

УДК 574.583

Рубрика 34.00.00

НОВОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СООБЩЕСТВО В ХЕМОКЛИНЕ БЕЛОМОРСКИХ ЭВКСИНЫХ БУХТ

A NEW ECOLOGICAL COMMUNITY IN THE CHEMOCLINE OF THE WHITE SEA EUXINIC BAYS

Краснова Елена Дмитриевна¹, Воронов Дмитрий Анатольевич²

1 - Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва;

2 – Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва

Krasnova Elena Dmitrievna¹, Voronov Dmitry Anatolievich²

1 – Lomonosov Moscow State University, Moscow;

2 - A.A. Kharkevich Institute for Information Transmission Problems RAS, Moscow

Введение

В ходе изучения прибрежных водоемов, отделяющихся от Белого моря в результате постгляциального поднятия берега, было обнаружено несколько эвксинных ковшовых губ (Краснова и др., 2016). Сероводородная зона может быть временной, сезонной или постоянной. В градиентной зоне между аэробной и анаэробной зонами (хемоклине), нередко возникает прослойка окрашенной воды, цвет которой определяется фототрофными микроорганизмами (Krasnova et al., 2018). В одних случаях это одноклеточные водоросли, в других фототрофные серные бактерии. Иногда присутствуют оба слоя: водоросли концентрируются в микроаэробной части хемоклина выше редокс-перехода, серобактерии – в анаэробной части. Фотосинтезирующие серные бактерии – анаэробы, осуществляющие аноксигенный фотосинтез, в ходе которого происходит фотоокисление сульфида и выделяется сера. Продуктивность аноксигенного фотосинтеза в водоемах с устойчивой стратификацией (меромиктических) очень высока и многократно превышает продуктивность фитопланктона всей вышележащей аэробной зоны (Саввичев и др., 2014; Gorlenko et al., 1978). Таким образом, аноксигенные фототрофы оказываются основным источником первичной продукции в таких водоемах.

Один из таких водоемов – бухта Биофильтров (66°32' 20" N, 33°10'10" E) на южном берегу полуострова Киндо. По ее дну проходит желоб с максимальной глубиной во время отлива 14 м, отделенный от моря порогом 4-5 м. В бухте происходят приливные колебания воды с амплитудой около 2 м; вертикальная циркуляция воды охватывает слой, соответствующий глубине изолирующего порога (4 м), а ниже находится зона стагнации, в которой круглогодично существует анаэробная зона (Краснова, Воронов, 2019). В разные сезоны положение редокс перехода варьирует в диапазоне глубин 6,5-9,5 м. Хемоклин в этом водоеме широкий – более метра, физико-химические параметры в нем меняются плавно, нередко присутствует зона, в которой, в силу преобладания процессов деструкции уже нет растворенного в воде кислорода, но и сероводород также отсутствует.

В микроаэробной части хемоклина бухты Биофильтров мы обнаружили скопление личинок многощетинковых червей из отряда Spionidae, по всей видимости *Polydora* cf. *ciliata*. В начале 2020 г. мы начали наблюдения за этим скоплением, чтобы узнать, в какое время года

оно существует и каковы условия обитания в нем, а также исследовали другие известные нам отделенные от моря лагуны и ковшовые губы на предмет аналогичных скоплений.

Материал и методы

В бухте Биофильтров наблюдения проводили с мая 2020 года до сентября 2022 г.: в безледный период один-два раза в месяц и один раз зимой (в марте). В губе Лобаниха (66°33.354' С; 33°14.217' В) исследования выполняли только в летнее время один раз в месяц. Исследованы также меромиктическое озеро Йоканское и несколько ковшовых губ на Терском берегу Кандалакшского залива, в том числе Малая Пирья, губа Педуниха, лагуна за Тихими островами в Порьей губе и лагуна «Озерки» в Восточной Порьей губе (Кандалакшский государственный заповедник), а также несколько водоемов, находящихся на разных стадиях отделения от моря в окрестностях Беломорской биостанции МГУ.

В каждом водоеме в самой глубокой точке на разных горизонтах отбирали пробы воды с помощью погружного насоса Seaflo SFSP 1-LO16-01 (Китай). В водоемах с резкой вертикальной неоднородностью отбор проб насосом позволяет отдельно анализировать состав планктонного сообщества с дискретностью до 10 см по вертикали, что и было нужно для выполнения поставленной цели. В зоне хемоклина мы отбирали пробы в шагах 0,1-0,25 м. Из каждого горизонта набирали 2 л воды, которые в лаборатории с помощью вакуумного насоса фильтровали через мельничный газ с ячейей 18 мкм; организмы с фильтра смывали в камеру Богорова. Небольшую порцию воды из каждого горизонта концентрировали центрифугированием (Eppendorf Centrifuge 5804, Германия, 10 мин, 2500g) и просматривали под люминесцентным микроскопом Leica с набором фильтров N2.1 (возбуждение/пропускание 515-560/580 нм).

Физико-химические параметры воды на тех же горизонтах регистрировали с помощью зондов: температуру, соленость и величину редокс-потенциала – зондом YSI PRO 30 (YSI, USA), концентрацию растворенного кислорода – зондом ProODO Optical Dissolved Oxygen Instrument (YSI, USA). Кроме того, в самих пробах в момент отбора измеряли pH портативным измерителем качества воды WaterLiner WMM-73 (Metronx, Тайвань) и отмечали цвет воды, характерный для серных бактерий.

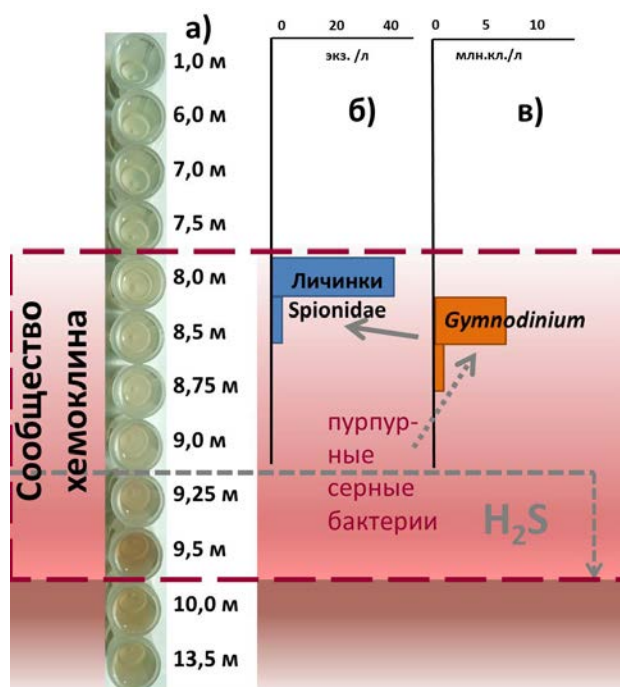
Результаты и обсуждение

Из двенадцати исследованных ковшовых губ и лагун скопления личинок Spionidae обнаружены в трех: в бухте Биофильтров, губе Лобаниха и в лагуне Озерки в Восточной Порьей губе. Все эти водные объекты характеризуются наличием водообмена с морем. Бухта Биофильтров не отделена от моря и имеет полноценные беломорские приливы; губа Лобаниха соединена с морем узким мелким проливом, который не препятствует приливным колебаниям; лагуна Озерки сообщается с морем через порог, обсыхающий вовремя отлива, заброс морской воды происходит при высоте воды 1,2 м над уровнем малой воды, а приливные колебания в лагуне имеют амплитуду несколько см. Все три водоема заполнены морской водой, стратифицированной по вертикали. В бухте Биофильтров и лагуне Озерки есть постоянная анаэробная зона, тогда как в губе Лобаниха аноксия, зарегистрированная в августе 2020 и 2022 гг. имела эпизодический характер.

В каждом из этих водоемов личинки Spionidae концентрировались немного выше редокс-перехода в слое толщиной 10-20 см (рис. 1). Наибольшая концентрация личинок 1,2 тыс.экз./л была зарегистрирована в Бухте Биофильтров 08.10.2021 на глубине 7,1 м. Зона их обитания характеризовалась соленостью 25,0-27,6‰, температурой 1,4-7,5°C, ослабленными, в силу

глубинного положения, сезонными колебаниями температуры, содержанием растворенного кислорода ≤ 1 мг/л (что ниже порогового значения, принятого для аэробных условий), рН 7,0-7,9 и освещенностью 2-1000 лкс. В некоторых случаях вода в этом слое имела слабый запах сероводорода.

В бухте Биофильтров в зоне обитания личинок *Spionidae* мы обнаружили цветение беспанцирных динофлагеллят *Gymnodinium* (рис.1), численность которых порой превышала 20 млн. кл./л. Слой *Gymnodinium* существовал на протяжении всего периода наблюдений, включая зиму, в том числе в декабре – в период полярной ночи. Судя по всему, этот вид – гетеротроф, но внутри его клеток в летнее время мы находили включения с яркой флуоресценцией, которые могут быть хлоропластами, захваченными у других водорослей, либо результатом неполного переваривания съеденных клеток водорослей, которые в пробах были малочисленными. В это время у личинок *Spionidae* кишечник также был наполнен содержимым с яркой флуоресценцией, характерной для хлорофилла *a*. По всей видимости, личинки питаются динофлагеллятами *Gymnodinium*, и корма для них достаточно в течение всего года. Взрослые особи *Polydora cf. ciliata*, которые образуют на дне кольцевое поселение на границе аэробной и анаэробной зон, также питаются фитопланктоном. Мы проанализировали на спектрофотометре ацетоновые экстракты из их кишечников и обнаружили пик поглощения света с длиной волны 664 нм, соответствующей хлорофиллу *a* водорослей.



Ранее сообщалось, что на тех же горизонтах водной толщи, где обитают *Gymnodinium* и личинки *Spionidae*, присутствуют пигменты пурпурных и коричнево-окрашенных зеленых серных бактерий, что противоречит их анаэробной природе (Котик и др., 2022). Было высказано предположение, что это результат включения в трофические сети. Вполне вероятно, что фототрофные серные бактерии захватываются гетеротрофными микроорганизмами, в том

числе динофлагеллятами, и это один из механизмов передачи первичной продукции аноксигенного фотосинтеза к вышележащему сообществу аэробных организмов.

В личинках *Spionidae* из губы Лобаниха содержимое кишечника не обладало флуоресценцией, в хемоклине этой губы не отмечено массовое развитие каких-либо одноклеточных водорослей. Личинок из Порьей губы на предмет флуоресценции не изучали.

Заключение

В трех водоемах на побережье Кандалакшского залива Белого моря обнаружены скопления планктонных личинок *Spionidae*, приуроченные к зоне с гипоксией. В хемоклине бухты Биофильтров личинки *Spionidae* входят в состав планктонного сообщества, которое включает динофитовые водоросли *Gymnodinium*, которыми питаются личинки, а также серные бактерии, осуществляющие аноксигенный фотосинтез с использованием сероводорода. В бухте Биофильтров, где аноксигенная зона существует круглогодично, все три компонента сообщества присутствуют в хемоклине в течение всего года.

Список литературы

1. Котик А.А., Макеева А.А., Потапенко А.И., Лабунская Е.А., Воронов Д.А., Краснова Е.Д. Идентификация фотосинтетических пигментов пурпурных серных бактерий в меромиктических водоемах окрестностей ББС МГУ ИМ. Н. П. Перцова // Труды X Международной научно-практической конференции “Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)”. – Т. 2. – Тверь: ООО ПолиПРЕСС, 2022. – С. 251–255.
2. Краснова Е.Д., Воронов Д.А. Подводное меромиктическое озеро в бухте Биофильтров (Белое море, Кандалакшский залив, окрестности Беломорской биостанции МГУ) // Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. – Т. 3. – Москва: ИО РАН, 2019. – С. 165–169.
3. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Кокрятская Н.М., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л., Шапоренко С.И. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // Комплексные исследования Бабьего моря, полу-изолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота — изменения на фоне трансгрессии берегов. Труды Беломорской биостанции МГУ. – Т. 12. – Москва: Т-во научных изданий КМК, 2016. – С. 211–241.
4. Саввичев А.С., Лунина О.Н., Русанов И.И., Захарова Е.Е., Веслополова Е.Ф., Иванов М.В. Микробиологические и изотопно-геохимические исследования озера Кисло-Сладкое – меромиктического водоема на побережье Кандалакшского залива Белого моря // Микробиология. – 2014. – Т. 83. – С. 191–203.
5. Gorlenko V.M., Vainstein M.B., Kachalkin V.I. Microbiological characteristic of lake Mogilnoye // Arch. Hydrobiol. – 1978. – V. 81, № 4. – P. 475–492.
6. Krasnova E., Matorin D., Belevich T., Efimova L., Kharcheva A., Kokryatskaya N., Losyuk G., Todorenko D., Voronov D., Patsaeva S. The characteristic pattern of multiple colored layers in coastal stratified lakes in the process of separation from the White Sea // Chinese Journal of Oceanology and Limnology. – 2018. – No.6. – Pp. 1–16.