

## ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МОРЯ НА ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ ПОПОЛНЯЕМОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ МИДИИ У БЕРЕГОВ ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА

И.И. Казанкова

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

Объединение данных контактных и спутниковых измерений температуры воды поверхностного слоя моря позволили выявить положительный тренд в изменении параметра на временном промежутке 1985–2020 гг. у берегов южного и юго-западного Крыма. Наибольший вклад в этот тренд вносят такие месяцы, как май, июнь, июль, сентябрь. Анализируются экологические процессы, вызывающие уменьшение потенциальной популяционной емкости черноморской популяции мидии *Mytilus galloprovincialis*, связанные с повышением температуры поверхностного слоя моря.

**Ключевые слова:** Черное море, глобальное потепление, мониторинг прибрежных вод.

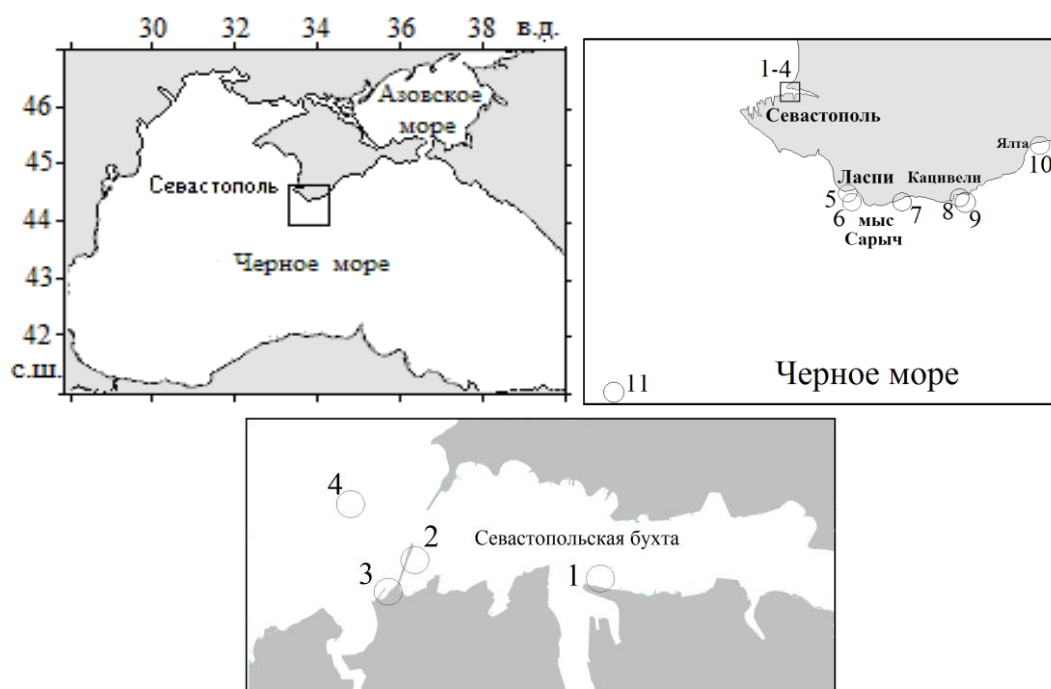
Поступила в редакцию: 25.05.2020. После доработки: 18.08.2020.

**Введение.** Увеличение температуры поверхности Черного моря и других акваторий Мирового океана, проходящее на фоне глобального потепления, является важным экологическим фактором. Результатом его влияния могут быть изменения, приводящие к деградации популяций массовых видов-эдификаторов и замене их другими, не обладающими выраженными средообразующими свойствами видами. В Черном море относительно холодолюбивый двустворчатый моллюск мидия *Mytilus galloprovincialis*, размножающаяся при пониженной температуре воды, в последние десятилетия сокращает площадь своего обитания [1–5]. В скальных биотопах у южных берегов Крыма их численность резко уменьшается с глубиной [6], и на освободившихся поверхностях наблюдаются поселения другого массового представителя *Bivalvia* в Черном море – теплолюбивого, нерестающего только в летние месяцы митиластера *Mytilaster lineatus* [7]. Линейные размеры этого вида значительно меньше, чем у мидии, и образует он, как правило, однослойные поселения. Соответственно, его средообразующая роль меньше. Результаты многолетнего мониторинга потенциальной популяционной емкости популяции мидии, как показателя численности осевших личинок

и выживших на субстрате постличинок моллюска, показывают, что в настоящее время (2011–2018 гг.) у южных и юго-западных берегов Крыма максимальные значения этого параметра в отдельные годовые периоды уменьшились в несколько раз, а иногда на порядок по сравнению со второй половиной 20-го в. (1949–1950, 1978–1982 гг.) [8].

Целью настоящего исследования было выявить изменение температуры поверхностного слоя моря, измеренной различными способами, в прибрежных акваториях южного и юго-западного Крыма период с 1985 по 2020 гг.; определить возможность влияния изменения температуры поверхностного слоя моря на потенциальную популяционную емкость популяции мидии в регионе.

**Материал и методы.** К анализу были привлечены результаты контактных и спутниковых измерений температуры поверхностного слоя моря (ТПСМ) на горизонтах от 0 до 5 м за 1985–2020 гг. в различных прибрежных акваториях от Севастополя, включая полузакрытую Севастопольскую бухту, до Ялты (рис. 1). В табл. 1 приведены координаты этих станций, периоды исследований, горизонты глубины измерений, их периодичность и способы.



**Рис. 1.** Станции измерений температуры: 1 – мыс Павловский; 2 – Мартынова бухта; 3 – бухта Лоханочка; 4 – у входа в Севастопольскую бухту; 5, 6 – Ласпинская бухта; 7 – Форос; 8, 9 – Голубой залив; 10 – Ялта; 11 – открытое море

**Fig. 1.** Temperature measurement stations: 1 – Cape Pavlovsky; 2 – Martynova Bay; 3 – Lokhanochka bay; 4 – at the entrance to the Sevastopol Bay; 5, 6 – Laspinskaya Bay; 7 – Foros; 8, 9 – Blue Bay; 10– Yalta; 11 – open sea

**Таблица 1.** Место, время, способ и частота измерений температуры поверхностного слоя моря в районе Севастопольской бухты и у открытых берегов юго-западного и южного Крыма

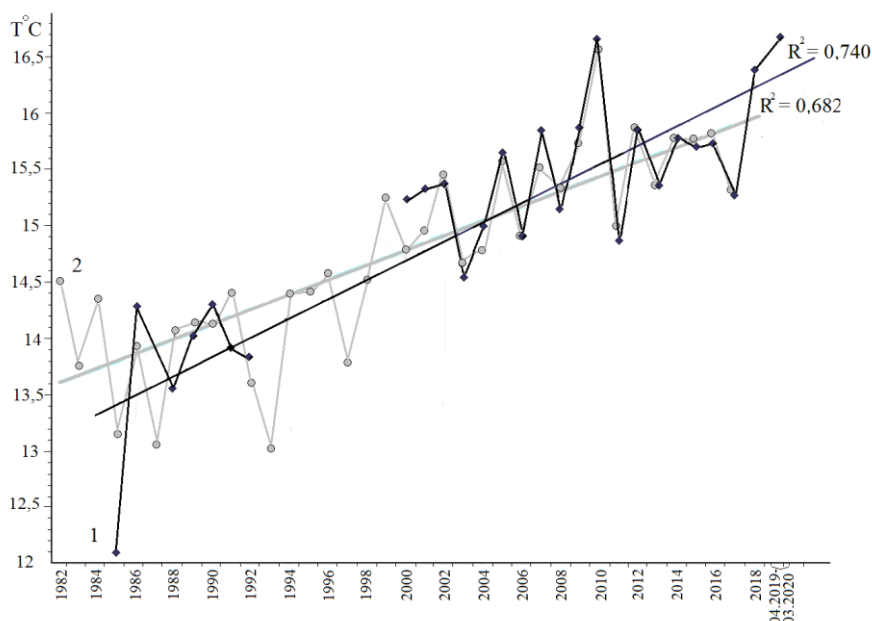
Район исследования	Координаты, с.ш./в.д.	Горизонт измерений, м	Годы	Периодичность и способ измерений
СБ, ГМС (ст. 1)	44,52/33,53	0	2008–2014	несколько раз в сутки, термометр
СБ, Мартынова бухта (ст. 2)	44,52/33,51	1	2012, 2017–2020	3–5 раз в месяц, термометр и СТД-зонд
б. Лоханочка (ст. 3)	44,616/33,5	0	2000–2013	раз в сут., термометр
у входа в СБ (ст. 4)	44,62/33,50	0	2008–2018	ВЧИ, спутник
б. Ласпинская (ст.5)	44,41/33,70	5	1985–1992	ВЧИ (АЦИТТ)
б. Ласпинская (ст.6)	44,41/33,70	0–1	2007–2010 2008–2018	1–7 раз в месяц, зонд; ВЧИ, спутник
Форос (ст.7)	44,39/33,74	0	2008–2018	ВЧИ, спутник
Голубой залив, БП (ст.8)	44,40/33,98	0,5	1998–1999 2011–2014	ВЧИ, термодатчики
Голубой залив, ОП (ст.9)	44,40/33,99	0,75	2012–2013	ВЧИ, термопрофильмер
Ялта, ГМС (ст. 10)	44,46/34,16	0	1988	несколько раз в сутки, термометр
открытое море (ст. 11)	44,00/33,00	0	2008–2018	ВЧИ, спутник

Примечания: СБ – Севастопольская бухта, ГМС – гидрометеостанция, БП – береговой пост, ОП – океанографическая платформа, ВЧИ – высокочастотные измерения, АЦИТТ – автономный цифровой измеритель течений и температуры, СТД – соленость, температура, давление.

Температурные данные, полученные на всех станциях, объединяли в один массив. С помощью программы Excel определяли среднегодовые значения ТПСМ, а также среднюю температуру в каждом месяце каждого годового периода, линейный тренд изменения этих значений.

**Результаты и обсуждение.** *Среднегодовая температура ТПСМ.* Изменчивость среднегодовой температуры поверхностного слоя моря в 1985–2020 гг., имеет положительный тренд (рис. 2).

Это совпадает с результатом анализа многолетних температурных данных, полученных в районе Севастопольской бухты и прилегающей к ней акватории в 1982–2017 гг., представленном в [9] и который авторы связывают с глобальным потеплением. Полученные в линии трендов ТПМ (1982–2017 гг.) и ТПСМ (1985–2020 гг.) оказались достаточно близкими друг к другу и свидетельствуют об увеличении температуры поверхностной воды в море за исследованные периоды на 2,6–3,1°C (см. рис. 2).



**Рис. 2.** Изменение среднегодовой температуры поверхностной воды: 1 – у юго-западных и южных берегов Крыма в 1985–2020 гг.; 2 – в районе Севастопольской бухты в 1982–2017 гг. (по рис. 4, б из [9]). Черная прямая линия – линейный тренд 1985–2020 гг., серая – 1982–2017 гг.

**Fig. 2.** Changes in the average annual surface water temperature: 1 – near the southwestern and southern coasts of Crimea in 1985–2020; 2 – in the area of the Sevastopol Bay in 1982–2017. (according to Fig. 4b from [9]). The black straight line is the trend in 1985–2020, the gray line – in 1982–2017

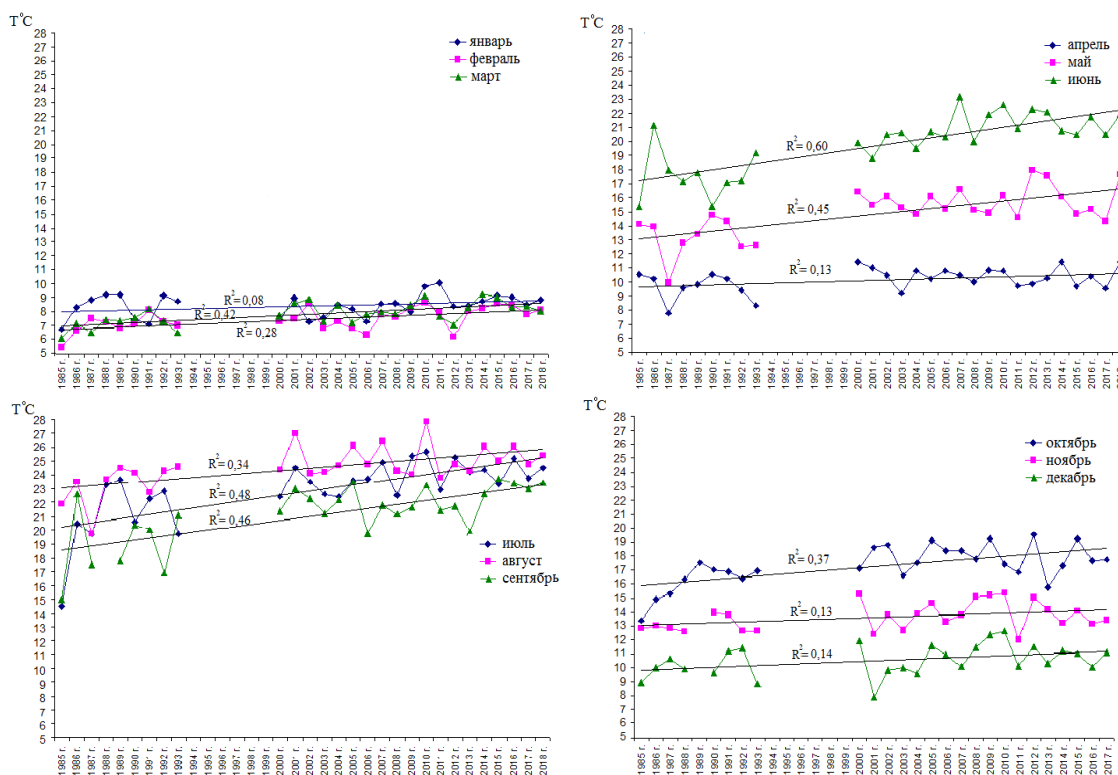
Анализ многолетнего изменения температуры поверхностного слоя по месяцам показал, что положительный линейный тренд характерен для всех месяцев (рис. 3). Более всего был достоверен июньский тренд – коэффициент аппроксимации линейной зависимости (КА) для этого месяца составлял 0,60. Линейные тренды изменчивости температуры, близкие к достоверным, относились к июлю, сентябрю и маю (КА = 0,48–0,45), а также к марту (КА = 0,42). Наименьшие КА были характерны для ноября – января и апреля (0,08–0,14). КА

для февраля, августа, октября находились в пределах 0,28–0,34.

Исходя из графиков линейных трендов (см. рис. 3), наибольший вклад в увеличение среднегодовой ТПСМ вносят теплые месяцы, а именно, июнь, июль, сентябрь и май. Увеличение ТПСМ в течение последних 35 лет в июне и июле составило 5,0°C, в сентябре и мае – 4,7 и 3,6°C, соответственно. В холодные месяцы, с ноября по апрель, увеличение температуры составило 0,75–1,6°C. В августе и октябре – около 3,0°C. В среднем, в теплый период года (май – ок-

тябрь) увеличение температуры поверхностной воды за исследованный клима-

тический период составило более 4,0°C, в холодный (ноябрь – апрель) – 1,3°C.



**Рис. 3.** Изменение средней по месяцам температуры поверхностного слоя моря у юго-западных и южных берегов Крыма в 1985–2020 гг.

**Fig. 3.** Changes in the monthly average temperature of the surface layer of the sea near the southwestern and southern coasts of Crimea in 1985–2020

Из данных, полученных в районе Южного берега Крыма (ЮБК) в период с 1870 по 2007 гг., следует, что многолетние повышения и понижения температурного фона в черноморском регионе наблюдались несколько раз [10]. Причем, повышение температуры воздуха и морской воды за последние десятилетия происходят на фоне увеличения поступления в море пресной воды, ослабление ветровой активности, что проявилось в общем замедлении горизонтальной циркуляции и вертикального перемешивания морской воды [10]. Поэтому значительное увеличение температуры поверхностных слоев воды у берегов южного и юго-западного Крыма в теплый период года, по всей видимости, связано не только с глобальным потеплением, но и с уменьшением вертикальной перемешиваемости воды из-за понижения солёности верхнего слоя

моря и ослабления сгонных процессов вследствие общего замедления горизонтальной циркуляции. Так, в районе ЮБК в начале 21 века, по сравнению с восьмидесятыми годами прошлого столетия, отмечается уменьшение общего количества сгонов, характерных для мая – июля и сентября, а также их продолжительности, особенно в июне [11]. Это явление авторы объясняют уменьшением западной составляющей ветра. Согласно [9], усиление восточной составляющей скорости поверхностного ветра в регионе происходит и в последнее десятилетие, что приводит к усилению нагонных процессов и учащению, начавшемуся с середины 90-х годов прошлого века, случаев повышения ТПМ выше 25°C в летний период [12]. В результате в теплое время года ослабляется подпитка прибрежных вод биогенными элементами из глубинных го-

ризонтов моря, что может отрицательно сказаться на их продуктивности. Об этом свидетельствует тенденция к уменьшению концентрации хлорофилла *a* в регионе, отмеченная в [9]. Недостаток питания в свою очередь может привести к уменьшению репродуктивного потенциала популяции мидии за счет уменьшения в ней доли самок, так как сперматогенез энергетически менее затратен, чем овогенез [13]. Это может привести к сокращению численности личинок в пелагиали в целом, и особенно, в прибрежной зоне Крыма, где из-за уменьшения количества и продолжительности апвеллингов уменьшится вероятность появления в массовом количестве личинок мидии на стадии оседания из глубинных горизонтов, в которых, согласно [14], они способны накапливаться. Соответственно, воспроизводство бентосных поселений мидии будет подорвано из-за уменьшения их пополняемости особями новых генераций. Кроме того, повышенная температура воды в летние месяцы может способствовать пищевой и репродуктивной активности рапаны – теплолюбивого хищного брюхоногого моллюска, питающегося мидиями и размножающегося в июне – июле. Возможно, повышение температуры воды в августе – сентябре также благоприятствует выживаемости молоди рапаны в прибрежных биотопах. Таким образом, снижение уровня потенциальной пополняемости популяции мидии в исследуемом районе, отмеченное в [8], через ряд экологических взаимодействий может быть связано с увеличением температуры поверхностного слоя воды в море.

**Заключение.** Климатические изменения у берегов южного и юго-западного Крыма за последние 35 лет выразившиеся, первую очередь, в устойчивом увеличении температуры поверхностного слоя воды (особенно в теплый период года), могут способствовать возникновению комплекса экологических условий, отрицательно влияющих на воспроизводство черноморской популяции мидии *Mytilus galloprovincialis*, что подтверждается уменьшением такого параметра, как потенци-

альная пополняемость популяции моллюска. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейшего продолжения и совершенствования мониторинга морской среды для выявления экологических взаимосвязей, влияющих на воспроизводство мидии и других гидробионтов в прибрежных экосистемах.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «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).*

*Автор выражает благодарность Шаляпину В.К., Щурову С.В., Попову М.А., Казакову С.И., Репетину Л.Н., Гайскому П.В. и Серебренникову А.Н. за предоставленные данные контактных и спутниковых измерений температуры воды, а также Шлыку А.В. и Шлыку М.А. за помощь в измерении температуры воды в Мартыновой бухте.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елецкий Б.Д. Концепция сохранения и использования запасов двустворчатых моллюсков мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. в восточной части Черного моря: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.32, 03.00.23. Краснодар. 2006. 46 с.
2. Стадниченко С.В., Щурова Н.М., Золотарев В.Н. Пространственно-временные изменения популяции мидий (*Mytilus galloprovincialis*) в северо-западной части Черного моря // Zoocenosis-2013: Биоразнообразие и роль животных в экосистемах: VII Междунар. научн. конф. (Днепропетровск, 22–25 октября 2013 г.). 2013. С. 68–70.
3. 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.

4. Видовое богатство и количественное и развитие макрозообентоса филофорного поля Зернова / Н.К. Ревков, Н.А. Болтачева, И.П. Бондарев [и др.] // Морские биологические исследования: достижения и перспективы: сб. матер. Всерос. науч.-практ. конф. (Севастополь, 19–24 сентября 2016 г.). 2016. Т. 2. С. 126–129.
5. Многолетние изменения макрофауны скал в зоне верхней сублиторали у Карадага (Черное море) / Н.А. Болтачева, М.А. Ковалёва, М.В. Макаров [и др.] // 100 лет Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского: сборник науч. трудов. Симферополь. 2015. С. 530–548.
6. Морозова А.Л., Смирнова Ю.Д. Трансформация природных экосистем прибрежных вод Карадагского заповедника / Современные проблемы экологии Азово-Черноморского бассейна: Материалы II Междунар. конф. 26–27 июня 2006 г. Керчь. С. 17–24.
7. Говорин И.А., Шаццло Е.И. Межгодовые изменения количественных показателей перифитонных поселений мидий *Mytilus galloprovincialis* и митилястера *Mytilaster lineatus* у одесского побережья Черного моря // Вісник Одеського Університету. Біологія. 2016. Т. 21. Вып. 1(38). С. 117–129.
8. Казанкова И.И. Определение потенциальной популяционной емкости поселений мидии, митилястера и анадары в прибрежных акваториях Черного и Адриатического морей с помощью экспериментальных субстратов // Системы контроля окружающей среды. 2019. Вып. 3 (37). С. 112–119.
9. 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. Вып. 1 (35). С. 79–87.
10. 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.
11. Куклин А.К., Куклина Н.Я., Шабалина О.А. Температура морской воды в районе океанографической платформы в Качивели // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовых зон и комплексное использование ресурсов. 2014. № 28. С. 186–194.
12. Карнаушенко Н.Н., Погребной А.Е. Основные особенности изменчивости атмосферных процессов и полей прибрежной зоны Черного моря у западного и юго-западного побережья Крыма на временных масштабах от межсуточных до многолетних // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2003. Вып. 2 (7). С. 162–176.
13. Breton S., Capt C., Guerra D. et al. Sex Determining Mechanisms // Bivalves: Preprints201706.0127. 2017. Vol. 1.
14. Peculiarities of seasonal dynamics of *Mytilus galloprovincialis* larvae numbers in the coastal zone of the Crimea (based on long term data) // Hydrobiological Journal. 2014. Т. 50. № 3. P. 13–20.

## THE EFFECT OF ELEVATED TEMPERATURE OF THE SEA SURFACE ON THE MUSSEL RECRUITMENT OFF THE COAST OF THE SOUTHWESTERN CRIMEA

I.I. Kazankova

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

Combining data of contact and satellite measurements of water temperature of the sea surface layer made it possible to reveal a positive trend in the change of the parameter over the time interval 1985–2020 off the coast of the southern and southwestern Crimea. The largest contribution to this trend is made by such months as May, June, July and September. Ecological processes that cause a decrease in the recruitment of mussel *Mytilus galloprovincialis* in the Black Sea related to an increase in the temperature of the sea surface layer are analyzed.

**Keywords:** Black Sea, global warming, ecological processes, monitoring of coastal waters.