УДК 549.25/28:577.1(262.5) DOI: 10.35567/1999-4508-2017-4-8

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В МЯГКИХ ТКАНЯХ СРЕДИЗЕМНОМОРСКОЙ МИДИИ И ГИГАНТСКОЙ УСТРИЦЫ, ВЫРАЩЕННЫХ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КРЫМА

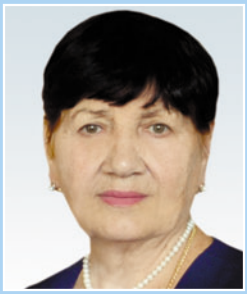
© 2017 г. Ю.А. Силкин[1], Е.Н. Силкина[1], М.Ю. Силкин[1], А.Я. Столбов[2], А.Ю. Силкина[3]

[1] *ФГБУН «Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – Природный заповедник Российской академии наук», г. Феодосия, Республика Крым, Россия*
[2] *ФГБУН «Институт природно-технических систем», г. Севастополь, Республика Крым, Россия*
[3] *«Свонси Университет, Центр устойчивого развития водных исследований (ЦУРВИ)», Свонси SA2 8PP, Великобритания*

Ключевые слова: мониторинг, тяжелые металлы, моллюски, Черное море, антропогенные процессы, экосистема моря.



Ю.А. Силкин



Е.Н. Силкина



М.Ю. Силкин



А.Я. Столбов



А.Ю. Силкина

Исследования прибрежной части Юго-Восточного Крыма в течение последних десятилетий свидетельствуют о том, что концентрация ионов тяжелых металлов в водах Черного моря в результате работы промышленных и сельскохозяйственных предприятий постоянно растет. Отмечен рост загрязнений и в донных отложениях прибрежного шельфа. В данной ситуации мониторинг состояния прибрежной акватории при помощи моллюсков, которые постоянно обитают в этой зоне моря, позволяет выявить уровень загрязнения воды. Исследовано накопление четырех тяжелых металлов, таких как Cd^{2+}, Pb^{2+},

Cu^{2+}, Zn^{2+} в мягких тканях у полуторагодовалых мидий (*Mytilus galloprovincialis Lamark, 1819*) и у гигантских устриц (*Crassostrea gigas Thunberg, 1793*), интродуцированных в прибрежье Карадагского заповедника. Показано, что в мягких тканях гигантской устрицы накапливаются высокие концентрации меди и цинка. В тканях средиземноморской мидии отмечено накопление только большого количества цинка. Накопление этих металлов у устриц и мидий обусловлено физиологическими потребностями этих двустворчатых моллюсков. Низкое накопление у мидий и устриц наиболее опасных поллютантов свинца и кадмия предполагает возможность развития марикультуры в исследованном районе.

Мониторинговыми исследованиями установлено, что концентрация ионов тяжелых металлов в результате работы промышленных предприятий и сельскохозяйственной деятельности на черноморском прибрежье Юго-Восточного Крыма постоянно растет [1, 2]. Особую опасность в этой связи представляют ионы двухвалентного кадмия (Cd^{2+}): атомный радиус кадмия практически полностью совпадает с радиусом ионов двухвалентного кальция (Ca^{2+}) [3], поэтому кадмий, «маскируясь» под кальций, который является важнейшим регулятором многих внутриклеточных процессов, осуществляет свое токсическое воздействие, вызывая гибель клеток, тканей и организма в целом. Не менее токсичным воздействием наделены ионы свинца (Pb^{2+}): быстро аккумулируясь в организме и вызывая деструкцию мембран клеток, они нарушают работу ферментов, приводят к тканевой дисфункции и, в конечном итоге, к гибели организма. Осуществление мониторинга состояния прибрежной акватории с помощью двустворчатых моллюсков, которые постоянно обитают в этой зоне моря, является достаточно информативным.

Для моллюсков, толерантных к тяжелым металлам и способных накапливать их в своих тканях, время интегрированного отражения состояния морской среды определяется их возрастным статусом [4–7]. Наделенные концентрационной функцией моллюски накапливают токсичные элементы в своих тканях, что сказывается на формировании микроэлементного состава тканей и приводит к ухудшению их качества, как пищевого ресурса. Безопасность пищевых продуктов гарантируется соблюдением регламентированного содержания в них предельно допустимых уровней (ПДУ) загрязняющих веществ, в первую очередь, представляющих опасность для здоровья тяжелых металлов. Этими требованиями ограничивается содержание свинца, мышьяка, кадмия, ртути, меди и цинка в съедобных тканях рыб, моллюсков, ракообразных, содержание свинца и ртути в морских водорослях [8]. В рамках данной работы исследовано накопление катионов четырех тяжелых металлов – Cd^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+} – у недавно интродуцированных в

черноморском регионе полуторагодовалых мидий (*Mytilus galloprovincialis Lamark, 1819)* и гигантских устриц (*Crassostrea gigas Thunberg, 1793*) [9], которые в таком возрасте чаще всего употребляются в пищу.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В МЯГКИХ ТКАНЯХ МОЛЛЮСКОВ

Объектами исследования были средиземноморская мидия (*Mytilus galloprovincialis Lamark, 1819)* и гигантская устрица (*Crassostrea gigas Thunberg, 1793)* (рис. 1). Для исследования накопления тяжелых металлов в мягких тканях моллюсков в возрасте полутора лет отбирали с коллекторов, установленных в море на глубине 15–20 м, в зимнее время (декабрь, 2007 г.). Район, где проходил отбор моллюсков, расположен южнее пос. Коктебель (рис. 2), это открытый участок моря с быстрым нарастанием глубины в его шельфовой зоне. Коллекторы с устрицами находились на расстоянии 400 м от берега, на глубине 15–17 м. Мидийные коллекторы были более удалены от берега (600 м), глубина 18–20 м (рис. 2). Такая глубина обеспечивала безопасное выращивание моллюсков без риска воздействия волновой нагрузки во время штормов и нападения хищника – брюхоногого моллюска-рапаны *(Rapana Venosa Valenciennes, 1846).*

а *б*



Рис. 1. Внешний вид: *а* – мидии *(Mytilus galloprovincialis Lamark,1819); б* – устриц *(Crassostrea gigas Thunberg, 1793).*

Для проведения анализа отбирали по 12 особей одноразмерных животных: мидий весом 25–30 г и устриц весом 60–70 г. Навески мягких тканей осушали бумажными фильтрами и доводили до постоянного веса в термостате при 50–60 °С. Определение содержания тяжелых металлов в тканях моллюсков проводили в измерительной лаборатории на базе завода «Море» в пгт Приморский. Содержание тяжелых металлов в мягких тканях моллюсков (мг/кг сухого веса ткани) определяли на атомно-абсорбционном спек-

трофотометре AAS–1 (Австрия) в пламени пропан-бутана после обработки проб методом «мокрого» озоления в смеси азотной и хлорной кислот [10]. Все полученные данные обработаны статистически и представлены в виде средней ($\bar{x}$) ± стандартная ошибка ($S_{\bar{x}}$), ($\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$) [11].

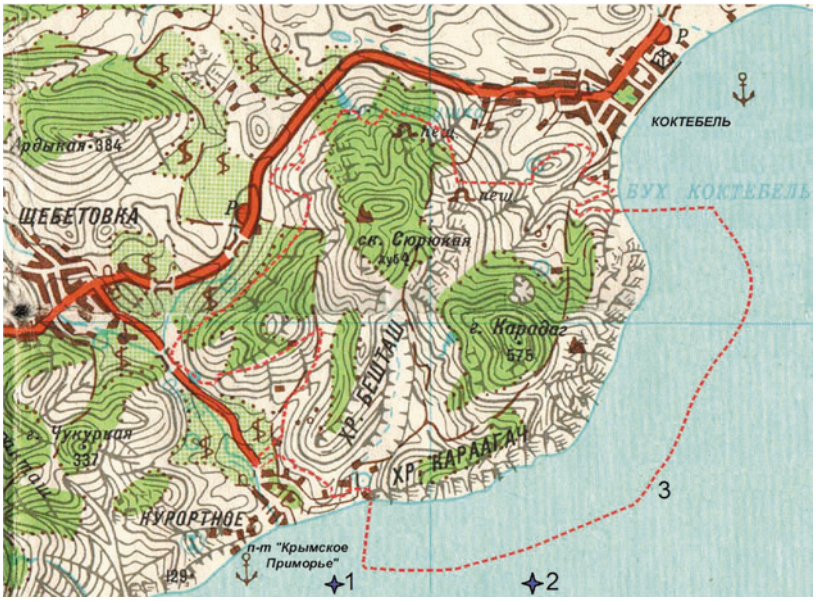


Рис. 2. Картосхема района черноморского побережья Карадагского природного заповедника, где производился отбор моллюсков: 1 – место отбора устриц (*Crassostrea gigas Thunberg, 1793)*; 2 – место отбора мидий (*Mytilus galloprovincialis Lamark, 1819)*; 3 – красная пунктирная линия – заповедная часть прибрежной акватории Карадагского природного заповедника.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Мидии и устрицы по способу питания являются активными фильтраторами. Как и другие двустворчатые моллюски, они питаются взвешенным в толще воды детритом (мельчайшие остатки отмерших растений и животных) и микропланктоном (одноклеточные водоросли, бактерии и очень мелкие животные). Двустворчатые моллюски профильтровывают очень большие объемы воды. Так, гигантская устрица массой 60 г может профильтровать за час около 10 л воды или 87,6 м^3 в год [12]. За год одна мидия массой в 2 г при средней концентрации взвеси 5 мг/л фильтрует 2,8 м^3, особь с массой в 10 г – 5,8 м^3, а мидия массой в 30 г – 9,8 м^3 воды. Образуя плотные скопления на прибрежных камнях (банках), мидии и устрицы могут профильтровать за сутки от 50 до 280 м^3 воды на 1 м^2 популяции [13].

Таким образом, поселения моллюсков представляют собой мощный биофильтр, всасывающий из окружающей воды большое количество как минеральной, так и органической взвеси [14]. В этой связи исследование содержания тяжелых металлов в мягких тканях этих видов моллюсков имеет вполне прикладной аспект.

Результаты исследований содержания тяжелых металлов в мягких тканях мидий и устриц представлены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в мягких тканях мидий *(Mytilus galloprovincialis)* и гигантской устрицы *(Crassostrea gigas)*, мг/кг сухого веса ткани

Вид / ПДУ*	Медь	Цинк	Свинец	Кадмий
	30,0	200,0	10,0	2,0
C.gigas	79,2 ± 5,4	227,9 ± 10,8	0,09 ± 0,01	0,8 ± 0,03
M.galloprovincialis	0,04 ± 0,01	24,1 ± 3,6	0,2 ± 0,02	0,3 ± 0,02

Примечание: * – предельно допустимые уровни (ПДУ) для тяжелых металлов в тканях моллюсков по ГОСТ – 26931-86.

Полученные результаты показали, что содержание свинца и кадмия в тканях исследованных видов было незначительным и много ниже установленных значений ПДУ. Как известно, мидии относятся к организмам, которые способны быстро и в больших количествах накапливать кадмий и другие тяжелые металлы. Так, трехсуточное содержание беломорской мидии *(Mytilus edulis)* в аквариумах с 500 мкг/л $CdCl_2$ приводило к 30-кратному увеличению концентрации поллютанта в мягких тканях моллюска [4]. Полученные в данной работе результаты по определению содержания тяжелых металлов в тканях моллюсков могут свидетельствовать об относительной чистоте среды их обитания. Кроме того, в исследовании был получен результат значительного накопления устрицами меди и цинка: в тканях устриц содержание меди в 2,6 раза превышало установленный ПДУ и было почти в 2000 раз выше, чем в тканях мидий. Концентрация цинка у устриц практически совпадала с ПДУ и была на порядок выше, чем содержание этого элемента в мягких тканях исследованных мидий (табл. 1).

Ранее Дж. Р. Реинфельдером с соавторами было отмечено, что устрицы, по сравнению с мидиями, имеют более высокую эффективность ассимиляции и медленное выведение из организма металлов [15]. Возможно, этим и объясняются различия в содержании металлов в исследуемых моллюсках. Кроме того, устрицы уже давно известны как концентраторы меди

и цинка, способные в норме накапливать большие количества этих металлов [16, 17]. Так, концентрация цинка в мягких тканях устриц, содержащихся в загрязненных водах, может достигать 35 000 – 40 000 мкг/г сухого веса ткани [18]. В гигантских устрицах, обитающих в заливе Петра Великого, содержание цинка составляло 1892 мкг/г сухой массы [19]; концентрация цинка в устрицах из залива Посьета колебалась в пределах от 553 до 1643 мкг/г сухой массы [20]. В устрицах из прибрежных чистых лагун тропического побережья залива Сепетиба (Бразилия) цинк накапливался от 307 до 1319 мкг/г сухой массы [21]. Полученные в рамках проведенного исследования данные по содержанию цинка существенно ниже по сравнению с данными по накоплению этого металла гигантскими устрицами из Амурского залива (875 – 1262 мг/кг сухого веса ткани) [5]. В мягких тканях тихоокеанской мидии из того же залива, по информации [22], концентрация цинка составляла 58,1 мкг/г сухой массы, что в два раза выше результатов средиземноморской мидии. Таким образом, уровни концентраций цинка у моллюсков из различных районов мирового океана сопоставимы по величине и свидетельствуют о том, что они избирательно накапливают этот элемент в своих тканях.

Диапазон концентрации меди в устрицах из Уссурийского залива колебался в пределах 79–135 мкг/г сухого веса ткани [6]. В устрицах из Амурского залива содержание меди имело более широкий диапазон – от 75 до 212 мкг/г сухой массы. Средняя концентрация меди у устриц из залива Петра Великого составляла 166 мкг/г сухой массы [23]. Представленные данные по концентрации меди у устриц с Дальнего Востока хорошо коррелировали по нижнему уровню с результатами настоящего исследования (табл. 1).

Уровни концентраций меди в мягких тканях мидий значительно более низкие. Так, у мидий из залива Петра Великого концентрация меди составляла 3,9 мкг/г сухой массы [22]. Мидии Грея из Уссурийского залива накапливали медь в количестве 4,4 – 6,6 мкг/г сухого веса ткани [6]. Несмотря на то что эти значения выше, чем концентрация меди у средиземноморских мидий, прослеживается общая тенденция более низкого накопления этого элемента у мидий по сравнению с устрицами.

Причины столь высокой избирательности накопления цинка и меди в тканях моллюсков точно не установлены. По мнению Л.Т. Ковековдовой [8], моллюски наделены концентрационной функцией, благодаря чему они аккумулируют микроэлементы в 10^3 – 10^5 раз больше, чем их содержится в среде. Предполагается, что такие металлы, как Cu^{2+} и Zn^{2+} занимают особое место в метаболизме гидробионтов. При этом в вопросе аккумуляции Cu^{2+} и Zn^{2+} в тканях моллюсков оказывается, что максимальная метаболическая потребность в них значительно ниже, чем фактическое содержание в организме.

На наш взгляд, существенное различие по содержанию меди и цинка в тканях исследованных моллюсков обусловлено различной «востребованностью» этими видами указанных двухвалентных ионов. Медь и цинк входят в металлопротеиновые комплексы большого числа ферментов и белков гемолимфы. Потребности в этих металлах можно связать также с высокой репродуктивной способностью моллюсков. Так, одна женская особь устрицы во время нереста способна выметать в воду за несколько часов до 100 млн яйцеклеток, а мужская – до 500 млн сперматозоидов. Плодовитость мидий также достаточно велика и оценивается в несколько миллионов яйцеклеток за один нерестовый цикл [12]. Таким образом, накопление меди и цинка у устриц и цинка у мидий обусловлено их физиологическими потребностями.

Попадание в организм моллюсков других тяжелых металлов (Cd^{2+}, Pb^{2+}, Hg^{2+}) является в основном пассивным процессом. Однако их накопление может вызывать нарушение клеточного метаболизма. Вместе с тем, в ответ на интоксикацию моллюски обладают определенными механизмами детоксикации. Эти механизмы предполагают связывание ионов металлов со специфическими белками – металлотионеинами [24], которые участвуют в процессах детоксикации организма от избытка металлов, выполняя защитную функцию. Высокие концентрации этих соединений существуют в клетках некоторое время и постепенно выводятся [25, 26].

Современное состояние прибрежной морской акватории Черного моря определяется значительными антропогенными и техногенными процессами, что приводит к нарушению природного фона многих элементов в среде и гидробионтах. Из огромного множества поступающих в воду поллютантов наиболее опасным является длительное воздействие токсических металлов и металлоидов в малых дозах, приводящее к постепенному накоплению в среде загрязняющих веществ и, в конечном итоге, к деградации экосистемы [27]. Морские организмы, обитающие в прибрежных акваториях, недостаточно исследованы в плане изменения концентраций токсичных элементов в силу того, что поступления загрязняющих веществ значительно варьируют и непостоянны в компонентах среды. В связи с этим количественная оценка содержания элементов в морских организмах в сравнительном аспекте важна как для практических целей, так и для решения фундаментальных проблем [8]. В нашем случае интегральная оценка качества морской среды в районе Карадагского природного заповедника определялась временем жизни исследованных моллюсков (1,5 года), в течение которого происходило накопление тяжелых металлов.

Как уже отмечено выше, накопление тяжелых металлов в тканях фильтраторов во многом зависит от фоновых значений этих поллютантов в

среде. Особенностью морской акватории, прилегающей к Карадагскому природному заповеднику, в 1960–1980-е годы являлась ее относительная чистота, которая долгое время считалась эталонной [28]. В настоящее время, если судить по росту прибрежных зеленых водорослей в бухтах заповедника, которые являются индикаторами эвтрофикационного загрязнения, эта «эталонность» утрачена. Отсутствие надлежащих очистных сооружений, прямой выброс канализационных стоков в море, а также смывы с полей прилегающих сельскохозяйственных угодий, обусловили существенное ухудшение качества морской среды [1, 2, 29].

Миграция тяжелых металлов в водных объектах тесно связана с переходом их в систему «вода–донные отложения». Увеличение концентрации тяжелых металлов в морской воде из сточных вод рек, паводков и т. д. на первом этапе вызывает их аккумуляцию в донных отложениях. При изменении динамического равновесия, вызванного физико-химическими и микробиологическими процессами, аккумулированные поллютанты могут поступать из донных отложений в воду. Выход тяжелых металлов из донных грунтов в воду создает при определенных условиях опасность вторичного загрязнения, поэтому уровни содержания тяжелых металлов в донных отложениях являются интегральными показателями загрязнения водоемов [6, 30]. Изучение особенностей загрязнения донных отложений в районе Карадагского заповедника от русла р. Отузка до Кузьмичевых камней показало в грунтах почти вдвое большее содержание, по сравнению с другими районами, одного из самых опасных токсикантов – кадмия [31]. Однако проведенные исследования не выявили значительных накоплений кадмия в тканях моллюсков, что свидетельствует об отсутствии токсического воздействия донных отложений поллютанта на метаболизм гидробионтов.

Таким образом, несмотря на ухудшение состояния морской среды, в районе Карадага полученное в ходе проведенного исследования низкое накопление кадмия и свинца (табл. 1) мидиями и устрицами (с учетом их высокой способности к накоплению меди и цинка) не свидетельствует о драматическом характере загрязнений прибрежной акватории заповедника. Эти показатели могут быть своеобразными тестами в пользу развития в регионе марикультурных хозяйств, производящих продукцию высокого качества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что устрицы избирательно накапливают в своих тканях высокие концентрации цинка и меди, которые были в 2,6 раза больше предельно допустимого уровня по меди и 1,1 раза больше ПДУ по цинку. Эта особенность для гигантской устрицы отмечена и другими исследователями, проводившими свои наблюдения в других районах и морях Мирового океана. Мидии не обладают избирательной способностью

к накоплению цинка и меди и их концентрация в мягких тканях 1,5 годовалых моллюсков была на 1–2 порядка ниже предельно допустимых уровней.

Полученные результаты по накоплению опасных для человека поллютантов свинца и кадмия в тканях моллюсков свидетельствуют о том, что данный район Черного моря по этим показателям является безопасным. За 1,5 года в тканях устриц и мидий накопление свинца было не более 2 % от ПДУ, а по кадмию 15 % – 40 % от его предельно допустимых уровней. Таким образом, прибрежная зона Карадага в Юго-Восточном Крыму является перспективным районом для создания мидийно–устричных марикультурных хозяйств.

Выращиванию мидий всегда уделялось и будет уделяться большое внимание ввиду высокой продуктивности, простой технологии выращивания и, следовательно, бóльшей рентабельности по сравнению с устричным производством. Однако сокращение в последнее десятилетие природных популяций мидий в прибрежной акватории Юго-Восточного Крыма требует дальнейших исследований, направленных на выявление причин, вызвавших столь негативные тенденции.

СПИСОК ЛИТЕРАТРЫ

1. *Гончарук В.В., Лапшин В.Б., Самсони-Тодоров А.О., Коваленко В.Ф., Морозова А.Л., Зарицкий К.О., Сыроешкин А.В.* Комплексная оценка токсичности морской воды в акватории Карадагского природного заповедника // Химия и технология воды. 2013. Т. 35. № 3. С. 229–239.
2. *Гончарук В.В., Самсони-Тодоров А.О., Савченко О.А., Лапченко В.А., Коваленко В.Ф.* Комплексная оценка токсичности воздуха и морской воды в акватории Карадагского природного заповедника / ред. А.В. Гаевская, А.Л. Морозова; 100 лет Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского: сб. науч. трудов. Симферополь: Новая Ореанда, 2015. С. 727–733.
3. Скульский И.А., Глазунов В.В., Коротков С.М. Действие кадмия на мембраны эритроцитов и митохондрий // Вопросы эволюционной физиологии: материалы IX совещания по эволюционной физиологии. Л.: Наука, 1986. С. 261.
4. Высоцкая Р.У., Такшеев С.А., Скидченко В.С. Накопление тяжелых металлов и их влияние на активность некоторых ферментов в органах беломорской мидии Mytilus edulis // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов: материалы III Междунар. конф. с элементами школы для молодых ученых, аспирантов и студентов. Петрозаводск. 2013. С. 23–24.
5. Кику Д.П., Ковековдова Л.Т. Оценка содержания микроэлементов в устрицах гигантских (Crassostrea gigas) из залива Петра Великого (Японское море) // Известия ТИНРО. 2007. Т. 150. С. 400–407.
6. Ковековдова Л.Т., Симоконь М.В. Тенденции изменения химико-экологической ситуации в прибрежных акваториях Приморья. Токсичные элементы в донных отложениях и гидробионтах // Известия ТИНРО. 2004. Т. 134. С. 310–320.
7. *Кравцова А.В.* Накопление тяжелых металлов и других микроэлементов макроводорослями рода Cystoseira из прибрежной зоны заповедных акваторий

Крыма // Биоразнообразие и устойчивое развитие: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. Симферополь. 2014. С. 173–175.
8. *Ковековдова Л.Т.* Микроэлементы в морских промысловых объектах Дальнего Востока: автореф. дис. … д-ра биол. наук. Владивосток. 2011. 39 с.
9. *Силкин Ю.А., Силкина Е.Н., Давидович Н.А., Орленко А.Н., Давидович О.И.* Интродукция устрицы Crossostrea gigas в районе Карадага // Карадаг. История, биология, археология / сб. науч. трудов, посвящ. 85-летию Карадагской биологической станции им. Т.И. Вяземского. Симферополь: Сонат, 2001. С. 273–280.
10. *Никаноров А.М., Жулидов А.В., Покаржевский А.Д.* Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 144 с.
11. *Рокицкий П.Ф.* Биологическая статистика. Минск: Высшая школа. 1973. 320 с.
12. Жилякова И.Г. Промышленное разведение мидий и устриц. М.: АСТ, Донецк: Сталкер, 2004. 110 с.
13. *Финенко Г.А., Романова З.А., Аболмасова Г.И.* Экологическая энергетика черноморской мидии // Биоэнергетика гидробионтов / под ред. Г.Е. Шульмана, Г.А. Финенко. Киев: Наукова думка, 1990. С. 32–71.
14. *Чуприна Е.В., Щеголькова Н.М.* Эколого-экономическая оценка потенциала развития аквакультуры моллюсков на побережье Черного моря // Водное хозяйство России. 2015. № 5. С. 79–92.
15. *Reinfelder J.R., Wang W.X., Luoma S.N., Fisher N.S.* Assimilation efficiencies and turnover rates of trace elements in marine bivalves a comparison of oyster, clams and mussels // Marine Biology. 1997. Vol. 129. P. 443–452.
16. *Виноградов А.П.* Химический элементный состав организмов моря. / Тр. биогеохим. лаб. АН СССР. 1937. Ч. 2. Т.4. 225 с.
17. *Brooks R.R., Rumsby M.G.* The biochemistry of trace element uptake by some New Zealand bivalves // Limnology Oceanography 1965. Vol. 10. P. 521–527.
18. *Wong M.H., Chen C.R., Lau W.A., Cheung Y.H.* Heavy metal contamination of the pacific oyster (Crassostrea gigas) cultured in deep bay, Hong Kong // Environmental Research. 1981. Vol. 25. P. 302–309.
19. *Христофорова Н.К., Чернова Е.Н.* Микроэлементный состав гигантской устрицы из залива Посьета Японского моря // Биология моря. 1989. № 1. С. 54–60.
20. *Христофорова Н.К., Шулькин В.М., Кавун В.Я., Чернова Е.Н.* Тяжелые металлы в промысловых и культивируемых моллюсках залива Петра Великого. Владивосток: Дальнаука, 1994. 192 с.
21. *Do Amaral M. C. R., Rebelo M. F., Torres J. P. M., Wolfgang C. P.* Bioaccumulation and depuration of Zn and Cd in mangrove oysters (Crassostrea rhizophorae, Guilding, 1828) transplanted to and from a contaminated tropical coastral lagoon // Marine Environmental Research. 2005. Vol. 59 (4). P. 277–285.
22. *Стебловская Н.И., Полякова Н.В., Жадько Е.А., Чусовитина С.В.* Микроэлементный состав тканей некоторых видов гидробионтов залива Петра Великого (бухта Северная) // Вестник ДВО РАН. 2013. № 5. С. 127–132.
23. *Ковековдова Л.Т.* Тяжелые металлы в промысловых беспозвоночных залива Петра Великого в связи с условиями существования: автореф. дис. … канд. биол. наук. Владивосток. 1993. 23 с.
24. *Шаплыгина Ю.Н., Курочкина Т.Ф., Насибулина Б.М.* Особенности воздействия тяжелых металлов на донные организмы дельты р. Волга // Естественные нау-

ки. Проблемы региональной экологии и природопользования. 2013. № 3 (44). С. 51–60.
25. *George S.G.* Metallothioneins as indicators of trace metal pollution / S.G. George and P–E Olsson // Biomonitoring of Coastal Waters and Estuaries / K. J. M. Kramer (ed.) – CRC Pres, Boca Raton. 1994. P. 151–171.
26. *Насибулина Б.М.* Многолетняя динамика качественных и количественных показателей донных биоценозов водоемов дельты реи Волги // Южно-российский вестник геологии, географии и глобальной энергетики. 2006. № 1 (14). С. 254–261.
27. *Riget F., Aarkrog A., Johnsen P., Hansen J.C.* Comparison of contaminants from different trophic levels and ecosystems // Science the Total Environmental. 2000. Vol. 245 (1–3). P. 221–231.
28. *Петров А.Н.* Прибрежные акватории Крыма: разработка принципов и критериев для создания новых заповедных объектов в условиях развития хозяйственно-рекреационной деятельности // Экология моря. 1998. Вып. 47. С. 17– 22.
29. *Жерко Н.В.* Экологический мониторинг загрязнения Карадагского заповедника полихлорбифенилами и пестицидами / Карадаг. Гидробиологические исследования: сб. науч. трудов. Кн. 2. Симферополь: Сонат, 2004. С. 28–30.
30. *Богданов Ю.А., Гуревич Е.Г., Лисицын А.П.* Механизм океанической седиментации и дифференциации химических элементов в океане / Биогеохимия океана. М: Наука, 1983. С. 165–195.
31. *Бердова С.Е., Харизоменов Д.А.* Некоторые оценки загрязненности донных отложений Карадагского заповедника токсичными металлами // Вклад молодых ученых и специалистов в решение современных проблем океанологии и гидробиологии: материалы III науч.-технич. конф. Крыма. Севастополь. 1988. С. 63.

Сведения об авторах:

Силкин Юрий Александрович, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией, ФГБУН «Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник Российской академии наук», Республика Крым, 298188 г. Феодосия, пгт Курортное, ул. Науки, 24; e-mail: ysilkin@mail.ru

Силкина Елизавета Николаевна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБУН «Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник Российской академии наук», Республика Крым, 298188, г. Феодосия, пгт Курортное, ул. Науки, 24; e-mail: pater3@yandex.ru

Столбов Анатолий Яковлевич, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБУН «Институт природно-технических систем», Республика Крым, 299011, г. Севастополь, ул. Ленина, 28; e-mail: ninanst5@mail.ru

Силкин Михаил Юрьевич, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник, ФГБУН «Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник Российской академии наук», Республика Крым, 298188, г. Феодосия, пгт Курортное, ул. Науки, 24; e-mail: goto_mail.@mail.ru

Силкина Алла Юрьевна, д-р философии, «Свонси Университет, Центр устойчивого развития водных исследований (ЦУРВИ)», Свонси SA2 8PP, Великобритания; e-mail: alla.silkina@gmail.com