

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА АКВАТОРИИ МИДИЙНО-УСТРИЧНОЙ ФЕРМЫ И ЕГО РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ КОРМОВОЙ БАЗЫ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ МОЛЛЮСКОВ (ЧЕРНОЕ МОРЕ, П. КАЦИВЕЛИ)

О. А. Трощенко, к. г. н., ст. н. с., Н. В. Поспелова, ст. н. с.,
А. А. Субботин, д. б. н., проф., зав. отд.

ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН»
e-mail: oleg_tr59@mail.ru

По данным ежемесячных комплексных наблюдений в течение двухлетнего цикла (март 2010 – март 2012 гг.) в районе расположения мидийно-устричной фермы (Черное море, п. Кацивели, Крым) рассмотрены особенности межгодовой и сезонной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик, а также состояние фитопланктона как основы кормовой базы культивируемых моллюсков. Показана зависимость пищевого спектра моллюсков от сезонной и межгодовой изменчивости температуры воды и содержания биогенов.

Ключевые слова: термохалинная структура, сезонный термоклин, гидрологический режим, биогенные элементы, фитопланктон, спектр питания

Эффективность функционирования морских ферм по выращиванию моллюсков в значительной мере определяется состоянием кормовой базы. В прибрежной зоне Южного берега Крыма (ЮБК) наряду с одноклеточными водорослями моллюски используют в пищу бактерии, фитогенный детрит, растворенное органическое вещество. Минимальная концентрация трофически ценной части взвешенного органического вещества, позволяющая удовлетворить потребности культивируемых моллюсков, составляет 170 мг/м³. Наиболее высокие темпы роста и быстрое развитие гонад у моллюсков наблюдаются при питании водорослями [1]. Показано [3], что предпочтительным кормом для культивируемых моллюсков являются мелкие одиночные водоросли, относящиеся к отделам динофитовых, криптофитовых, золотистых и зеленых размером до 20 мкм. Обычно их численность не превышает 2-10 % от общей численности фитопланктона. Довольно крупные клетки (до 40-80 мкм) динофитовых водорослей, в основном из родов *Prorocentrum* и *Dinophysis*, также входят в пищевой рацион мидий и устриц.

Основой внутригодовой изменчивости видового и количественного состава фитопланктона является гидролого-гидрохимический режим, прежде всего, температурные условия и содержание биогенов. Температура воды определяет динамику растворенного кислорода и фильтрационную активность моллюсков, а концентрация биогенных элементов – уровень развития микроводорослей.

Комплекс наблюдений, обеспечивающих функционирование мидийно-устричной фермы в районе п. Кацивели, выполнялся с марта 2010 по март 2012 г. Схема расположения фермы и станций отбора проб, видов работ, методов обработки данных, а также некоторые результаты исследований представлены в [2, 4, 5]. Ниже приводится анализ внутригодовой изменчивости и межгодовых отличий характеристик гидролого-гидрохимического режима за весь цикл наблюдений. На этом фоне рассматривается динамика видового и количественного состава фитопланктона, а также пищевой спектр культивируемых моллюсков.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Данные по сезонной изменчивости температуры на акватории фермы в 2010-2012 гг. показывают как степень соответствия среднееголетним условиям, так и существенные межгодовые отличия. Для ЮБК 2010 г. характеризовался как год с экстремальным прогревом поверхностных вод за многолетний период наблюдений и отсутствием проявлений интенсивных апвеллингов. На этом фоне во внутригодовом ходе температуры выделяются четыре гидрологических сезона: зимний – с конца января до конца марта и перепадом температуры от 9,0 до 9,8 °С; весенний переходный – с начала апреля до начала июня с температурным диапазоном от 9,8-10,0 до 23,4-24,0 °С; летний – с начала июня до начала сентября и диапазоном изменчивости температур от 24,0 до 26,7 °С с абсолютным максимумом (29,5 °С) в середине августа; осенний переходный – с начала сентября до конца декабря (с переходом на январь 2011 г.) и перепадом температуры от 26,7 до 12,1 °С.

Внутригодовой ход температуры воды в 2011 г. был близок к среднееголетнему распределению, а количество и интенсивность апвеллингов в июне-августе соответствовали среднееголетним наблюдениям за период с 70-х до начала 90-х гг. прошлого века. В соответствии с этим, параметры гидрологических сезонов имели некоторые отличия от 2010 г.: зимний – с февраля до середины апреля и перепадом температур от 8,0 до 10,0 °С с кратковременным понижением в конце февраля до 6,8 °С; весенний переходный – с середины апреля до начала июня и увеличением температуры от 10,0 до 22,0 °С; летний – с середины июня до конца августа с интервалом измеренных температур от 22,0 до 24,0-26,0 °С с периодами чередования сгонно-нагонных процессов: 1) со второй половины июня до середины июля и резким понижением температуры с 22,0 до 9,0-10,0 °С, 2) с конца июля по начало августа с падением температуры с 26,0 до 18,5 °С; осенний переходный – с начала сентября до конца декабря и понижением температуры с 21,5 до 10,2 °С.

Соленость в районе п. Кацивели за период с 2010 по 2012 г. изменялась в диапазоне 17,2-18,2 ‰. Эти показатели соответствуют оптимальным для развития моллюсков [1]. В целом годовой ход солености соответствовал среднееголетнему распределению. Минимальные значения (17,19-17,22 ‰) наблюдались в период интенсивного притока азовоморских вод в июне-июле 2010 г., а максимальные (17,95-18,05 ‰) – в феврале-марте 2012 г., во время усиления зимнего вертикального перемешивания. Следует отметить, что за весь двухлетний цикл наблюдений были зафиксированы только отрицательные аномалии солености по отношению к среднееголетним данным.

Распределение растворенного кислорода находилось в полном соответствии с режимом данного показателя в прибрежной зоне ЮБК. Повышенные абсолютные значения (7,38-7,52 мл/л) характерны для зимнего периода, а пониженные (5,38-5,42 мл/л) – для летнего. Относительное содержание кислорода колебалось от 95,4 % в зимний период до 115,1 % – в летний. Выявлены характерные повышения абсолютного содержания кислорода в период интенсивного апвеллинга в июне 2011 г. до зимних значений и повышение относительного содержания кислорода до максимальных величин в период активного поступления азовоморских вод в июле-августе 2010 г.

Азот относится к числу важнейших биогенных элементов, поскольку концентрация его соединений определяет биологическую продуктивность водоема. Соединения азота необходимы для питания фитопланктона, который усваивает их в процессе фотосинтеза. Минеральные формы азота представлены нитритным, нитратным и аммонийным азотом. В акватории фермы концентрации нитритов колебались в диапазоне от аналитического нуля до 2,9 мкг/л. Максимальные значения наблюдались в период повышенной динамической активности вод – с декабря по март.

Основными источниками поступления нитратного азота в исследуемую акваторию является зимнее конвективное перемешивание вод, а в летний гидрологический сезон – апвеллинги. Поэтому диапазон изменчивости концентраций нитратов в поверхностном слое моря характеризовался минимальными значениями (от 0 до 2,0 мкг/л) в теплый период года и максимальными (от 8,0 до 12,0 мкг/л) – с декабря по март. Проявление апвеллингов различной интенсивности летом 2011 г. привело к повышению концентрации нитратов на акватории фермы до 4,3 мкг/л в июне и до 2,0 мкг/л – в августе.

Сезонной динамики аммония в поверхностном слое фермы не наблюдалось. Пределы колебаний значений аммонийного азота составляли от 5,1-5,3 мкг/л в марте и мае 2010 г., а также в феврале,

июле и октябре 2011 г. до 30,3 мкг/л – в августе 2010 г. и 29,3 мкг/л – в декабре 2011 г. Повышение концентраций аммония в июне-августе 2011 г. проявилось лишь в незначительном их увеличении на фоне предшествующих значений.

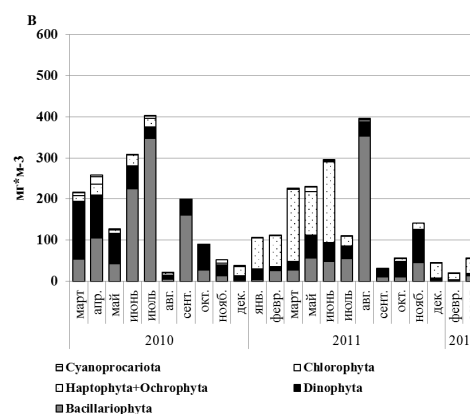
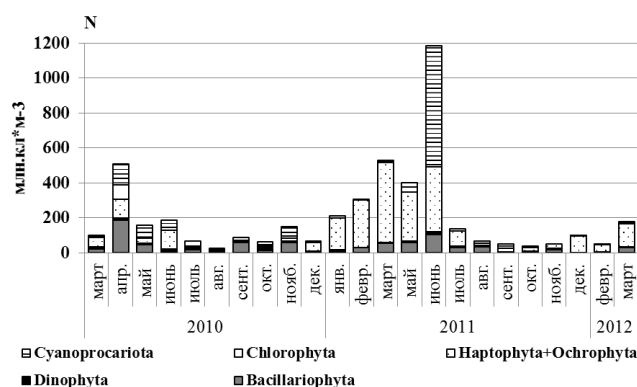
Внутригодовой ход органического азота также не имел ярко выраженной сезонной изменчивости. В период наблюдений содержание органического азота в поверхностном слое фермы колебалось в пределах 61,5-395,5 мкг/л. Незначительный максимум его содержания отмечался в весенне-летний период, а относительный минимум – осенью и зимой.

За весь период наблюдений концентрации минерального фосфора колебались в диапазоне от 2,0 до 10,5 мкг/л и не имели ярко выраженного сезонного хода. Только активизация сгонно-нагонных процессов в июне-августе 2011 г. привела к кратковременному повышению содержания фосфатов с 3,0 до 8,5 мкг/л. Следует отметить, что наблюдаемые концентрации фосфатов в поверхностном слое моря свидетельствуют об отсутствии случаев их дефицита даже в периоды весенней и осенней вегетации фитопланктона. Этот факт подтверждает заключение о высокой динамической активности района, способствующей обогащению вод фосфатами в течение всего года.

В период исследований концентрация органического фосфора в поверхностном слое изменялась от 4,0 до 17,9 мкг/л. Хотя минимальные значения органического фосфора отмечались в холодный период года, максимальные не имели ярко выраженной сезонной динамики. Лишь в период апвеллинга в июне 2011 г. концентрации органического фосфора резко увеличились до значений, близких к экстремально высоким за весь период наблюдений.

Отсутствие прямого влияния речного стока в формировании гидрохимической структуры вод в исследуемом районе определило относительно невысокие концентрации кремния. По этой причине его сезонное распределение определялось в основном активностью вертикальных движений и потребления кремния диатомовыми водорослями. Исходя из этого, максимальные концентрации кремния (143,8 мкг/л) наблюдались зимой и ранней весной, а минимальные (4,6 мкг/л) – в летний сезон года, вследствие интенсивного развития диатомовых водорослей. Наблюдаемое в июне 2010 г. увеличение концентрации кремния до 118 мкг/л могло являться следствием поступления распресненных азовоморских вод, отмеченного по пониженным значениям солености. Резкое увеличение концентрации кремния до 90 мкг/л в конце июня 2011 г. было связано с его поступлением из придонных горизонтов в верхние слои моря при интенсивном апвеллинге. С другой стороны, августовский апвеллинг не привел к аналогичному результату, поскольку носил «скрытый» характер.

За период наблюдений обнаружено 168 видов и разновидностей микроводорослей, относящихся к 85 родам и 9 отделам. Наибольшим количеством видов представлены динофитовые (75 видов) и диатомовые (59) водоросли, значительно меньше отмечено золотистых (20). Зеленые водоросли представлены 5, цианобактерии – 4, криптофитовые – 3 видами. В исследуемый период суммарная численность фитопланктона на ферме изменялась в пределах 25-3541 млн. кл./м³, биомасса – 19-1070 мг/м³ (рисунок). Максимальные значения численности зафиксированы в мае и июне 2011 г., биомассы – в июле 2010 г., в мае и августе 2011 г. Наибольшего количественного развития достигали диатомовые, золотистые водоросли и цианобактерии.



Динамика численности и биомассы основных таксономических групп фитопланктона

Зимний период 2010-2011 гг. характеризовался доминированием в фитопланктоне кокколитофорида *E. huxleyi*. Декабрь 2010 г. отличался не только снижением общей численности и биомассы фитопланктона, но и уменьшением его видового разнообразия. В январе 2011 г. отмечалось увеличение количественных показателей фитопланктона. Наряду с кокколитофоридами, существенный вклад в суммарную численность вносили силикафлагелляты *Octactis octonaria* и *Dictyocha speculum*. В феврале 2011 г., при повышении концентрации нитратов в результате зимнего конвективного перемешивания, увеличилась численность *E. huxleyi*. В феврале-марте 2012 г. при минимальных для этого периода значениях температуры (6,3-7,6 °C) отмечена минимальная численность (до 70 млн. кл./м³) и биомасса (до 26 мг/м³) микроводорослей.

В весенний период максимум развития фитопланктона отмечен в апреле 2010 г. (до 500 млн. кл./м³). С марта по июнь доминировала кокколитофорида *Emiliania huxleyi* (ценный кормовой объект мидий и устриц). В апреле ей сопутствовали виды рода *Chaetoceros spp.*, не представляющие пищевой ценности для моллюсков из-за очень длинных щетинок. В мае-июне 2010 г. отмечено снижение всех количественных показателей фитопланктона, что, возможно, связано с формированием сезонного термоклина на глубинах 5-10 м [4]. Иная картина наблюдалась в 2011 г. Пик развития фитопланктона был сдвинут на май (до 1050 млн. кл./м³). В мае, при прогреве толщи вод до 17,4 °C, численность *E. huxleyi* достигала максимальных за период наблюдения значений (850 млн. кл./м³). В июне, при развитии интенсивного апвеллинга, отмечены повышенные концентрации органического вещества на поверхности моря, и, как следствие, численность фитопланктона на всех станциях резко возросла, достигая 2-3 млрд. кл./м³ на поверхности и 28 млрд. кл./м³ – у дна. При этом 83-98 % от суммарной численности составили мелкие цианобактерии (Ø клеток 2-3 мкм), которые, как известно, могут выделять биотоксины. Продолжилось развитие *E. huxleyi*, а также бентосных диатомовых и динофитовых родов *Ceratium* и *Dinophysis*. Динофитовые водоросли рода *Dinophysis* являются наиболее опасными для марикультуры уже при концентрации 200 кл./л [2]. В июне 2011 г. численность *Dinophysis acuminata* составила 240 кл./л.

В июле-августе 2010 и 2011 гг. численность фитопланктона понизилась до 100-200 млн. кл./м³. В планктоне появилась крупноклеточная диатомовая водоросль *Pseudosolenia calcar-avis*, доминирующая по биомассе в июле 2010 г. (до 1 г/м³) и в августе 2011 г. (до 0,5 г/м³). Этот вид не является кормовым для культивируемых моллюсков из-за больших размеров ($L_{кл.}$ до 1200 мкм), а его развитие в районе марихозияства снижало пищевую ценность живой составляющей взвешенного вещества. Однако, наряду с недоступными для питания моллюсков видами, развивались мелкие диатомовые, динофитовые и золотистые, являющиеся ценным кормом.

В осенний период численность фитопланктона оставалась низкой (до 110 млн. кл./м³). В сентябре 2010 г. на смену *P. calcar-avis* пришли диатомовые рода *Pseudo-nitzschia spp.* и крупноклеточная *Proboscia alata*. В сентябре 2011 г. в планктоне доминировали по численности цианобактерии и зеленые водоросли, а по биомассе – динофитовые, доступные по размерам для питания моллюсков. В октябре-ноябре по численности и биомассе доминировали мелкоклеточные динофитовые (Ø_{кл.} 4-50 мкм), а в фитопланктоне вновь появилась *E. huxleyi*. Это формировало благоприятную кормовую базу для культивируемых моллюсков. В октябре-ноябре 2010 г. отмечено значительное количество колониальной диатомовой водоросли-вселенца *Chaetoceros tortissimus*. Продолжала развитие *P. alata*. С октября 2011 г. появилась холодолюбивая мелкоклеточная диатомея *Skeletonema costatum*.

Для уточнения пищевого спектра культивируемых моллюсков выполнен анализ содержимого их желудков, а также фекальных пеллет и псевдофекалий. Состав содержимого желудков мидий и устриц соответствовал таксономическому составу фитопланктона в районе фермы. В желудках мидий и устриц на протяжении годового цикла более 80 % клеток составляли динофитовые водоросли: *P. micans*, *P. cordatum*, *P. compressum*, *S. trochoidea*. Следует отметить, что эти виды обычно немногочисленны, а иногда и единичны в суммарном фитопланктоне. В пищевом комке постоянно встречалась золотистая водоросль *E. huxleyi*, которая, по предварительным данным, является ценным кормовым объектом моллюсков. Наряду с клетками фитопланктона, в желудках круглогодично присутствовали зоопланктонные организмы размером до 200 мкм, личинки двустворчатых моллюсков. При наличии в планктоне не кормового вида (крупноклеточной диатомовой *P. calcar-avis*) в

желудки моллюсков попадали фрагменты панцирей ее клеток. С января по март 2011 г. при максимальной численности фитопланктона желудки мидий и устриц были «набиты» пищей (до 2500 тыс. кл. микроводорослей на одного моллюска). Многие из регистрируемых в желудках микроводорослей относятся к потенциально опасным, однако в 2010-2011 гг. эти виды не вызывали массового «цветения» в районе исследования. Так, в июне 2011 г. в пищевом комке мидий отмечено высокое количество потенциально ядовитой динофитовой водоросли *D. acuminata* (80-100 экз. на одного моллюска).

Недостаток доступного и ценного корма был отмечен в июле 2010 и 2011 гг. при низкой суммарной численности фитопланктона с доминированием *P. calcar-avis*. В этот период повышение температуры морской воды приводило к снижению концентрации кислорода, что негативно влияло на фильтрационную активность моллюсков. При этом в пищевом комке моллюсков обнаружены единичные клетки *P. micans* и фрагменты *P. calcar-avis*. Светло-соломенный цвет гепатопанкреаса (пищеварительной железы) указывает на недостаточное состояние кормовой базы моллюсков-фильтраторов. В гепатопанкреасе происходит внутриклеточное пищеварение и трансформация пигментов потребленных водорослей. Эти пигменты (каротиноиды) необходимы для жизнедеятельности моллюсков, а их состав постоянен при любом составе корма, поскольку водоросли, в свою очередь, содержат огромное разнообразие пигментов. Таким образом, цвет гепатопанкреаса может варьировать от светло-желтого (при недостатке пищи) до темно-коричневого (при достаточной кормовой базе), что связано с концентрацией в нем пигментов, потребленных с пищей. Причем потеря цвета гепатопанкреасом происходит не одномоментно: это становится заметным при длительном голодании моллюсков [2].

Известно, что моллюски отфильтровывают огромное количество взвеси, значительно превышающее по объему их суточные рационы, сортируя при этом частицы по размерам и пищевой ценности. Несъедобные (крупные и минеральные) частицы взвеси перемещаются мимо рта, формируются в так называемые псевдофекалии и, минуя кишечник, выводятся наружу. Неусвоенные водоросли выводятся живыми в составе фекалий [1]. Моллюски формировали псевдофекалии на протяжении всего периода исследований. В их составе в значительных количествах обнаружены пенистые формы диатомовых водорослей, колониальные крупно- и мелкоклеточные диатомовые, мелкие зеленые водоросли и, единично, крупные клетки динофитовых водорослей. В фекалиях моллюсков отмечены те же виды, что и в содержимом желудков, а также фрагменты зоопланктонных организмов, большое количество цианобактерий и жгутиковых водорослей. Многие из указанных видов водорослей были живыми и сохраняли подвижность.

Таким образом, несмотря на значительную сезонную и межгодовую изменчивость температуры воды и содержания биогенов, кормовая база была благоприятна для культивирования моллюсков. В составе фитопланктона постоянно вегетировали виды микроводорослей, доступные для питания и ценные в пищевом отношении. В результате мидии и устрицы не испытывали дефицита корма в течение всего периода наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Марикультура мидий на Черном море* / под ред. В.Н. Иванова. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. – 314 с.
2. *Поспелова Н.В.* Формирование кормовой базы моллюсков, культивируемых на морской ферме // Актуальные проблемы аквакультуры в современный период : матер. Междунар. науч. конф. (г. Ростов-на-Дону, 28 сентября-2 октября 2015 г.). – Ростов-н/Д.: АЗНИИРХ, 2015. – С. 135-138.
3. *Сеничева М.И.* Характеристика фитопланктона как объекта питания *Mytilus galloprovincialis* Lam. в районе марихозяйства бухты Ласпи // Экология моря. – 1990. – Вып. 36. – С. 7-15.
4. *Троценко О.А., Субботин А.А., Щуров С.В., Еремин И.Ю.* Двухлетний цикл наблюдений за термохалинным режимом на мидийно-устричной ферме в районе Качивели (Черное море) // Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона : матер. VIII междунар. конф. (г. Керчь, 26-27 июня 2013 г.). – Керчь: ЮгНИРО, 2013. – С. 152-156.

5. Трощенко О.А., Куфтаркова Е.А., Лисицкая Е.В., Поспелова Н.В., Родионова Н.Ю., Еремин Н.Ю. Результаты комплексных экологических исследований на акватории мидийно-устричной фермы (Голубой залив, Крым, Черное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. – Вып. 26, ч. 1. – С. 291-309.

Поступила 22.06.2017 г.

Features of hydrological and hydrochemical regime in the mussel and oyster farming area and its role in the development of food resources for the cultured molluscs (Black Sea, Katsiveli Settlement). O. A. Troshchenko, N. V. Pospelova, A. A. Subbotin. *Based on the data from monthly complex observations during the two-year cycle (March 2010 – March 2012) at the mussel and oyster farming site (Black Sea, Katsiveli, Crimea), features of interannual and seasonal variability of hydrological and hydrochemical parameters were investigated, as well as the state of phytoplankton as the basis of food resources for the cultured molluscs. Dependency of food spectrum for the molluscs from seasonal and interannual variability of water temperature and biogenic content is shown.*

Keywords: thermohaline structure, seasonal thermocline, hydrological regime, biogenic elements, phytoplankton, food resources