КОНТРОЛЬ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПОПОЛНЯЕМОСТИ МИДИИ С УЧЕТОМ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ В ЭСТУАРНОЙ ЗОНЕ СЕВАСТОПОЛЯ

И.И. Казанкова, А.В. Клименко

Институт природно-технических систем,
РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: ikazani@bk.ru

В 2020-2021 гг. в эстуарных водах Севастополя измеряли потенциальную популяемость мидии *Mytilus galloprovincialis* с учетом температуры, солености и pH воды на трех горизонтах глубины 1–3, 7 и 11 м. По сравнению с предыдущим годом весной 2021 г. популяемость мидии на всех горизонтах глубины возросла на порядок. Этому повышению предшествовала мягкая зима, также наблюдалось понижение солености и увеличение вертикальной изменчивости термохалинной структуры воды. Полученные данные могут косвенно свидетельствовать об улучшении условий среды, способствующих повышению продуктивности черноморской мидии в 2021 г. Была показана необходимость совершенствования метода контроля популяемости мидии в связи с возможными вертикальными миграциями ее постличинок.

Ключевые слова: личинки и постличинки мидии, оседание, популяемость, вертикальная миграция, горизонты глубины, температура, соленость, водородный показатель

Поступила в редакцию: 08.11.2021. После доработки: 06.12.2021.

Введение. В Черном море в последние десятилетия ухудшается состояние популяции мидии *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 – происходит уменьшение ее численности и биомассы в различных акваториях моря [1, 2]. Причиной этого могут быть факторы естественного генезиса, не связанные с антропогенным воздействием: увеличение в последние десятилетия температуры как поверхности прибрежных вод Черного моря [3–5], так и его глубинных слоев [6]; уменьшение стока речных вод, несущих биогенные элементы, и снижение вертикальной перемешиваемости водных масс, обеспечивающей обогащение фотического слоя воды минералами [7]. Отсюда возможно ослабление продукционных возможностей фитопланктона в бухтах и в пелагиали открытого моря, как отмечается в [8, 9]. Это, в свою очередь, может снизить скорость роста мидий в бентосных поселениях [10], что закономерно повлечет за собой снижение численности планктонных личинок, пополняющих эти поселения. Так же, возможно усиление пресса хищников, уничтожающих молодь на субстрате, таких как хищные брюхоногие моллюс-

ки [11]. В Черном море такую роль может выполнять теплолюбивый моллюск рапана *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846).

Контроль пополнения популяции мидии ювенильными особями важен для развития представлений о взаимодействии ее бентосной и планктонной части, оценки потенциала вида для воспроизводства и восстановления.

Популяемость молодью естественных поселений моллюска в значительной степени зависит от снабжения акваторий шельфовой зоны личинками на стадии оседания, а также от выживаемости осевших на субстрат личинок и сформировавшихся из них постличинок. Эти процессы тесно связаны с гидрологическим и гидрохимическим фоном среды. Его изучение является необходимой частью мониторинга популяемости мидии, так как способствует пониманию взаимосвязей и взаимозависимостей функционирующих элементов прибрежных экосистем в современных условиях усиления антропогенного воздействия и климатических изменений [11, 12].

Потенциальная пополняемость мидии (в англоязычной литературе «potential mussel recruitment» или «mussel recruitment» [13]), определяется с помощью стандартизированных экспериментальных субстратов. Этот параметр характеризует пополняемость молодью бентосной части популяции моллюска косвенно, так как условия для оседания личинок и выживаемости постличиночек мидии на изначально чистых экспериментальных субстратах и заселенных поверхностях бентосного биотопа различаются. Однако методически потенциальная пополняемость мидии определяется проще, чем подсчет ювенильных особей в естественных поселениях моллюска, на что тратится больше усилий и может наноситься ущерб природе.

Целью настоящей работы было исследование сезонной и вертикальной изменчивости потенциальной пополняемости мидии и некоторых физико-химических характеристик воды (температуры, солености и pH) в прибрежье Черного моря, а именно, в эстуарной зоне Севастополя.

Материал и методы. Исследуемая бухта протянулась в восточно-западном направлении на пять километров и является солоноватоводным эстуарием реки Черная (рис. 1). В конце семидесятых годов прошлого века вход в бухту был перегорожен молом, что уменьшило скорость ее водообмена с открытым морем примерно в два раза [14].

Потенциальную пополняемость мидии измеряли с помощью экспериментальных субстратов с ворсистой поверхностью, сформированной из акриловых нитей. Нити были расположены в один слой на полых цилиндрических пластиковых каркасах [15, 16]. Ворсинки акриловой пряжи имитируют нитчатые водоросли – наиболее предпочтительный субстрат для оседающих личинок мидии [17–19].

Определение потенциальной пополняемости мидии проводили с января 2020 г. по октябрь 2021 г. в периоды оседания личинок моллюска, которое в районе Севастополя возможно в январе – июне и октябре – декабре и отсутствует

в июле – сентябре [20]. Экспериментальные субстраты экспонировали на горизонтах глубины 3, 7 и 11 м на станции 1, глубина которой составляла около 13 м (см. рис. 1). На каждом горизонте глубины располагался один каркас с двумя ворсистыми полосками, площадью около 40 см² каждая. Каркасы располагались последовательно на одном фале, верхний конец которого крепился к горизонтальному канату устричной фермы ООО «Устрицы Крыма». Периоды экспозиций составляли в большинстве случаев 1–2 месяца. После каждой экспозиции субстраты заменяли новыми. В марте 2021 г. фал с каркасами, выставленный в январе, по техническим причинам снять не смогли. Поэтому в начале апреля для подстраховки была организована экспозиция на дополнительной станции 2 (глубина 15 м), удаленной от станции 1 примерно на 50–60 м (см. рис. 1).

Рис. 1. Расположение станций контроля в эстуарной зоне Севастополя

Fig. 1. Location of monitoring stations in the estuarine zone of Sevastopol

Подсчет осевших на нити экспериментальных субстратов личинок и сформировавшихся постличиночек осуществляли с помощью бинокулярного микроскопа при 16-кратном увеличении. Длина учитываемых особей составляла более 250 мкм. Для унификации данных полученные результаты пересчитывали на единицу площади (см²) за единицу времени (месяц).

С января 2020 г. по ноябрь 2021 г. еженедельно проводили контроль вертикальных профилей температуры и солености воды. Водородный показатель воды начали определять только с апреля 2021 г. Пробы отбирали однолитровым

батометром с трех горизонтов глубины (1, 7 и 11 м) с платформы газового дюкера – станция 3 (рис. 1). Глубина станции достигала 12 м. Температуру измеряли гидрологическим термометром в момент взятия пробы. Соленость и pH воды определяли в лабораторных условиях. Оперативная обработка большого количества проб (около 270) с целью измерения их солености проводилась с помощью лабораторного экспериментального солемера, разработанного в ИПТС и позволяющего определять этот параметр с погрешностью до 0,01‰. (Ведущаяся в настоящее время модернизация этого прибора позволит уменьшить погрешность измерения солености до 0,003‰ [21]). Оценку pH воды проводили во временном промежутке не более двух часов после взятия проб, используя пор-

тативный измеритель pH-618 с ценой деления 0,01.

Определение средних значений измеряемых параметров и доверительных интервалов при $\alpha = 0,05$ осуществляли в программе Excel.

Результаты. *Потенциальная популяемость мидии.* Для 2020 г. были характерны низкие значения данного параметра (рис. 2). В январе – апреле мидии на субстратах присутствовали в очень незначительном количестве. В апреле – мае произошло увеличение популяемости на 3 и 11 м до 0,6 и 0,8 экз.·см²·месяц⁻¹, соответственно. Отсутствие мидий на среднем горизонте глубины (7 м) в апреле – мае было вызвано, по всей вероятности, техническими причинами. В октябре – декабре популяемость мидии была выше, чем в январе – апреле, но ниже, чем в апреле – мае.

Рис. 2. Потенциальная популяемость мидии в периоды ее массового оседания в 2020 и 2021 гг. в эстуарной зоне Севастополя

Fig. 2. Potential recruitment of mussel during their mass settlement in 2020 and 2021 in the estuarine zone of Sevastopol

В 2021 г. в январе – мае потенциальная популяемость мидии была почти в 10 раз выше, чем в 2020 г. – она составила в среднем в исследуемом столбе воды (3–11 м) 2,14 против 0,22 экз.·см²·месяц⁻¹ в 2020 г.

Сравнение экспозиций, проходивших в январе – апреле (01.01.21 – 30.04.21) и апреле (30.03.21–30.04.21) показало, что в первом случае наблюдалось снижение численности мидий с глубиной. Во втором случае отмечено заметное увеличение их количества на 11 м, по сравнению с поверхностными горизонтами. Превы-

шение числа мидий на этой глубине, по сравнению с 3 и 7 м, составило два и почти три раза, соответственно.

Данные майских экспозиций свидетельствуют о массовом оседании мидии в этот период в поверхностном и среднем слое воды. На 3 и 7 м, как на станции 1, так и на станции 2, численность молоди была в два раза больше, чем на нижнем горизонте глубины.

Осенью, с середины сентября по середину ноября, уровень популяемости мидии был того же порядка, что и в октябре 2020 г.

Температура. Из полученных данных, представленных на рис. 3, а, следует, что зима 2021 г. была мягче, чем в предыдущем году. В январе – феврале этого года температура воды составила около 9,4–9,9°C, в 2020 г. – 7,8–9,1°C.

В мае – июле 2021 г. температурная стратификация воды была хорошо вы-

ражена; наблюдали трехслойную структуру водной массы, в то время как в 2020 г. – только два слоя. В августе стратификация воды в 2020 и 2021 гг. практически не наблюдалась, среднемесячное значение температуры составило 25°C.

Рис. 3. Среднемесячные значения температуры (а), солёности (б) и pH (в) воды в эстуарной зоне Севастополя на трех горизонтах глубины в 2020 и 2021 гг. с доверительными интервалами. На графике pH (в) доверительные интервалы показаны только для среднего значения pH в столбе воды 1–11 м

Fig. 3. Monthly averages of temperature (а), salinity (б), and pH (в) in the estuarine zone of Sevastopol at three depth horizons in 2020 and 2021 with confidence intervals. In the pH graph (в), the confidence intervals are shown only for the average pH value in the water column of 1–11 m

В 2020 г. гомотермия наблюдалась также и в сентябре, в то время как в 2021 г. на нижнем горизонте глубины было отмечено понижение температуры воды. Для начала осени 2021 г. было характерно более резкое понижение температуры. В предыдущий годовой период осеннее охлаждение воды проходило относительно плавно. Так, в октябре 2021 г. в среднем по трем горизонтам температура воды составила около 17°C, в то время как в 2020 г. – около 23°C.

Солёность. В исследуемые годовые периоды в январе – феврале средне-

месячная солёность воды в слое 1–11 м составила 17,63 ‰ (рис. 3, б). Начиная с марта, происходило уменьшение этого параметра, причем в 2021 г. процесс шел более интенсивно и длительнее – понижение солёности наблюдали как минимум до октября, когда ее значение составило 17,1 ‰. В октябре 2020 г. солёность воды, относительно минимального среднего значения в августе (17,4 ‰), была уже повышенной (17,45 ‰). Различие исследуемых годовых периодов было отмечено и по вертикальной изменчивости солёности воды – 2021 год отличался

от предшествующего большей степенью стратификации. Диапазон вертикальной изменчивости солености воды возрастал, начиная с марта, и достигал максимума в июле. Исчезновение стратификации воды по солености в 2020 г. было отмечено в августе, в 2021 г. – только в октябре.

За весь исследуемый период в 54 % случаях (из 91 измерения вертикальных профилей) соленость воды на горизонте 11 м была выше, чем на 1 и 7 м. В 20 % она достигала максимальных значений в столбе воды на глубине 7 м, в 16 % – на 1 м.

Водородный показатель воды. В апреле – октябре 2021 г. наблюдалась тенденция возрастания рН воды на всех горизонтах глубины (рис. 3, в). Среднее значение рН во всем столбе воды (1–11 м) изменялось от 7,5 в апреле до 8,3 в октябре (рис. 3, в). Наименьшая вертикальная изменчивость параметра наблюдалась в октябре. Возрастание значений водородного показателя в указанный период согласуется с обычным годовым ходом этого параметра и связано с изменением концентрации углекислого газа в воде [22].

Обсуждение. Полученные результаты могут свидетельствовать о возникновении в 2021 г. более благоприятных условий для увеличения репродуктивного потенциала популяции мидии, роста численности личинок в планктоне и пополнения молодью ее бентосных поселений. Мягкая по температуре зима способствует более интенсивному соматическому и генеративному росту моллюсков в холодный период года. Уменьшение солености воды в 2021 г., которое началось в марте (на севастопольском взморье оно обычно начинается не раньше апреля [23]), может свидетельствовать об относительно раннем поступлении в море в увеличенных объемах пресных речных вод, содержащих биогенные вещества, необходимые для роста продукции фитопланктона. Сочетание благоприятных температурных и кормовых условий могло способствовать росту продуктивности популяции мидии в январе – мае 2021 г. и увеличению на порядок, по сравнению с 2020 г., пополняемости моллюска в весенний период.

Усиление вертикальной термохалинной стратификации воды в эстуарной зоне Севастополя в 2021 г. может отражать повышение динамики вод в регионе, приводящей к увеличению поставки личинок из открытого моря в полузакрытую акваторию бухты. В первую очередь это относится к апрелю, для которого характерна концентрация крупных личинок мидии на стадии задержки метаморфоза, «зимующих» в холодных глубинных водах открытого моря. Во время апрельских сгонов у берегов южного и юго-западного Крыма эти слои воды могут подниматься в прибрежную зону [24, 25] и входить в бухту, обеспечивая более интенсивное оседание личинок моллюска на субстраты, расположенные на нижних горизонтах глубины. Возможно, это наблюдалось нами в апреле 2020 и 2021 гг. (см. рис. 2). Наши предположения о заносе личинок в бухту нижним течением основываются на выводах, сделанных в [26]. Эти исследования авторов показали, что в районе створа молов на входе в бухту в большинстве случаев наблюдается двухслойность с разнонаправленными течениями: верхние (до 10–13 м) направлены из бухты, нижние (глубже 13 м) – восточные течения, входящие в бухту, более скоростные, чем верхние.

Повышение пополняемости в мае 2021 г., по всей видимости, вызвано массовым весенним нерестом мидий, подготовленным, как отмечено выше, более благоприятными, чем в 2020 г., условиями. В результате в прибрежных водах Черного моря, образовалось большое количество личинок, которые, по всей видимости, поступали в бухту с верхними течениями.

Данные о потенциальной пополняемости мидии в многомесячной (с января по конец апреля 2021 г.) и в одномесячной (апрель 2021 г.) экспозициях могут свидетельствовать о более интенсивном оседании личинок на чистый экспериментальный субстрат. Фактор заселения субстрата организмами-обрастателями и загрязнения его в течение нескольких месяцев детритом может влиять отрицательно на оседание и выживаемость личинок мидии. Кроме того, личинки и

сформировавшиеся постличинки мидии могут совершать миграции по направлению к поверхности воды по вертикально расположенному субстрату. В нашем исследовании нельзя исключить это перемещение по системе с экспериментальными субстратами. Поэтому пик популяемости мидии, отмеченный в мае 2021 г. на верхних горизонтах глубины, возможно, связан как с повышенной концентрацией личинок в верхнем слое воды и с меньшей выживаемостью личинок и постличинок на глубине, так и с их вертикальными перемещениями из нижних горизонтов к поверхности воды. Для исключения вертикального перемещения мидий, искажающего данные о потенциальной популяемости моллюска, необходимо усовершенствовать метод измерения этого параметра.

Заключение. Таким образом, в эстуарной зоне Севастополя 2021 год, по сравнению с предыдущим годом, характеризовался повышенной потенциальной популяемостью на всех горизонтах глубины в весенний период. Этому повышению предшествовала мягкая зима, также наблюдались низкая, по сравнению с 2020 г., соленость и увеличение вертикальной изменчивости термохалинной структуры воды. Полученные данные могут косвенно свидетельствовать о некотором улучшении условий среды для повышения продуктивности черноморской мидии в 2021 г.

Для более корректного представления о пространственно-временной изменчивости потенциальной популяемости мидии необходимо усовершенствовать метод ее измерения для исключения возможных вертикальных перемещений постличинок мидии к поверхности воды по вертикально расположенной системе с экспериментальными субстратами.

Авторы благодарят Шлыка А.В. за техническое обеспечение отбора проб и лабораторных измерений, ООО «Устрицы Крыма» и Центр морских пищевых ресурсов за возможность проведения морских исследований.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам: «Фундаментальные и прикладные исследования

закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера и антропогенного воздействия» № 0012-2019-0007 и «Разработка новых средств и измерительных информационных технологий исследований природных вод» (№ 0012-2019-0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Многолетние изменения макрофауны скал в зоне верхней сублиторали у Карадага (Черное море) / Н.А. Болтачева, М.А. Ковалева, М.В. Макаров [и др.] // 100 лет Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского: сборник науч. трудов. Симферополь. 2015. С. 530–548.
2. Petrova-Pavlova E. Non-fish marine resources and their exploitation along the Bulgarian Black Sea coast // Agricultural Science and Technology. 2014. Vol. 6. № 2. P. 215–218.
3. Казанкова И.И. Влияние повышения температуры поверхностного слоя моря на потенциальную популяемость популяции мидии у берегов юго-западного Крыма // Системы контроля окружающей среды. 2020. № 3 (41). С. 133–138. DOI: 10.33075/2220-5861-2020-3-133-138
4. Характеристики поля биолюминесценции в прибрежье Севастополя: результаты многолетнего мониторинга / А.В. Мельник, В.В. Мельников, А.Н. Серебренников [и др.] // Системы контроля окружающей среды. 2019. № 1 (35). С. 79–87. doi: 10.33075/2220-5861-2020-3-133-138
5. Kapranov S.V., Kovrigina N.P., Troshchenko O.A. et al. Long-term variations of thermohaline and hydrochemical characteristic in the mussel farm area in the coastal waters off Sevastopol (Black Sea) in 2001–2018 // Continental Shelf Research. 2020. 206:104185.
6. Полонский А.Б., Валле А.А. Определение сезонного хода концентрации растворенного кислорода и температуры в верхнем слое глубоководной части Черного моря по современным данным // Системы контроля окружающей среды.

2020. № 2 (40). С. 134–143. DOI: 10.33075/2220-5861-2020-2-134-143

7. Ilyin Y.P. Observed long-term changes in the Black Sea physical system and their possible environmental impacts // Climate Forcing and its Impacts on the Black Sea Marine Biota. CIESM Workshop Monogr. 2009. № 39. P. 35–43.

8. Стельмах Л.В., Мансурова И.М. Многолетняя динамика фитопланктона и концентрация хлорофилла *a* в поверхностном слое прибрежных вод Черного моря (район Севастополя) // Вопросы современной альгологии. 2020. № 1(22). С. 66–81.

9. Юнев О.А. Эвтрофикация и годовая первичная продукция фитопланктона глубоководной части Черного моря // Океанология. 2011. Т. 5, № 4. С. 658–668.

10. Ковалева М.А. Двустворчатые моллюски в сообществах макрозообентоса естественных твердых субстратов у берегов Крыма: автореф. дис. ... к.б.н.: специальность 03.02.10. СПб., 2021. С. 23.

11. Cockrell M.L., Bernhardt J.R., Leslie H.M. Recruitment, abundance, and predation on the blue mussel (*Mytilus edulis*) on northeastern estuarine rocky shores. Ecosphere. 2015. 6(1):18.

12. Petraitis P.S., Dudgeon S.R. Declines over the last two decades of five intertidal invertebrate species in the western North Atlantic // Communications Biology. 2020. 3(1):591.

13. Species interaction strength: testing model predictions along an upwelling gradient / B.A. Menge, C. Blanchette, P. Raimondi et al. // Ecological Monographs. 2004. 74 (4). P. 663–684.

14. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов / В.А. Иванов, Е.И. Овсяный, Л.Н. Репетин [и др.] / МГИ НАН Украины. Севастополь, 2006. 90 с.

15. Патент 96366 С2 UA, МПК A01K 61/00 Спосіб вивчення поповнення поселень мідій, мітіястера і анадари в прибережній зоні Чорного моря / Казанкова І.І. (UA), Щуров С.В. (UA); заявник Інститут біології південних морів

ім. О.О. Ковалевського НАН України (UA). № а201005467; Опубл. 25.10.2011. Бюл. № 20.

16. Патент 2548105 Российская Федерация. МПК A01K 61/00 №2014150175/93 Способ изучения популяемости поселений мидии, митилястера и анадари в прибрежной зоне Черного моря. Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН»; опубл. 10.04.2015; Бюл. № 10.

17. Казанкова И.И. Определение потенциальной популяемости поселений мидии, митилястера и анадари в прибрежных акваториях Черного и Адриатического морей с помощью экспериментальных субстратов // Системы контроля окружающей среды. 2019. № 3 (37). С. 112–119. DOI: 10.33075/2220-5861-2019-3-112-119

18. Bayne B.L. Growth and the delay of metamorphosis of larvae of *Mytilus edulis* (L.) // Ophelia. 1965. Vol. 2, № 1. P. 1–47.

19. Eyster L.S., Pechenik J.A. Attachment of *Mytilus edulis* L. larvae on algal and byssal filaments is enhanced by water agitation // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1987. Vol. 114, № 2/3. P. 99–10.

20. Казанкова И.И. Потенциальная популяемость мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. в условиях южного берега Крыма и Севастопольской бухты // Системы контроля окружающей среды. 2017. № 10 (30). С. 102–108.

21. Клименко А.В., Казанцев С.В. Методы повышения точности и быстродействия измерительных каналов кондуктометра // Системы контроля окружающей среды – 2021: тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф. (Севастополь, 09–12 ноября 2021 г.). 2021. С. 20.

22. Орехова Н.А., Вареник А.В. Современный гидрохимический режим Севастопольской бухты // Морской гидрофизический журнал. 2018. № 2. С. 134–146.

23. Термохалинная структура вод на взморье Севастополя и ее влияние на основные параметры продукции на мидийной ферме / О.А. Трошенко, И.Ю. Еремин, А.А. Субботин [и др.] // Эколо-

гическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. Вып. 15. С. 110–119.

24. Казанкова И.И. Особенности динамики оседания личинок мидии и митилястера в связи со сгонно-нагонными явлениями у юго-западных берегов Крыма (Черное море) // Экология моря. 2000. Вып. 51. С. 35–39.

25. Kazankova I.I. Peculiarities of seasonal dynamics of *Mytilus galloprovincialis* larvae numbers in the coastal zone of the Crimea (based on long term data) // Hydrobiological Journal. 2014. Vol. 50. № 3. P. 13–20.

26. Немировский М.С., Еремин И.Ю. Динамика вод рейда Севастополя // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: сб. науч. тр. Севастополь, 2003. Вып. 9. С. 59–66.

CONTROL OF POTENTIAL MUSSEL RECRUITMENT TAKING INTO ACCOUNT SOME ENVIRONMENTAL PARAMETERS IN SEVASTOPOL ESTUARINE ZONE

I.I. Kazankova, A.V. Klimenko

Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28

In 2020–2021, potential recruitment of the mussel *Mytilus galloprovincialis* was measured in Sevastopol estuarine waters with regard to temperature, salinity, and pH in three depth horizons 1–3, 7, and 11 m. Compared to the previous annual period in 2021, spring mussel recruitment at all depth horizons increased by an order of magnitude. This increase was preceded by a mild winter. Also in 2021, a decrease in salinity and an increase in the vertical variability of the thermohaline structure of water were observed. The obtained data may indirectly indicate the improvement of environmental conditions for mussel productivity increase in 2021. The necessity of improving the method of the control for mussel recruitment related to possible vertical migrations of its post-larvae is shown.

Keywords: mussel larvae and post-larvae, settling, recruitment, vertical migration, depth horizons, temperature, salinity, hydrogen index.

REFERENCES

1. Boltacheva N.A., Kovaleva M.A., Makarov M.V., and Bondarenko L.V. Mnogoletnie izmeneniya makrofauny skal v zone verhnjej sublitorali u Karadaga (Chernoe more) (Long-term changes in the macrofauna of rocks in the upper sublittoral near the Kara-Dag (Black Sea). V sb.: 100 let Karadagskoj nauchnoj stancii im. T.I. Vjazemskogo. Simferopol, 2015, pp. 530–548.
2. Petrova-Pavlova E. Non-fish marine resources and their exploitation along the Bulgarian Black Sea coast. *Agricultural Science and Technology*, 2014, Vol. 6, No. 2, pp. 215–218.
3. Kazankova I.I. Vlijanie povysheniya temperatury poverhnostnogo sloja morja na potencial'nuju popolnjaemost' populjacji midii u beregov jugo-zapadnogo Kryma (Influence of increasing surface sea layer temperature on the mussel potential recruitment off the coast of southwestern Crimea). *Sistemy kontrolja okruzhajushhej sredy*, 2020, No. 3(41), pp. 133–138.
4. Mel'nik A.V., Mel'nikov V.V., Serebrennikov A.N., Mel'nik L.A., and Mashukova O.V. Harakteristiki polja bioluminescencii v pribrezh'e Sevastopolja: rezul'taty mnogoletnego monitoringa (Characteristics of the bioluminescence field in the coastal area of Sevastopol: results of long-term monitoring). *Sistemy kontrolja okruzhajushhej sredy*, 2019, No. 1(35), pp. 79–87.
5. Kapranov S.V., Kovrigina N.P., Troshchenko O.A., and Rodionova N.Yu. Long-term variations of thermohaline and hydrochemical characteristic in the mussel farm area in the coastal waters off Sevastopol (Black Sea) in 2001–2018. *Continental Shelf Research*, 2020, 206:104185.
6. Polonskij A.B. and Valle A.A. Opredelenie sezonnogo hoda koncentracii rastvorennoho kisloroda i temperatury v verhnem sloe glubokovodnoj chasti Chernogo morja po sovremennym dannym (Determination of the seasonal variation of the concentration of dissolved oxygen and temperature in the upper layer of the deep-water part of the Black Sea according to modern data). *Sistemy kontrolja okruzhajushhej sredy*, 2020, No. 2(40), pp. 134–143. DOI: 10.33075/2220-5861-2020-2-134-143

7. Ilyin Y.P. Observed long-term changes in the Black Sea physical system and their possible environmental impacts. Climate Forcing and its Impacts on the Black Sea Marine Biota. CIESM Workshop Monogr., 2009, No. 39, pp. 35–43.
8. Stel'mah L.V. and Mansurova I.M. Mnogoletnjaja dinamika fitoplanktona i koncentracija hlorofilla a v poverhnostnom sloe pribrezhnyh vod Chernogo morja (rajon Sevastopolja) (Long-term dynamics of coastal waters of the Black Sea (Sevastopol region). *Voprosy sovremennoj al'gologii*, 2020, No. 1(22), pp. 66–81.
9. Junev O.A. Jevtrofikacija i godovaja pervichnaja produkcija fitoplanktona glubokovodnoj chasti Chernogo morja (Eutrophication and annual primary production of phytoplankton in the deep-water part of the Black Sea). *Okeanologija*, 2011, Vol. 5, No. 4, pp. 658–668.
10. Kovaleva M.A. Dvustvorchatye molljuskij v soobshhestvah makrozoobentosa estestvennyh tverdyh substratov u beregov Kryma (Bivalve molluscs in macrozoobenthos communities of natural solid substrates off the coast of Crimea). Avtoreferat dis. na soisk. uch. step. k.b.n.: special'nost' 03.02.10, S.-Peterburg, 2021, 23 p.
11. Cockrell M.L., Bernhardt J.R., and Leslie H.M. Recruitment, abundance, and predation on the blue mussel (*Mytilus edulis*) on northeastern estuarine rocky shores. *Ecosphere*, 2015, 6(1):18.
12. Petraitis P.S. and Dudgeon S.R. Declines over the last two decades of five intertidal invertebrate species in the western North Atlantic. *Communications Biology*, 2020, 3(1):591.
13. Menge B.A., Blanchette C., Raimondi P., Freidenburg T., Gaines S., Lubchenco J., Lohse D., Hudson G., Foley M., and Pamplin J. Species interaction strength: testing model predictions along an upwelling gradient. *Ecological Monographs*, 2004, 74(4), pp. 663–684.
14. Ivanov V.A., Ovsyanyj E.I., Repetin L.N., Romanov A.S., and Ignat'eva O.G. Gidrologo-gidrohimičeskij režim Sevastopol'skoj buhty i ego izmenenija pod vozdejstviem klimatičeskikh i antropogennyh faktorov (Hydrological and hydrochemical regime of the Sevastopol Bay and its changes under the influence of climatic and anthropogenic factors). MGI NAS Ukraine, Sevastopol, 2006, 90 p.
15. Patent 96366 S2 UA, MPK A01K 61/00 Sposib vivčennja popovnennja poselen' midij, mitiljastera i anadari v pribrezhnoj zoni Chornogo morja (A method for studying the recruitment of mussel, mitilyaster and anadara settlements in the coastal zone of the Black Sea). Kazankova I.I. (UA) and Shhurov S.V. (UA); zayavnik Institut biologij pivdennyh moriv im. O.O. Kovalevs'kogo NAN Ukraïni (UA). No. a201005467; zayavlenie 05.05.2010; opubl. 25.10.2011, Bjul. No. 20, 2011.
16. Patent 2548105 Rossijskaja Federacija. MPK A01K 61/00 №2014150175/93 Sposob izučeniya popolnjaemosti poselenij midii, mitiljastera i anadary v pribrezhnoj zone Chernogo morja (A method for studying the recruitment of mussel, mitilyaster and anadara settlements in the coastal zone of the Black Sea). Patentobladatel' Feder. Gos. Bjudz. Uchr. nauki «Institut morskikh biologičeskikh issledovanij imeni A.O. Kovalevskogo RAN» / zayavl. 30.10.2014; prior. 05.05.2010; opubl. 10.04.2015, Bjul. No. 10.
17. Kazankova I.I. Opredelenie potencial'noj popolnjaemosti poselenij midii, mitiljastera i anadary v pribrezhnyh akvatorijah Chernogo i Adriatičeskogo morej s pomoshh'ju jeksperimental'nyh substratov (Determination of the potential recruitment of mussel, mitilyaster and anadara settlements in the coastal waters of the Black and Adriatic seas using experimental substrates). *Sistemy kontrolja okružhajushhej sredy*, 2019, No. 3(37), pp. 112–119.
18. Bayne B.L. Growth and the delay of metamorphosis of larvae of *Mytilus edulis* (L.). *Ophelia*, 1965, Vol. 2, No. 1, pp. 1–47.
19. Eyster L.S. and Pechenik J.A. Attachment of *Mytilus edulis* L. larvae on algal and byssal filaments is enhanced by water agitation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1987, Vol. 114, No. 2/3, pp. 99–10.
20. Kazankova I.I. Potencial'naja popolnjaemost' midii *Mytilus galloprovincialis* Lam. v uslovijah južnogo berega Kryma i Sevastopol'skoj buhty (Potential recruitment of the mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam. in the conditions of the southern coast of Crimea and the Sevastopol Bay). *Sistemy kontrolja okružhajushhej sredy*, 2017, No. 10(30), pp. 102–108.
21. Klimenko A.V. and Kazancev S.V. Metody povyšeniya točnosti i bystrodejstviya izmeritel'nyh kanalov konduktometra (Methods for improving the accuracy and speed of the measuring channels of the conductometer). “Sistemy kontrolya okružhajushhej sredy – 2021” Mezhdunarodnaja nauchno-praktičeskaja konferencija (“Environmental control systems – 2021” International Scientific and Practical Conference, Sevastopol, 09–12 November, 2021. Book of Abstracts. Sevastopol: IK IPTS, 2021, p. 20.
22. Orehova N.A. and Varenik A.V. Sovremennyy gidrohimičeskij režim Sevastopol'skoj buhty (The modern hydrochemical regime of the Sevastopol Bay). *Morskoy gidrofizičeskij žurnal*, 2018, No. 2, pp. 134–146.
23. Troshchenko O.A., Eremin I.Yu., Subbotin A.A., and Shchurov S.V. Termohalinnaja struktura vod na vmor'e Sevastopolja i ee vlijanie na osnovnye parametry produkcii na midijnoj ferme (Thermohaline

structure of waters at the seaside of Sevastopol and its influence on the main parameters of production at a mussel farm). *Jekologičeskaja bezopasnost' pribrežnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*. Sevastopol: JeKOSI-Gidrofizika, 2007, No. 15. pp. 110–119.

24. Kazankova I.I. Osobennosti dinamiki osedaniya lichinok midii i mitiljastera v svyazi so sgonno-nagonnymi javlenijami u jugo-zapadnyh beregov Kryma (Chernoe more) (Peculiarities of the dynamics of settling of the larvae of the mussel and mitilyaster in relation to upwelling and downwelling at the south-western coast of Crimea (the Black Sea) *Jekologija morja*, 2000, No. 51, pp. 35–39.

25. Kazankova I.I. Peculiarities of seasonal dynamics of *Mytilus galloprovincialis* larvae numbers in the coastal zone of the Crimea (based on long term data). *Hydrobiological Journal*, 2014, Vol. 50, No. 3, pp. 13–20.

26. Nemirovskij M.S. and Eremin I.Ju. Dinamika vod rejda Sevastopolja (Dynamics of Sevastopol raid waters). *Jekologičeskaja bezopasnost' pribrežnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*: sb. nauch. tr. Sevastopol, 2003, No. 9, pp. 59–66.