

УДК 556:551.464:639.4(262.5)

**СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ И
ФИТОПЛАНКТОНА В РАЙОНЕ МИДИЙНОЙ ФЕРМЫ
БУХТЫ ЛАСПИ (2010–2011 ГГ.)**

Щуров С. В., Ковригина Н. П., Ладыгина Л. В.

*ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН»,
г. Севастополь, Россия
E-mail: skrimea@mail.ru*

Приводятся данные по термохалинной структуре, гидрохимическим показателям (кислород, БПК₅, окисляемость, минеральные и органические формы фосфора и азота) и фитопланктону, полученные в 2010 – 2011 гг. в бухте Ласпи в районе мидийной фермы, на контрольной станции и в районе выпуска. Показано, что величины температуры и солёности в исследуемый период не отличаются от многолетних значений. Отмечена высокая обеспеченность кислородом, величины БПК₅ и окисляемости были, в основном, ниже ПДК, установленной для рыбохозяйственных водоёмов. Средние величины минерального фосфора, кремния, а также азота нитратного и аммонийного были ниже, чем в незагрязнённых прибрежных водах Крыма. Дана оценка трофического уровня вод по величинам индекса эвтрофикации (E-TRIX). Максимальные значения численности и биомассы водорослей наблюдались в осенний и весенний периоды, что связано с оптимальным температурным режимом (10–15°C) и степенью обеспеченности нитратами и фосфатами.

Ключевые слова: термохалинная структура, гидрохимические показатели, численность и биомасса фитопланктона, индекс эвтрофикации E-TRIX, бухта Ласпи, мидийная ферма, Чёрное море.

ВВЕДЕНИЕ

Район бухты Ласпи (Южный Берег Крыма) географически охватывает шельфовую акваторию моря от мыса Сарыч до мыса Айя. Интерес к этому району обусловлен как его уникальными рекреационными характеристиками, так и оптимальными качествами для развития аквакультуры. Кроме того, район бухты Ласпи менее всего в прибрежной зоне моря ЮБК подвержен влиянию сброса сточных вод. Поэтому с 1984 г. в акватории восточной части бухты Ласпи была создавались фермы по выращиванию мидий.

Мониторинговые исследования в районе фермы сотрудники отдела проводили в два периода: с 1983 по 1987 гг. и с 2007 по 2013 гг. В основном изучались особенности распределения гидролого-гидрохимических показателей в теплое время года. Результаты проведенных исследований показали, что воды бухты Ласпи достаточно аэрированы от поверхности до дна. Благодаря интенсивному водообмену, накопления биогенных веществ и повышения их концентраций до экологически опасных уровней в районе фермы не наблюдалось [1,2,3].

Целью настоящей работы является изучение сезонной изменчивости абиотических факторов среды (солёности, температуры, режима кислорода и биогенных веществ) и фитопланктона на акватории фермы в бухте Ласпи в 2010–2011 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для решения задач, связанных с дальнейшим использованием акватории бухты Ласпи, как ресурса для развития прибрежной марикультуры, в период с января 2010 по декабрь 2011 гг. выполнено 22 гидролого-гидрохимические съемки, охватывающие все сезоны года. Ежемесячный отбор проб морской воды проводился с поверхности и у дна на ферме, в районе выпуска и на контрольной станции (рис. 1).

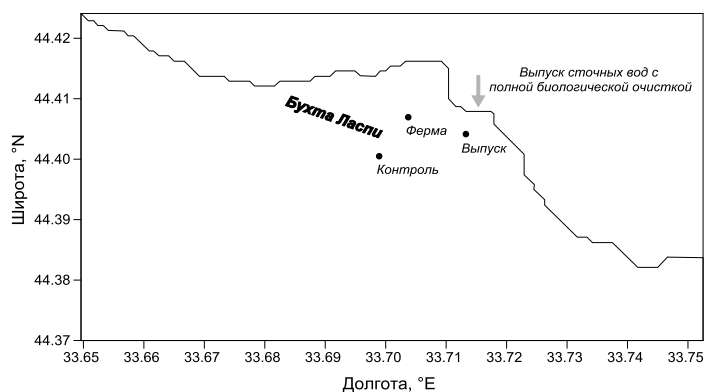


Рис.1. Схема станций отбора проб в бухте Ласпи.

Контрольная станция отражала режим прибрежной зоны, но находилась вне влияния выпуска сточных вод, на удалении 1500 м от берега. Оголовок выпуска находился в 300 м. от берега. Из гидролого-гидрохимических параметров определяли соленость, температуру, растворенный кислород, БПК₅, кремний, а также минеральные и органические формы азота и фосфора. Всего отобрано 132 пробы, в которых сделано 1500 анализов. Работы выполнены согласно стандартным гидрологическим и гидрохимическим методикам [4].

По средним величинам гидрохимических показателей и величинам хлорофилла «а», полученным ст.н.с. Стельмах Л. В. в период с апреля по август 2010 г, сделана оценка уровня трофности акватории бухты Ласпи. Величину индекса эвтрофикации E-TRIX рассчитывали согласно [5].

Пробы воды на фитопланктон отбирали с поверхности и на глубине 3 м в пластиковые ёмкости объемом 1.5 л. Затем их сгущали методом обратной фильтрации через ядерные мембраны с диаметром пор 1 мкм. Обработку проводили под микроскопом «Биолам» методом прямого счёта микроводорослей в живой и сгущенной капле ($V = 0.01$ мл), в камере ($V = 1$ мл).

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Известно, что изменчивость температуры морской воды находится в тесной зависимости от колебаний температуры воздуха. Ее сезонная изменчивость

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ И ФИТОПЛАНКТОНА В РАЙОНЕ...

определяется двумя основными физическими процессами: прогревом в весенне-летний сезон и охлаждением в осенне-зимние месяцы. Соленость вод Черного моря является более консервативной (по сравнению с температурой) характеристикой среды.

2010 г. отличался повышенной по сравнению с многолетними данными температурой воздуха. Так, интенсивный весенний прогрев привел к увеличению температуры поверхностного слоя моря (ПСМ) до 16°C уже к середине мая, а в августе температура воды повысилась до 29°C и превысила среднюю многолетнюю величину на 5.0°C (рис.2).

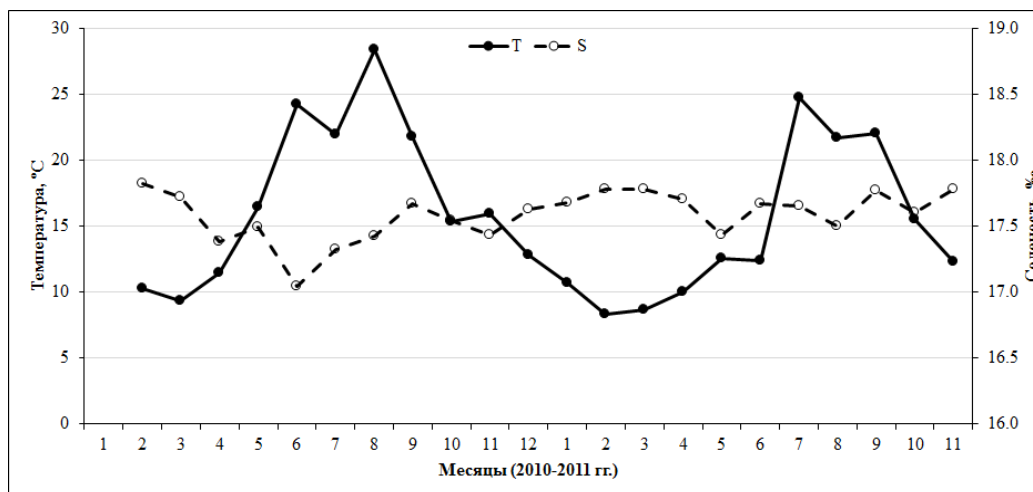


Рис. 2. Изменчивость величин температуры и солености воды на поверхности фермы в бухте Ласпи.

Лишь 8 июля в результате стгонных процессов (рис.3) температура ПСМ кратковременно понизилась на 4°C, а на глубине 20 метров – на 13°C. Подъем глубинных вод привел к увеличению концентрации биогенных веществ и кислорода на поверхности по сравнению с глубиной 10 метров. Осенью температура ПСМ плавно понижалась и достигла в ноябре 16°C (рис. 2). Анализ распределения величин солености ПСМ показал, что характер ее сезонной изменчивости соответствует классическому типу: падение величин до 17.04‰ в летние месяцы и их подъем до 17.85‰ в зимние.

В 2011 г. сезонная изменчивость гидрологических параметров была близка к средней многолетней, за исключением теплого периода. Летний период отличался сильной атмосферной неустойчивостью, что приводило к образованию стгонно-нагонных процессов и усилению динамической активности вод бухты. Сменяемые по направленности течения имели вдольбереговой характер и достигали 60–100 см/с.

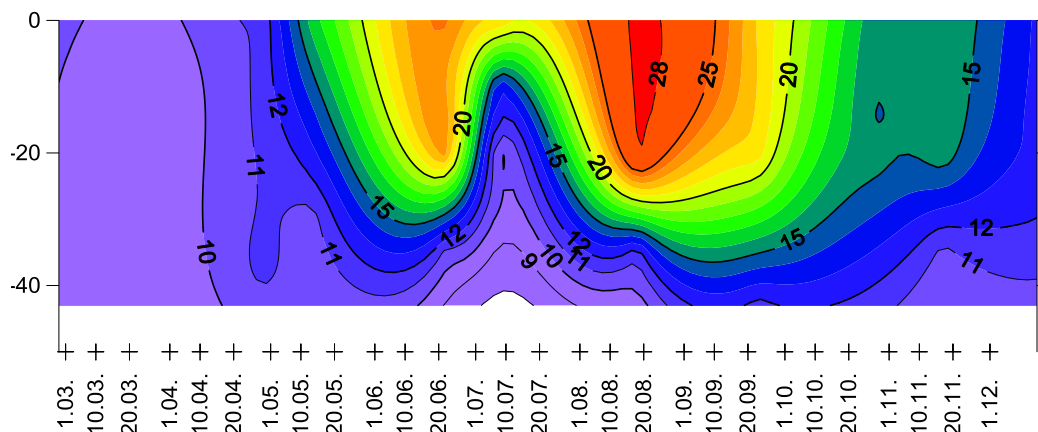


Рис. 3. Годовая изменчивость температуры в слое 0–50 м (2010 г.).

После воздействия ветров западной, северо-западной четвертей в период с 13 июня по 14 июля неоднократно наблюдался апвеллинг [6]. Температура воды понижалась с 22 до 9,5°C, а значения солёности повышались до 17,85‰ (рис. 2,4). И только с середины июля ход температуры и солёности воды стал близок к средним многолетним значениям.

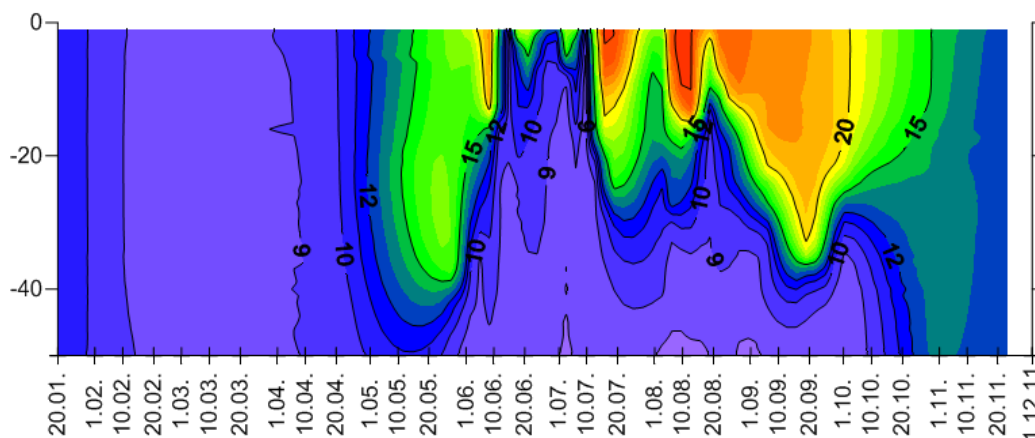


Рис. 4. Годовая изменчивость температуры в слое 0–50 м. (2011 г.).

В середине июля температура поверхностного слоя достигла максимального значения 25°C, но влияние холодных вод сохранялось весь тёплый период. Результатом этого явилось изменчивость толщины верхнего однородного слоя и нехарактерно высокое положение нижней границы сезонного термоклина (рис. 4).

Осенью 2011 г. значения температуры и солёности были близки к средним многолетним данным.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ И ФИТОПЛАНКТОНА В РАЙОНЕ...

Распределение кислорода подвержено сезонному изменению вследствие влияния температуры, меняющейся в большом диапазоне в течение года, а также процесса фотосинтеза. Величины абсолютного содержания кислорода, отмеченные на поверхности фермы, изменялись от 5.15 до 7.23 мл/л (2010 г.) и от 5.93 до 7.39 мл/л (2011 г.). Диапазоны изменчивости абсолютного содержания кислорода, полученного на контрольной станции и выпуске, почти не отличались от диапазона его изменчивости в районе фермы. На рис. 5 представлена изменчивость величин абсолютного и относительного содержания кислорода на поверхности фермы, контрольной станции и в районе выпуска с февраля 2010 по ноябрь 2011 гг.

Кривые сезонного распределения кислорода на всех станциях аналогичны друг другу. Максимальные значения отмечены после зимнего конвективного перемешивания в марте, минимальные – в августе (2010) и сентябре (2011).

В придонном слое абсолютное содержание кислорода на ферме изменялось от 5.50 (август 2010) до 7.32 мл/л (июнь 2011); на контрольной станции – от 6.00 (ноябрь 2010) до 7.19 мл/л (март 2011) и на выпуске – от 5.11 в августе до 7.06 мл/л в феврале. Величины кислорода не опускались ниже ПДК, равной 4.2 мл/л, установленной для рыбохозяйственных водоемов. Случаев дефицита кислорода в придонном слое не наблюдали. Распределение величин кислорода в районе исследования практически не отличалось от его распределения в прибрежной зоне Черного моря. В холодный период, с декабря по май, на поверхности и в придонном слое происходило повышение содержания кислорода; летний период характеризовался снижением его величин.

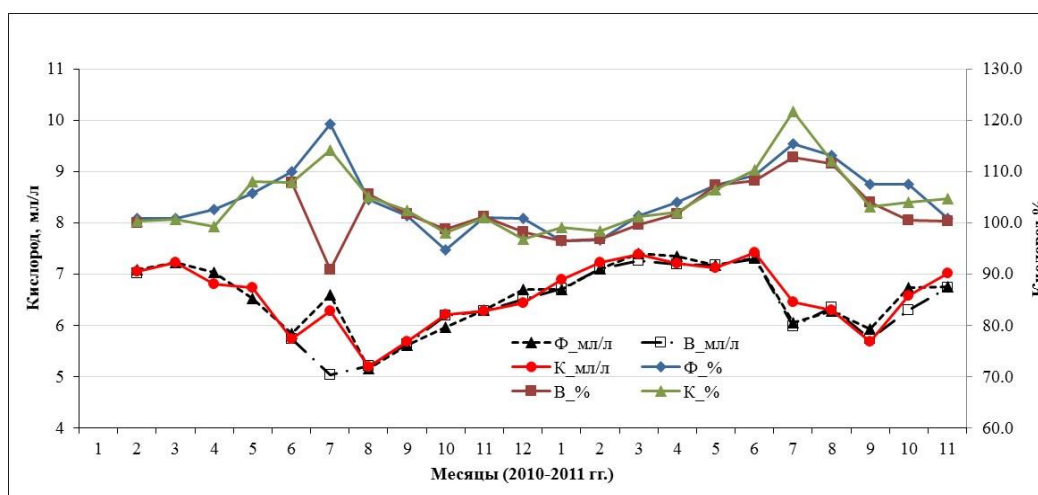


Рис.5. Изменчивость содержания растворенного кислорода на поверхности фермы (Ф – ферма, К – контроль, В – выпуск).

Относительное содержание кислорода в 2010 г на поверхности фермы изменялось от 94.6 до 119.1 и в придонном слое от 96.8 до 111.1 % насыщения. Средние величины относительного содержания кислорода на поверхности и в

придонном слое практически не отличались друг от друга и составляли 103.7 и 103.3 % соответственно. Максимальное значение на поверхности отмечено в июле, минимальное – в октябре. В придонном слое максимум зафиксирован в августе, минимум так же, как и на поверхности – в октябре.

В 2011 г. относительное содержание кислорода на ферме в придонном слое колебалось от 96.4 до 106.3 %. Минимальные значения во всем слое отмечены в январе, максимальные зафиксированы на поверхности в июле, а в придонном слое – в мае. Средняя величина относительного содержания кислорода в придонном слое близка к 100 %-ному насыщению, а на поверхности она значительно выше.

В целом, в зимние месяцы относительное содержание кислорода было немного ниже нормы, в летний период оно было выше нормы. В районе контрольной станции и на выпуске величины относительного содержания кислорода имели близкие значения к тем величинам, что получены в районе фермы. Сезонная изменчивость относительного содержания кислорода на контроле и на выпуске аналогична его изменчивости в районе фермы.

В 2010 г. величины БПК₅ в слое 0–дно изменялись от 0.09 до 1.82 на ферме, от 0.22 до 2.15 – на контрольной станции и от 0.14 до 1.65 мг/л – в районе выпуска. В следующем году диапазоны изменений величин БПК₅ составляли соответственно: 0.16–3.06, 0.32–3.56 и 0.15–3.68 мг/л. Их средние значения за весь период исследований изменялись в пределах от 0.58 на выпуске до 1.50 мг/л на контрольной станции и были ниже предельно-допустимой концентрации (ПДК), равной 2.0 мг/л по рыбохозяйственным нормативам. Превышение ПДК на ферме отмечено в июне (2.99 мг/л на поверхности) и в августе 2011 г. (3.06 – на поверхности и 2.17 мг/л – у дна).

На контрольной станции превышение ПДК отмечено только на поверхности, но чаще, чем на ферме. Если в 2010 г. оно зафиксировано только один раз, в августе (2.15 мг/л), то в 2011 – на пяти съёмках из одиннадцати. Максимальное превышение ПДК, почти в 1.8 раза, наблюдали в июне (3.56 мг/л). В районе выпуска превышение отмечено в двух съёмках из 11-ти, выполненных в 2011 г.: в июне (2.67 – на поверхности и 2.35 мг/л – у дна) и октябре (3.68 мг/л – на поверхности). В режиме сезонной изменчивости, повышение значений БПК₅ наблюдали в весенне-летний и понижение их значений в осенне-зимний периоды.

Определяли только один раз, в декабре 2010 г. Её величины изменялись от 2.80 на ферме до 4.78 мгО/л на контрольной станции. Превышение ПДК=4.0 мгО/л по рыбохозяйственным нормативам на 0.78 мгО/л зафиксировано на поверхности контрольной станции. Остальные величины окисляемости были ниже ПДК и мало отличались друг от друга, что свидетельствует о «чистоте» района бухты Ласпи.

Годовой диапазон концентраций кремния в водах фермы варьировал от 6.6 до 71.3 мкг/л на поверхности и от 3.3 до 78.5 мкг/л в придонном слое при средних значениях 45.2 и 57.8 мкг/л соответственно. Средние концентрации кремния, полученные нами в бухте Ласпи, отличаются от других акваторий крымского шельфа на порядок в сторону уменьшения. Низкое содержание кремния, на наш взгляд, вызвано незначительным участием речного стока в формировании химической структуры вод.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ И ФИТОПЛАНКТОНА В РАЙОНЕ...

Годовая изменчивость кремния на поверхности и в придонном слое отличалась синхронностью с некоторым повышением величин кремния от поверхности ко дну. Сезонный ход концентраций кремния заключался в понижении его величин с мая по август и повышении – с сентября по февраль. Кривые сезонной изменчивости концентраций кремния на всех станциях исследования практически совпадают. Распределение концентраций кремния на поверхности фермы, на контрольной станции и в районе выпуска представлено на рис 6.

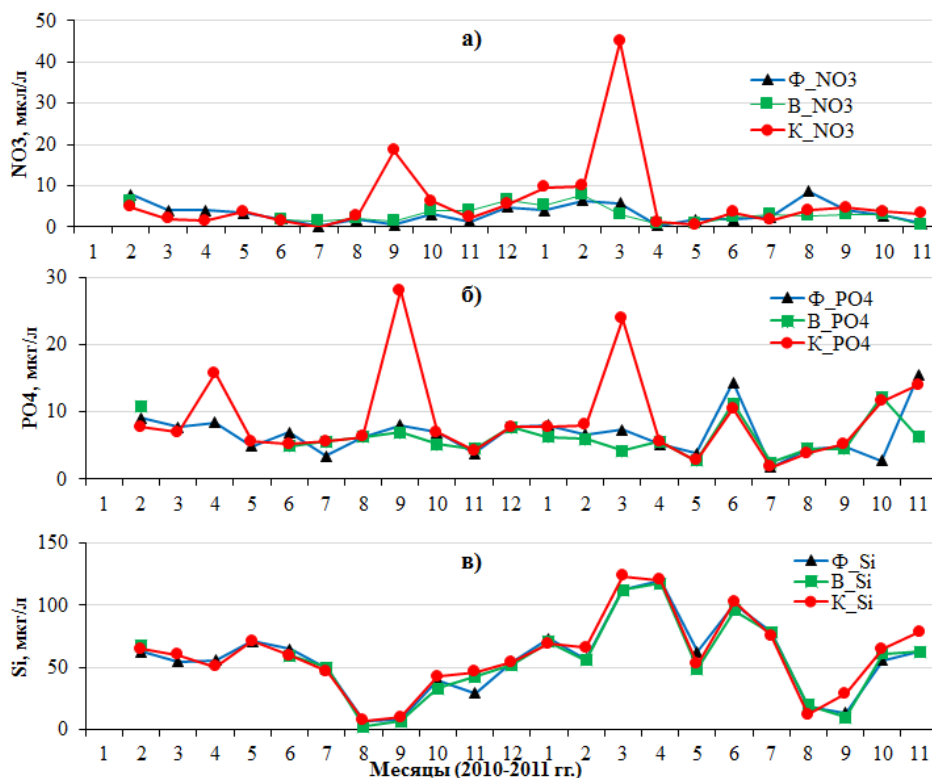


Рис. 6. Изменчивость концентраций биогенных элементов на поверхности фермы, контрольной станции и выпуске: а) – Si, б) – PO₄, в) – NO₃ мкг/л.

Среди факторов, изменяющих концентрацию фосфатов в прибрежной части моря, наиболее значимыми являются: сезонные колебания, динамические процессы, склоновый сток и антропогенное влияние. В сезонном распределении фосфатов на акватории бухты Ласпи обнаружена характерная для открытого моря тенденция: повышенное содержание в зимний период, обусловленное процессами перемешивания и замедлением фотосинтезирующей активности фитопланктона и пониженное до следовых концентраций в весенне-летний период (рис. 6).

Увеличение содержания фосфатов неоднократно отмечалось также и в летний период. Это может быть связано, во-первых, с регенерацией фосфатов из растворенного органического вещества в теплое время года. Во-вторых, причиной

повышения концентрации фосфатов также может быть подъём глубинных вод в результате сгонов. Например, 8-ого июля 2010 г. в результате сгона отмечено повышение величин фосфатов на 0.3 мкг/л на поверхности фермы, контрольной станции и на выпуске по сравнению с величинами, полученными на глубине 10 метров. Подтверждением этому служит резкое снижение температуры на глубине 10 метров: в районе фермы на 5.0°C, на контрольной станции – на 9.2°C и на 7.2°C в районе выпуска. Также повышения фосфатов в результате сгона отмечен 21 июня 2011 г. на поверхности в районе фермы, где зафиксировано превышение фосфатов на 2.1 мкг/л по сравнению с концентрацией, полученной на горизонте 10 метров. При этом на глубине 10 м. произошло снижение температуры на 2.6°C по сравнению с поверхностью.

Изменение содержания минерального фосфора в районе фермы колебалось в интервале от 3.5 до 9.1 мкг/л на поверхности и от 4.2 до 24.5 мкг/л у дна. На поверхности контрольной станции концентрации фосфатов отличались большей изменчивостью (от 1.8 до 28.0 мкг/л) по сравнению с фермой и выпуском. В районе выпуска – от 2.5 до 12.3 мкг/л на поверхности и от 4.2 до 15.4 мкг/л у дна. Следует отметить, что на поверхности в районе контрольной станции средние величины фосфатов превышают более чем на 2 мкг/л средние, полученные на ферме и выпуске. Для всей исследуемой акватории средние концентрации фосфатов за 2 года составили 6.7 мкг/л на поверхности и у дна – 7.6 мкг/л, что соответствует незагрязненным водам.

Концентрация *азота нитратного* в районе фермы, в целом, была низкой; отличия между содержанием нитратов на поверхности и у дна не зарегистрированы. В течение двух лет исследований величины азота нитратного изменялись от 0.2 до 9.2 мкг/л на поверхности и от 0 до 7.2 мкг/л в придонном слое. Средние значения концентраций нитратов составляли: на поверхности фермы – 3.4, у дна – 3.0 мкг/л. В районе контрольной станции в течение двух лет концентрации нитратов изменялись в более широком диапазоне по сравнению с акваторией фермы. Их предел колебаний составлял 0 – 45.0 мкг/л на поверхности и 0.8–14.9 мкг/л в придонном слое, при средних значениях в 6.2 на поверхности и 5.7 мкг/л в придонном слое. В районе выпуска за исследованный период величины нитратов изменялись от 0.4 до 7.8 мкг/л на поверхности и от 0.3 до 9.2 мкг/л в придонном слое, при средних в 3.1 и 2.9 мкг/л соответственно. С октября по февраль на всей исследованной акватории прослеживалось повышение концентрации нитратов, с мая по февраль – понижение (рис 6). Следует отметить, что на поверхности в районе контрольной станции средняя концентрация нитратов была в 2 раза выше, чем на ферме и на выпуске.

Распределение нитратов, также как и фосфатов на контрольной станции отличалось большей изменчивостью и высокими концентрациями по сравнению с фермой и выпуском. Можно сказать, что принятая нами контрольная станция, как наиболее удаленная от берега, не соответствует критериям условно-чистой прибрежной воды. Причиной такого распределения являются особенности динамики вод в бухте Ласпи.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ И ФИТОПЛАНКТОНА В РАЙОНЕ...

Концентрация азота аммонийного колебалась в районе фермы от 3.5 до 29.3 мкг/л на поверхности и от 0 до 57.1 мкг/л в придонном слое с максимальными значениями в июне. На контрольной станции величины азота аммонийного изменялись в более широком диапазоне по сравнению с фермой: от 2.5 до 55.0 мкг/л на поверхности и от 2.5 до 27.8 мкг/л в придонном слое. В районе выпуска величины азота аммонийного имели самый широкий диапазон изменчивости на поверхности, который составлял 4.5–70.7 мкг/л, а в придонном слое диапазон изменчивости (2.5–42.9 мкг/л) сопоставим с величинами, полученными в придонном слое в районе фермы. Средние величины азота аммонийного для всей исследованной акватории составляют 16.0 мкг/л (поверхность) и 15.3 мкг/л (придонный слой). С июля по сентябрь на всей акватории отмечено понижение, а с февраля по июнь – повышение концентраций азота аммонийного. Сезонная изменчивость величин азота аммонийного в б. Ласпи находится в полном соответствии с внутригодовым изменением его концентраций в незагрязненных прибрежных районах Черного моря.

Средние величины органического фосфора, полученные нами в 2010 г. на поверхности фермы, контрольной станции и в районе выпуска имели близкие значения и составляли: 9.3, 8.8 и 10.2 мкг/л соответственно. В 2011 г. на поверхности на всех станциях средние величины имели значения на 3.0 мкг/л ниже, чем в предыдущем году. В придонном слое средняя концентрация органического фосфора в районе выпуска имела по сравнению с фермой и контролем повышенное (14 мкг/л) значение в 2010 г. и максимальное (25.5 мкг/л) в следующем. Повышенные величины *Норг* связаны с влиянием хозяйственного стока, содержащего большое количество фосфора минерального и органического. На ферме и на контроле средние величины *Норг* за двухлетний период исследований находились в диапазоне от 8.1 до 10.1 мкг/л и почти не отличались друг от друга. В режиме сезонной изменчивости отмечено повышение содержания *Норг* с февраля по июль и понижение с августа по декабрь на всей исследованной акватории по поверхности и в придонном слое.

Наиболее изменчивой в исследуемый период была концентрация органического азота. Его величины имели широкие диапазоны изменчивости, которые составляли в 2010 г. на поверхности фермы 175–489 мкг/л, на контроле – 174–846 и на выпуске – 181–347 мкг/л. В следующем году его диапазоны изменчивости составляли: 85–402, 40–505 и 49–509 мкг/л соответственно. Максимальная величина *Норг* в районе фермы отмечена на поверхности (489 мкг/л) в апреле 2010 г., что связано с поступлением органического азота со всей водосборной площади, в т. ч. с сельхозугодий после прошедших дождей. Подтверждением тому служит снижение величин солености на 0.38‰ в апреле 2010 г. по сравнению с предыдущим месяцем. Максимальная величина *Норг* в придонном слое (386 мкг/л) зафиксирована в июне следующего года во время сгона, что подтверждается снижением температуры в июне на 2.3°C по сравнению с температурой в мае того же года. Средние значения *Норг*, полученные в исследуемый период, уменьшались от поверхности до дна. Четкого сезонного хода в распределении величин азота органического не отмечено.

Представляет интерес сравнение величин гидрохимических показателей, полученных на поверхности фермы в марте 2010 и 2011 гг. и в марте 2017 г. во время 93-го рейса НИС «Профессор Водяницкий». Концентрации минеральных форм азота и кремния в современный период были в 3 раза, а органического азота в 7 раз выше, чем в период 2010–2011 гг. Такое превышение связано с вероятностью попадания поверхностного стока в бухту Ласпи после таяния снега, сильных дождей и смыва минеральных удобрений с сельхозугодий. Остальные величины гидрохимических показателей в современный период имели значения одного порядка с периодом 2010–2011 гг.

Для оценки экологического состояния вод бухты Ласпи на основании данных полученных во время комплексного мониторинга были рассчитаны величины индекса эвтрофикации E-TRIX для акваторий фермы и контрольной станции. Для расчета величин (E-TRIX) использовались данные Л. В. Стельмах по содержанию хлорофилла «а» с апреля по август 2010 г. В районе фермы содержание хлорофилла «а» изменялось от 0.11 мг/м³ в августе до 0.75 мг/м³ в апреле. На контрольной станции оно было аналогично содержанию на ферме: от 0.14 в августе до 0.64 мг/м³ в апреле. Средние значения величин хлорофилла «а» составляли соответственно: 0.46 мг/м³ на ферме и 0.35 – на контрольной станции.

Распределение величин E-TRIX в районе фермы с апреля по август 2010 г. было достаточно однородным: от 1.63 в феврале до 2.96 в июле. На контрольной станции величины E-TRIX изменялись в пределах от 1.72 (август) до 2.96 (май). Классы качества воды в зависимости от величин E-TRIX представлены в табл. 1.

Таблица 1.
Качество морских вод в зависимости от величин E-TRIX

Величины T-TRIX	Трофические категории
<4	Низкий трофический уровень
4–5	Средний трофический уровень
5–6	Высокий трофический уровень
6–10	Очень высокий трофический уровень

Средние величины индекса эвтрофикации, полученные для акватории бухты Ласпи имели значения 2.26 в районе фермы и 2.90 – на контрольной станции. Поскольку эти величины < 4, мы можем отнести воды бухты Ласпи к низкому трофическому уровню. В табл. 2 представлены для сравнения средние значения E-TRIX полученные в некоторых прибрежных районах Севастополя.

При сравнении средних величин индекса эвтрофикации E-TRIX, полученных в водах бухты Ласпи и в водах некоторых прибрежных районов Севастополя можно отметить, что уровень трофности на акватории бухты Ласпи практически не отличается от уровня трофности представленных в табл. 2 прибрежных районов Севастополя.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ И
ФИТОПЛАНКТОНА В РАЙОНЕ...

Таблица 2.

Величины E-TRIX в прибрежных районах Севастополя

Районы исследований	E-TRIX
Балаклавская бухта	3.04
Севастопольское взморье	2.73
Севастопольская бухта	3.24
Карантинная бухта	2.99
Бухта Круглая	2.27

На мидийной ферме в б. Ласпи за период с марта 2010 г. по март 2011г. было обнаружено 120 видов и разновидностей микроводорослей, относящихся к 7 отделам и 68 родам. Из них динофитовые – 53 вида, диатомовые – 50, золотистые – 10, зелёные – 3, цианобактерии – 2, криптофитовые – 1 и эвгленовые – 1. Наибольшее видовое разнообразие отмечено поздней осенью – 65 видов и летом – 50 видов. Из них: диатомовые рода *Chaetoceros* (8 видов), динофитовые рода *Gymnodinium* (7 видов), *Protoperidinium* (7 видов), *Prorocentrum* (6 видов), *Peridinium* (4 вида), *Glenodinium* и *Dinophysis* (3 вида). Круглогодично в планктоне встречались мелкие жгутиковые водоросли, кокколитофорида *Emiliana huxleyi* (Lohmann) W.W. Hay Н.Р. Mohler 1967, диатомовые: *Licmophora ehrenbergii* (Kützing) Grunow, 1867, *Proboscia alata* (Brightwell) Sundström 1986, *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) Sundström 1986, *Nitzschia tenuirostris*; динофитовые: *Ceratium furca* (Ehrenberg) Claparède & Lachmann, 1859, *C. tripos* (Müller) Nitzsch, 1817, *C. fusus*. (Ehrenberg) Dujardin, 1841, *Prorocentrum cordatum* (Ostenf.) Dodge 1975, *P. micans* (Ehrenberg), 1983, *P. compressum* (Bailey) Abe ex Dodge 1975, *P. stenii*. Из золотистых водорослей в небольшом количестве встречались *Distephanus speculum* (Ehrenberg) Haeckel, 1887 и *D. speculum var. octonarius* (Ehrenberg) Jörgensen, 1899.

Суммарная численность фитопланктона на ферме за период наблюдений изменялась в пределах $20-510 \times 10^6$ кл·м⁻³, а биомасса – $50-405$ мг·м⁻³ (рис. 7). Максимального количественного развития достигали диатомовые и золотистые водоросли, а также цианобактерии. Численность диатомовых водорослей на протяжении года не превышала уровня «цветения» морской воды.

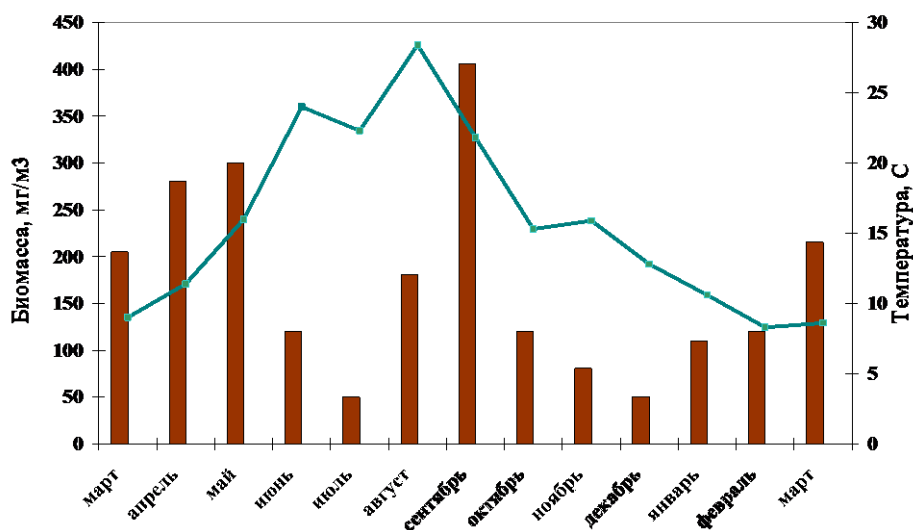


Рис 7. Динамика сырой суммарной биомассы фитопланктона в районе мидийной фермы (б. Ласпи, 2010 – 2011 гг.).

Известно, что видовое разнообразие фитопланктона зависит от температуры морской воды, солёности, степени обеспеченности биогенными элементами (нитраты, фосфаты, кремний), органическими соединениями, от содержания кислорода и углекислого газа [7]. В течение года эти показатели могут изменяться в зависимости от гидрологических и синоптических факторов, динамической активности основного черноморского течения и береговых стоков. Это приводит к изменению видового состава водорослей, поэтому показатели общей численности и биомассы фитопланктона носят сезонный характер. Наибольшее количество микроводорослей на мидийной ферме отмечено в весенний период. Так, в апреле 2010 г. при температуре воды 11°C наблюдалось максимальное развитие фитопланктона в поверхностном слое (рис. 8). Максимальная численность микроводорослей достигала $450 \cdot 10^6$ кл·м⁻³. В планктоне преобладали диатомовые водоросли: *Skeletonema costatum* (Creville) Cleve 1873, *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* (Hasle) Hasle, 1993 и виды рода *Chaetoceros* (Ehrenberg), 1844, что вызвано высокой концентрацией кремния в морской воде (56.1 – 71 мкг/л). С марта по июнь доминировала кокколитофориды *E. huxleyi* – до 55% общей биомассы. Поэтому микроводоросли *S. costatum* и *E. huxleyi* являлись основными кормовыми объектами для мидий. Виды рода *Chaetoceros*, в связи с наличием длинных щетинок, не имеют пищевой ценности для двустворчатых моллюсков.

диатомовых и золотистых водорослей, клетки которых по своим размерам соответствуют пищевому спектру культивируемых моллюсков.

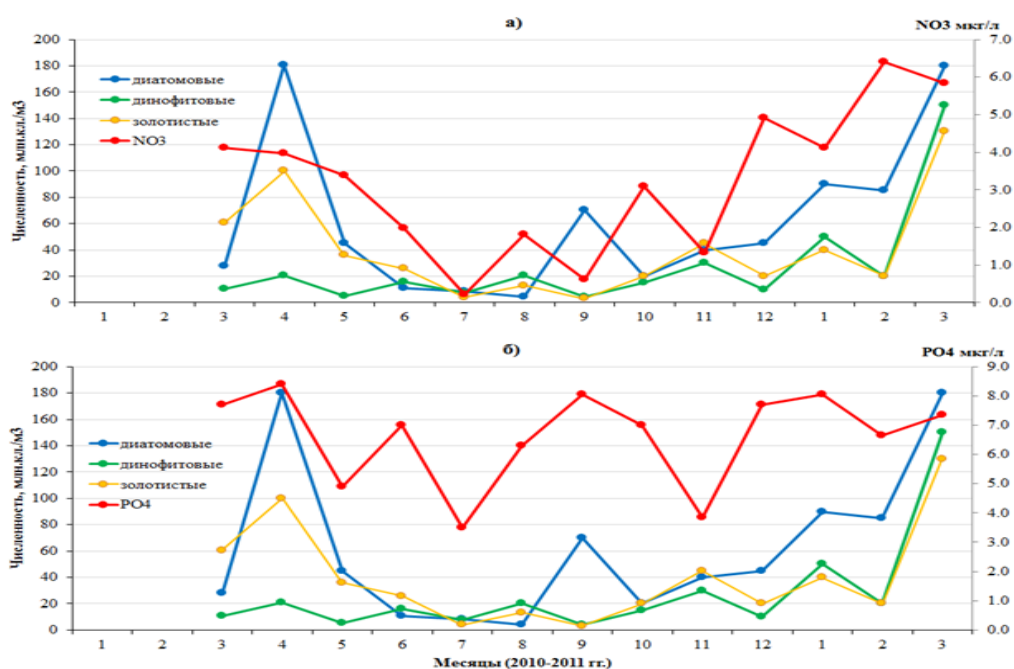


Рис. 9. Динамика численности основных групп фитопланктона в зависимости от содержания нитратов и фосфатов в морской воде.

В ранне-осенний период (в сентябре) при понижении температуры воды в поверхностном слое до 21°C наблюдалось увеличение численности и биомассы фитопланктона в 2–3 раза по сравнению с летним периодом. В основном преобладали крупноклеточные диатомовые водоросли, которые составляли 65–75 % от суммарной численности и 80–95 % от суммарной биомассы. Численность динофитовых водорослей, ценных кормовых объектов двустворчатых моллюсков, была низкой – 4×10^6 кл·м⁻³. В октябре-ноябре (15–16°C), в связи с подъёмом глубинных вод и обогащением фотического слоя фосфатами (до 24.5 мкг·л⁻¹), отмечен пик численности динофитовых водорослей: *P. compressum*, *P. cordatum*, *G. wulfii*, *G. kovalevski* размер клеток, которых 4–50 мкм. В планктоне вновь появилась кокколитофориды *E. huxleyi*. Пик её численности – 46% от суммарного значения, был отмечен ноябре. Самые низкие показатели численности и биомассы отмечались в декабре – 25×10^6 кл·м⁻³ и 150 мг·м⁻³ соответственно. В период с октября по декабрь численность фитопланктона не превышала 150×10^6 кл·м⁻³, а биомасса – 120 мг·м⁻³. В планктоне преобладали мелкоклеточные виды водорослей, которые составляли основу кормовой базы мидий.

В январе – марте 2011 г. было отмечено увеличение количественных показателей численности и биомассы фитопланктона. В это время в районе фермы

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ И ФИТОПЛАНКТОНА В РАЙОНЕ...

кроме *E. huxleyi* были отмечены диатомовые водоросли: *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky, 1902; динофитовые: *P. compressum*, *P. cordatum* *Dictyocha speculum* Ehrenberg, 1839 и золотистые: *Octactis octonaria* (Ehrenberg) Novasse, 1946. В феврале с понижением температуры морской воды до 8°C, значения численности и биомассы были несколько ниже, чем в январе, и составляли соответственно 150×10^6 кл·м⁻³ и 120 мг·м⁻³. Наблюдалось развитие диатомовых водорослей *S. costatum* и *Cerataulina pelagica* (Cleve) Hendeу, 1937, а также характерных для поздне-весеннего периода видов рода *Chaetoceros*. В марте с повышением температуры до 8,6°C и увеличением содержания фосфатов до 7.4 мкг·л⁻¹ было отмечено значительное разнообразие видов водорослей, и отсюда увеличение их биомассы в 2 раза. Кормовой фитопланктон был представлен видами: *S. costatum*, *P. costatum*, *P. micans*, *Gymnodinium wulffii*, *Gyrodinium pingue* (Schütt) Kofoid & Swezy, 1921, *E. huxleyi*, *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich III 1976, их численность составляла 50%, а биомасса 15% от суммарных значений.

За исследуемый период в акватории б. Ласпи наблюдалось круглогодичное доминирование в планктоне золотистой водоросли *E. huxleyi*. Существенный эффект на рост микроводоросли оказывает концентрации фосфатов в морской воде [8]. Лимитирование фосфатов в районе фермы в течение года не наблюдалось. Их значения варьировали от 3.5 до 9.1 мкг·л⁻¹ на поверхности и от 4.2 до 24.5 мкг·л⁻¹ у дна. Высокие значения численности *E. huxleyi* отмечались с марта по июнь 2010 г. ($100\text{--}40 \times 10^6$ кл·м⁻³), и с января по март 2011 г. при максимальной концентрации клеток – 200×10^6 кл·м⁻³, что составляло 45% от общей численности фитопланктона.

Динофитовые водоросли на мидийной ферме в б. Ласпи отличались наибольшим видовым разнообразием (58 видов). Однако значения численности и биомассы были небольшие и изменялись соответственно от 0.57 до 41.06×10^6 кл·м⁻³ и от 3.84 до 149.00 мг·м⁻³. Размер клеток этих видов водорослей до 50 мкм, поэтому они были основными в пищевом спектре моллюсков.

Цианобактерии встречались в планктоне круглый год, что свидетельствует о высоком содержании в воде растворенного органического вещества (РОВ). В апреле 2010 г. содержание N_{орг.} было максимальным – 490 мкг·л⁻¹. В мае также сохранялись его высокие концентрации – до 390 мкг·л⁻¹. Содержание P_{орг.} в апреле и июне было повышенным и составляло соответственно 8.2 и 8.5 мкг·л⁻¹; а в мае оно достигло максимального значения – 15.3 мкг·л⁻¹. Максимальная численность цианобактерий ($70\text{--}106 \times 10^3$ кл·м⁻³) зарегистрирована в апреле–июне 2010 г. на поверхности бухты, что вероятно связано с поступлением пресных вод, о чём свидетельствуют высокие концентрации кремния с апреля (56 мкг·л⁻¹) по июнь (65 мкг·л⁻¹), с максимумом в мае (71 мкг·л⁻¹).

Микроводоросли рода *Dinophysis*, продуцирующие биотоксины, вегетировали в планктоне круглый год, но их численность за весь период исследований не достигала высоких значений (90 кл·л⁻¹), поэтому они не представляли никакой опасности для культивируемых моллюсков [9].

Основными кормовыми объектами для мидий являются микроводоросли овальной и округлой формы, размер которых 5–90 мкм и водоросли продолговатой

и цилиндрической формы до 300 мкм [10]. В течение года на ферме доминировали мелкие жгутиковые водоросли (2–5 мкм), золотистые, мелкоклеточные диатомовые водоросли и динофитовые (до 70 мкм), которые являлись основной кормовой базой моллюскам. Численность этих видов водорослей на ферме за период исследований не превышала 20%, а в августе и октябре 2010 г. эти значения были ниже 5%. Однако мидии не голодали, сроки созревания гонад и нерест их были своевременны. Очевидно, моллюски питались мелкими жгутиковыми водорослями, которые легко и быстро переваривались и усваивались, либо потребляли детрит, который присутствовал во всех пробах морской воды.

ВЫВОДЫ

На основании комплексного мониторинга акватории фермы, районов контрольной станции и выпуска в бухте Ласпи получены следующие выводы:

1. Изменчивость температуры поверхностного слоя сильно отличалась от средних многолетних значений и зависела не только от колебаний температуры воздуха, но и от динамической активности района и сгонно-нагонных процессов. Термохалинный режим района практически полностью соответствует оптимальным условиям для выращивания моллюсков.

2. Обеспеченность кислородом во всем слое была высокой (94–120 %); отмечено отсутствие дефицита кислорода в придонном слое. Величины БПК₅ и окисляемости были, в основном, ниже ПДК по рыбохозяйственным нормативам.

3. Концентрации биогенных веществ на исследуемой акватории были ниже, чем в незагрязненных прибрежных водах Крыма: фосфаты – в 2 раза, нитраты – в 4 раза и кремний – на порядок.

4. Исследованный район является «незагрязненным» и благоприятным для размещения марихозяйств. Средние величины индекса эвтрофикации E-TRIX, полученные в водах бухты Ласпи, соответствуют низкому уровню трофности.

5. Максимальные значения суммарной численности и биомассы водорослей наблюдались в осенний и весенний периоды, что связано с оптимальными значениями температуры (10–15°C) и степенью обеспеченности нитратами и фосфатами.

Список литературы

1. Куфтаркова Е. А., Ковригина Н. П., Бобко Н. И. Оценка гидрохимических условий бухты Ласпи – района культивирования мидий // *Экология моря*. 1990. Вып. 36. С. 1–7.
2. Ациховская Ж. М., Чеменова Н. И. Оценка динамической активности вод района бухты Ласпи (Черное море) // *Экология моря*. Вып. 59. 2002. С. 5–8.
3. Куфтаркова Е. А., Щуров С. В. Результаты гидролого-гидрохимического мониторинга мидийной фермы в прибрежной зоне южного берега Крыма (бухта Ласпи) // *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. Спец. Вып.: Гідроекологія*. 2010. №3 (44). С. 133–136.
4. Руководство по методам химического анализа морских вод / Под ред. С. Г. Орадовского. СПб.: Гидрометеиздат. 1993. 264 с.
5. Vollenveider R. A., Giovanardi F., Montanari G., Rinaldi A. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea. Proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index, 1998, № 9, *Environmetrics*, pp. 329 – 357.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ И ФИТОПЛАНКТОНА В РАЙОНЕ...

6. Щуров, А. А., Субботин, О. А., Трошенко, Т. А., Богданова. Исследование апвеллингов в районе мидийной фермы в бухте Ласпи / Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона: материалы VIII Международной конференции. Керчь: ЮгНИРО, 2013. С. 157–163.
7. Трошенко О. А., Щуров С. В., Субботин А. А., Поспелова Н. В. Эксперимент по комплексному исследованию апвеллинга в районе мидийной фермы (б. Ласпи, Чёрное море) // Морские биологические исследования: достижения и перспективы: в 3-х т.: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции (Севастополь, 19–24 сентября 2016 г.) / под общ. ред. А.В. Гаевской. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 3. С.456 – 459.
8. Паутова Л.А., Микаэлян А.С., Силкин В.А. Структура планктонных фитоценозов шельфовых вод северо-восточной части Чёрного моря в период массового развития *Emiliana huxleyi* в 2002–2005 гг. // Океанология. 2007. Вып. 47. №3. С. 408–417.
9. Холодов В. И., Пиркова А. В., Ладыгина Л.В. Выращивание мидий и устриц в Чёрном море. Воронеж: ООО «ИЗДАТ-ПРИНТ», 2017. 508 с.
10. Сеничева М. И. Характеристика фитопланктона как объекта питания *Mytilus galloprovincialis* Lam. в районе марихозяйства бухты Ласпи // Экология моря. 1990. Вып. 36. С. 7–15.

SEASONAL VARIATION OF ABIOTIC FACTORS OF ENVIRONMENT AND PHYTOPLANKTON IN THE LASPI BAY MUSSEL FARM AREA (2010–2011)

Shchurov S. V., Kovrigina N. P., Ladygina L. V.

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

We report the thermohaline structure, hydrochemical parameters (dissolved oxygen, BOD₅, oxidizability, mineral and organic phosphorus and nitrogen), and phytoplankton data at the mussel farm, reference station, and in the discharge area in Laspi Bay in 2010–2011. The thermohaline structure was shown to directly influence the hydrochemical and hydrobiological parameters. The surface layer temperatures differed much from the long-term average values and depended not only on fluctuations of the air temperature, but also on the dynamic activity of the area and the wind-driven processes. The dissolved oxygen values did not fall below the fishery standard MPC (4.2 mL L⁻¹). The oxygen deficiency in the bottom layer was not observed. The absolute content of dissolved oxygen increased from December to May and decreased during the summer period. The BOD₅ and oxidizability values were generally lower than MPC of the fishery standards. They increased in spring and summer and decreased in autumn and winter. The average nutrient concentrations in the bay were lower (phosphates: two-fold, nitrate and ammonium nitrogen: four-fold, silicates: an order of magnitude) than those in unpolluted coastal waters of Crimea. The seasonal variation of mineral nitrogen and phosphorus in Laspi Bay fully agreed with that in unpolluted coastal areas of the Black Sea. The calculated trophic index (E-TRIX) of the water was shown to vary from 1.63 in February to 2.96 in June. In the farm area, the average E-TRIX value was 2.90, and at the reference station it was 2.26. From the assessed E-TRIX trophic index values below 4, both the mussel farm and the reference station can be classified as the low-trophic regions. The seasonal dynamics of phytoplankton in the water of the mussel farm was studied. The maximum values of abundance (510·10⁶ cells·m⁻³) and biomass (405 mg·m⁻³) observed in autumn and spring

were due to the optimum temperature (10–15 °C) and nutrient supply (nitrates and phosphates). Throughout the year, small flagellates (2–5 µm), as well as chrysophytes, small-cell diatoms and dinophytes (up to 70 µm) dominated, which are the main food for the mollusks.

Keywords: thermohaline structure, hydrochemical parameters, phytoplankton abundance and biomass, E-TRIX trophic index, Laspi Bay, mussel farm.

References

1. Kuftarkova E. A., Kovrigina N. P., Bobko N. I. Ocenka gidrohimicheskikh uslovij buhty Laspi – rajona kul'tivirovanija midij (Estimation of hydrochemical conditions of the Laspi Bay, the region of mussel cultivation). *Jekologija morja*, 1990, Vyp. 36, pp 1–7.
2. Acihovskaja Zh. M., Chekmeneva N. I. Ocenka dinamicheskoj aktivnosti vod rajona buhty Laspi (Chernoe more) (Water dynamic activity estimation in the Laspi Bay area (the Black Sea)). *Jekologija morja*, Vyp. 59, 2002, pp.5–8.
3. Kuftarkova E. A., Shhurov S. V. Rezul'taty gidrologo-gidrohimicheskogo monitoringa midijnoj fermy v pribrezhnoj zone juzhnogo berega Kryma (buhta Laspi) (The results of hydrological and hydrochemical monitoring of a mussel farm in the coastal zone of the southern coast of Crimea (Laspi Bay)). *Naukovi zapiski Ternopil'skogo nacional'nogo pedagogichnogo universitetu imeni Volodimira Gnatjuka. Serija: Biologija.Spec. Vyp.: Gidroekologija*, 2010, no 3 (44), pp. 133–136.
4. Rukovodstvo po metodam himicheskogo analiza morskih vod (The guide to methods of the chemical analysis of sea waters). Pod red. S. G. Oradovskogo. SPb.: Gidrometeoizdat, 1993, 264 p.
5. Vollenveider R. A., Giovanardi F., Montanari G., Rinaldi A. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea (Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea). *Proposal for a trophic scale, turbiditi and generalized water quality index*, 1998, № 9, *Environmetrics*, pp. 329 – 357.
6. Shhurov, A. A. Subbotin, O. A. Troshhenko, T. A. Bogdanova. Issledovanie apvellinov v rajone midijnoj fermy v buhte Laspi (Study of upwellings in the area of the mussel farm in the Laspi Bay (the Black Sea)). *Sovremennye rybohozajstvennye i jekologicheskie problemy Azovo-Chernomorskogo regiona: materialy VIII Mezhdunarodnoj konferencii. Kerch': JugNIRO*, 2013, pp. 157–163
7. Troshhenko O. A., Shhurov S. V., Subbotin A. A., Pospelova N. V. Jeksperiment po kompleksnomu issledovaniju apvellinga v rajone midijnoj fermy (b. Laspi, Chjornoe more) (Experiment on integrated research of upwelling in the mussel farm area (Laspi Bay, the Black Sea)). *Morskie biologicheskie issledovanija: dostizhenija i perspektivy: v 3-h t.: sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, priurochennoj k 145-letiju Sevastopol'skoj biologicheskoj stancii (Sevastopol', 19–24 sentjabrja 2016 g.).Pod obshh. red. A.V. Gaevskoj. Sevastopol': JeKOSI-Gidrofizika*, 2016, V. 3, S.456 – 459.
8. Pautova L.A., Mikajeljan A.S., Silkin V.A. Struktura planktonnyh fitocenzov shel'fovyh vod severovostochnoj chasti Chjornogo morja v period massovogo razvitija *Emiliana huxleyi* v 2002–2005 gg. // *Okeanologija*. 2007. Vyp. 47. №3. pp. 408–417.
9. Holodov V. I., Pirkova A. V., Ladygina L.V. Vyrashhivanie midij i ustric v Chjornom more (Cultivation of mussels and oysters in the Black Sea). Voronezh: OOO «IZDAT-PRINT», 2017, 508 p.
10. Senicheva M. I. Harakteristika fitoplanktona kak ob#ekta pitanija *Mytilus galloprovincialis* Lam. v rajone marihozajstva buhty Laspi (Characteristics of phytoplankton as a food object *Mytilus galloprovincialis* Lam. in the area of the marina farm of the bay Laspi). *Jekologija morja*, 1990, Vyp. 36, pp. 7–15.

Поступила в редакцию 15.04.2019