



Check for updates

<https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2022-14-3-516-530><http://zoobank.org/References/18509F5B-B317-47CB-B7E5-9BEB260AAFF1>

УДК 591.6

Морфометрические характеристики черноморских мидий *Mytilus galloprovincialis* Lam. как биоиндикатор антропогенного воздействия на прибрежные биоценозы Черного моря на территориях рекреационно-туристской специализации

Т. А. Горбунова, М. П. Башарова, Н. И. Матова✉

ФГБНУ «Институт природно-технических систем» (филиал), ул. Ленина, д. 28, 299011, г. Севастополь, Россия

Сведения об авторах

Горбунова Татьяна Львовна

E-mail: tatianashaw@mail.ru

SPIN-код: 8098-9077

Scopus Author ID: 57207452973

ResearcherID: J-3682-2018

ORCID: 0000-0003-3699-7159

Башарова Мария Павловна

E-mail: mari.basharova@inbox.ru

SPIN-код: 6257-5936

ORCID: 0000-0003-3802-3083

Матова Наталья Ивановна

E-mail: lej06@yandex.ru

SPIN-код: 1544-3015

ResearcherID: J-7241-2018

ORCID: 0000-0001-6084-6233

Аннотация. Произведена оценка экологической ситуации морской среды в прибрежной зоне Черного моря в районе наиболее популярного муниципального пляжа «Маяк», расположенного в центральной части города-курорта Сочи и подверженного комплексному антропогенному воздействию, с использованием в качестве биоиндикаторных признаков морфометрических параметров черноморских мидий *Mytilus galloprovincialis* L. Определяемые характеристики сравнивались с аналогичными показателями моллюсков, отобранных на условно чистом участке Черноморского побережья. В качестве основного биомаркера были использованы морфометрические параметры, связанные с размерными характеристиками раковины мидии: ее длиной, шириной и толщиной, на основе которых были рассчитаны индексы, характеризующие отношение морфометрических параметров друг к другу, что определяет геометрию раковины, формирующуюся под воздействием различных экологических факторов. В качестве подтверждающих показателей также фиксировались цвет, характер поверхности створки моллюсков, половая структура исследуемых популяций и соотношение сырого веса тела мидии по отношению к общему весу моллюска со створкой. Было выявлено, что величины определяемых индексов достоверно ниже у моллюсков чистой зоны, что определяется тем, что при отсутствии негативного воздействия моллюски не нуждаются в сильной и плотно закрывающейся раковине в той же степени, как животные из неблагополучных районов. Кроме того, обнаружено, что в двух изучаемых популяциях моллюсков, различающихся условиями сред обитания, имеются характерные различия по практически всем дополнительным исследуемым параметрам. Таким образом, используемые в данной работе биоиндикаторные характеристики состояния живых сообществ рекреационной зоны указывают на наличие систематического или повторяющегося негативного воздействия, обусловленного антропогенной активностью, на морских гидробионтах в прибрежной акватории муниципального пляжа «Маяк».

Права: © Авторы (2022). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY-NC 4.0.

Ключевые слова: черноморские мидии, антропогенное воздействие, биоиндикация прибрежных вод, морфометрические параметры, половая структура популяции, толерантность

Morphometric characteristics of Black Sea mussels *Mytilus galloprovincialis* Lam. as biomarkers of the anthropogenic impact on the Black Sea coastal biocenoses in tourist destinations

T. L. Gorbunova, M. P. Basharova, N. I. Matova✉

Branch of the Institute of Natural and Technical Systems, 28 Lenin Str., 299011, Sevastopol, Russia

Authors

Tatiana L. Gorbunova

E-mail: tatianashaw@mail.ru

SPIN: 8098-9077

Scopus Author ID: 57207452973

ResearcherID: J-3682-2018

ORCID: 0000-0003-3699-7159

Maria P. Basharova

E-mail: mari.basharova@inbox.ru

SPIN: 6257-5936

ORCID: 0000-0003-3802-3083

Natalia I. Matova

E-mail: lej06@yandex.ru

SPIN: 1544-3015

ResearcherID: J-7241-2018

ORCID: 0000-0001-6084-6233

Abstract. The study assessed the ecological state of the marine environment in the Black Sea coastal zone on the territory of the popular Mayak public beach, located in the central part of Sochi and exposed to complex anthropogenic impact, using morphometric parameters of the Black Sea mussels *Mytilus galloprovincialis* L. as biomarkers. The studied parameters were compared with those of mollusks selected on a provisionally clean area of the Black Sea coast. In this paper morphometric parameters related to the size characteristics of the mussel shell — its length, width, and thickness — were used as the main biomarkers. On their basis we calculated two indices — the ratio of the shell height to its length (H/L) and the ratio of its width to its length (D/L) — which describe the relationship among morphometric parameters and determine the shell geometry formed under the impact of various environmental factors. As additional indicators, we recorded the colour, the characteristics of the mollusk shell surface, the sexual structure of the studied populations, and the ratio of the mussel raw body weight to the total weight of the mollusk with its shell. It was determined that the values of the main identified indices were significantly lower in the mussels from the clean zone, which can be explained by the fact that in the absence of negative effects mollusks do not need a strong and tightly closed shell to the same extent as animals from polluted areas. Moreover, the results revealed that the two studied mollusk populations from different habitat conditions demonstrated differences in practically all additional parameters. Thus, the studied biomarkers showing the state of biological communities in recreational zones indicate the presence of a systematic or repeated negative impact on marine aquatic organisms in the coastal waters of the Mayak public beach caused by anthropogenic activity.

Keywords: Black Sea mussels, anthropogenic impact, coastal waterswater biomarkers, morphometric parameters, sexual structure of the population, tolerance

Copyright: © The Authors (2022). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under CC BY-NC License 4.0.

Введение

Интенсивное развитие урбанизированных курортно-рекреационных территорий неизбежно сопровождается проблемами загрязнения окружающей среды в целом и водных экосистем в частности. В результате деятельности человека загрязнители через природные водотоки, сточные и ливневые стоки попадают в прибрежные зоны морей. Некоторые из загрязнителей, такие как нефтяные углеводороды и масла, пестициды, СПАВы, несвойственны природной морской среде. Другие примеси, такие как биогенные вещества и соединения некоторых металлов, присутствуют в

природных средах, но их концентрации изменяются в результате антропогенной нагрузки. Воздействие этих веществ на окружающую среду является комплексным и прямо или косвенно влияет на различные популяции и экосистемы (Булгаков 2002; Гудкова и др. 2021).

В настоящее время качество прибрежных вод Черного моря в районе города-курорта Сочи оценивается в основном исходя из соответствия значений гидрохимических показателей установленным общим требованиям и предельно допустимым концентрациям (ПДК) для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение (Обзоры об уровне загрязнения

морских вод 2022). Однако химические методы дают только количественную оценку уровня загрязнений и не позволяют ни прогнозировать влияние всех возможных комбинаций загрязнителей на гидробиоценозы, ни выявить последствия импульсных воздействий (Куранова 2009). Поэтому для всесторонней оценки качества водной среды и адекватного анализа изменений биологических сообществ, связанных с антропогенным влиянием, наряду с методами гидрохимического анализа целесообразно использовать методы биологического контроля (Горбунова 2016). Цель проводимых авторами исследований — совершенствование методологии оценки состояния и устойчивости водных экосистем путем адаптации к условиям региона методов биоиндикации, для дальнейшего применения при организации геоэкологического мониторинга и оценки трансформации природной среды в условиях антропогенной нагрузки (раздел 1.5.10.4. «Приоритетных направлений фундаментальных и поисковых научных исследований») с целью эффективного управления воздействием на окружающую природную среду туристско-рекреационных пространств (Горбунова, Матова 2020; Gorbunova et al. 2021).

Наиболее доступными и достаточно эффективными биоиндикаторными организмами в прибрежных экосистемах побережья Черного моря считаются двусторчатые моллюски. Даже относительно низкие концентрации целого ряда загрязнителей и их комплексов при хроническом воздействии могут вызвать морфологические и биохимические патологии (De Donno et al. 2008). Мидия *Mytilus galloprovincialis* Lam. является признанным индикатором антропогенного загрязнения прибрежных вод Мирового океана и широко применяется в системе биологического контроля качества среды (Темердашев и др. 2017).

Mytilus galloprovincialis играет значительную роль в функционировании морской экосистемы. Это объясняется массовостью и широкими ареалами вида, распростра-

ненного от уреза воды до сероводородной зоны. Мидии по способу питания являются активными фильтраторами. Для дыхания и питания они пропускают через себя значительное количество морской воды: один взрослый моллюск фильтрует от двух до пяти литров воды в час, аккумулируя при этом большое количество сестона, содержащего как неорганические, так и органические частицы в совокупности с адсорбированными или растворенными в воде загрязняющими веществами. Известно, что мидии способны накапливать в организме токсичные вещества из морской среды в концентрациях, в пять-десять раз превышающих содержание токсикантов в донных отложениях. В мировой практике используется опыт применения этих свойств моллюска для очистки морской воды от некоторых видов загрязнителей. Методы на основе принципа рециркуляции уже действуют в Швеции, Дании и странах Балтии в рамках проекта «Baltic Blue Growth» (Baltic Blue Growth; Kotta et al. 2020).

По данным исследований, изменение морфометрических характеристик, соотношения фенотипов и половой структуры мидий является характерным откликом на изменение качества морской среды (Дехта, Каталевский 2000; Челядина 2015; Челядина, Попов 2018а). Исходя из своих физиологических и экологических характеристик, мидии являются наиболее информативными биомаркерами для изучения качества окружающей среды в месте их обитания как звено, замыкающее на себе все процессы в экосистеме. В этой связи исследование процессов взаимодействия мидийных поселений с экосистемой шельфовых зон Черного моря может выявить критерии оценки качества окружающей водной среды.

Интенсивное развитие города-курорта Сочи в современных условиях роста внутреннего туризма, повышения интереса путешествующих к отдыху на природе (Матова, Шагаров 2021) ведет к стремительно возрастающей антропогенной нагрузке на прибрежные зоны Черного моря, особенно

в районах расположения муниципальных пляжей и мест организованного и неорганизованного отдыха туристов и местного населения. Исследование морфометрических параметров черноморской мидии, отражающих состояние сообществ гидробионтов и среды их обитания, как биомаркера качества морской воды приобретает особую актуальность для организации эффективного управления водными ресурсами туристского региона.

Задачей данной работы является изучение и оценка экологического состояния морской среды в прибрежной зоне Черного моря в районе муниципального пляжа «Маяк» по сравнению с прибрежными водами относительно чистых территорий пригородного пляжа дачного поселка «73 километр» с использованием в качестве биоиндикатора морфометрических параметров черноморской мидии.

Материалы и методы

Исследования для данной работы проводились в течение 2021–2022 гг. Пробы

отбирались на двух станциях: в акватории крупнейшего муниципального пляжа «Маяк» и загородного пляжа поселка «73-й километр» (рис. 1).

Первая станция исследования — муниципальный пляж «Маяк» — располагается в центре г. Сочи в районе центральной набережной, пользуется большой популярностью у отдыхающих и является наиболее загруженным в летний период. Территория, прилегающая к пляжу, имеет развитую инфраструктуру. На примере исследования состояния популяции мидии на этой станции показано воздействие антропогенных факторов территории с интенсивным развитием туристической деятельности на прибрежные биоценозы морских гидробионтов.

Вторая станция исследования характеризуется сравнительно низкой антропогенной нагрузкой, так как расположена в районе пригородного дачного поселка, где отсутствуют предприятия курортно-рекреационной индустрии, магистрали автомобильного транспорта (однако вдоль пляжа

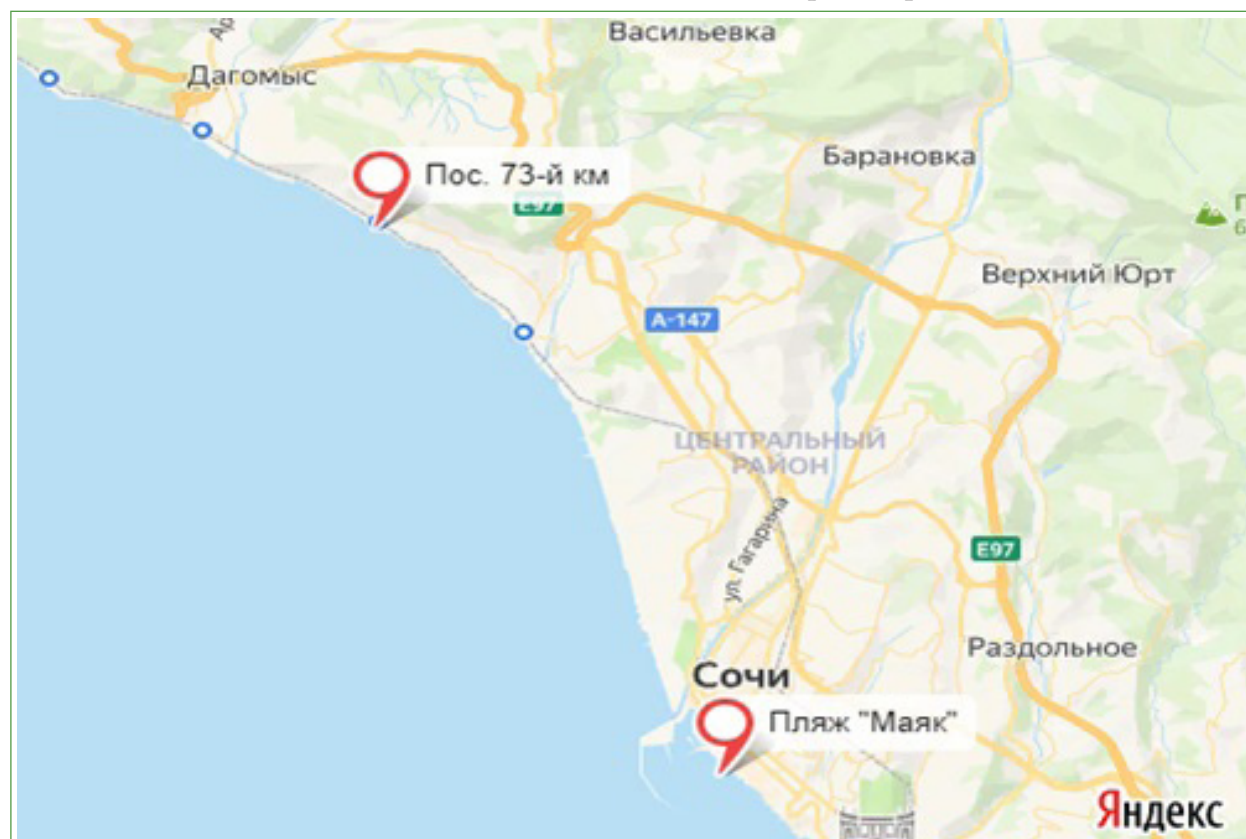


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб (сервис Яндекс.Карты)

Fig. 1. Location of the sampling stations (source: Yandex.Maps)

пролегает железнодорожное полотно), нет стока значительных природных водотоков, количество отдыхающих на пляжах этого района незначительно. Эта станция служила фоновой для данного исследования.

Пробы отбирались в 30–50 м от берега на горизонтах 30–50 см ниже уровня воды с поверхностей волнорезов и прибрежных камней в трех повторностях с помощью скребка. Площадь отбора 25×25 см. После этого мидии вместе с морской водой помещались в пакеты и в термосумках транспортировались в лабораторию, где производились измерения их морфометрических характеристик в соответствии с методическими указаниями. В ходе работы отобрано и исследовано по 30 разновозрастных и разновозрастных моллюсков на каждой станции.

Морфометрические параметры мидий имеют адаптивное значение, поэтому являются удобными маркерными признаками при оценке состояния окружающей водной среды в условиях техногенного пресса. Совокупное действие факторов среды проявляется не только с ростом раковины мидии в длину, но и с ее увеличением в двух других основных измерениях — в ширину и высоту. При изучении изменчивости раковин мидий выделены механизмы адаптации к техногенному прессингу: увеличение выпуклости (D/L), изменение относительной высоты (H/L) и толщины раковин (Алпеева 2003; Полупанов, Мисарь 2015; Челядина, Попов 2018b). Морфометрические параметры моллюсков изучались в соответствии с методическими указаниями, разработанными В. А. Дехтой (Дехта 1998; Дехта, Каталевский 2004) по схеме на рисунке 2.

Для определения формы раковины использовались индексы отношений: высота створки к ее длине H/L (вытянутость, или относительная высота), ширина к длине D/L (выпуклость, или сагитальная кривизна).

В ходе данной работы у отобранных образцов мидий, кроме морфометрических параметров раковины, определяли цвет и характер поверхности раковины, цвет

мантии, измеряли общую массу моллюска и его тела для последующего определения соотношения массы тела мидий от ее общей массы (Кепель, Озолиньш 1992). Индекс отношения массы мяса к общей массе (w/W) мидий может служить индикатором упитанности мидии на исследуемом участке, что косвенно указывает на степень развития компонентов фито- и зоопланктона, являющегося кормовой базой моллюсков.

Определялись среднестатистические значения анализируемых параметров, их статистические минимумы и максимумы, а также среднее квадратичное отклонение. Для статистической обработки материала использовалась программа Microsoft Office Excel.

Идентификация основных факторов воздействия на качество морской воды на исследуемых участках

Территория, прилегающая к популярному среди туристов муниципальному пляжу «Маяк», располагает развитой городской инфраструктурой: в непосредственной близости расположен морской вокзал, пролегает автомобильная дорога с интенсивным движением, расположено множество объектов торговли, общественного питания и курортно-развлекательного назначения. Кроме того, на состояние морской среды этого пляжа, скорее всего, влияет



Рис. 2. Схема стандартных промеров раковины двустворчатых моллюсков по А. А. Зютину: L — длина раковины; H — толщина раковины; D — ширина / выпуклость

Fig. 2. Scheme of bivalve mollusk shell standard measurements: L — shell length; H — shell thickness; D — width / convexity (according to A. A. Zyutin)

сток реки Сочи (Колесникова и др. 2020). До недавнего времени основное внимание исследователей было сосредоточено на процессах, проходящих в местах впадения в море крупных рек. Однако малые водотоки также могут играть значительную роль в формировании гидрохимического режима и переносе вещества в прибрежной зоне (Завьялов, Маккавеев 2014). Основными факторами загрязнения на этом участке являются: попадание в среду нефтяных углеводородов, что обусловлено близостью акватории морского порта и интенсивным движением маломерных судов; биогенные и взвешенные вещества, поступающие в прибрежные воды моря с несанкционированным сбросом ливневых и хозяйственных стоков (рис. 3).

Во время отборов проб моллюсков на территории пляжа отмечалось присутствие характерного запаха фекальных сточных вод и наличие бытового мусора. Последнее, вероятно, было вызвано чрезвычайно высокой рекреационной нагрузкой пляжной полосы в течение курортного сезона. По данным авторов, средняя загруженность пляжа в период исследования составляла приблизительно 240 человек на площади около 600 м² (на одного человека приходилось в среднем 2,5 м²).

По оценке сочинской лаборатории СЦГМС ЧАМ, основными загрязняющими веществами, по которым с разной периодичностью наблюдаются превышения уровня ПДК в прибрежной зоне Черного моря, прилегающей к району данного исследования, являются тяжелые металлы (свинец, железо общее), нефтепродукты, СПАВ, нитриты и легкоокисляемая органика, характеризующаяся значениями БПК₅ (Обзоры об уровне загрязнения морских вод 2022). Повышенное содержание легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅) и биогенных элементов в прибрежных водах данного участка фиксируется обычно летом и осенью, что вызвано загрязненным стоком реки и значительной антропогенной нагрузкой в курортный сезон. В периоды интенсивных осадков для

прибрежной зоны характерно повышенное содержание взвешенных веществ, также обусловленное интенсивным стоком ливневых вод с дорог и склонов, где отсутствует естественная инфильтрация влаги.

Исследуемый участок характеризуется единичным превышением требований по свинцу (повторяемость превышения ПДК 3%, кратность превышения до 1,1 ПДК), железу общему (повторяемость превышения ПДК 1,6%, кратность превышения до 1,3 ПДК) и неустойчивым превышением требований по БПК (повторяемость превышения нормы 12,5%, кратность превышения до 2 раз) и нефтепродуктам (повторяемость превышения нормы 9%, кратность превышения до 1,5 ПДК). Можно сделать вывод об антропогенном характере основных факторов воздействия на качество воды в прибрежной зоне Черного моря на исследуемой территории, которая имеет рекреационное и культурно-эстетическое значение для центральной части города-курорта.

Вторая станция исследования характеризуется сравнительно низкой антропогенной нагрузкой, так как расположена в районе пригородного дачного поселка, где отсутствуют объекты туристической и значимые магистрали автомобильного транспорта. В основном дачный поселок подключен к городской сети канализа-



Рис. 3. Ливневый сток, проходящий через территорию муниципального пляжа «Маяк» (фото авторов)

Fig. 3. Stormwater runoff passing through the territory of "Mayak" municipal beach (photo by the authors)

ции. В то же время вдоль пляжа проходит линия железной дороги. Данный участок расположен на отдалении от воздействия стоков рек. Нагрузка на пляжную полосу, обусловленная пляжным отдыхом в летний сезон, минимальна и, по данным автора, составляет примерно 20 человек на 600 м². В ходе отбора проб на пляже не обнаружено скоплений бытового мусора и выходов ливневой канализации. Данный участок, характеризующийся отсутствием значительных факторов антропогенного воздействия, рассматривался как фоновый в рамках проводимого исследования.

Анализ биомаркеров качества морской воды на исследуемых участках

Определение морфометрических характеристик *Mytilus galloprovincialis*

В качестве основного биомаркера были использованы морфометрические параметры, связанные с размерными характеристиками раковины мидии: ее длиной, шириной и толщиной. На основе этих величин были рассчитаны два индекса, характеризующие отношение морфометрических параметров друг к другу, что определяет геометрию раковины, формирующуюся под воздействием различных экологических факторов. Средние значения этих данных для исследуемого материала, отобранного на муниципальном пляже «Маяк» и на пляже поселка «73 километр», приведены в таблице 1 и на рисунке 4.

Сравнивая морфометрические показатели размерных характеристик мидий на исследуемых участках, можно отметить, что популяция мидий, отобранных в прибрежной зоне пляжа «Маяк», представлена особями, обладающими меньшими размерами раковины по сравнению с мидиями прибрежной зоны фонового участка: максимальная длина раковины этих моллюсков в 1,7 раз меньше аналогичного показателя на фоновом участке. Кроме того, в популяции мидий прибрежной зоны пляжа «Маяк» наблюдалось меньшее разнообразие размерных групп мол-

люсков, были представлены по большей части неполовозрелые особи. Возможные причины: слабая пищевая база, инвазия моллюсков, а также присутствие мелкодисперсной взвеси, оседающей на субстрат, к которому прикрепляются молодые моллюски, наличие которой вызвано интенсивным строительством и отсыпкой пляжей, загрязненными ливневыми водами, воздействующими на прибрежную среду Черного моря в предшествующие исследованию периоды.

Отношения значений морфометрических параметров могут предоставить достоверную картину изменений формы раковины моллюсков в зависимости от экологических условий существования биоценозов. Мидии, обитающие в прибрежной зоне муниципального пляжа «Маяк», характеризуются более широкой формой створок, чем моллюски, обитающие в чистой зоне: их индекс соотношения ширины и длины — 0,60, в то время как у мидий фонового участка только 0,55 (критерий достоверности по Стьюденту $t_d = 1,54 > t_{st} = 1,30$, при $P = 0,05$). Удлиненная форма раковины свидетельствует об отсутствии долгосрочного хронического воздействия неблагоприятных факторов среды на популяцию мидий. Также отмечено, что индекс отношения толщины раковины к ее длине, характеризующий толщину створки мидии, на участке муниципального пляжа «Маяк» составляет 0,67 см, а у мидий фонового участка — 0,46 см (критерий достоверности по Стьюденту $t_d = 14,85 > t_{st} = 1,30$, при $P = 0,05$).

Ребристость поверхности раковины моллюска, так называемый «эффект стиральной доски», связана с показателями толщины раковины моллюсков и обычно развивается у особей, формирующихся в популяциях, подверженных воздействию загрязнения. Как показано на рисунке 4, наблюдается преобладание мидий с ребристой поверхностью на участке прибрежной зоны пляжа «Маяк» по сравнению с фоновой станцией, наряду с этим отмечено заметное снижение особей моллюсков

Таблица 1

Средние значения морфометрических характеристик мидий *Mytilus galloprovincialis*, отобранных на исследуемых участках прибрежной полосы Черного моря

Table 1

Average values of morphometric characteristics of *Mytilus galloprovincialis*, collected in the studied Black Sea coastal areas

Измеряемый параметр Measured parameter	Длина раковины (L), см Shell length (L), cm	Ширина раковины (D), см Shell width (D), cm	Толщина раковины (H), см Shell thickness (H), cm	Индекс: ширина (D)/длина (L) Index: width (D) / length (L)	Индекс: толщина (H)/длина (L) Index: thickness (H) / length (L)
Прибрежная зона муниципального пляжа «Маяк» Coastal area of Mayak public beach					
Среднее значение Mean value (n = 30; $\alpha=0,05$)	3,61±0,17	2,17±0,09	2,40±0,09	0,60±0,04	0,67±0,12
max	4,7	3,4	3,2		
min	1,2	0,6	0,9		
Прибрежная зона загородного пляжа пос. «73 километр» Coastal area near the suburban beach of Semdesyat Trety Kilometr village					
Среднее значение Mean value (n = 30; $\alpha = 0,05$)	4,07±0,34	2,23±0,18	1,81±0,13	0,55±0,01	0,46±0,01
max	7,3	4,1	3		
min	2,4	1,3	1		

с вытянутой формой раковины по сравнению с мидиями, образующими популяцию прибрежной зоны загородного пляжа.

Такой диморфизм обычно обусловлен тем, что при систематических негативных воздействиях на водофильтрующие малоподвижные организмы мощная, толстая створка приспособлена к выполнению защитной функции. В то же время моллюски, выросшие в чистой зоне и обладающие более удлиненной формой тела и более тонкой раковиной, не нуждаются в сильной и плотно закрывающейся раковине в той же степени, как животные из неблагополучных районов.

Обнаружено также, что у мидий, отобранных в прибрежной зоне муниципального пляжа «Маяк», преобладают особи с коричневым цветом раковины — 29 особей, что составляет 97% от общего количества исследованных моллюсков. Была отмечена только одна особь с голубым цветом раковины. В то же время на фоно-

вом участке в наибольшей степени представлены мидии с черной окраской раковин — 18 особей, составляющих 60% исследованной выборки. Учитывая, что мидии с коричневой окраской раковины более толерантны к отсутствию освещения и замутнению воды, результаты данного наблюдения свидетельствуют о том, что моллюски, составляющие популяцию прибрежной зоны муниципального пляжа «Маяк», имеют ярко выраженную экологическую приспособляемость к регулярному замутнению воды на данном участке.

Сравнение половой структуры в популяциях мидий

Мидии, как большинство двустворчатых моллюсков, являются раздельнополыми. Соотношение самцов и самок в популяции моллюсков зависит как от генетических механизмов формирования пола, так и от условий окружающей среды. Нормальное отношение полов в популяции, которая

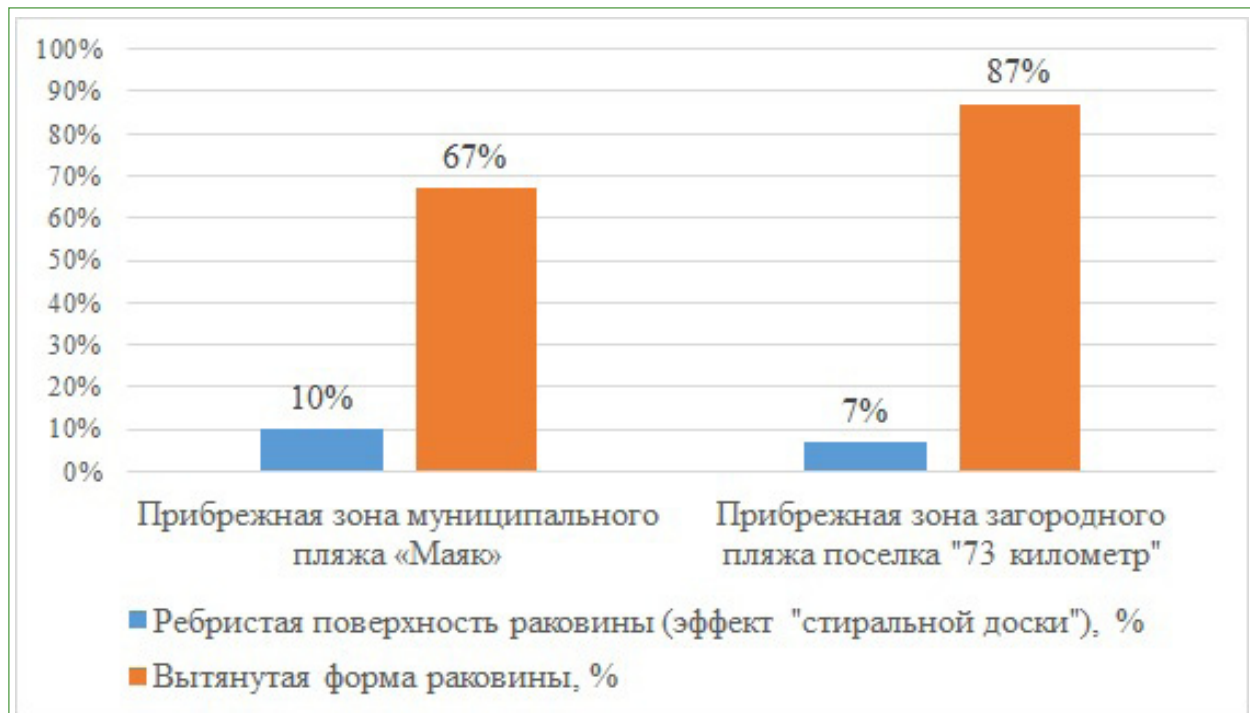


Рис. 4. Сравнение формы раковины и характера поверхности створок мидий на исследуемых участках

Fig. 4. The Comparison of the shell shape and the shell surface characteristics comparison of the mussel withinof mussels in the studied areas

развивается в идеальных условиях, составляет 1:1 (например, на мидийных фермах, где их месторасположение выбрано по результатам тщательного исследования морской среды для обеспечения качества и безопасности пищевого продукта человека). При ухудшении экологических условий, таких как гидрологические и гидрохимические факторы, а также кормовая база, соотношение полов в популяции сдвигается в сторону преобладания ♂, отмечена более высокая смертность моллюсков ♀ при неблагоприятных условиях (Chelyadina et al. 2021). В данной работе соотношение полов черноморской мидии в двух исследуемых популяциях оценивалось для подтверждения гипотезы, сформированной на основе анализа морфометрических параметров.

В популяции моллюсков прибрежной зоны муниципального пляжа «Маяк» наблюдается существенная диспропорция в половой структуре: ♂90%, ♀10%. Кроме того, в одном случае определить половую принадлежность не представлялось возможным из-за слишком малых размеров

особи. У мидий прибрежной зоны загородного пляжа также наблюдалась диспропорция половой структуры, хотя и в значительно меньшей степени: ♂77%, ♀23%. Такая ситуация может свидетельствовать о генетической предрасположенности данной популяции к сдвигу в сторону увеличения доли самцов или о невыявленных факторах слабого хронического неблагоприятного воздействия на прибрежные биоценозы, что, возможно, вызвано интенсивной застройкой дачных участков в последние годы.

Весовые показатели моллюсков

Рассмотренные в данной работе параметры, отражающие весовые характеристики моллюсков: сырая масса мягких тканей тела моллюска (*w*), общая сырая масса моллюска с раковиной (*W*) и соотношение этих показателей (см. табл. 2) тесно связаны с такими физиологическими характеристиками гидробионтов, как метаболизм, выделение, скорость продуцирования (соматического и генеративного),

линейный и весовой рост. В свою очередь, эти характеристики зависят от экологических факторов, в которых развивалась популяция моллюсков: интенсивность фильтрации, трофность и особенности биотопа (Васечкина, Казанкова 2014). При этом раковина мидии является метаболически инертной массой, но на ее синтез требуются значительные энергетические затраты организма — от 19 до 29% от величины общей продукции (Золотницкий, Сытник 2019). Соответственно, если моллюск подвержен постоянному негативному воздействию, что обуславливает необходимость развития мощной, утолщенной раковины, то возникает недостаток энергии для увеличения массы самого моллюска. Таким образом, коэффициент отношения сырой массы мягких тканей тела моллюска (w) к общей сырой массе моллюска с раковиной (W) может применяться как биомаркер качества морской воды в совокупности с морфометрическими характеристиками.

Соотношение сырой массы мягких тканей тела мидии по отношению к общей массе моллюска со створкой в биоценозе фонового участка заметно выше значений этого параметра, определенного для сообщества моллюсков в прибрежной зоне пляжа «Маяк», что подтверждает экологические различия, такие как отсутствие негативного влияния загрязнителей и развитие кормовой базы мидий, в морской среде прибрежной зоны муниципального пляжа «Маяк» и загородного пляжа.

Следует отметить отличие популяций по признаку разброса значений индивидуальных весовых индексов: если у мидий прибрежной зоны пляжа «Маяк» этот показатель варьируется в пределах (0,23; 0,3), то в районе поселка «73 километр» — в пределах (0,14; 0,56).

Заключение

В ходе данного исследования было определено, что морфометрические характеристики мидий, обитающих в прибрежной зоне Черного моря на территориях с интенсивным развитием туристской индустрии, могут слу-

жить надежными биоиндикаторами экологического состояния морской среды и антропогенной нагрузки на нее. На примере сравнения морфометрических характеристик моллюсков двух популяций, различающихся условиями сред обитания (акватории муниципального пляжа «Маяк» и условно чистой прибрежной полосы пригородного пляжа поселка «73 километр»), выявлены характерные статистически достоверные различия по основным и подтверждающим исследуемым морфометрическим параметрам мидий.

В популяции мидий прибрежной зоны пляжа «Маяк» наблюдалось меньшее разнообразие размерных групп моллюсков по сравнению с популяцией фонового участка, что предположительно вызвано снижением оседания молоди моллюсков в течение нескольких лет из-за нарушения состояния субстрата, которое могло быть вызвано несколькими причинами: слабой пищевой базой, инвазиями моллюсков, а также присутствием мелкодисперсной взвеси, оседающей на субстрат, к которому прикрепляются молодые моллюски, обусловленной интенсивным строительством и отсыпкой пляжей, загрязненными ливневыми водами, воздействующими на прибрежную среду Черного моря в предшествующие исследованию периоды.

На участке с повышенной антропогенной нагрузкой преобладали мидии с коричневой окраской раковины, тогда как в чистой зоне преобладали особи с черной окраской. Такое распределение указывает на относительное обилие там животных, толерантных к отсутствию освещения и замутнению воды по сравнению с фоном. Кроме того, у мидий, обитающих в акватории пляжа «Маяк», чаще наблюдается так называемый «эффект стиральной доски», возникающий у моллюсков при повторяющемся негативном воздействии среды за счет утолщения раковины, что позволяет им своевременно реагировать на поступление поллютантов. Сделанные выводы подтверждаются и значениями морфометрических индексов. Отношения ширины к длине и отношения толщины к длине

<p>Таблица 2 Сравнение средних значений индексов массы мягких тканей тела мидии к общему весу мидии</p> <p style="text-align: right;">Table 2 Comparison of the average values of the ratio indices of mussel body weight to the total weight of the mussel</p>		
	<p>Прибрежная зона муниципального пляжа «Маяк» Coastal area of "Mayak" public beach</p>	<p>Прибрежная зона загородного пляжа поселка «73 километр» Coastal near the suburban beach of the village "73 kilometer"</p>
<p>Общая сырая масса моллюска с раковиной (W) Total weight of the mussel (W)</p>		
Среднее значение (n=30; α=0,05) Mean value (n=30; α=0,05)	4,83±0,82	3,58±0,81
max	9,85	7
min	0,19	1,2
<p>Сырая масса мягких тканей тела моллюска (w) Raw soft tissue weight of the mollusk body (w)</p>		
Среднее значение (n=30; α=0,05) Mean value (n=30; α=0,05)	1,31±0,22	1,35±0,47
max	2,59	3,9
min	0,05	0,17
Средний индекс массы (w/W) Average values of the ratio indices (w/W)	0,27	0,31

ниже у моллюсков чистой зоны. Этот феномен определяется тем, что при отсутствии негативного воздействия моллюски не нуждаются в сильной и плотно закрывающейся раковине в той же степени, как животные из неблагополучных районов.

Дополнительным доказательством результатов, полученных на основе морфометрических параметров, служит соотношение полов черноморской мидии в двух исследуемых популяциях: количество ♀ в чистой зоне превышало этот показатель у моллюсков пляжа «Маяк» в 2,3 раза при одинаковом объеме выборки. Такой сдвиг соотношения полов в сторону увеличения ♂ можно рассматривать как физиологический отклик моллюсков на неблагоприятную экологическую обстановку.

Таким образом, используемые в данной работе критерии развития живых сообществ рекреационной зоны указывают на наличие систематического или повторяющегося негативного воздействия, обусловленного антропогенной активностью, на морских гидробионтов в прибрежной ак-

ватории муниципального пляжа «Маяк».

Из проведенных исследовательских работ сделан вывод, что морфометрические характеристики мидий могут быть использованы как интегральный биоиндикатор качества морской среды прибрежных вод. Это относительно несложный и недорогой метод биологической индикации. Он особенно актуален для своевременной оценки изменения среды в рекреационных зонах морских курортов страны.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме «Совершенствование механизма управления природопользованием с целью обеспечения эколого-экономической безопасности функционирования индустрии туризма».

Funding

The study was carried out under the state assignment on the topic "Improving the mechanism of environmental management in order to ensure the environmental and economic safety of the hospitality industry".

Литература

- Алпеева, И. Г. (2003) Структура природных популяций мидии (*Mytilus galloprovincialis* Lam.) восточной части Черного моря, выявляемая методами системного морфометрического анализа. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Краснодар, Кубанский государственный аграрный университет, 20 с.
- Булгаков, Н. Г. (2002) Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды: обзор существующих подходов. *Успехи современной биологии*, т. 122, № 2, с. 115–135.
- Васечкина, Е. Ф., Казанкова, И. И. (2014) Математическое моделирование роста и развития мидии *Mytilus galloprovincialis* на искусственном субстрате. *Океанология*, т. 54, № 6, с. 816–824. <https://doi.org/10.7868/S0030157414060112>
- Горбунова, Т. А. (2016) Биоиндикация в системе мониторинга окружающей среды при переходе к устойчивому развитию агломерата города-курорта Сочи. *Системы контроля окружающей среды*, № 5 (25), с. 94–102.
- Горбунова, Т. А., Матова, Н. И. (2020) Методология мониторинга и управления экологическим состоянием рек с использованием интегральных биоиндикаторов и методов управления качеством. *Устойчивое развитие горных территорий*, т. 12, № 4 (46), с. 483–492. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-4-483-492>
- Гудкова, Н. К., Матова, Н. И., Горбунова, Т. А. (2021) Учет влияния геологических процессов бассейнов рек в интегрированном управлении водными ресурсами. *Фундаментальные исследования*, № 9, с. 21–25. <https://doi.org/10.17513/fr.43088>
- Дехта, В. А. (2004) Адекватность механизмов морфофункциональной адаптации мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. к загрязнению. В кн.: *Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов. Материалы Международной конференции (22–26 июня 2004 г.)*. Петрозаводск: б. и., с. 40.
- Дехта, В. А., Каталевский, Н. И. (1998) Содержание химических элементов в раковинах и изменчивость их формы у мидии *Mytilus galloprovincialis* L. прибрежной зоны Черного моря. В кн.: *Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна*. Ростов-на-Дону: Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, с. 312–319.
- Завьялов, П. О., Маккавеев, П. Н. (2014) Речные плюмы в акватории Сочи. *Наука в России*, № 2, с. 4–12.
- Золотницкий, А. П., Сытник, Н. А. (2019) Энергетический бюджет и эффективность использования пищи на рост у черноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis*). *Экосистемы*, № 20 (50), с. 105–116.
- Кепель, А. А., Озолиньш, А. В. (1992) Морфометрический анализ мидий рода *Mytilus* (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) морей СССР. *Зоологический журнал*, т. 71, № 9, с. 33–40.
- Колесникова, А. А., Гудкова, Н. К., Горбунова, Т. А. (2020) Оценка антропогенной нагрузки на экосистемы реки Сочи. В кн.: М. С. Аракелов (ред.). *Берега Черного моря: экологические ориентиры в настоящем — устойчивое развитие в будущем. Материалы II Российско-абхазского международного научно-практического семинара (г. Туансе, 11–12 декабря 2020 г.)*. Краснодар: Издательский Дом — Юг, с. 85–94.
- Куранова, А. П. (2009) Перспективы использования малакофауны в биоиндикации состояния водных экосистем. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Ульяновск, Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия, 24 с.
- Матова, Н. И., Шагаров, Л. М. (2021) Особенности экологически ответственного поведения туристов на охраняемых природных территориях. *Современные проблемы сервиса и туризма*, т. 15, № 1, с. 93–106. <https://doi.org/10.24412/1995-0411-2021-1-93-106>
- Обзоры об уровне загрязнения морских вод. (2022) *Погода Сочи. Гидрометеоцентр*. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pogodasochi.ru/info/86/> (дата обращения 01.06.2022).
- Полупанов, В. Н., Мисарь, М. А. (2015) Метод морфометрического анализа раковин двустворчатых моллюсков с учетом анизометрии линейных размеров (на примере черноморской мидии). *Труды ЮгНИРО*, т. 53, с. 60–74.
- Темердашев, З. А., Елецкий, И. Ю., Каунова, А. А. и др. (2017) Определение тяжелых металлов в мидии *Mytilus galloprovincialis* Lamarck методом ИСП-АЭС. *Аналитика и контроль*, т. 21, № 2, с. 116–124. <https://doi.org/10.15826/analitika.2017.21.2.009>
- Челядина, Н. С. (2015) Анализ фенотипической, половой структуры и стадий зрелости гонад коллекторной мидии *Mytilus galloprovincialis* на крымском побережье. В кн.: *Актуальные проблемы аквакультуры в современный период: Материалы Международной научной конференции (28.09.–02.10.2015)*. Ростов-на-Дону: Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, с. 190–193.

- Челядина, Н. С., Попов, М. А. (2018a) Сравнительная характеристика экологического состояния акваторий в районах размещения марихозяйств (Севастополь, Черное море). *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*, № 2, с. 148–156.
- Челядина, Н. С., Попов, М. А. (2018b) Сравнительный анализ морфометрических характеристик мидии *Mytilus galloprovincialis*, из различных районов обитания (Крым, Черное море). *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*, № 2, с. 264–269.
- Baltic Blue Growth — Initiation of full scale mussel farming in the Baltic sea. (2022) *Interreg Baltic Sea Region* (interreg-baltic.eu). [Online]. Available at: <https://interreg-baltic.eu/project/baltic-blue-growth/#information> (accessed 18.02.2022).
- Chelyadina, N., Pospelova, N., Popov, M. (2021) Effects of environmental factors on changing sex structure of cultivated mussels (*Mytilus Galloprovincialis*, Lamarck, 1819) in the coastal zone of the Black Sea. *International Review of Hydrobiology*, vol. 106, no. 3–4, pp. 183–190. <https://doi.org/10.1002/iroh.202002050>
- De Donno, A., Liaci, D., Bagordo, F. et al. (2008) *Mytilus galloprovincialis* as a bioindicator of microbiological pollution of coastal waters: A study conducted in the Salento peninsula (Italy). *Journal of Coastal Research*, vol. 24, no. 1, pp. 216–221. <https://doi.org/10.2112/05-0463.1>
- Gorbunova, T., Matova, N., Annandale, J. M. et al. (2021) Quantitative assessment methods for integrated water resources management. In: E. Popov, V. Barkhatov, V. D. Pham, D. Pletnev (eds.). *IV International Scientific Conference “Competitiveness and the development of socio-economic systems” dedicated to the memory of Alexander Tatarin (CDSSES–2020) (November 22–26, 2020)*. Chelyabinsk: Chelyabinsk State University, pp. 486–497. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2021.04.53>
- Kotta, J., Futter, M., Kaasik, A. et al. (2019) Cleaning up seas using blue growth initiatives: Mussel farming for eutrophication control in the Baltic Sea. *Science of The Total Environment*, vol. 709, article 136144. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136144>

References

- Alpeeva, I. G. (2003) *Struktura prirodnykh populyatsij midii (Mytilus galloprovincialis Lam.) vostochnoj chasti Chernogo morya, vyvavlyaemaya metodami sistemnogo morfometricheskogo analiza [The structure of natural populations of mussels (Mytilus galloprovincialis Lam.) of the eastern part of the Black Sea, revealed by methods of systematic morphometric analysis]. Extended abstract of PhD dissertation (Biology)*. Krasnodar, Kuban State Agrarian University, 20 p. (In Russian)
- Baltic Blue Growth — Initiation of full scale mussel farming in the Baltic sea. (2022) *Interreg Baltic Sea Region*. [Online]. Available at: <https://interreg-baltic.eu/project/baltic-blue-growth/#information> (accessed 18.02.2022). (In English)
- Bulgakov, N. G. (2002) Indikatsiya sostoyaniya prirodnykh ekosistem i normirovanie faktorov okruzhayushchej sredy: obzor sushchestvuyushchikh podkhodov [Indication of the state of natural ecosystems and regulation of environmental factors: An overview of existing approaches]. *Uspekhi sovremennoj biologii*, vol. 122, no. 2, pp. 115–135. (In Russian)
- Chelyadina, N. S. (2015) Analiz fenotipicheskoy, polovoj struktury i stadij zrelosti gonad kollektornoj midii *Mytilus galloprovincialis* na krymskom poberezh'e [Analysis of phenotypic, sex structure and stages of gonad maturity cultivated mussels *Mytilus galloprovincialis* on the Crimean coast]. In: *Aktual'nye problemy akvakul'tury v sovremennyj period: Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii Current issues in aquaculture: Proceedings of the International Scientific Conference, September 28 – October 2, 2015*. Rostov-on-Don: Azov-Black Sea Branch of Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography Publ., pp. 190–193. (In Russian)
- Chelyadina, N. S., Popov, M. A. (2018a) Sravnitel'naya kharakteristika ekologicheskogo sostoyaniya akvatorij v rajonakh razmeshcheniya marikhozyajstv (Sevastopol', Chernoe more) [Comparative characteristics of the ecological state of the water areas in the areas of marine farms (Sevastopol, the Black Sea)]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya — Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, no. 2, pp. 148–156. (In Russian)
- Chelyadina, N. S., Popov, M. A. (2018b) Sravnitel'nyj analiz morfometricheskikh kharakteristik midii *Mytilus galloprovincialis*, iz razlichnykh rajonov obitaniya (Krym, Chernoe more) [Comparative analysis of the morphometric characteristics of the mussel *Mytilus galloprovincialis* from different habitats (the Crimea, the Black Sea)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya — Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, no. 2, pp. 264–269. (In Russian)

- Chelyadina, N., Pospelova, N., Popov, M. (2021) Effects of environmental factors on changing sex structure of cultivated mussels (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) in the coastal zone of the Black Sea. *International Review of Hydrobiology*, vol. 106, no. 3–4, pp. 183–190. <https://doi.org/10.1002/iroh.202002050> (In English)
- De Donno, A., Liaci, D., Bagordo, F. et al. (2008) *Mytilus galloprovincialis* as a bioindicator of microbiological pollution of coastal waters: A study conducted in the Salento peninsula (Italy). *Journal of Coastal Research*, vol. 24, no. 1, pp. 216–221. <https://doi.org/10.2112/05-0463.1> (In English)
- Dekhta, V. A. (2004) Adekvatnost' mekhanizmov morfofunktsional'noj adaptatsii midii *Mytilus galloprovincialis* Lam. k zagryazneniyu [Adequacy of mechanisms of morphofunctional adaptation of the mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam. to pollution]. In: *Sovremennyye problemy fiziologii i biokhimii vodnykh organizmov. Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii (June 22–26, 2004) [Modern problems of physiology and biochemistry of aquatic organisms. Proceedings of the International Conference]*. Petrozavodsk: s. n., pp. 40. (In Russian)
- Dekhta, V. A., Katalevskij, N. I. (1998) Soderzhanie khimicheskikh elementov v rakovinakh i izmenchivost' ikh formy u midii *Mytilus galloprovincialis* L. pribrezhnoj zony Chernogo morya [The content of chemical elements in shells and the variability of their shape in *Mytilus galloprovincialis* L. mussel of the Black Sea coastal zone]. In: *Osnovnyye problemy rybnogo khozyajstva i okhrany rybokhozyajstvennykh vodoemov Azovo-Chernomorskogo bassejna [The main problems of fisheries and protection of fishery reservoirs of the Azov-Black Sea basin]*. Rostov-on-Don: Azov-Black Sea Branch of Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography Publ., pp. 312–319. (In Russian)
- Gorbunova, T. L. (2016) Bioindikatsiya v sisteme monitoringa okruzhayushchej sredy pri perekhode k ustojchivomu razvitiyu aglomerata goroda-kurorta Sochi [Bioindication in the environmental monitoring system during transaction to sustainable development of the agglomerate of town-resort Sochi]. *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy — Monitoring Systems of Environment*, no. 5 (25), pp. 94–102. (In Russian)
- Gorbunova, T. L., Matova, N. I. (2020) Metodologiya monitoringa i upravleniya ekologicheskim sostoyaniem rek s ispol'zovaniem integral'nykh bioindikatorov i metodov upravleniya kachestvom [Monitoring and management of the river's ecological state methodology using integral biomarkers and quality management methods]. *Ustojchivoe razvitie gornyykh territorij — Sustainable Development of Mountain Territories*, vol. 12, no. 4 (46), pp. 483–492. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-4-483-492> (In Russian)
- Gorbunova, T., Matova, N., Annandale, J. M. et al. (2021) Quantitative assessment methods for integrated water resources management. In: E. Popov, V. Barkhatov, V. D. Pham, D. Pletnev (eds.). *IV International Scientific Conference "Competitiveness and the Development of Socio-Economic Systems" dedicated to the memory of Alexander Tatarkin (CDSSES–2020) (November 22–26, 2020)*, Chelyabinsk: Chelyabinsk State University, pp. 486–497. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2021.04.53> (In English)
- Gudkova, N. K., Matova, N. I., Gorbunova, T. L. (2021) Uchet vliyaniya geologicheskikh protsessov bassejnov rek v integrirovannom upravlenii vodnymi resursami [Accounting for the impact of the geological processes of catchment basin applying integrated water resources management]. *Fundamental'nye issledovaniya — Fundamental Research*, no. 9, pp. 21–25. <https://doi.org/10.17513/fr.43088> (In Russian)
- Kepel', A. A., Ozolin'sh, A. V. (1992) Morfometricheskij analiz midij roda *Mytilus* (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) morej SSSR [Morphometric analysis of mussels of the genus *Mytilus* (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) of the seas of the USSR]. *Zoologicheskij zhurnal*, vol. 71, no. 9, pp. 33–40. (In Russian)
- Kolesnikova, A. A., Gudkova, N. K., Gorbunova, T. L. (2020) Otsenka antropogennoj nagruzki na ekosistemy reki Sochi [Assessment of anthropogenic load on the ecosystems of the Sochi River]. In: M. S. Arakelov (ed.). *Berega Chernogo morya: ekologicheskie orientiry v nastoyashchem — ustojchivoe razvitie v budushchem. Materialy II Rossijsko-abkhazskogo mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminara (g. Tuapse, 11–12 dekabrya 2020 g.) [The shores of the Black Sea: Ecological guidelines in the present — sustainable development in the future. Materials of the II Russian-Abkhazian International Scientific and Practical Seminar (Tuapse, December 11–12, 2020)]*. Krasnodar: Yug Publ., pp. 85–94. (In Russian)
- Kotta, J., Futter, M., Kaasik, A. et al. (2019) Cleaning up seas using blue growth initiatives: Mussel farming for eutrophication control in the Baltic Sea. *Science of The Total Environment*, vol. 709, article 136144. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136144> (In English)
- Kuranova, A. P. (2009) *Perspektivy ispol'zovaniya malakofauny v bioindikatsii sostoyaniya vodnykh ekosistem [Prospects for the use of malacofauna in bioindication of the state of aquatic ecosystems]. Extended abstract of PhD dissertation (Biology)*. Ulyanovsk, Ulyanovsk State Agricultural Academy, 24 p. (In Russian)

- Matova, N. I., Shagarov, L. M. (2021) Osobennosti ekologicheskoi otvetstvennogo povedeniya turistov na okhranyaemykh prirodnykh territoriyakh [Special aspects of environmentally responsible behavior of tourists in protected areas]. *Sovremennye problemy servisa i turizma — Service and Tourism: Current challenges*, vol. 15, no. 1, pp. 93–106. <https://doi.org/10.24412/1995-0411-2021-1-93-106> (In Russian)
- Obzory ob urovne zagryazneniya morskikh vod [Reviews of the level of pollution of marine waters]. (2022) *Pogoda Sochi. Gidrometeotsentr [Sochi weather. Hydrometeocenter]*. [Online]. Available at: <https://www.pogodasochi.ru/info/86/> (accessed 20.06.2022). (In Russian)
- Polupanov, V. N., Misar', M. A. (2015) Metod morfometricheskogo analiza rakovin dvustvorchatykh mollyuskov s uchetom anizometrii linejnykh razmerov (na primere chernomorskoj midii) [Morphometric method for the bivalve molluscs shells with regard to linear dimension anisometry (using mediterranean mussel as an example)]. *Trudy YugNIRO*, vol. 53, pp. 60–74. (In Russian)
- Temerdashev, Z. A., Elets'kiy, I. Yu., Kaunova, A. A. et al. (2017) Opredelenie tyazhelykh metallov v midii *Mytilus galloprovincialis* Lamarck metodom ISP-AES [Determination of heavy metals in *Mytilus galloprovincialis* Lamarck mussels using the ICP-AES method]. *Analitika i kontrol' — Analytics and Control*, no. 2, pp. 116–124. <https://doi.org/10.15826/analitika.2017.21.2.009> (In Russian)
- Vasechkina, E. F., Kazankova, I. I. (2014) Matematicheskoe modelirovanie rosta i razvitiya midii *Mytilus galloprovincialis* na iskusstvennom substrate [Mathematical modeling of the mussel *Mytilus galloprovincialis* growth and development on artificial substrata]. *Okeanologiya*, vol. 54. no. 6, pp. 816–824. <https://doi.org/10.7868/S0030157414060112> (In Russian)
- Zav'yalov, P. O., Makkaveev, P. N. (2014) Rechnye plyумы v akvatorii Sochi [River plumes in the Sochi water area]. *Nauka v Rossii*, no. 2, pp. 4–12. (In Russian)
- Zolotnitskiy, A. P., Sytnik, N. A. (2019) Energeticheskij byudzhet i effektivnost' ispol'zovaniya pishchi na rost u chernomorskoj midii (*Mytilus galloprovincialis*) [Energy budget and efficiency of feed utilization in the mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*)]. *Ekosistemy*, no. 20 (50), pp. 105–116. (In Russian)

Для цитирования: Горбунова, Т. Л., Башарова, М. П., Матова, Н. И. (2022) Морфометрические характеристики черноморских мидий *Mytilus galloprovincialis* L. как биоиндикатор антропогенного воздействия на прибрежные биоценозы Черного моря на территориях рекреационно-туристской специализации. *Амурский зоологический журнал*, т. XIV, № 3, с. 516–530. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2022-14-3-516-530>

Получена 10 августа 2022; прошла рецензирование 7 сентября 2022; принята 13 сентября 2022.

For citation: Gorbunova, T. L., Basharova, M. P., Matova, N. I. (2022) Morphometric characteristics of Black Sea mussels *Mytilus galloprovincialis* Lam. as biomarkers of the anthropogenic impact on the Black Sea coastal biocenoses in tourist destinations *Amurian Zoological Journal*, vol. XIV, no. 3, pp. 516–530. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2022-14-3-516-530>

Received 10 August 2022; reviewed 7 September 2022; accepted 13 September 2022.