

АКВАКУЛЬТУРА И ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО

УДК 639.4:574.583:556 (262.5)

**СТРУКТУРА ФИТО- И МЕРОПЛАНКТОНА В АКВАТОРИИ
МИДИЙНО-УСТРИЧНОЙ ФЕРМЫ НА ФОНЕ РАЗЛИЧНЫХ
ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
(ЧЕРНОЕ МОРЕ, ЮЖНЫЙ БЕРЕГ КРЫМА, ГОЛУБОЙ ЗАЛИВ)**

© 2019 г. О. А. Троценко, Е. В. Лисицкая, Н. В. Поспелова, А. А. Субботин

*Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН,
Севастополь, 299011*

E-mail: nvpospelova@mail.ru

Поступила в редакцию 11.07.2017 г.

В период с марта 2010 по март 2012 гг. в акватории мидийно-устричной фермы (Голубой залив, Южный берег Крыма) выполнен комплекс ежемесячных экологических исследований. Рассмотрены особенности межгодовой и сезонной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик морской воды и их влияние на состояние фито- и меропланктона. В 2010 г. отмечены экстремально высокие значения температуры воды, а летний период 2011 г. отличался активизацией прибрежных апвеллингов. Гидрохимический режим характеризовался хорошей аэрацией толщи вод, отсутствием заморных явлений, низким содержанием биогенных веществ. За период наблюдений обнаружено 168 видов и разновидностей микроводорослей, относящихся к 9 отделам, 85 родам; идентифицированы личинки 49 видов донных беспозвоночных. Сделан вывод о соответствии исследуемых параметров оптимальным для развития марикультуры двустворчатых моллюсков.

Ключевые слова: мидийно-устричная ферма, термохалинная структура, растворенный кислород, биогенные элементы, фитопланктон, меропланктон.

ВВЕДЕНИЕ

Создание морского хозяйства по выращиванию моллюсков на первый план ставит коммерческие вопросы. Однако промышленные масштабы культивирования невозможны без учета состояния вод и биоты в районах размещения марихозяйств. На темпы роста мидий и устриц, выращиваемых на ферме, существенное влияние оказывают температура воды, насыщенность ее кислородом, наличие доступного корма и многие другие факторы (Иванов и др., 1989). Основой кормовой базы культивируемых моллюсков является фитопланктон. Преобладание в пищевом спектре мидий и устриц доступных для питания видов микроводорослей в значительной мере определяет эффективность морского фермерства. Данные о структуре фитоплан-

ктона используют также для оценки качества вод в районе марихозяйства. Таксономический состав и количественные характеристики меропланктона — временного компонента зоопланктона, представленного пелагическими личинками донных беспозвоночных, не только отражают состояние бентосных популяций, но и напрямую влияют на весь процесс искусственного выращивания моллюсков. Мидия *Mytilus galloprovincialis* — основной объект культивирования, количество ее личинок в планктоне определяет потенциальные объемы конечной продукции (Холодов и др., 2010). Двустворчатый моллюск-фильтратор митилястер *Mytilaster lineatus* является трофическим конкурентом мидиям и устрицам *Grassostrea gigas* в процессе их выращивания подвесным методом. Личинки некоторых видов морских беспозвоночных,

оседа на коллекторы, оказывают негативное влияние на культивируемых моллюсков. Так, массовое развитие усонного рака баянуса *Amphibalanus improvisus* или полихет семейства Serpulidae приводит к увеличению численности их личинок в планктоне. Оседая на створки мидий и устриц, они строят известковые «домики», которые впоследствии портят товарный вид моллюсков и снижают их коммерческую ценность. Осевшие личинки хищного брюхоногого моллюска рапаны *Rapana venosa* перфорируют створки и поедают мясо моллюсков (Чухчин, 1984). Многощетинковые черви лизидиция *Lysidice ninetta* и полидора *Polydora websteri* также способны перфорируют створки мидий и устриц, что в конечном счете приводит к образованию блистеров и заилению внутренних полостей моллюсков, замедляет их рост и портит товарный вид (Киселева, 2004; Лисицкая и др., 2010).

Следовательно, для выработки рекомендаций по рациональному использованию природных ресурсов необходимо научное сопровождение процесса культивирования в виде экологического мониторинга — контроля состояния экосистемы и тенденций ее изменчивости. Мидийно-устричная ферма, принадлежащая ООО «Яхонт ЛТД», площадью около 5 га расположена в районе Южного берега Крыма (ЮБК) у поселка городского

типа (п.г.т.) Кацивели на траверзе мыса Кикинейз (акватория Голубого залива). Марихозяйство начало функционировать с 2006 г., а с марта 2010 г. по март 2012 г. здесь был выполнен ежемесячный комплексный экологический мониторинг, включающий гидрологические, гидрохимические и гидробиологические исследования. Продолжительность цикла наблюдений определялась сроками достижения культивируемыми моллюсками товарных размеров. Цель настоящей работы — проанализировать сезонную и межгодовую изменчивость состояния фито- и меропланктона под влиянием гидролого-гидрохимических характеристик.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Виды и методики выполнения работ определялись основными задачами и условиями для оптимального функционирования марикультурного комплекса, а методы обработки полученных материалов соответствовали необходимым требованиям (Трощенко, 2012). Гидрохимические анализы выполнены согласно описанной ранее методике (Руководство ..., 1993). Схема района исследований представлена на рис. 1.

При проведении комплексных экологических исследований определяли следующие параметры: температуру, соленость,

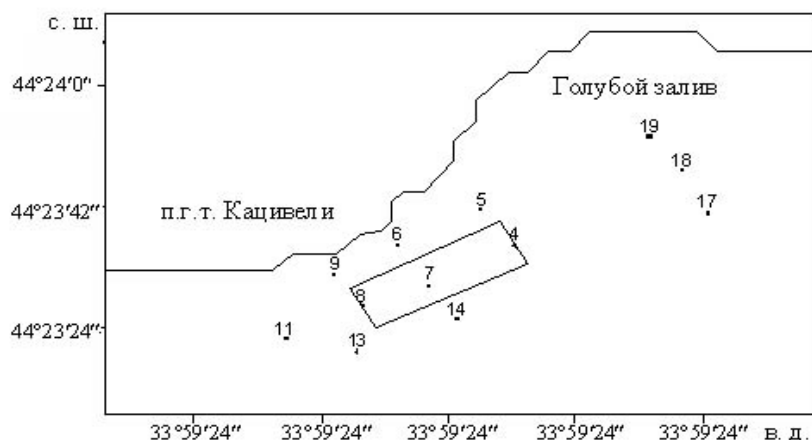


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в Голубом заливе (район п.г.т. Кацивели); станции 4, 7, 8 — мидийно-устричная ферма.

плотность морской воды, содержание растворенного кислорода, величину рН, содержание нитритного ($N-NO_2^-$), нитратного ($N-NO_3^-$), аммонийного азота ($N-NH_4^+$), фосфатов ($P-PO_4^{3-}$), силикатов, органического азота, органического фосфора, окисляемость морской воды, биологическое потребление кислорода (БПК₅), видовой состав и численность меропланктона; численность, биомассу и видовой состав фитопланктона, в том числе и кормового.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов, полученных в 2010 г., показал, что антропогенное влияние береговых источников загрязнения на район расположения фермы ограничивалось лишь узкой прибрежной зоной у п.г.т. Кацивели и в кутовой части Голубого залива (Троценко и др., 2012). Вследствие этого обобщение результатов исследований за два года ограничивалось данными двух станций (ст. 7 — ферма, ст. 14 — контрольная), а количество анализируемых гидрохимических характеристик — параметрами, определяющими кислородный и биогенный режимы акватории.

Термохалинная структура. Анализ факторов, формирующих термохалинную структуру прибрежных вод ЮБК, показал, что основными из них являются: климатические и синоптические особенности района, динамическая активность основного черноморского течения, влияние прибрежных апвеллингов, азовоморских вод и береговой сток (Ильин и др., 2012). Для ЮБК, где отсутствует регулярный береговой сток, а распределяющее влияние азовоморских вод в среднемноголетнем плане ограничивается районом Судака, основной составляющей внутригодовой изменчивости термохалинной структуры является температура.

Температура морской воды влияет на сроки размножения донных беспозвоночных. При их массовом нересте в планктоне существенно увеличивается количество личинок, в том числе конкурентов и «врагов» куль-

тивируемых моллюсков. Сезонная и синоптическая изменчивость фитопланктона как основы кормовой базы мидий и устриц также зависят от температурных условий на акватории фермы.

Исследования, посвященные современному состоянию гидрологического режима как Черного моря в целом, так и его отдельных районов, свидетельствуют о наблюдающейся с середины 1990-х—начала 2000-х гг. тенденции повышения температуры поверхностных вод (особенно в летний период) и одновременного понижения значений солёности. Такие изменения обычно связывают с «глобальным потеплением», что для района ЮБК проявляется в смене субширотного переноса атмосферных процессов на субмеридиональный и снижении западной составляющей скорости ветра, в увеличении атмосферных осадков в юго-восточной части моря, увеличении стока рек в Азовское море и на Кавказском побережье, в увеличении температуры воздуха и снижении активности сгонно-нагонных процессов (Ильин и др., 2012).

Для сравнения данных о внутригодовом ходе температуры и солёности на акватории фермы за 2010—2012 гг. со среднемноголетними характеристиками использовали материалы фактических наблюдений за температурой воды на океанографической платформе Морского гидрофизического института с 1981 по 2001 гг. (Куклин и др., 2003) и среднемноголетние значения солёности для Большой Ялты, взятые из открытых источников (Проект «Моря СССР» ..., 1991). На этом фоне наблюдения за внутригодовой изменчивостью температуры на акватории фермы в 2010—2012 гг. показали как степень их соответствия среднемноголетним данным, так и существенные межгодовые отличия (рис. 2).

За период наблюдений с 1931 по 2011 гг. отмечено, что 2010 г. являлся наиболее жарким для ЮБК. Среднегодовая температура воздуха достигала предельно высоких значений и составляла 17,03°C, а среднемесячные значения температуры

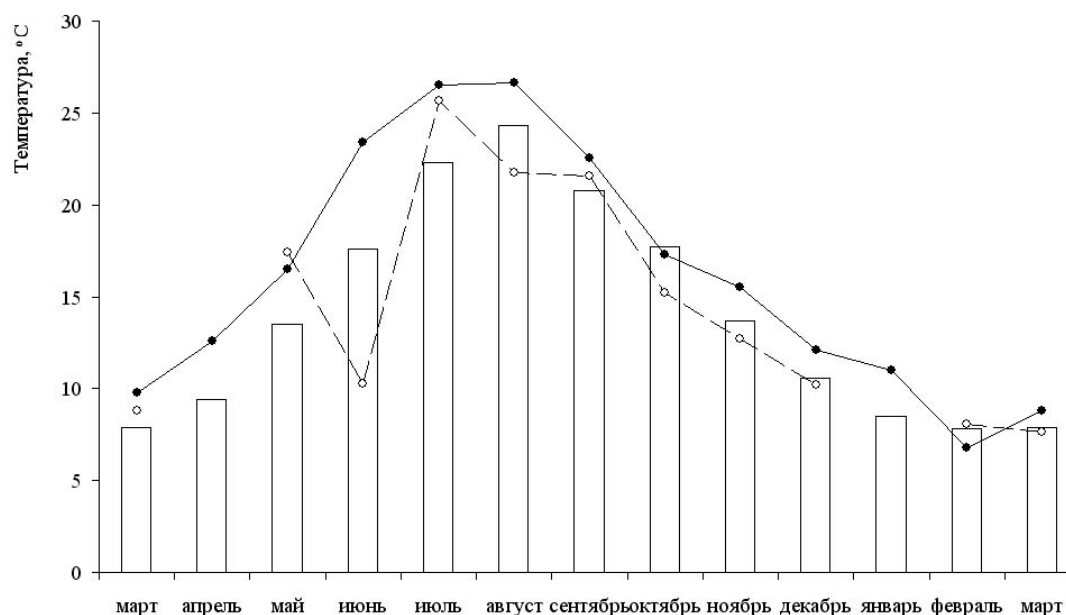


Рис. 2. Изменчивость поверхностной температуры воды на мидийно-устричной ферме с марта 2010 по март 2012 гг.: (●) — за первый год наблюдений, (○) — за второй год наблюдений, (□) — среднемесячная.

воздуха в Голубом заливе (п.г.т. Кацивели) в июле, сентябре, октябре и ноябре отмечены как экстремально высокие (Ильин и др., 2012). Как следствие, среднегодовая температура морской воды также имела экстремально высокие значения ($16,5^{\circ}\text{C}$), а ежемесячные измеренные значения превышали среднегодовые на $1,5\text{--}5,8^{\circ}\text{C}$.

Регулярные исследования в районе фермы начались в марте 2010 г., когда температура воды составляла $9,8^{\circ}\text{C}$. Поэтому для характеристики термического состояния воды за январь—февраль были привлечены данные ежемесячных измерений температуры в бухте Ласпи, входящей в одну структурную зону с районом Кацивели и имеющей близкие значения температуры в течение всего года. Здесь в конце января температура опустилась до $9,0^{\circ}\text{C}$, а в феврале—марте изменялась в диапазоне $9,0\text{--}10,0^{\circ}\text{C}$. Таким образом, для района Кацивели температурный минимум, вероятнее всего, наблюдался в январе и был близок к $9,0^{\circ}\text{C}$.

Съемки, выполненные на акватории фермы в апреле—июне, характеризовали

активный прогрев толщи вод с положительными временными градиентами температуры более $0,1^{\circ}\text{C}/\text{сут}$. В результате уже к концу апреля в слое $0\text{--}5$ м сформировались верхний квазиоднородный слой (ВКС) с температурой $12,25\text{--}12,59^{\circ}\text{C}$ и расположенный глубже сезонный термоклин, упирающийся в дно. К концу мая ВКС прогрелся до $15,91\text{--}16,47^{\circ}\text{C}$, а к концу июня — до $22,34\text{--}23,43^{\circ}\text{C}$. Одновременно с прогревом ВКС его мощность увеличилась до $8\text{--}9$ м, а значения температуры на придонном горизонте повысились с $9,76^{\circ}\text{C}$ в апреле до $11,85^{\circ}\text{C}$ — в июне.

Июльская и августовская съемки характеризовали максимальный прогрев толщи вод от поверхности ($26,51\text{--}26,67^{\circ}\text{C}$) до дна ($26,00\text{--}26,30^{\circ}\text{C}$). Поскольку экстремально высокие значения температуры воды до $29,0\text{--}29,5^{\circ}\text{C}$ были зафиксированы в районе ЮБК от Кацивели до б. Ласпи в первой половине августа, падение температуры до $26,0\text{--}26,7^{\circ}\text{C}$ во второй половине месяца явилось началом осеннего периода выхоложивания поверхности моря. Данные наблю-

дений, полученные с сентября по декабрь, подтверждают это заключение. При сохранении квазиоднородной вертикальной термической структуры вод на акватории фермы температура воды понизилась с конца августа—начала сентября по конец декабря со значений более 26°C до 12°C при средних отрицательных временных градиентах ($-0,11\dots-0,16^{\circ}\text{C}/\text{сут}$).

По характеру внутригодового хода температуры 2011 г. был ближе к среднемноголетнему распределению (рис. 2). Минимальная температура ($6,79^{\circ}\text{C}$) наблюдалась в конце февраля. После февральского минимума температура на акватории фермы стала повышаться со средним положительным временным градиентом $0,11^{\circ}\text{C}/\text{сут}$ и к концу мая ее значение составило $17,44^{\circ}\text{C}$.

Июньская съемка была выполнена в третьей декаде месяца и зафиксировала резкое падение температуры до $10,29^{\circ}\text{C}$, что явилось результатом проявления прибрежного апвеллинга. Анализ серии спутниковых снимков в инфракрасном диапазоне на период выполнения июньской съемки показал, что апвеллинг образовался в первой половине месяца и продолжался с чередованием сгонов и нагонов до середины июля. При этом он охватывал обширную акваторию от м. Айя до района Судакской бухты, а наиболее интенсивно проявлялся между б. Ласпи и п.г.т. Кацивели. Чередование сгонно-нагонных явлений в б. Ласпи наблюдалось со второй декады июня до середины июля, а наиболее резкое падение температуры воды с $22,0^{\circ}\text{C}$ до $9,5^{\circ}\text{C}$ отмечено на начальной стадии процесса (Щуров и др., 2013). В третьей декаде июля температура воды повысилась до $25,69^{\circ}\text{C}$ и превысила среднемноголетнее значение, а в августе вследствие проявления «скрытого» апвеллинга вновь понизилась до $21,74^{\circ}\text{C}$. Августовский апвеллинг также проявлялся на большей части акватории ЮБК, однако был кратковременным и менее интенсивным. Так, в районе б. Ласпи падение температуры было отмечено с начала третьей декады июля ($26,0^{\circ}\text{C}$) до конца первой

декады августа ($18,5^{\circ}\text{C}$). Таким образом, съемка, выполненная 17 августа, соответствовала периоду «релаксации» апвеллинга с последующим повышением поверхностной температуры до $24,8^{\circ}\text{C}$.

Наиболее резкое выхолаживание поверхностных вод отмечалось в период между сентябрьской и октябрьскими съемками, когда временные градиенты достигли максимальных отрицательных значений ($-0,21^{\circ}\text{C}/\text{сут}$). Дальнейшее выхолаживание продолжалось вплоть до марта 2012 г. со средними временными отрицательными градиентами $-0,10^{\circ}\text{C}/\text{сут}$, а температура опустилась до $7,63^{\circ}\text{C}$ и вновь стала ниже средних значений на $0,3^{\circ}\text{C}$.

Соленость в акватории Кацивели в период 2010–2012 гг. изменялась в диапазоне $17,2-18,2\text{‰}$. Эти показатели соответствуют оптимальным для развития моллюсков (Марикультура мидий ..., 2007). Годовой ход солености в целом соответствовал среднемноголетнему распределению. Минимальные значения ($17,19-17,22\text{‰}$) наблюдались в период интенсивного притока азовоморских вод в июне—июле 2010 г., а максимальные ($17,95-18,05\text{‰}$) — в феврале и марте 2012 г. во время усиления зимнего вертикального перемешивания. Следует отметить, что за весь двухлетний цикл наблюдений были зафиксированы только отрицательные аномалии солености.

Гидрохимическая структура.

За период исследований абсолютные концентрации кислорода в поверхностном слое на акватории фермы изменялись от $5,38$ до $7,49$ мл/л. Диапазон изменчивости относительного содержания кислорода также был невелик — от $95,4$ до $115,1\%$. Внутригодовое распределение кислорода имело классический характер. Максимальные значения абсолютного содержания кислорода наблюдали в холодный период года, а минимальные — в теплый, что соответствует характеру изменчивости температуры воды для 2010–2012 гг.

Относительное содержание кислорода по большей части превышало равновесное

с атмосферой, и только в зимний период отмечено незначительное недонасыщение вод кислородом. Межгодовые отличия в распределении кислорода проявились в более плавном характере сезонной изменчивости характеристик в 2010 г. и значительных колебаниях в летний период 2011 г. Последнее связано с активизацией сгонно-нагонных процессов в июне—августе. При этом июньские концентрации растворенного кислорода (около 7,5 мл/л) были близки к абсолютному максимуму в зимний период.

За весь период наблюдений концентрации минерального фосфора колебались в пределах 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 вод района, способствующей обогащению акватории фермы фосфатами в течение всего календарного года.

В период исследований концентрация органического фосфора в поверхностном слое изменялась от 4,0 до 17,9 мкг/л. И, хотя минимальные значения органического фосфора отмечали в холодный период года, максимальные значения 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.

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.

Основным источником поступления нитратного азота на 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 в теплый период года (от 0 до 2,0 мкг/л) 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 в июне и августе до 4,3 и 2,0 мкг/л соответственно.

Сезонной динамики содержания аммония в поверхностном слое фермы не наблюдали. Пределы колебаний значений аммонийного азота составляли в марте и мае 2010 г., в феврале, июле и октябре 2011 г. 5,1—5,3 мкг/л, в августе 2010 г. — 30,3 мкг/л, в декабре 2011 г. — 29,3 мкг/л. Повышение концентраций аммония в июне—августе 2011 г. проявилось лишь в незначительном их увеличении на фоне предшествующих значений.

Внутригодовой ход содержания органического азота в поверхностном слое фермы также не имел ярко выраженной сезонной изменчивости. Его значения колебались в пределах 61,5—395,5 мкг/л, незначительный максимум отмечался в весенне-летний период, а относительный минимум — осенью и зимой.

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 потреблением диатомовыми водорослями. Исходя из этого максимальные концентрации кремния (143,8 мкг/л) наблюдались зимой и ран-

ней 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 влияния распресненных азовоморских вод, отмеченного по пониженным значениям солености. Резкое увеличение концентрации кремния в конце июня 2011 г. до 90 мкг/л 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.

Меропланктон. За весь цикл наблюдений в акватории марихозьяства идентифицированы пелагические личинки 49 видов донных беспозвоночных, относящихся к классам Bivalvia — 9 видов, Gastropoda — 10, Polychaeta — 16; отрядам Cirripedia — 2 и Decapoda — 10 видов. Единично встречались не идентифицированные до вида планулы Hydrozoa, личинки Bryozoa, Nemertea и актинотрохи *Phoronis* (Phoronidea).

Численность меропланктона и его таксономический состав в 2010 и 2011 гг. имели как общие черты, так и существенные отличия. С марта по май 2010 г. и с ноября 2010 г. по июнь 2011 г. число личинок колебалось от единиц до нескольких десятков. Максимальные значения в сотни и тысячи экземпляров зарегистрированы в июне—октябре 2010 г. и в июле—сентябре 2011 г. (рис. 3). Отмечена тенденция увеличения численности меропланктона по мере удаления от берега.

Зимний период 2011 г. отличался повышенной по сравнению со среднемноголетними значениями температурой воды. В январе 2011 г. численность личинок донных беспозвоночных в районе Качивели изменялась от 11 до 287 экз/м³. Видовой состав меропланктона был представлен в основном личинками мидий с максимальной численностью до 239 экз/м³. Преобладали личинки на ранних стадиях развития, что подтверждает зимний нерест мидий, характерный для прибрежных вод Крыма (Иванов и др., 1989). Численность личинок других видов двустворчатых моллюсков не превыша-

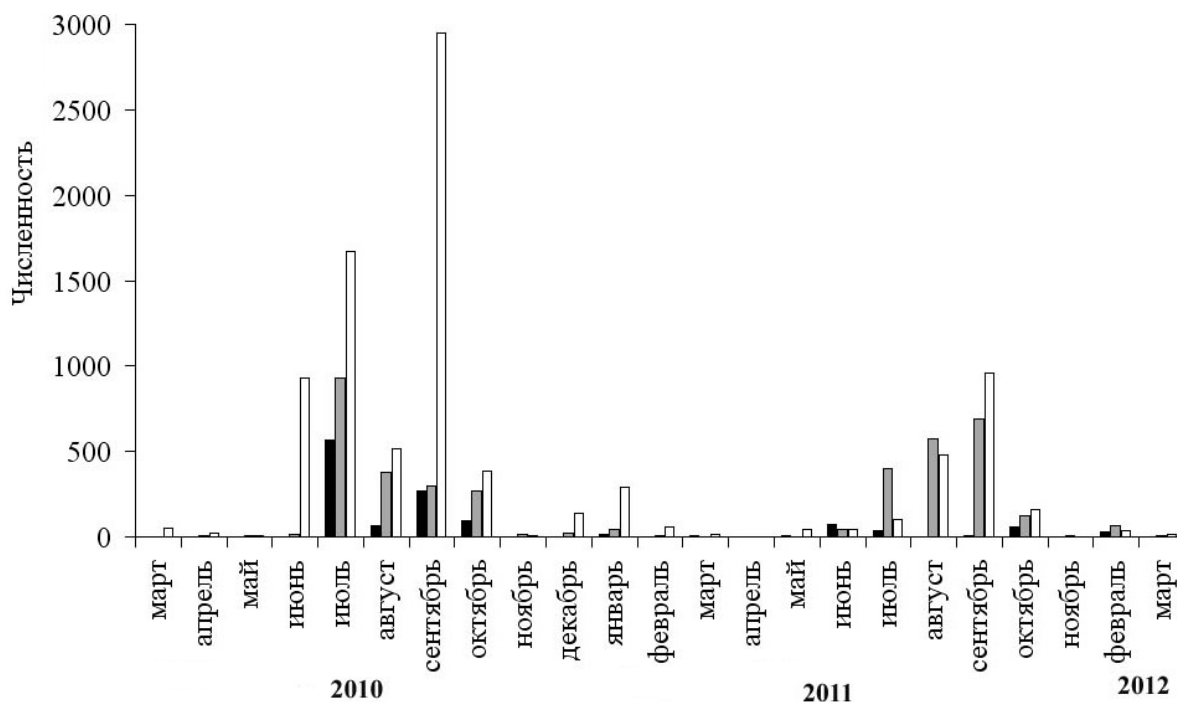


Рис. 3. Численность меропланктона (экз/м³) в акватории марихозьяства в разные периоды 2010—2012 гг.: (■) — станция 6, у берега; (▒) — станция 7, ферма; (□) — станция 14, контрольная.

ла 32 экз/м³. Из представителей крупных таксонов в районе фермы единично отмечены метатрохофоры полихеты *Harmothoe imbricata* и велигеры гастропод семейства Rissoidae. В январе—марте 2012 г. температура воды не превышала 7,63°C, видовой состав меропланктона был беден — отмечены пелагические личинки двустворчатых моллюсков семейства Cardiidae (2—4 экз/м³) и планулы Hydrozoa с численностью от 28 до 65 экз/м³. Личинки мидий в составе меропланктона не обнаружены.

Весенние периоды 2010 и 2011 г. также были бедными по качественному и количественному составу меропланктона — преобладали великонхи двустворчатых моллюсков семейств Mytilidae (*M. galloprovincialis*) и Cardiidae. Единично встречались велигеры брюхоногих моллюсков семейства Rissoidae (*Rissoa splendida*), личинки многощетинковых червей семейств Polynoidae и Spionidae. Постоянно присутствовали науплиусы баянуса *A. improvisus* — вида, являющегося массовым в обрастании твердых субстратов у берегов Крыма.

Наибольшие межгодовые отличия в гидрологических условиях отмечались в летний период, что отразилось и на таксономической структуре меропланктона. Лето 2010 г. характеризовалось аномально высокими значениями температуры воды при полном отсутствии апвеллингов. В июне, с началом активного прогрева толщи вод, в массовом количестве появились личинки видов, размножающихся в теплый сезон. С июня по август в меропланктоне доминировали личинки митилястера *M. lineatus* и мелкого брюхоного моллюска биттума *Bittium reticulatum*. Эти виды являются массовыми в обрастании коллекторов. Численность личинок митилястера изменялась от 466 экз/м³ в июне до 1146 и 214 экз/м³ в июле и августе соответственно. Численность биттума колебалась от 356 экз/м³ в июне до 204 экз/м³ — в августе. В июле в планктоне появились личинки рапаны численностью до 9 экз/м³. В августе их количество не увеличилось, хотя летний период является оптимальным для размножения.

Личинки мидий в летних сборах отсутствовали. В июле в небольшом количестве (до 6 экз/м³) отмечены личинки анадары *Anadara kagoshimensis*; в августе их численность увеличилась до 68 экз/м³. Число личинок баянусов с июня по август увеличилось до 50—60 экз/м³. В августе бóльшая их часть находилась на поздних стадиях развития, что свидетельствует об активном оседании на естественные и искусственные субстраты. Следует заметить, что помимо ухудшения товарного вида культивируемых моллюсков острые края «домиков» баянусов приводят к снижению износостойкости коллекторов и носителей на ферме. Характерной чертой меропланктонных съемок в летний период 2010 г. явилось практически полное отсутствие полихет. Единично отмечены личинки лизидии *L. ninetta*.

Чередование сгонно-нагонных процессов различной интенсивности с середины июня по середину августа 2011 г. привело к снижению численности личинок донных беспозвоночных и изменению таксономического состава по сравнению с 2010 г. В июне численность меропланктона не превышала 72 экз/м³, в июле — 403 экз/м³ и лишь в августе (571 экз/м³) была близка к значениям 2010 г. Июньская съемка была выполнена в период наиболее интенсивного апвеллинга, проявившегося в резком понижении температуры воды с 22 до 9—10°C. Смена водных масс привела не только к снижению численности, но и к обеднению видового состава меропланктона. Признаков доминирования личинок какого-либо вида донных беспозвоночных в планктоне не обнаружено. Из двустворчатых моллюсков отмечены личинки мидии и *Modiolus* sp., их численность не превышала 17 экз/м³. Они находились на стадии педивелигера и были готовы к оседанию. Из полихет в пробах преобладали трохофоры семейства Nereididae численностью 22—38 экз/м³. Личинки баянусов встречались единично.

В июле 2011 г. при прогреве воды до 25,7°C на стадии «релаксации» апвеллинга видовое разнообразие и количественные

характеристики меропланктона заметно изменились. В пробах зарегистрированы пелагические личинки 16 видов донных беспозвоночных. *Bivalvia* были представлены великонхами митилястера с численностью до 107 экз/м³. Численность велигеров *Gastropoda* увеличилась до 242 экз/м³ при доминировании личинок биттума. Из *Polychaeta* обнаружены личинки *L. ninetta* (до 14 экз/м³). Личинки баянусов находились на поздних стадиях развития и встречались единично.

В августе 2011 г. температура воды накануне съемки в результате проявления скрытого апвеллинга понизилась с 24,5 до 18,0°C. По-прежнему доминировали личинки митилястера (до 315 экз/м³). Численность велигеров *Gastropoda* достигала 205 экз/м³. Как и в июле, доминировали личинки биттума: до 97% от общей численности. Отмечены велигеры рапаны (4 экз/м³). Численность полихет не превышала 27 экз/м³ с преобладанием, как и в 2010 г., личинок *Nephtys hombergii* и семейства *Spionidae*.

Осенние периоды 2010 и 2011 гг. по диапазону изменчивости температуры воды в целом соответствовали друг другу. Максимальные отрицательные временные градиенты температуры воды наблюдались в сентябре—октябре. Это, вероятно, определило незначительное видовое разнообразие и отличия количественных характеристик меропланктона. В сентябре на акватории фермы еще доминировали виды, характерные для летнего периода, — личинки митилястера и биттума. На их долю приходилось более 50% общей численности меропланктона. Однако если в 2010 г. количество личинок митилястера составляло 1600 экз/м³, а биттума 108 экз/м³, то в 2011 г. их численность не превышала соответственно 257 и 73 экз/м³. По сравнению с летним периодом отмечено существенное увеличение численности анадары: до 720 экз/м³ в 2010 г. и до 67 экз/м³ — в 2011 г. В обоих случаях личинки находились на поздних стадиях развития и были готовы к оседанию. В планктоне отмечены личинки рапаны. В сентябре они начинают активно

оседать на коллекторы и устричные садки и перфорировать створки моллюсков. Если в августе 2010 и 2011 гг. фактически отсутствовали личинки многощетинковых червей, то в сентябре 2010 г. их общая численность достигла 317 экз/м³. Доминировали нектохеты *N. hombergii* — до 150 экз/м³ и *Prionospio cirrifera* — до 133 экз/м³. В единичных экземплярах обнаружены личинки полихеты-перфоратора створок моллюсков *P. websteri*.

В октябре 2010 и 2011 гг. температура воды понизилась до 17,3 и 15,2°C соответственно. На этом фоне численность меропланктона по сравнению с сентябрьскими значениями существенно уменьшилась. В октябре 2010 г. она составила 382 экз/м³, а в октябре 2011 г. — 150 экз/м³. Одновременно несколько изменился видовой состав меропланктона. Отсутствовали личинки теплолюбивых видов, доминирующих в летний период. В частности, не встречались личинки митилястера — к этому времени, вероятно, их оседание закончилось. В обоих случаях доминировали личинки двустворчатых моллюсков: мидии, анадары, «корабельного червя» *Teredo navalis* и личинок семейства *Cardiidae*. Однако если в октябре 2010 г. численность личинок мидии достигла 148 экз/м³, то в 2011 г. составляла всего 53 экз/м³, что характеризовало интенсивность осеннего нереста. Численность личинок анадары уменьшилась по сравнению с сентябрьскими значениями до 30 экз/м³ в 2010 г. и до единичных экземпляров в 2011 г., что свидетельствует об окончании периода их оседания. Численность баянусов также была минимальна. Более половины личинок находились на ципросовидной стадии, следовательно, период их оседания приходился на август—октябрь. Высоким видовым разнообразием характеризовались личинки полихет. Отмечено более 10 видов, однако их общая численность составляла всего 14—30 экз/м³. Доминировали личинки *Polydora cornuta*. Эти полихеты не являются перфораторами и не поражают раковины культивируемых моллюсков.

В последние месяцы осеннего гидрологического периода (ноябрь—декабрь) 2010 и 2011 гг. при понижении температуры воды с 13–15 до 10–12°C состав меропланктона отличался крайне низким видовым разнообразием, а количество личинок не превышало 100–140 экз/м³. В планктоне преобладали личинки мидии, единично отмечены науплиусы баянуса. Появились представители зимнего меропланктона — личинки многощетинковых червей *H. imbricata*, нерестающихся в этот период (15 экз/м³).

Таким образом, сроки появления личинок беспозвоночных в планктоне и их количество существенно зависели от особенностей гидрологического режима исследуемой акватории.

Фитопланктон. За период наблюдений обнаружено 168 видов и разновидностей микроводорослей, относящихся к 85 родам из 9 отделов. Наибольшим количеством видов представлены динофито-

вые (75 вида) и диатомовые (59 видов) водоросли, значительно меньше встречено гаптофитовых и хризофитовых (22 вида), зеленых (5 видов), криптофитовых водорослей (3 вида) и цианобактерий (4 вида). Максимальное число видов отмечено весной (112) и летом (114), меньшее — осенью (84) и зимой (80). Наибольшим видовым разнообразием характеризовались диатомовые рода *Chaetoceros* (16 видов), динофитовые родов *Protoperdinium* (12), *Gymnodinium* (10), *Prorocentrum* (8), *Dinophysis* (7), *Peridinium* (6 видов).

Суммарная численность фитопланктона изменялась в пределах 25–28000 млн кл/м³, биомасса — 19–1000 мг/м³ (рис. 4). Максимальные значения численности на поверхности фермы зафиксированы в июне 2011 г., а у дна — в мае—июне 2011 г. Максимальные значения биомассы отмечены на поверхности в мае 2011 г., а в придонном слое — в июле 2010 г., в мае и августе 2011 г.

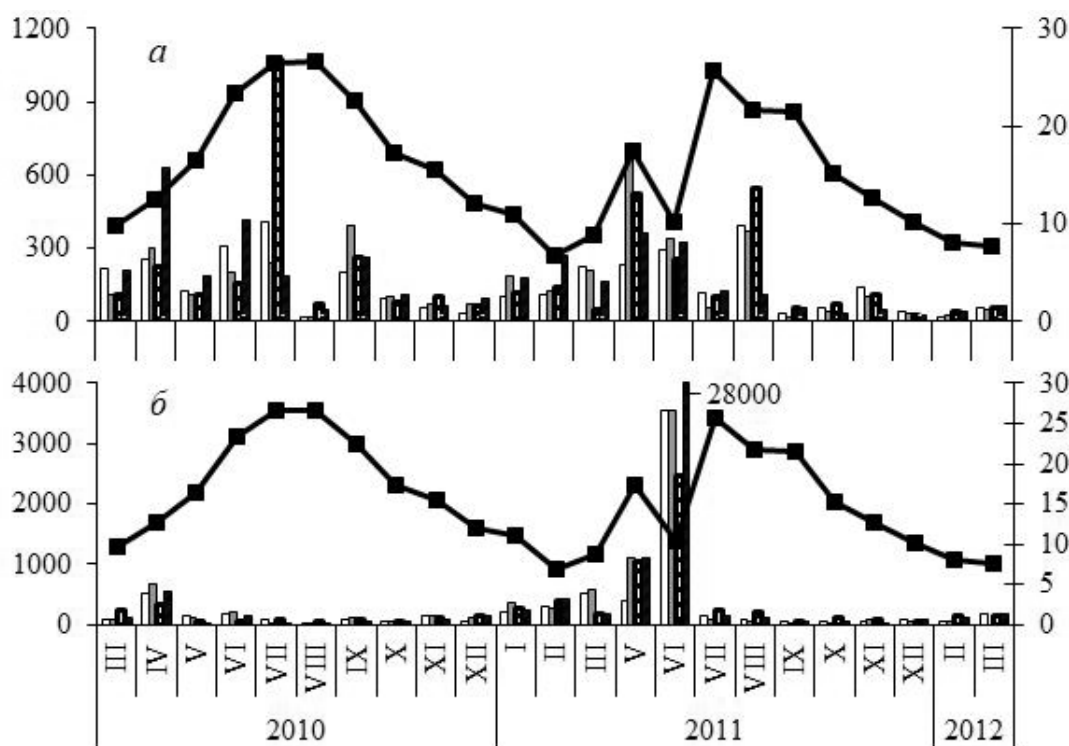


Рис. 4. Суммарная биомасса (а, мг/м³) и численность (б, млн кл/м³) (по оси ординат слева) фитопланктона на ферме ((□) — 0 м, (▨) — дно) и в открытом море ((■) — 0 м, (■) — дно) на фоне температуры воды на поверхности (—■—, °C) (по оси ординат справа).

Численность диатомовых за весь цикл наблюдений не достигала уровня «цветения» воды и изменялась в диапазоне 0,5–260 млн кл/м³ с максимумами развития в весенний период. В марте–апреле 2010 г. в планктоне преобладали мелкоклеточные диатомовые: холодолюбивые *Skeletonema costatum*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, а также характерные для поздневесеннего периода виды рода *Chaetoceros*. В мае, при прогреве воды до 16°C, численность последних достигала максимальных значений. В придонном слое отмечено большое количество бентосных диатомовых, которые единично встречались и на поверхности. В весенний период 2011 г. наряду со *S. costatum* доминировала *Thalassionema nitzschioides*, которая с апреля, по мере прогревания воды, уступала место видам рода *Chaetoceros*.

В летний период 2010 г. при недостатке минерального питания и прогревании всей толщи воды выше 26°C численность фитопланктона снижалась до минимальных значений. По биомассе доминировала крупноклеточная диатомовая водоросль *Pseudosolenia calcaravis* (75–94% от суммарной биомассы), что снижало пищевую ценность живой составляющей взвешенного вещества и приводило к снижению концентрации кремния в воде. С июня по август 2011 г. в планктоне вегетировала *P. delicatissima*. Это было связано с подъемом вод в результате прибрежных апвеллингов в июне и августе, что подтверждается наличием в планктоне холодолюбивых видов. Отмечена высокая численность диатомовой водоросли *T. nitzschioides*, а также бентосных диатомовых родов *Licmophora* и *Striatella*. С июля по сентябрь в планктоне развивалась крупноклеточная диатомовая *P. calcar-avis*, биомасса которой составляла 30–86% от суммарной.

В сентябре 2010 г. отмечено увеличение суммарной численности и биомассы фитопланктона. Преобладали диатомовые водоросли: по биомассе — крупноклеточная *Proboscia alata* (47–74% от суммарной биомассы), а по численности — колониальная *P. delicatissima* (37–44%). С октября по де-

кабрь 2010 и 2011 гг. численность и биомасса фитопланктона снижались до минимальных значений. Преобладали в основном мелкоклеточные виды водорослей, что формировало благоприятную кормовую базу для культивируемых моллюсков. В октябре–ноябре в поверхностном слое отмечалось значительное количество колониальной диатомовой водоросли *Chaetoceros tortissimus*. В зимние месяцы при низкой температуре воды преобладала характерная для этого периода *S. costatum*.

За период наблюдений численность динофитовых водорослей изменялась от 0,5 до 40 млн кл/м³, биомасса — от 4 до 150 мг/м³. Их количество с апреля по октябрь увеличивалось, а поздней осенью и зимой снижалось до минимума. На ферме и контрольной станции круглогодично вегетировали *Prorocentrum cordatum*, *P. micans* и *Scrippsiella trochoidea*. В летний период к ним присоединялись *Gymnodinium kovalevski*, *G. wulffii*, *Gyrodinium fusiforme*. Пик численности динофитовых водорослей отмечен в октябре 2010 г. В июне–августе 2011 г. при проявлении сгонно-нагонных явлений увеличивалось количество холодолюбивых крупноклеточных видов родов *Ceratium* и *Dinophysis*.

Круглогодично в планктоне марихольства присутствовала гаптофитовая водоросль *Emiliana huxleyi*, являющаяся кормовым объектом для мидий и устриц (Троценко и др., 2012). В зимний период 2011 г. отмечено значительное количество силикафлагеллят *Octactis octonaria*, *Dictyocha speculum*.

Цианобактерии (Суанопрокарота) встречались в планктоне круглый год, а их численность колебалась от 0 до 28000 млн кл/м³. Максимального количества они достигали в марте–мае 2010–2011 гг. и ноябре 2010 г. В июне 2011 г. отмечена вспышка численности Суанопрокарота до 2–3 млрд кл/м³ в поверхностном слое фермы (ст. 7) и до 28 млрд кл/м³ — у дна в открытом море (ст. 14). Это связано с активизацией сгонно-нагонных процессов в этот период и, как следствие, обогащением толщи

вод биогенами и растворенным органическим веществом. Мелкие цианобактерии (диаметр клеток 1–2 мкм) составили от 83 до 98% от суммарной численности фитопланктона. Высокие концентрации растворенного органического вещества в исследуемой акватории обусловили постоянное вегетирование на ферме водорослей из отделов Chlorophyta и Cryptophyta. Увеличение их численности отмечено в летне-осенний период.

Микроводоросли, известные как потенциально токсичные (Рябушко, 2003), вегетировали в планктоне круглый год, но их численность за весь период исследований не достигала высоких значений. Наиболее опасными для конхиокультуры являются динофитовые водоросли рода *Dinophysis*, вырабатывающие токсин diarrhoeic shellfish poison (DSP) — диарейный яд моллюсков. Водоросли этого рода представляют угрозу уже при концентрации в морской воде 200 млн кл/м³ (Холодов и др., 2010). В районе фермы в июне 2011 г. численность *D. acuminata* составила 240 млн кл/м³. Известно, что цианобактерии при отмирании могут выделять биотоксины (нейротоксины, опухолерывые промоутеры, токсины для печени и т.д.) (Стоник В., Стоник И., 2010). Необходимо отметить, что в июне 2011 г. в акватории марихозяйства зарегистрировано «цветение» воды, вызванное массовым развитием цианобактерий. Поэтому наблюдения за численностью микроводорослей, продуцирующих токсические соединения, необходимы для контроля качества продукции морских ферм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гидрологические условия в акватории мидийно-устричной фермы в период с марта 2010 г. по март 2012 г. отличались от средне-многолетних для ЮБК: 2010 г. характеризовался экстремально высокими значениями температуры воды и отсутствием сгонно-нагонных явлений с мая по сентябрь. Параметры гидрологического режима в 2011 г. были близки к среднемноголетним характеристикам, а летний период отличался активиза-

цией прибрежных апвеллингов. Диапазоны изменчивости термохалинных характеристик в течение всего цикла наблюдений соответствовали оптимальным для культивирования двустворчатых моллюсков.

Гидрохимический режим характеризовался хорошей аэрацией толщи вод в районе фермы, отсутствием заморных явлений, относительно низким содержанием биогенных веществ и незначительным антропогенным прессом. Несмотря на некоторые межгодовые отличия в характере сезонной изменчивости биогенных элементов, гидрохимическая структура вод в целом не лимитировала процесс культивирования мидий и устриц.

Данные по сезонной динамике видового состава и численности меропланктона соответствовали результатам многолетних исследований в прибрежных водах ЮБК. На акватории мидийно-устричной фермы идентифицированы личинки 49 видов донных беспозвоночных. В осенний, зимний и весенний гидрологические сезоны по численности доминировали личинки мидии и балянуса, а в летний — митилястера и биттума. С июля по сентябрь в меропланктоне присутствовали личинки рапаны и многощетинковых червей — «перфораторов» *P. websteri* и *L. ninetta*. Межгодовая и сезонная изменчивость видового состава и численности меропланктона определялись особенностями гидрологического режима в каждом году наблюдений и проявлялись в сроках появления и количестве личинок отдельных видов.

Район расположения фермы является благоприятным для культивируемых моллюсков по обеспеченности кормовым фитопланктоном. За период исследований по численности и биомассе доминировали динофитовые, золотистые и мелкоклеточные диатомовые водоросли — доступные для питания мидий и устриц. Межгодовые отличия в сезонной изменчивости гидрологического режима сказались на структуре фитопланктона. Экстремально высокая температура воды в июле—августе 2010 г. определила низкие количественные пока-

затели фитопланктона при доминировании крупноклеточных диатомовых водорослей, составляющих до 75–94% от их суммарной биомассы. Интенсификация сгонно-нагонных процессов июне–августе 2011 г. привела к массовому развитию цианобактерий и потенциально ядовитой динофитовой водоросли *D. acuminata*. За исследуемый период не отмечено характерных для прибрежных вод периодов «цветения» воды, вызываемых развитием отдельных видов фитопланктона.

Выявленные особенности развития фито- и меропланктона на фоне контрастных гидрологических условий 2010 и 2011 гг. свидетельствуют о необходимости проведения экологического мониторинга среды в процессе выращивания моллюсков.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую признательность Е. А. Куфтарковой (Институт морских биологических исследований имени им. А. О. Ковалевского) за предоставленные данные по гидрохимии акватории Голубого залива.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ (тема № АААА-А18-118021350003-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Иванов В. Н., Холодов В. И., Сеничева М. И. и др. Биология культивируемых мидий. Киев: Наук. думка, 1989. 99 с.

Ильин Ю. П., Репетин Л. Н., Белокопытов В. Н. и др. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2. Черное море. Севастополь: МЧС; НАН Украины; МО УкрНИГМИ, 2012. 421 с.

Киселева М. И. Многощетинковые черви (Polychaeta) Черного и Азовского морей. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. 409 с.

Куклин А. К., Куклина Н. Я., Шабалина О. А. Исследование гидрометеорологических характеристик ЮБК с оке-

анологической платформы в Качивели // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Вып. 2. Т. 7. Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2003. С. 66–82.

Лисицкая Е. В., Болтачева Н. А., Лебедевская М. В. Новый для фауны Украины вид *Polydora websteri* Hartman, 1943 (Polychaeta: Spionidae) из прибрежных вод Крыма (Черное море) // Мор. экол. журн. 2010. Т. 9. № 2. С. 74–80.

Марикультура мидий на Черном море. Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2007. 314 с.

Проект «Моря СССР». Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. IV. Черное море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеиздат, 1991. 430 с.

Руководство по химическому анализу морских вод. РД 52.10.243–92. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 263 с.

Рябушко Л. И. Потенциально опасные микроводоросли Азово-Черноморского бассейна. Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2003. 288 с.

Стоник В. А., Стоник И. В. Морские токсины: химические и биологические аспекты изучения // Успехи химии. 2010. Т. 79. № 5. С. 442–465.

Троценко О. А., Куфтаркова Е. А., Лисицкая Е. В. и др. 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. Вып. 26. Т. 1. Севастополь: «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2012. С. 291–309.

Холодов В. И., Пиркова А. В., Ладыгина Л. В. Выращивание мидий и устриц в Черном море. Севастополь: DigitPrint, 2010. 424 с.

Чухчин В. Д. Экология брюхоногих моллюсков Черного моря. Киев: Наук. думка, 1984. 176 с.

Щуров С. В., Субботин А. А., конф. «Современные рыбохозяйственные Трощенко О. А. и др. Исследование апвел- и экологические проблемы Азово-Черно- лингов в районе мидийной фермы в бухте морского региона». Керчь, 2013. С. 157– Ласпи // Материалы VIII Междунар. 163.

STRUCTURE OF PHYTO- AND MEROPLANKTON IN THE MARINE FARM AREA ON THE BACKGROUND OF DIFFERENT HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL CONDITIONS (THE BLACK SEA, SOUTH COAST OF CRIMEA, BLUE BAY)

© 2019 y. O. A. Troshchenko, E. V. Lisitskaya, N. V. Pospelova, A. A. Subbotin

*Kovalevsky Institute of Marine Biological Research Russian Academy of Sciences,
Sevastopol, 299011*

The complex of monthly environmental studies was carried out in the period from March 2010 to March 2012 in the area of mussel-oyster farm (Blue Bay, South Coast of Crimea). Features of the interannual and seasonal variability of hydrological and hydrochemical characteristics were examined and their effect on the state of phyto- and meroplankton was revealed. Extremely high values of water temperature observed in the 2010. Summer period of 2011 was distinguished by the intensification of coastal upwelling. The hydrochemical regime was characterized by a good aeration of the water column, the absence of suffocation phenomena and a low content of biogenic elements. During the observation period, 168 species and varieties of microalgae belonging to 9 divisions, 85 genera were found; larvae of 49 species of benthic invertebrates were identified. It was concluded that the studied parameters were optimal for the development of aquaculture of bivalves.

Keywords: mussel-oyster farm, thermohaline structure, dissolved oxygen, biogenic elements, phytoplankton, meroplankton.