

УДК 556:551.464:639.4(262.5)

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОРМОВОЙ БАЗЫ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ В ДВУХЛЕТНЕМ ЦИКЛЕ ВЫРАЩИВАНИЯ НА МИДИЙНО-УСТРИЧНОЙ ФЕРМЕ (ЧЁРНОЕ МОРЕ, ГОЛУБОЙ ЗАЛИВ)

Поспелова Н. В., Троценко О. А., Субботин А. А.

ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН»,  
Севастополь, Республика Крым, Россия  
E-mail: [nypospelova@mail.ru](mailto:nypospelova@mail.ru)

По данным ежемесячных комплексных наблюдений в течение двухлетнего цикла (март 2010 – март 2012 гг.) в районе расположения мидийно-устричной фермы рассмотрена изменчивость состояния фитопланктонного сообщества, как основы кормовой базы выращиваемых моллюсков, на фоне различных гидролого-гидрохимических условий. Выявлена зависимость видового и количественного состава фитопланктона от параметров гидрологических сезонов, прежде всего, температурного режима и содержания биогенных элементов. При экстремально высоких температурах в июле-августе 2010 г. на фоне общего снижения численности фитопланктона отмечено относительное увеличение биомассы некормовых видов крупноклеточных диатомовых водорослей. Понижение температуры воды в июне 2011 г. в результате развития апвеллинга привело к росту численности фитопланктона, в особенности цианобактерий рода *Microcystis* и динофитовых рода *Dinophysis* – потенциально опасных для человека при выращивании моллюсков.

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

### ВВЕДЕНИЕ

Экономическая эффективность и экологическая целесообразность функционирования морских ферм по выращиванию моллюсков в значительной мере определяется состоянием кормовой базы. В прибрежной зоне Южного берега Крыма (ЮБК) моллюски используют в пищу бактерии, фитогенный детрит, растворенное и взвешенное органическое вещество. Однако наиболее высокие темпы роста и увеличение биомассы моллюсков наблюдаются при питании наиболее трофически ценной для мидий и устриц частью взвешенного органического вещества – фитопланктоном, с которым они получают основную массу белков, липидов, углеводов и микроэлементов [1]. Показано [2], что предпочтительным кормом для культивируемых моллюсков являются мелкие одиночные водоросли, относящиеся к отделам динофитовых, криптофитовых, золотистых и зелёных размером до 20 мкм. Обычно их численность не превышает 2–10 % от общей численности фитопланктона. Довольно крупные клетки динофитовых водорослей диаметром до 80 мкм, 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 и, прежде всего, температурные условия и содержание биогенов [3]. Температура воды определяет сезонную и синоптическую изменчивость видового состава, вертикальную структуру фитопланктона, сроки начала и продолжительность периодов вегетации отдельных видов, а концентрация биогенных элементов – уровень развития микроводорослей. При сочетании оптимальных температурных условий и содержания биогенов массовое развитие доминирующих видов фитопланктона с биомассой в сотни–тысячи мг/м<sup>3</sup> приводит к явлению «цветения» морской воды, а в отдельных случаях, при массовом развитии динофитовых водорослей, – к развитию «красных приливов».

Цель данной работы – изучение изменчивости видового и количественного состава фитопланктона, как основной составляющей кормовой базы выращиваемых моллюсков, в двухлетнем цикле наблюдений при различных гидролого-гидрохимических условиях среды.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Мидийно-устричная ферма, принадлежащая ООО «Яхонт ЛТД», расположена в районе ЮБК на траверзе мыса Кикинейз (акватория Голубого залива). Глубины в данном районе колеблются от 10 до 25 м (средняя – 15 м). Комплекс наблюдений, обеспечивающих функционирование мидийно-устричной фермы в районе п. Кацивели выполнялся ежемесячно с марта 2010 по март 2012 гг. Работы выполнялись сотрудниками отдела аквакультуры и морской фармакологии Института биологии южных морей НАН Украины (ИнБИОМ НАНУ) в рамках бюджетной темы «Экологические взаимодействия в биотехнологических комплексах». Схема расположения фермы и станций отбора проб представлена на рис. 1.

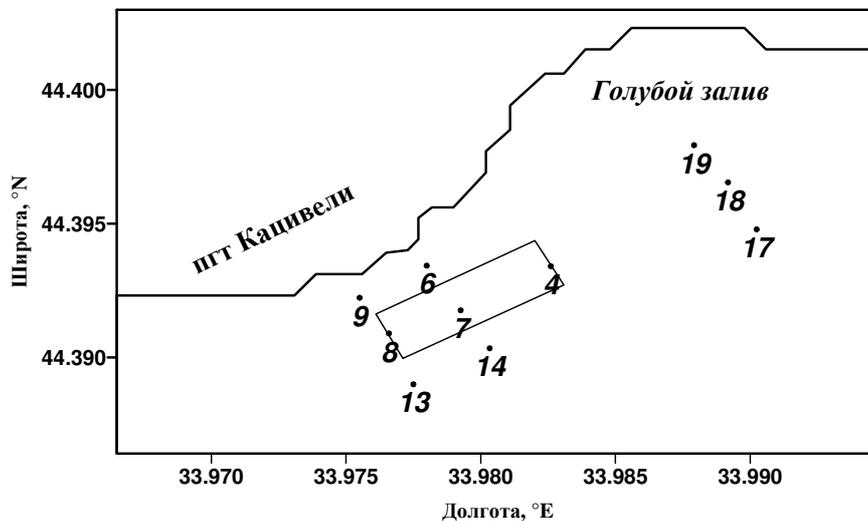


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб на ферме в районе п.г.т. Кацивели.

При проведении исследований определялись следующие параметры: температура, соленость, плотность морской воды; содержание растворенного кислорода; величина рН; содержание нитритного, нитратного, аммонийного азота; содержание фосфатов; содержание силикатов; содержание органического азота; содержание органического фосфора; окисляемость морской воды; биохимическое потребление кислорода на пятые сутки (БПК<sub>5</sub>); численность и видовой состав фитопланктона, в том числе и кормового; содержание пищевого комка в желудках культивируемых моллюсков.

Гидрофизические параметры измерялись с помощью СТД-зонда «Катран-04» от поверхности до дна. Отбор проб морской воды на гидрохимические показатели осуществлялся в поверхностном и придонном слоях. Химические анализы выполняли в аккредитованной лаборатории ИнБЮМ НАНУ согласно общепринятым методам их определения [4, 5].

Пробы воды на фитопланктон отбирались с поверхности и в придонном слое на станциях 7 (ферма) и 14 (фоновая) в пластиковые ёмкости объемом 1 – 1,5 л. В лаборатории их сгущали методом обратной фильтрации через ядерные мембраны с диаметром пор 1 мкм. Обработку проводили методом прямого счета микроводорослей в живой и сгущенной капле ( $V=0,1$ мл) в камере ( $V=1$ мл). Для изучения питания моллюсков их вскрывали при помощи скальпеля, препарировали желудок, пипеткой отбирали и анализировали содержимое под микроскопом. Для сбора и исследования состава фекалий и псевдофекалий моллюсков высаживали в профильтрованную морскую воду на 2–4 часа.

Ниже приводится анализ внутригодовой изменчивости и межгодовых отличий характеристик гидролого-гидрохимического режима за весь цикл наблюдений. На этом фоне рассматривается динамика видовой, количественного состава фитопланктона и пищевой спектр культивируемых моллюсков.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Гидрологический режим.** Исследования в акватории мидийно-устричной фермы соответствовали климатическому периоду «глобального потепления», проявляющегося по изменению некоторых параметров гидрологического режима Чёрного моря, начиная с середины 1990-х – начала 2000-х гг. [2]. Для прибрежных районов Крыма этот процесс характеризуется, прежде всего, повышением температуры поверхностных вод и снижением количества и интенсивности прибрежных апвеллингов (ПА) в тёплый период года [6, 7, 8, 9, 10].

На этом фоне, наблюдения за внутригодовой изменчивостью температуры на акватории фермы в 2010–2012 гг. выявили существенные межгодовые отличия, наиболее ярко проявившиеся в характеристиках гидрологических сезонов. Данные по внутригодовой изменчивости термического режима за период исследований позволили выделить временные интервалы с относительно стабильными значениями и минимальными временными градиентами температуры воды (менее  $0,1^{\circ}\text{C}/\text{сут}$ ) и интервалы со значительными перепадами температуры и временными градиентами более  $0,1^{\circ}\text{C}/\text{сут}$ . Такие временные интервалы характеризуются как

гидрологические сезоны. Для каждого года двухлетнего цикла наблюдений они имеют свои временные границы, диапазоны колебаний температуры воды, знаки и величины временных градиентов. Для внутригодового хода видового и количественного состава фитопланктона параметры гидрологических сезонов являются определяющими при формировании кормовой базы культивируемых моллюсков на различных этапах их развития. Вероятно, наиболее важным следствием воздействия «глобального потепления» на структуру фитопланктонного сообщества и физиологическое состояние отдельных видов является изменение их биологических циклов в пределах гидрологических сезонов.

По данным [9], для района Кацевели 2010 г. характеризовался как год с экстремальным прогревом поверхностных вод за период наблюдений с 1931 по 2011 гг. и отсутствием проявлений ПА. Во внутригодовом ходе температуры выделялись четыре гидрологических сезона: зимний – с конца января до конца марта и перепадом температуры от 9,0°C до 9,8°C; весенний переходный – с начала апреля по начало июня с перепадом температуры от 9,8–10,0°C до 23,4–24,0°C; летний – с начала июня до начала сентября, диапазоном изменчивости температуры от 24,0°C до 26,7°C и абсолютным максимумом (29,5°C) – в середине августа; осенний переходный – с начала сентября по конец декабря и перепадом температуры от 26,7°C до 12,1°C. Последний по характеру понижения температуры воды продлился до середины февраля 2011 г.

Внутригодовой ход температуры воды в 2011 г. был близок к среднемноголетнему распределению [7], а количество и интенсивность ПА в июне–августе соответствовали наблюдениям за период с начала 1970-х до начала 1990-х годов [8]. В соответствии с этим, параметры гидрологических сезонов имели некоторые отличия от 2010 г.: зимний – с середины февраля до середины апреля и перепадом температур от 8,0°C до 10,0°C с кратковременным понижением температуры в конце февраля до 6,8°C; весенний переходный – с середины апреля до начала июня и увеличением температуры от 10,0°C до 22,0°C; летний – с середины июня до конца августа с интервалом измеренных температур от 22,0°C до 24,0–26,0°C на фоне чередования сгонно-нагонных процессов; осенний переходный – с начала сентября до конца декабря и понижением температуры с 21,5°C до 10,2°C.

Параметры гидрологических сезонов 2011 г., а также характер проявления сгонно-нагонных процессов в весенне-летний период наглядно иллюстрируют данные о внутригодовой изменчивости вертикальной термической структуры вод в б. Ласпи (рис. 2). Обе акватории относятся к единому гидрологическому району прибрежной зоны ЮБК, а формирование термохалинной структуры и особенности проявления мезомасштабных динамических процессов (прежде всего ПА) определяются одними и теми же климатическими, атмосферными и гидродинамическими факторами [6, 7, 11].

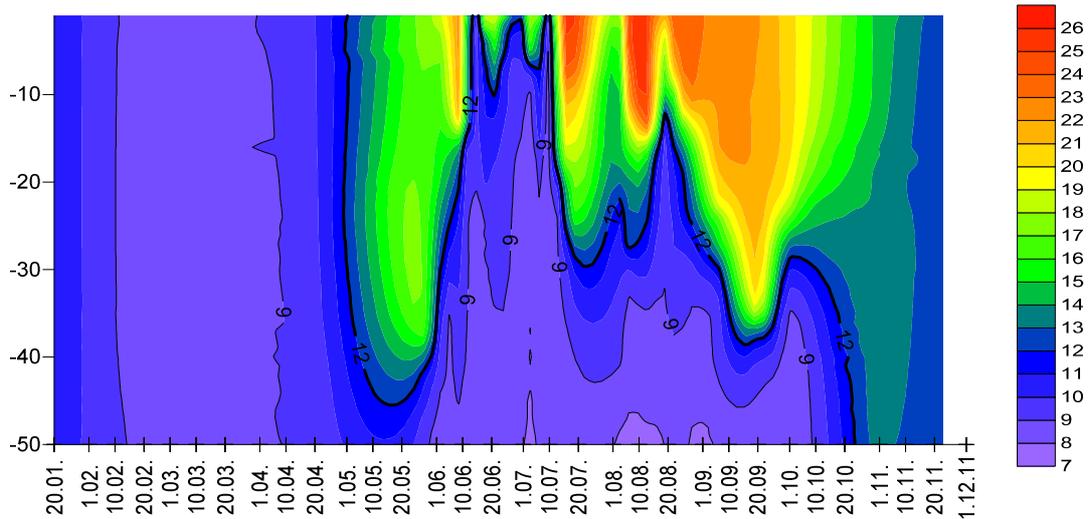


Рис. 2. Годовой ход вертикальной термической структуры в б. Ласпи, 2011 г. [10].

Активизация ПА в летний сезон 2011 г. была вызвана преобладанием над районом ЮБК ветров западных и северо-западных румбов. Интенсивный апвеллинг на акватории фермы был отмечен с конца первой декады июня по середину июля. Анализ серии спутниковых изображений поверхности моря в инфракрасном (ИК) диапазоне показал, что ПА охватывал большую часть прибрежной зоны ЮБК, однако наиболее ярко проявился на акватории от Голубого залива до б. Ласпи (рис. 3).

Первая съёмка летнего цикла наблюдений была выполнена 21 июня в фазе развитого апвеллинга, характеризовавшегося резким понижением температуры воды с  $22,0^{\circ}\text{C}$  в начале июня до  $9,0\text{--}10,2^{\circ}\text{C}$  – в начале третьей декады месяца.

Ко времени выполнения июльской съёмки (20.07) «затухание» процесса привело к нагону хорошо прогретых вод со стороны открытого моря. Как следствие, температура поверхностного слоя вод на акватории фермы достигла максимальных за период наблюдений значений от  $25,7^{\circ}\text{C}$  на поверхности до  $21,1^{\circ}\text{C}$  – у дна.

Неустойчивость атмосферной циркуляции в августе 2011 г. привела к проявлению на большей части акватории ЮБК серии кратковременных и менее интенсивных ПА. Съёмка, выполненная 17.08 при температуре воды  $21,7^{\circ}\text{C}$ , соответствовала одному из «скрытых» апвеллингов с последующим повышением поверхностной температуры до  $24,8^{\circ}\text{C}$  к концу летнего гидрологического сезона (рис. 2).

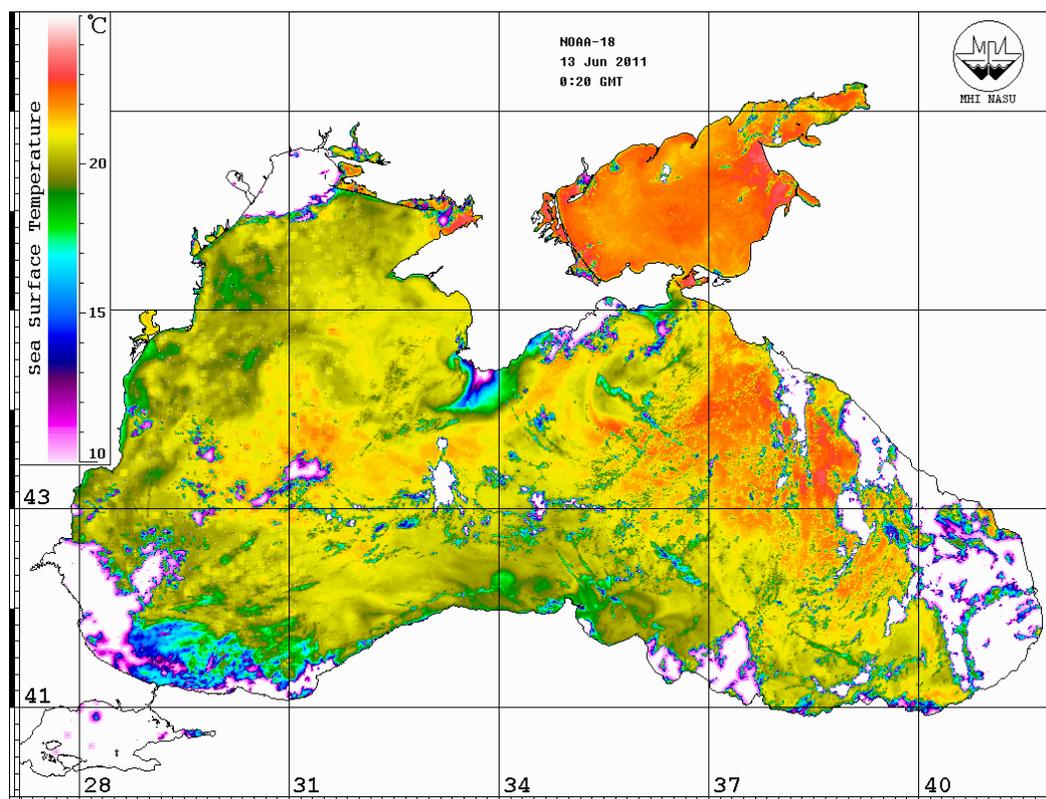


Рис. 3. ИК-изображение Черного моря (NOAA-18, 13.06.11) [16].

*Гидрохимический режим* прибрежных вод на акватории размещения мидийно-устричной фермы в целом соответствовал особенностям выделенных для каждого года наблюдений гидрологических сезонов. В течение всего периода исследований была отмечена хорошая аэрация вод, отсутствие заморных явлений и достаточная обеспеченность биогенными элементами. Межгодовые отличия в сезонном ходе некоторых гидрохимических параметров проявились во временном сдвиге экстремумов в 2011 г. и колебаниях их значений на фоне сгонно-нагонных процессов в июне-августе по отношению к 2010 г.

Распределение растворённого кислорода находилось в 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 (рис. 4). Относительное содержание кислорода колебалось от 95,4% в зимний период, до 115,1% – в летний. Отмечается повышение абсолютного содержания кислорода в период интенсивного апвеллинга в июне 2011 г. до зимних значений и относительного содержания кислорода до максимальных величин в период активного поступления азовоморских вод в июле–августе 2010 г.

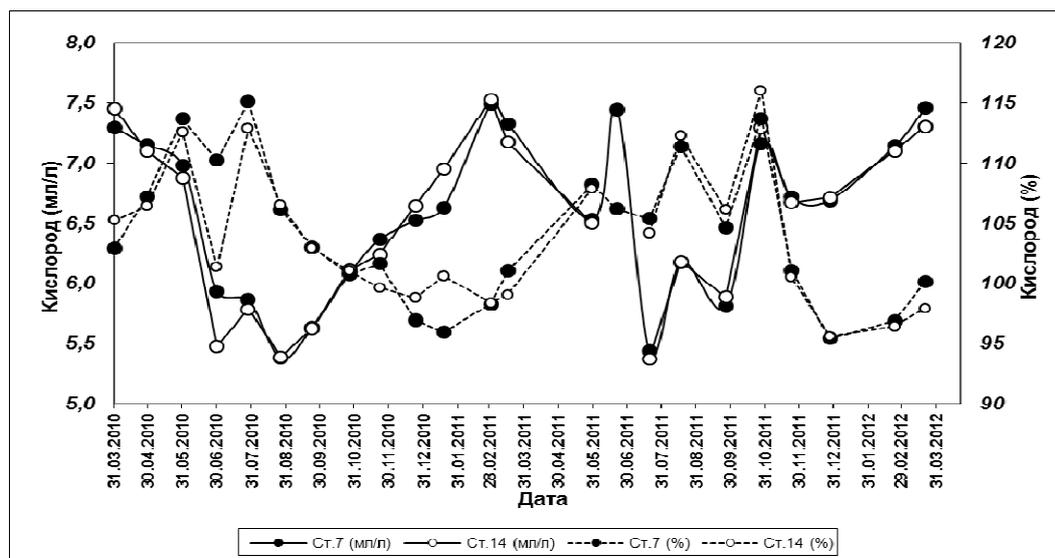


Рис. 4. Динамика концентраций растворенного кислорода в поверхностном слое.

Азот относится к числу важнейших биогенных элементов, поскольку концентрация его соединений определяет биологическую продуктивность водоёма. Соединения азота необходимы для питания фитопланктона, который усваивает их в процессе фотосинтеза. Минеральные формы азота представлены нитритным, нитратным и аммонийным азотом. На акватории фермы концентрации нитритов колебались в диапазоне от аналитического нуля до 2,9 мкг/л (рис. 5). Максимальные значения наблюдались в период повышенной динамической активности вод – с декабря по март.

Основными источниками 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 (от 0 до 2,0 мкг/л) в тёплый 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 (при интенсивном апвеллинге) и до 2,0 мкг/л – в августе (при «скрытом»).

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.

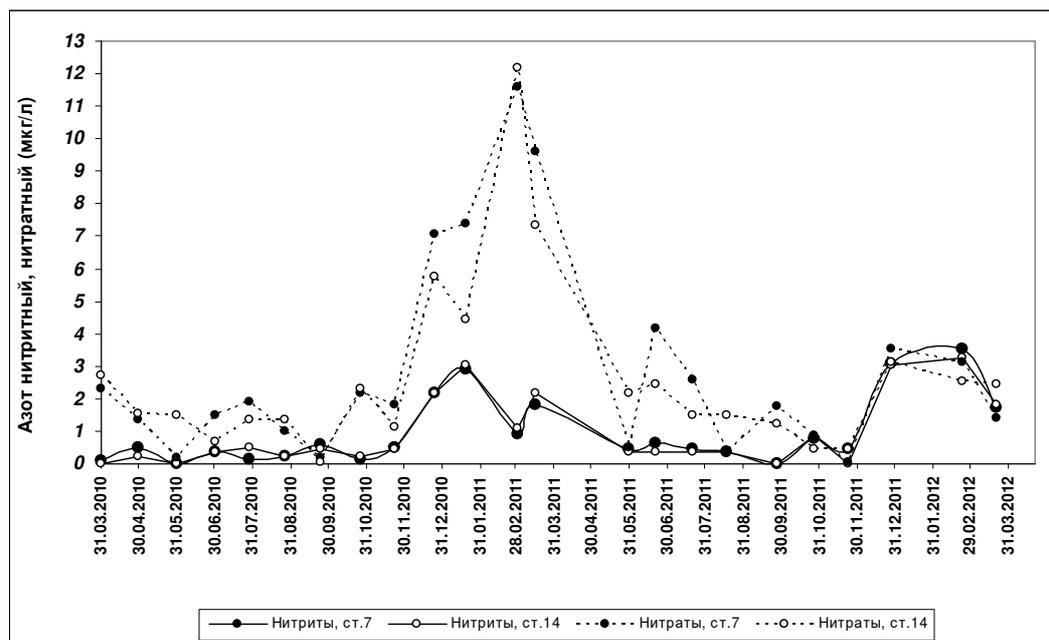


Рис. 5. Динамика концентраций нитритного и нитратного азота в поверхностном слое.

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 пределах от 2,0 до 10,5 мкг/л и не имели ярко выраженного сезонного хода. Только активизация стонно-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 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 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 на формирование гидрохимической структуры вод в исследуемом районе определило относительно невысокие концентрации кремния. По этой причине его сезонное распределение характеризовалось в основном активностью вертикальных движений и потреблением 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 (рис. 6).

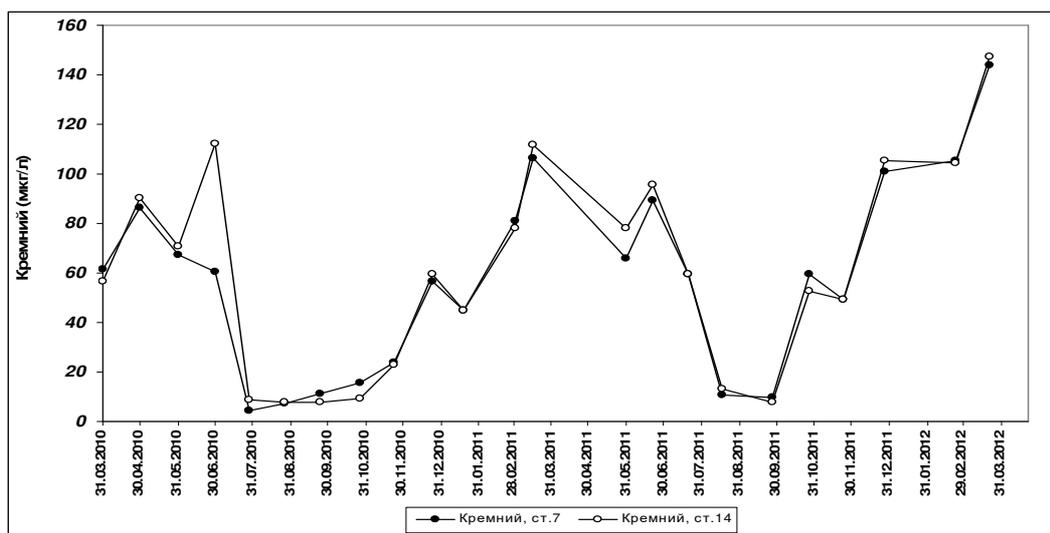


Рис. 6. Динамика концентрации кремния в поверхностном слое.

Наблюдаемое в июне 2010 г. увеличение концентрации кремния до 118 мкг/л могло являться следствием поступления распреснённых азовоморских вод, отмеченное по пониженным значениям солёности. 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 привёл к аналогичному результату, поскольку носил «скрытый» характер.

**Фитопланктон.** За период наблюдений в районе мидийно-устричной фермы было обнаружено 168 видов и разновидностей микроводорослей, относящихся к 85 родам и 9 отделам. Наибольшим количеством видов представлены динофитовые (75) и диатомовые (59 видов) водоросли, значительно меньше встречено гаптофитовых (20 видов). Зелёные водоросли представлены 5, цианобактерии – 4, криптофитовые – 3 видами. В исследуемый период суммарная численность фитопланктона на ферме изменялась в пределах 25 – 3541 млн кл·м<sup>-3</sup>, а биомасса – от 19 до 1070 мг·м<sup>-3</sup> (рис. 7). Максимальные значения численности зафиксированы в апреле 2010 г. и июне 2011 г., а биомассы – в июне–июле 2010 г., в июне и августе

2011 г. Наибольшего количественного развития достигали диатомовые, золотистые водоросли и цианобактерии.

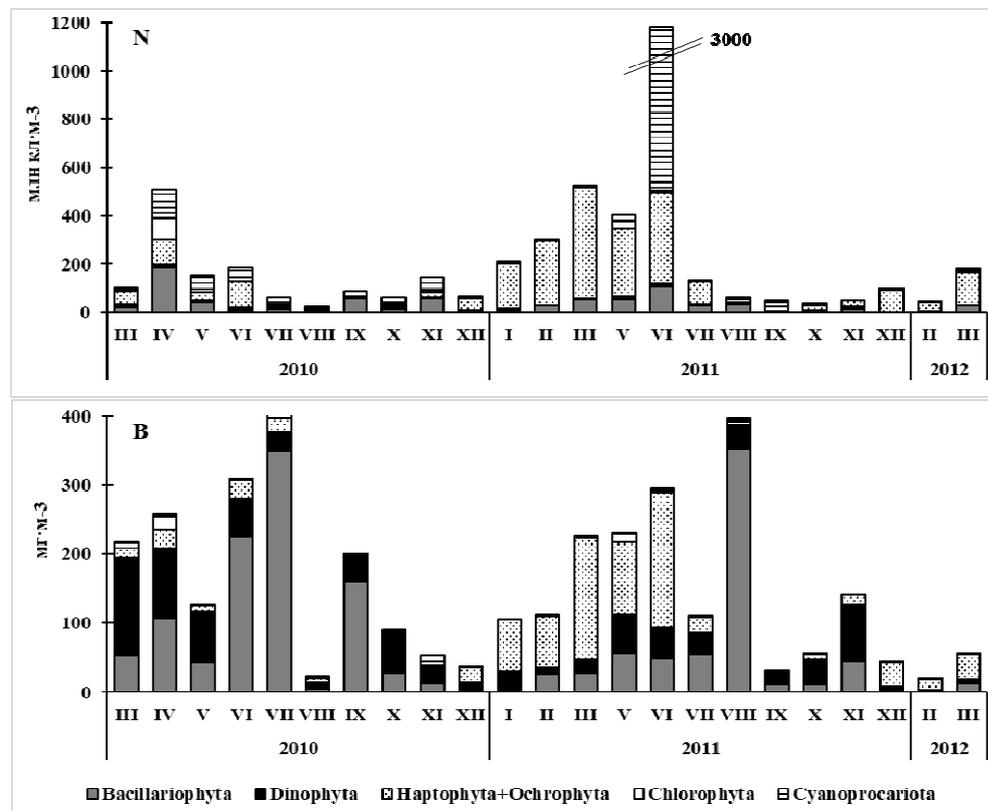


Рис.7. Динамика численности (N, млн кл·м<sup>-3</sup>) и биомассы (B, мг·м<sup>-3</sup>) основных таксономических групп фитопланктона.

Начало исследований на акватории фермы в конце марта 2010 г. совпало с окончанием зимнего гидрологического сезона – одного из наиболее теплых за многолетний период наблюдений [12, 13]. Интенсивный прогрев поверхности моря начался в середине апреля. В конце месяца температура воды достигла 12,7°C, что почти на 3°C превысило среднемноголетние значения [12]. На этом фоне отмечен максимум развития фитопланктона – до 500 млн кл·м<sup>-3</sup>. В составе фитопланктона преобладали мелкоклеточные диатомовые общей численностью до 200 млн кл·м<sup>-3</sup>: *Skeletonema constatum*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, а также представители рода *Chaetoceros spp.* В значительном количестве (до 50 млн кл·м<sup>-3</sup>) присутствовали кокколитофориды *Emiliana huxley*. Мелкоклеточные *S. constatum* и *E. huxley* являются ценными кормовыми объектами мидий и устриц, а виды рода *Chaetoceros spp.* не представляют пищевой ценности для моллюсков из-за очень длинных щетинок. В придонном слое отмечено большое количество бентосных диатомей, которые единично встречались и в поверхностном слое, что свидетельствует об

активном вертикальном перемешивании вод. В мае вертикальная термическая стратификация приобрела «классическую» структура со сформировавшимся верхним квазиоднородным слоем толщиной до 5 м и расположенным ниже сезонного термоклина, упирающимся в дно [13]. Ослабление вертикального обмена обусловило ограничение поступления биогенов к поверхности и снижение количественных показателей фитопланктона до 150 млн кл·м<sup>-3</sup>.

Иная картина наблюдалась в 2011 г. На фоне запаздывания процесса прогрева поверхностных вод (по данным [10] поверхностные воды в б. Ласпи в конце апреля прогрелись лишь до 10°C) пик развития фитопланктона был сдвинут на май (до 1050 млн кл·м<sup>-3</sup>). В это время численность *E. huxley* достигала максимальных за период наблюдений значений (850 млн кл·м<sup>-3</sup>).

Летние гидрологические сезоны 2010 и 2011 гг. отличались по видовому составу и количественным показателям фитопланктона. С конца мая по август 2010 г. на фоне интенсивного прогрева толщи вод и недостатке минерального питания численность фитопланктона снижалась до минимальных значений (рис. 7). Всё лето 2010 г. по биомассе доминировала крупноклеточная диатомовая водоросль *Pseudosolenia calcar-avis* (в июле до 75-94% от суммарной биомассы). Обычно *P. calcar-avis* в массе развивается в августе–сентябре при максимальном прогреве поверхностных вод с развитым ВКС, однако в аномально теплом 2010 г. он появился уже в конце мая. Этот вид не является кормовым для культивируемых моллюсков из-за больших размеров (диаметр клеток 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 [1]. Типичная для состава фитопланктона в мае–июне *E. huxley* встречалась единично.

В июне 2011 г. при развитии интенсивного апвеллинга отмечены повышенные концентрации органического вещества на поверхности моря и, как следствие, численность фитопланктона резко возросла, достигая 2–3 млрд кл·м<sup>-3</sup> на поверхности и 28 млрд кл·м<sup>-3</sup> у дна. При этом 83–98 % от суммарной численности составили мелкие цианобактерии рода *Microcystis* (диаметр клеток 2-3 мкм), которые при отмирании могут выделять биотоксины [13, 15]. Продолжилось развитие *E. huxley*, однако, ее численность упала до 350 млн кл·м<sup>-3</sup>. В составе фитопланктона появились холодолюбивая диатомовая водоросль *Talassionema nitzschioides*, бентосные диатомовые родов *Licmophora* и *Striatella* а также динофитовые родов *Ceratium* и *Dinophysis*. Токсичные динофитовые водоросли рода *Dinophysis* являются наиболее опасными для культивируемых моллюсков уже при концентрации 200 кл·л<sup>-1</sup> [16]. В июне 2011 г. численность *Dinophysis acuminata* (токсин DSP) составила 240 кл·л<sup>-1</sup>.

В июле–августе 2011 гг. на фоне активного прогрева поверхностных вод и восстановления устойчивой стратификации после июньского апвеллинга численность фитопланктона понизилась до 50–150 млн кл·м<sup>-3</sup>. В планктоне появились крупноклеточная *P. calcar-avis*, доминирующая по биомассе в июле и, особенно, в августе (до 0,5 г·м<sup>-3</sup> или 80% от общей биомассы). Немногочисленную

группу кормовых видов фитопланктона составляли мелкоклеточные динофитовые *Gymnodinium kovalevski*, *G. wulfii*, *G. fusiforme*, а также *E. huxley*.

В осенний период численность фитопланктона оставалась низкой (до 110 млн кл·м<sup>-3</sup>). В сентябре 2010 г. на смену *P. calcar-avis* пришли диатомовые рода *Pseudonitzschia spp.* и крупноклеточная *Proboscia alata*. В октябре–ноябре 2010 г. отмечено значительное количество колониальной диатомовой водоросли – вселенца – *Chaetoceros tortissimus*. В сентябре 2011 г. в планктоне доминировали по численности цианобактерии и зелёные водоросли, а по биомассе – динофитовые, доступные по размерам для питания моллюсков. В октябре–ноябре по численности и биомассе доминировали мелкоклеточные динофитовые (диаметр клеток 4–50 мкм), а в фитопланктоне вновь появилась *E. huxley*. Это формировало благоприятную кормовую базу для культивируемых моллюсков. Продолжала развитие *P. alata*. С октября 2011 г. появилась холодолюбивая мелкоклеточная диатомея *S. costatum*.

Зимний период 2010–2011 гг. характеризовался доминированием в фитопланктоне кокколитофориды *E. huxley*. 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*, *Dictyocha speculum*. В феврале 2011 г. при повышении концентрации нитратов в результате зимнего конвективного перемешивания увеличилась численность *E. huxley*. В феврале–марте 2012 г. при минимальных для этого периода значениях температуры (6,3–7,6°C) отмечены более низкие значения численности (до 70 млн кл·м<sup>-3</sup>) и биомассы (до 26 мг·м<sup>-3</sup>) микроводорослей.

Для уточнения пищевого спектра культивируемых моллюсков был выполнен анализ содержимого их желудков, а также фекальных пеллет и псевдофекалий. Состав содержимого желудков мидий и устриц соответствовал таксономическому составу фитопланктона в районе фермы. Более 80% клеток в желудках мидий и устриц на протяжении двухлетнего цикла составляли динофитовые водоросли: *Prorocentrum micans*, *P. cordatum*, *P. compressum*, *Scrippsiella trochoidea*. Следует отметить, что эти виды обычно немногочисленны, а иногда и единичны в суммарном фитопланктоне. Постоянно встречалась в пищевом комке золотистая водоросль *E. huxley*. Наряду с клетками фитопланктона, в желудках круглогодично присутствовали зоопланктонные организмы (размером до 200 мкм), личинки двустворчатых моллюсков. При наличии в планктоне некормового 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 встречаемых в желудках микроводорослей относятся к потенциально опасным, однако за 2010 – 2011 гг. эти виды не вызвали 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 кл/1 экз. моллюска.

Недостаток доступного корма был отмечен в июле 2010 г. и 2011 г. при низкой суммарной численности фитопланктона с доминированием *P. calcar-avis*. В этот период повышение температуры морской воды выше 26°C 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*.

Известно [1], 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. Псевдофекалии моллюски формировали 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 в течение всего периода наблюдений не испытывали дефицита корма.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. За период наблюдений в районе мидийно-устричной фермы обнаружено 168 видов и разновидностей микроводорослей, относящихся к 85 родам и 9 отделам. По численности и биомассе доминировали динофитовые, гаптофитовые и мелкоклеточные диатомовые водоросли – доступные для питания мидий и устриц. Максимальные значения численности зафиксированы в апреле 2010 г. и июне 2011 г., а биомассы – в июне–июле 2010 г., в июне и августе 2011 г. Наибольшего количественного развития в эти периоды достигали диатомовые, золотистые водоросли и цианобактерии.
2. Анализ содержимого желудков мидий и устриц показал, что кормовые условия в акватории морской фермы благоприятны для роста и развития моллюсков. Состав содержимого желудков мидий и устриц соответствовал таксономическому составу фитопланктона в районе фермы. В пищевом комке более 80% клеток составляли динофитовые водоросли, постоянно присутствовала золотистая водоросль *E. huxley* – ценный кормовой объект. Недостаток доступного корма был отмечен в июле 2010 и 2011 гг. при низкой

- суммарной численности фитопланктона с доминированием *P. calcar-avis* и температуре морской воды выше 26°C.
3. Межгодовые отличия в сезонном ходе параметров гидролого-гидрохимического режима определили изменчивость структуры фитопланктона, особенно в контрастные летние сезоны 2010 и 2011 гг. При экстремально высоких температурах в июле-августе 2010 г. на фоне общего снижения численности фитопланктона отмечено относительное увеличение биомассы некормовых видов крупноклеточных диатомовых микроводорослей. Понижение температуры воды в июне 2011 г. в результате развития апвеллинга привело к росту численности фитопланктона при доминировании мелких цианобактерий рода *Microcystis* и появлению динофитовых рода *Dinophysis* – потенциально опасных для человека при потреблении этих водорослей выращиваемыми моллюсками.
  4. Параметры гидрологического режима вод на акватории мидийно-устричной фермы в 2010-2012 гг. соответствовали тенденции «глобального потепления» прибрежных вод для районов ЮБК. 2010 г. характеризовался как год с экстремальным прогревом поверхностных вод за всю историю наблюдений и отсутствием проявления прибрежных апвеллингов. Внутригодовой ход температуры в 2011 г. был близок к среднегодовому, а летний период отличался активизацией сгонно-нагонных процессов.
  5. Сезонная изменчивость гидрохимических характеристик соответствовала среднегодовым для района ЮБК. Хорошая аэрация вод, достаточное количество биогенных элементов, отсутствие явных признаков антропогенного пресса способствовало формированию устойчивой кормовой базы культивируемых моллюсков.

#### Список литературы

1. Марикультура мидий на Чёрном море / [под ред. В. Н. Иванова]. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. – 314 с.
2. Сеничева М. И. Характеристика фитопланктона как объекта питания *Mytilus galloprovincialis* Lam. в районе марихозяйства бухты Ласпи / М. И. Сеничева // Экология моря. – 1990. – Вып. 36. – С. 7–15.
3. Куфтаркова Е. А. Оценка кормовых возможностей марихозяйства по содержанию биогенных веществ / Е. А. Куфтаркова, М. И. Сеничева, А. А. Субботин, А. С. Поляков // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа Вып: 20. – 2009. – С. 262–274.
4. Методические указания № 30. – М.: Гидрометеиздат, 1966. – 39 с.
5. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. – М.: ВНИРО, 1988. – 119 с.
6. Боровская Р. В. Апвеллинг в Балаклавской бухте и прилегающих акваториях Чёрного моря на базе спутниковых данных / Р. В. Боровская, П. Д. Ломакин, М. А. Попов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. – 2009. – Вып. 20. – С. 171–179.
7. Ильин Ю. П. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2: Чёрное море. / Ю. П. Ильин, Л. Н. Репетин, В. Н. Белокопытов [и др.]. – Севастополь: ЭКОСИ Гидрофизика, 2012. – 421 с.
8. Карнаушенко Н. Н. Основные особенности изменчивости атмосферных процессов и полей прибрежной зоны Чёрного моря у западного и юго-западного побережья Крыма на временных

- масштабах от межсезонных до многолетних / Н. Н. Карнаушенко, А. Е. Погребной // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. – 2003. – Вып.2 (7). – С. 162–176.
9. Куклин А. К. Экстремальные значения температуры воздуха и морской воды в прибрежной зоне Южного берега Крыма / А. К. Куклин, Н. Я. Куклина, О. А. Шабалина, С. А. Майборода // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. – 2012. – Вып. 26 (1). – С. 284–290.
  10. Щуров С. В. Исследование апвеллингов в районе мидийной фермы в бухте Ласпи / С. В. Щуров, А. А. Субботин, О. А. Трощенко, Т. А. Богданова // Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона: материалы VIII Международной конференции. – Керчь: ЮгНИРО, 2013. – С. 157–163.
  11. Михайлова Э. Н. Пространственно-временная изменчивость характеристик апвеллинга в северо-западной части Чёрного моря и у побережья Крыма в 2005-2008 гг. / Э. Н. Михайлова, М. А. Музылёва, А. Б. Полонский // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. – 2009. – Вып. 20. – С. 160–170.
  12. Трощенко О. А. Двухлетний цикл наблюдений за термохалинным режимом на мидийно-устричной ферме в районе Кацивели (Чёрное море) / О. А. Трощенко, А. А. Субботин, С. В. Щуров [и др.] // Матер. VIII междунар. конф. «Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона». – Керчь: ЮгНИРО, 2012. – С. 152–156.
  13. Трощенко О. А. Результаты комплексных экологических исследований на акватории мидийно-устричной фермы (Голубой залив, Крым, Чёрное море) / О. А. Трощенко, Куфтаркова Е. А., Лисицкая Е. В. [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2012. – Вып 26, Часть 1. – С. 291–309.
  14. Стоник В. А. Морские токсины: химические и биологические аспекты изучения / В. А. Стоник, И. В. Стоник // Успехи химии. – 2010. – 79 (5). – с. 442 – 465.
  15. Oberholster P. J. *Microcystis aeruginosa*: source of toxic microcystins in drinking water / P. J. Oberholster, A-M. Botha, J. U. Grobbelaar // African Journal of Biotechnology. – 2004. – Vol. 3, No 3. – P. 159–168.
  16. Холодов В. И. Выращивание мидий и устриц в Чёрном море / В. И. Холодов, А. В. Пиркова, Л. В. Ладыгина. – Воронеж: ООО «ИЗДАТ-ПРИНТ», 2017. – 508 с.

## **VARIABILITY OF FOOD RESERVE OF BIVALVES IN THE TWO-YEAR GROWING CYCLE ON THE MUSSEL-OYSTER FARM (BLACK SEA, BLUE GULF)**

***Pospelova N. V., Troshchenko O. A., Subbotin A. A.***

*A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation  
E-mail: nypospelova@mail.ru*

According to monthly complex observations during the two-year cycle (March 2010 - March 2012) in the region of the location of the mussel-oyster farm, the variability of the state of the phytoplankton community, as the basis of the food reserve of farmed mollusks, is considered on the background of different hydrological and hydrochemical conditions.

The parameters of the hydrological regime of waters in the mussel-oyster farm in 2010–2012 corresponded to trend of “global warming” of coastal waters for South Coast of Crimea. It is shown that 2010 was characterized as a year with extreme warming of surface waters and the absence of coastal upwelling.

The intra-annual course of temperature in 2011 was similar to the average year-long course, and the summer period was characterized by the activation of wind-surges processes.

In the mussel-oyster farm area, 168 species and varieties of microalgae were found. Dinoflagellate, haptophyte and small-cell diatom algae - available for feeding mussels and oysters, dominated in abundance and biomass. The dependence of the species and quantitative composition of phytoplankton on the parameters of the hydrological seasons, primarily the temperature regime and the nutrient content, was revealed. At extremely high temperatures in July-August 2010, against the background of a general decline in phytoplankton abundance, a relative increase in the biomass of non-forage species of large-cell diatom was noted. The decrease in water temperature in June 2011 as a result of the development of upwelling led to an increase in the phytoplankton abundance, especially cyanobacteria of the *Microcystis* genus and dinophytes of the *Dinophysis* genus. *Dinophysis* spp. are potentially dangerous for humans consuming farmed mollusks.

Analysis of the stomach contents of mussels and oysters showed that feeding conditions in the marine farm waters are favorable for the growth and development of bivalves. The composition of the stomachs contents of mussels and oysters corresponded to the taxonomic composition of phytoplankton in the farm water. Dinoflagellates accounted for more than 80% of the cells in the food lump. The *E. huxley*, a valuable food object, was constantly present in the stomach.

Good aeration of water, a sufficient number of biogenic elements, the absence of obvious signs of anthropogenic pressure promoted to the formation of a sustainable food supply of cultured mollusks.

**Keywords:** thermohaline structure, seasonal thermocline, hydrological regime, biogenic elements, phytoplankton, food spectrum.

#### References

1. *Mariculture of mussels on the Black Sea* [ed. V.N. Ivanov], 314 (ECOSY-Hydrophysics, Sevastopol, 2007).
2. Senicheva M.I. Characteristics of phytoplankton as a food object *Mytilus galloprovincialis* Lam. in the area of the marina farm of the bay Laspi. *Ecology of the sea*, 36, 7 (1990).
3. Kuftarkova E.A., Senicheva M.I., Subbotin A.A., Polyakov A.S. Evaluation of the feeding capacities of the marijuana in terms of the content of nutrients. *Ecological safety of the coastal and shelf zones and comprehensive investigations of the resources of the shelf*, 20, 262 (2009).
4. *Methodical Instructions*, 30, 39 (Gidrometeoizdat, Moscow, 1966).
5. *Methods of hydrochemical studies of basic biogenic elements*, 119 (VNIRO, Moscow, 1988).
6. Borovskaya R.V., Lomakin P.D., Popov M.A. Upwelling in Balaklava bay and adjacent Black Sea areas on the of satellite data basis, *Ecological safety of the coastal and shelf zones and comprehensive investigations of the resources of the shelf*, 20, 171 (2009).
7. Ilyin Yu., Repetin L.N., Belokopytov V. N., Goryachkin Yu., Dyakov N.N., Kubryakov A. A., Stanichny S. *Hydrometeorological conditions of the Ukrainian seas. The Black Sea*, 2, 421 (ECOSY Hydrophysics, Sevastopol, 2012).
8. Karnaushenko N.N., Pogrebnoi A.E. The main features of the variability of atmospheric processes and fields of the coastal zone of the Black Sea at the western and south-western coast of the Crimea on time scales from day to day perennial. *Ecological safety of the coastal and shelf zones and comprehensive investigations of the resources of the shelf*, 2 (7), 162 (2003).

9. Kuklin A.K., Kuklina N. Ya., Shabalina O.A., Maiboroda S.A. Extreme values of air and sea water temperature in the coastal zone of the Southern coast of the Crimea. *Ecological safety of the coastal and shelf zones and comprehensive investigations of the resources of the shelf*, **26 (1)**, 284 (2012).
10. Shchurov S.V., Subbotin A.A., Troshchenko O.A., Bogdanova T.A. Study of upwellings in the area of the mussel farm in the Laspi Bay (the Black Sea). *Proceedings of VIII International Conference "Modern fishery and ecological problems of the Azov-Black Sea region"* (YugNIRO, Kerch, 2013). p. 157.
11. Mikhailova E.N. Muzylyova M.A., Polonsky A.B. Spatio-temporal variability of upwelling characteristics in the northwestern part of the Black Sea and off the coast of the Crimea in 2005-2008, *Ecological safety of the coastal and shelf zones and comprehensive investigations of the resources of the shelf*, **20**, 160 (2009).
12. Troshchenko O.A., Subbotin A.A., Shchurov S.V., Eremin I.Yu. Two-year cycle of the thermohaline regime observations on the mussel-oyster farm in the Katsiveli area (the Black Sea). *Proceedings of VIII International Conference "Modern fisheries and ecological problems of the Azov-Black Sea region"* (YugNIRO, Kerch, 2013), p. 152.
13. Troshchenko O.A., Kuftarkova E.A., Lisitskaya E.V. Pospelova N.V., Rodionova N.Yu., Subbotin A.A., Eremin I.Yu. The results of complex ecological studies in the water area of the mussel-oyster farm (the Blue Gulf, Crimea, the Black Sea). *Ecological safety of the coastal and shelf zones and comprehensive investigations of the resources of the shelf*, **26 (1)**, 291 (2012).
14. Stonik V.A. Stonik I.V. Marine toxins: chemical and biological research apes. *Uspekhi Khimii*, **79 (5)**, 442 (2010).
15. Oberholster P.J., Botha A-M., Grobbelaar J.U. *Microcystis aeruginosa*: source of toxic microcystins in drinking water. *African Journal of Biotechnology*. **3 (3)**, 159 (2004).
16. Kholodov V.I., Pirkova A.V., Ladygina L.V. *Cultivation of mussels and oysters in the Black Sea*, 508 (OOO "IZDAT-PRINT", Voronezh, 2017).