалась в весенний и зимний гидрологические сезоны при минимальных скоростях периодических течений. В летний сезон, при ярко выраженных приливных явлениях и 20-часовом световом дне, отмечен второй тип изменчивости – в течение суток наблюдались ритмические колебания концентрации хлорофилла *a* в соответствии с наступлением фаз приливо-отливного цикла.

Проведенные исследования показали, что на суточную динамику содержания хлорофилла *a* эстуарного фитопланктона влияют как приливо-отливные явления и продолжительность светового дня, так и малоизученный механизм внутриклеточных биологических часов фитопланктона высоких широт. Однако проявление этих закономерностей на изучаемом компоненте пелагического альгоценоза не всегда может быть прослежено с позиций применяемой методики и комплекса учитываемых факторов.

V.V. Trofimova, P.R. Makarevich

Murmansk Marine Biological Institute of the Kola Science
Center of the Russian Academy of Sciences,
17, Vladimirskaia St., 183010 Murmansk, Russia

DAILY DYNAMICS OF CHLOROPHYLL *a* IN THE ESTUARINE PELAGIC PHYTOCENOSIS OF THE KOLA INLET (BARENTS SEA)

Daily variability of chlorophyll *a* of phytoplankton was studied in the estuarine zone of the Kola Inlet (Barents Sea) during three hydrologic seasons (under conditions of different intensity of light and tidal events). Two types of short-period dynamics of this pigment were discovered. The first period occurred in spring and winter hydrologic seasons with maximum daily fluctuations of chlorophyll *a* levels at night (the period of complete darkness) and less than minimum velocity of tidal currents. The second period was observed in summer under conditions of maximum influence of tidal events and is characterized by rhythmic fluctuations of pigment concentration during the day according to periods of low and high tides of the tidal cycle.

Keywords: estuarine phytoplankton, chlorophyll *a*, daily variability, tidal cycle, hydrologic seasons.

Альtiuлер В.М. Приближенный расчет водного баланса и времени обновления вод южной части Кольского залива // Тр. ГОИН. – 1972. – Вып. 110. – С. 107-115.

Алимов А. Ф. Введение в продукционную гидробиологию. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 152 с.

- Анциупова Л.В.* Динамика пигментов планктона северо-западной части Черного моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Днепропетровск, 1973. – 19 с.
- Ведерников В.И., Микаелян А.С., Столбова Н.Г.* Суточные изменения фитопланктона в прибрежных водах северо-восточной части Черного моря // Исследования океанического фитопланктона. – М.: Наука, 1985. – С. 77-93.
- Европейские воды России.* – М.: Изд-во Глав. упр. навигации и океанографии, 2004. – С. 10-13.
- Жизнь и условия ее существования в пелагиали Баренцева моря.* – Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1985. – С.105-116.
- Константинов А.С.* Общая гидробиология. – М.: Высш. шк., 1986. – 472 с.
- Кузнецов Л.Л., Шошина Е.В.* Фитоценозы Баренцева моря (физиологические и структурные характеристики). – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. – 308 с.
- Курейшевич А.В., Сиренко Л.А., Медведь В.А.* Многолетняя динамика содержания хлорофилла *a* и особенности развития фитопланктона в Днепродзержинском водохранилище // Гидробиол. журн. – 1999. – **35**, № 2. – С. 49-62.
- Макаревич П.Р.* Структура и функционирование планктонных альгоценозов эстуарных экосистем шельфовых морей: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Мурманск, 2004. – 45 с.
- Макаревич П.Р., Ларионов В.В., Дружкова Е.И.* Динамика фитопланктона в эстуарных областях северных морей в период полярной ночи // Альгология. – 2004. – **14**, № 2. – С. 137-142.
- Матишов Г.Г., Дружков Н.В., Макаревич П.Р. и др.* Экологическое районирование пелагической зоны Кольского залива (Баренцево море) с использованием структурного анализа сообществ микропланктона // Докл. РАН. – 2000. – **372**, № 4. – С. 568-570.
- Минеева Н.М.* Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. – М.: Наука, 2004. – 155 с.
- Потанин В.А., Ларин Б.В.* Динамика вод южной части Кольского залива // Природа и хозяйство Севера. – 1989. – Вып. 17. – С. 66-71.
- Романенко В.И., Даукшта А.С.* Суточная динамика интенсивности фотосинтеза фитопланктона в водоемах ряда регионов // Биол. внутр. вод. – 1985. – № 65. – С. 12-16.
- Романкевич Е.А., Ветров А.А.* Цикл углерода в арктических морях России. – М.: Наука, 2001. – 302 с.
- Руководство по морским гидрохимическим исследованиям.* – М.: Гидрометеорологическое изд-во, 1959. – 255 с.
- Современные методы количественной оценки распределения морского планктона* // Под ред. М.Е. Виноградова. – М.: Наука, 1983. – 277 с.
- Соловьева А.А., Чурбанова И.В.* Суточная динамика фитопланктонного сообщества в прибрежье Баренцева моря // Гидробиол. журн. – 1980. – **17**, № 2. – С. 15-20.
- Стельмах Л.В.* Суточные изменения фотосинтеза морских планктонных водорослей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Севастополь, 1985. – 23 с.
- Федоров В.Д.* О методах изучения фитопланктона и его активности. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 167 с.
- Jeffrey S.W., Humphrey G.F.* New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *q* and *c₂* in higher plants, algae and natural phytoplankton // Biochem. und Physiol. Pflanz. – 1975. – **167**. – P. 191-194.
- Lorenzen C.J.* Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations // Limnol. and Oceanogr. – 1967. – **12**, N 2. – P. 343-346.

Получена 10.10.07

Рекомендовала к печати А.В. Курейшевич