

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

БЕЛОМОРСКАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ
ИМЕНИ Н.А. ПЕРЦОВА

МАТЕРИАЛЫ

**научной конференции
«Морская биология, геология, океанология -
междисциплинарные исследования на морских
станционарах»,
посвященной 75-летию
Беломорской биологической
станции им. Н.А. Перцова
27 февраля – 1 марта 2013 года**



МОСКВА
2013

УДК 592: 574.5 (268.46)

Материалы научной конференции «Морская биология, геология, океанология – междисциплинарные исследования на морских стационарах», посвященной 75-летию Беломорской биологической станции МГУ (Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 27 февраля — 1 марта 2013 г.): Тезисы докладов.— М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013.— 360 с.

В сборник включены тезисы докладов, подготовленные участниками XII научной конференции Беломорской биостанции им. Н.А. Перцова Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова с международным участием: «Морская биология, геология, океанология — междисциплинарные исследования на морских стационарах» (27 февраля — 1 марта 2013 г.). Конференция посвящена 75-летию биостанции. Представлены результаты исследований в области биологии, геологии, географии и комплексных работ, выполненных на морских стационарах России и за рубежом, в том числе на Беломорской биостанции МГУ.

*Издание подготовлено при финансовой поддержке РФФИ
(грант 13-04-06015-г)*

ISBN 978-5-87317-894-0

© ББС МГУ, 2013
© Т-во научных изданий
КМК, издание, 2013

начиная с 50-х годов, биомасса зоопланктона существенно повысилась, является преждевременным.

На сегодня, безусловно, преждевременно говорить и об изменениях в жизненных циклах арктических видов зоопланктона в Белом море, связанных с изменениями климата (Перцова, Кособокова, 2010; Кособокова, Перцова, 2011). Вместе с тем необходимо слежение за отклонениями в развитии планктонных сообществ и массовых видов зоопланктона с особым вниманием к годам с необычным, особенно весенним, гидрологическим режимом, что в дальнейшем может оказаться важным для прогнозирования реакции планктонных сообществ на возможные изменения климата.

В целом, проведенные за последние 60 лет на ББС МГУ исследования зоопланктона сыграли важнейшую роль в формировании современных представлений о структуре и продуктивности зоопланктонных сообществ Белого моря (Перцова, Прыгункова, 1995; Pertsova, Kosobokova, 2000, 2003; Кособокова, Перцова, 2011). Они представляют собой фундаментальную основу для дальнейших наблюдений за этими сообществами в условиях меняющегося климата.

ПРИРОДА КРАСНЫХ СЛОЕВ В ВОДОЕМАХ, ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ОТ БЕЛОГО МОРЯ

Е.Д. Краснова¹, А.Н. Пантюлин², Д.Н. Маторин¹, Д.А. Годоренко¹, Т.А. Белевич¹, И.А. Милютин³, Д.А. Воронов^{3,4}

1 — Биологический ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова, 2 — Географический ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова, 3 — НИИ Физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ, 4 — Ин-т проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН

Один из интересных феноменов, обнаруженных в водоемах, отделяющихся от Белого моря — окрашенные водные слои. В разное время года в разных озерах находили слои красного цвета, зеленого, лимонно-желтого, оранжевого, серого. Одно из озер, за которым мы наблюдаем с 2009 г., мы даже назвали «Трехцветным» за разные цвета трех его слоев: бурый от гуминовых веществ поверхностный, изумрудно-зеленый средний и лимонно-желтый нижний. Данная работа посвящена красному слою, появляющемуся в некоторых водоемах. Мы попытались

разобраться: где и при каких условиях он появляется, и чем обусловлен цвет, столь необычный для природных водоемов.

Впервые подобный слой розовой воды был обнаружен в озере Могильном на о. Кильдин (Баренцево море) (Исаченко, 1914). Б.Л. Исаченко обнаружил в нем большое количество пурпурных серобактерий нескольких видов и пришел к выводу, что именно они окрашивают воду. Эти бактерии живут за счет бескислородного фотосинтеза и используют энергию света для окисления сероводорода, тем самым препятствуя его распространению вверх. Несколько десятилетий спустя при исследованиях микробного состава фототрофов в розовом слое вместо пурпурных были обнаружены другие — коричнево окрашенные зеленые серобактерии (Горленко и др., 1975; Corlenko et. al., 1978). Красный слой толщиной 5 см, населенный пурпурными серобактериями, есть в меромиктическом озере Шира в Хакасии (Лунина и др., 2007). В обоих этих водоемах розовый слой образуется на верхней границе сероводородной водной массы, поскольку она находится в фотическом слое. В озере Могильном розовый слой поднимается по мере увеличения придонного сероводородного слоя воды: 1909 г. он был на глубине 13 м, через 6 лет на 12 м, в 1960-х и в 2004 г. — на 9–10 м (Стрелков и др., 2005).

На побережье Белого моря нам известно 12 стратифицированных отделяющихся водоемов (Краснова, Пантюлин, 2012), но красный слой был обнаружен только в четырех: оз. Кислосладком (66°32,87' N, 33°08,14' E), оз. Еловый наволоок (66°28,7' N, 33°16,9' E), в лагуне на Зеленом мысу (66°31,80' N, 33°05,55' E) и в оз. Большие Хрусломены (о-в Олений в губе Ковда; 66°43' N, 32°51' E). Ни в одном из них этот слой не присутствует постоянно, он появляется и исчезает. Продолжительность его существования может быть разной: от месяца до пяти. Появление этого слоя бывает приурочено к началу лета (июнь) или к началу осени (сентябрь). В одном и том же озере в разные годы красный слой может возникать в разное время, а может и вовсе не появляться: видимо, сезонные колебания температуры и солености для организмов, которые придают ему окраску, не являются определяющими факторами. Красный слой может располагаться на глубине от 2,5 до 5 м (чаще всего на 4–4,5 м); его толщина от 15–20 см до 0,5 м. Изученные водоемы характеризуются большими различиями между слоями воды, которые сохраняются в течение всего года. В летнее время поверхностная водная

масса хорошо прогревается (до $+20^{\circ}\text{C}$) и оказывается более теплой по сравнению с нижележащими слоями и с морем; концентрация морской соли в ней может быть разной: в большинстве водоемов соленость поверхностной воды ниже, чем в море, в некоторых вода совсем пресная, но в одном из исследуемых водоемов — лагуне на Зеленом мысу — такая же, как в море. Придонная масса во всех водоемах даже летом остается холодной, иногда — до $4-6^{\circ}\text{C}$, и солонее (до $28,8\text{‰}$) поверхностной. Для меромиктических водоемов характерны резкие градиенты. Разница между поверхностным и придонным слоями может достигать 24‰ и $12,6^{\circ}\text{C}$; а в термо- и галоклине перепады могут составлять 21‰ и $6-7^{\circ}\text{C}$ на метр. При всем разнообразии термогалинных условий красный слой всегда расположен в соленом слое (от $17,5\text{‰}$ до $28,8\text{‰}$ со средней 25‰ и стандартным отклонением 4‰) с температурой обычно близкой к $+10^{\circ}\text{C}$, а если вода холоднее то в самом теплом слое (диапазон $4-12,7^{\circ}\text{C}$, средняя — $10\pm 2^{\circ}\text{C}$). Довольно постоянным в нем оказывается окислительно-восстановительный потенциал среды, как правило, отрицательный (-14 — -216 мВ), либо красный слой располагается на самой границе положительных и отрицательных значений. Вода из этого слоя немного пахнет сероводородом. Реакция среды $8,1-9,4$, среднее значение $8,5\pm 0,5$. Цвет может быть более насыщенным или слабым, и с разными оттенками: розовым, красным или коричневатым.

Параметры флуоресценции хлорофилла водорослей (F_0 , F_v/F_m) определялись методом импульсной флуориметрии на приборе Water-PAM (Walz GmbH, Германия). Интенсивность флуоресценции F_0 (постоянная флуоресценция) коррелирует с содержанием хлорофилла а в пробах воды (Маторин, Рубин, 2012) и может после калибровки использоваться для быстрой оценки концентрации пигментов водорослей. Информацию о состоянии фотосинтетического аппарата водорослей возможно получить по параметру флуоресценции F_v/F_m , которое соответствует максимальной величине эффективности первичных стадий утилизации света в ФС2 (Маторин, Рубин, 2012).

В табл. 1 представлены значения этих параметров (F_0 , F_v/F_m) по глубине в разных слоях лагуны на Зеленом мысу в сентябре 2012 г. Содержание хлорофилла а, рассчитанное по F_0 в верхних слоях воды до 1 м составляло $5,6$ мкг/л. Количество водорослей и их фотосинтетическая активность по F_v/F_m были

близки к значениям этих параметров в открытой части моря. Эти значения флуоресценции в пробах воды увеличивались с глубиной и достигали максимальных значений в красном слое (глубина 4,5–5 м). Содержание хлорофилла а по F_0 в этом слое достигало очень высоких значений. Фотосинтетическая активность имела высокое значение которое характерно для водорослей в период интенсивного цветения.

Спектр поглощения света в пробах, отобранных в сентябре 2012 г. из красного слоя лагуны на Зеленом мысу, определенный на спектрофотометре НІТАСНІ-557, имел два максимума: один в интервале 664–692 нм и другой на 698,5–730 нм. Спектры поглощения в двух повторных промерах, выполненных с интервалом в 15 минут, различались высотой этих двух пиков: при повторном измерении пик в области с меньшей длиной волны стал ниже, длинноволнового. В октябрьской пробе красной воды из озера Кисло-сладкого зарегистрирован один высокий пик в области 690–720 нм, которая перекрывает пики предыдущей пробы.

Пигменты разных групп фотосинтезирующих организмов характеризуются разными спектрами поглощения света. Бактериохлорофилл пурпурных бактерий поглощает свет в длинноволновой области — более 800 нм, бактериохлорофилл зеленых серобактерий — между 700 и 800 нм, а хлорофилл водорослей — от 600 до 700 нм, поэтому, зная спектр поглощения в пробах воды, можно определить, какая группа фотосинтезирующих организмов в ней преобладает. В спектре поглощения красной воды из пробы с Зеленого мыса один пик соответствует хлорофиллу водорослей и второй – бактериохлорофиллу зеленых серобактерий. Пурпурные серобактерии в наших пробах, отсутствуют или малочисленны. Таким образом, своим цветом красная вода обязана двум группам организмов: зеленым серобактериям и эукариотическим водорослям. У водорослей красный цвет обеспечивают ксантофиллы и фикобилины со спектром поглощения в области 495–565 нм. Уменьшение поглощения света в части спектра 664–692 нм при повторном измерении мы объясняем, том, что жгутиконосцы из-за отрицательного фототаксиса покинули зону освещения кюветы в спектрофотометре.

Таблица 1. Характеристики разных слоев воды в лагуне на Зеленом мысу 3 сентября 2012 г.

Глубина, м	S‰	T°C	pH	Органолептические свойства воды	Активность фотосинтеза (Fv/Fm)	Концентрация хлорофилла, рассчитанная по значению Fo (мкг/л)
0	24,5	12,7		прозрачная, без запаха	0,47	5,6
0,5	24,6	12,7	9	- « -		
1	24,6	12,7	8,9	- « -		
1,5	24,6	12,6	8,9	- « -	0,517	5,5
2	25	13	8,8	- « -		
2,5	28,6	15,9	8,8	- « -		
3	28,7	16,7	8,7	- « -	0,6	18,4
3,5	28,9	16,6	8,5	- « -		
4	28,8	15,1	8,2	- « -		
4,5	28,8	13	8	- « -		
5	28,8	11,1	8,1	красноватая, мутная	0,714	281,3
5,5	28,8	10	8	запах сероводорода		
6	28,8	8,2	7,6	сильный запах сероводорода, зеленоватая, мутная	0,06	
6,4	28,8	7,6	7,7	зеленоватая, мутная	0,042	

С помощью светового микроскопа (световой микроскопии) обнаружено, что окраску красной воде придают криптофитовые водоросли, предположительно относящиеся к роду *Rhodomonas*. Для более точного определения рода и вида был просеквенирован ген 18S ядерной рРНК. Сравнение полученной последовательности с последовательностями 18S рДНК из GenBank (с

помощью программы BLAST) показало максимальное сходство с *Rhodomonas abbreviata* (U53128.1).

Клетки криптофитовых водорослей в большом числе были найдены и в других беломорских меромиктических водоемах при их обследовании в октябре 2012 г. Наибольшая их концентрация всегда приурочена к хемоклину и располагается непосредственно над границей сероводородного слоя.

Криптомонад обнаруживали и в других меромиктических водоемах. В озерах Ши́ра и Шунет в пикноклине в массе развиваются криптофитовые водоросли из рода *Guillardia u Chryptomonas*. Эти жгутиконосцы для фотосинтеза используют пигмент фикоэритрин, который позволяет им осуществлять фотосинтез на глубине, куда доходит только зеленая часть солнечного спектра. Кроме того, они способны к миксотрофному питанию — наряду с фотосинтезом, они усваивают органические вещества из воды и могут поедать бактерий. Неудивительно, что именно криптомонады развиваются в меромиктических водоемах возле границы сероводородного слоя. В свою очередь, эти жгутиконосцы могут служить пищей более крупным организмам — инфузориям, коловраткам, ракообразным. Известно, что в оз. Могильном, Ши́ра и Шунет зоопланктон концентрируется возле хемоклина. В оз. Могильном на глубине 8,5–9 м его численность достигает 4 тыс. экз./л, а крупные хорошо различимые виды зоопланктона в области розовой воды могут достигать 600 экз./л (Гуревич, 1975). В этом слое обитает один вид инфузории, которая питается серобактериями и, видимо, устойчива к сероводороду (Реликтовое озеро Могильное..., 2002). В озере Ши́ра возле красного слоя концентрируются бокоплавы *Gammarus lacustris*. Не исключено, что в беломорских отделяющихся водоемах зоопланктон тоже окажется приуроченным к этому слою. Таким образом, слой красной воды оказывается целой экосистемой, основанной на продукции фотоавтотрофных бактерий и фитопланктона, и приуроченной к хемоклину с его стабильными абиотическими условиями.

Авторы выражают благодарность сотруднику каф. биофизики Биологического факультета МГУ Е.П. Лукашову за помощь в определении спектров поглощения света.