

**РТУТЬ В МИДИЯХ *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* LAM.
ИЗ БУХТ КРЫМСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ**

© В. И. Рябушко¹, В. Н. Егоров¹, А. Ф. Козинцев¹, С. К. Костова¹, В. К. Шинкаренко²

¹ Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского НАН Украины, Севастополь, Украина

² Институт агроэкологии и биотехнологии УААН, Киев, Украина

Поступила 18 июня 2002 г.

Исследовано содержание ртути в мягких тканях и раковинах мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. из бухт Крымского побережья Черного моря в зависимости от индивидуального возраста моллюсков. Линейные размеры мидии (L , мм) в зависимости от времени (t , годы) хорошо аппроксимируются экспоненциальной функцией: $L = L_0 + b \lg t$, а концентрация ртути (C , мкг/г_{сух}): $C = C_0 + b_1 \lg t$. Коэффициенты уравнения отражают различия в экологических условиях обитания животных и уровнях загрязнения среды. Индивидуальный возраст двустворчатых моллюсков является хорошим интегральным биомаркером для изучения распределения токсикантов, в частности ртути, в популяциях мидий из различных районов шельфа Черного моря. Зависимость между содержанием ртути в мягких тканях мидий из севастопольских бухт и концентрацией ртути в воде описывается уравнением Ленгмюра.

Ключевые слова: мидия, возраст, ртуть, Черное море

Mercury content was measured in soft tissues and shells of the mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam. collected in bays of the Crimean peninsula (the Black Sea) as depended on individual age of the mollusc. Linear parameters of the mussel body (L , mm) depending on time (t , yr) are well approximated by the exponential equation: $L = L_0 + b \lg t$ and Hg concentration (C , $\mu\text{g/g dry weight}$): $C = C_0 + b_1 \lg t$. Coefficients of equations represent different ecological conditions and levels of environmental pollution. Individual age of bivalve molluscs is a reliable integral biomarker to be applied in studying distribution of toxicants, e.g. mercury, in populations of mussels inhabiting different areas of the Black Sea shelf. Relationship between mercury content accumulated in soft tissues of mussels from the bays of Sevastopol and that in the seawater is described by Lengmure equation.

Key words: mussel, age, mercury, the Black Sea

Двустворчатый моллюск мидия является общепризнанным биоиндикатором загрязнения морской среды различными токсикантами, и его неоднократно использовали для мониторинга загрязнения тяжелыми ме-

таллами различных акваторий Черного моря [1, 2, 4 - 7, 9 - 15, 20, 21, 23]. Ртуть, имея очень широкое применение в деятельности человека, одновременно является весьма токсичным микроэлементом для всех живых организмов.

По этой причине она входит в перечень тяжелых металлов, концентрации которых нормируются по пищевым продуктам. Для морепродуктов, к которым относится мидия, установлена предельно-допустимая концентрация ртути в мясе, равная $0.2 \text{ мг/кг}_{\text{сыр}}$ [17]. Исследованиям загрязнения ртутью воды, донных отложений и гидробионтов, в том числе мидии, в бассейне Черного моря посвящен ряд публикаций [7, 10, 20, 21]. В них приведены усредненные значения концентраций ртути, которые можно рассматривать как фоновые во время проведения многолетнего регионального мониторинга различных черноморских акваторий. Однако детальных исследований накопления ртути в моллюсках в зависимости от экологических условий их обитания не проводилось.

Данная работа посвящена изучению распределения ртути в мягких тканях и раковинах мидий *Mytilus galloprovincialis* Lam. с использованием интегральных экологических показателей – группового линейного роста и индивидуального возраста моллюсков, характеризующих популяционную структуру мидийных поселений в различных районах крымских бухт Черного моря.

Материал и методы. Исследование содержания ртути в мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. проведено в пробах, которые собирали в бухтах Казачья ($44^{\circ}35,26' \text{ N}; 33^{\circ}24,31' \text{ E}$), Севастопольская ($44^{\circ}36' \text{ N}; 33^{\circ}33' \text{ E}$) и Ласпинская ($44^{\circ}22,2' \text{ N}; 33^{\circ}40,1' \text{ E}$) вдоль Крымского побережья Черного моря с глуби-

ны до 2 - 3 м в местах с различным уровнем техногенного воздействия на прибрежные экосистемы. Из тотальной выборки отбирали животных разных размеров для определения индивидуального возраста моллюсков методом склерохронологии по слоям роста во внутреннем, перламутровом слое раковин [7, 24]. Раковины мидии распиливали алмазной пилой по наибольшей длине створки, чтобы пересечь все последовательные линии нарастания кальцитовых и арагонитовых слоев. Плоскость среза шлифовали и в микроскопе подсчитывали годовые кольца.

Пробы тканей и створок мидии подготавливали для анализов на содержание ртути по общепринятым методикам [22]. Концентрацию Hg в пробах определяли методом непламенной атомно-абсорбционной спектроскопии [19] на анализаторе “Юлия-2” (чувствительность метода $1 \cdot 10^{-3} \text{ мкг}$). Для каждой возрастной группы отбирали по 4 - 5 моллюсков, чтобы выборка составляла от 24 до 32 экз. для каждого района исследований. Всего выполнено более 300 определений микроэлементов. Для определения зависимости между концентрацией ртути в мидиях и водной среде использовали данные радиохемоэкологического мониторинга в бухтах г. Севастополя [10]. Наблюдения проводили с 1984 по 2000 гг. в районах Коррозионной станции ($44^{\circ}37,63' \text{ N}; 33^{\circ}31,90' \text{ E}$), в Мартыновой ($44^{\circ}36,97' \text{ N}; 33^{\circ}30,30' \text{ E}$), Стрелецкой ($44^{\circ}36,55' \text{ N}; 33^{\circ}28,21' \text{ E}$) и Казачьей ($44^{\circ}35,26' \text{ N}; 33^{\circ}24,31' \text{ E}$) бухтах.

Результаты и обсуждение. Размерную и возрастную структуру отдельных поселений моллюсков можно использовать как интегральную популяционную характеристику для получения представления об экологических условиях обитания мидий на крымском шельфе.

Зависимость линейных размеров мидий от их индивидуального возраста описывается экспоненциальной функцией:

$$L = L_0 + b \lg t, \quad (1),$$

где L – длина раковины, мм; t – индивидуальный возраст моллюска, годы; L_0 – свободный коэффициент уравнения, соответствующий длине раковины моллюска возрастом 1 год, мм; b – коэффициент, показывающий, с какой скоростью изменяется длина моллюска во времени, мм/год.

Значения соответствующих коэффициентов уравнения приведены в табл. 1.

Таблица 1. Значения коэффициентов экспоненциального уравнения (1), описывающего изменение линейных размеров мидий *Mytilus galloprovincialis* (длина раковины, мм) от их индивидуального возраста (годы)

Table 1. Coefficients of the equation (1), describing a quantitative changes of the linear sizes (length of a shell, mm) with individual age (years) of mussel *Mytilus galloprovincialis*

Район исследования	Линейный параметр L_0	Степенной коэффициент b
Бухта Казачья	35.50	42.67
Бухта Севастопольская	38.62	45.72
Бухта Ласпинская	31.9	37.521

Характер изменений линейных размеров мидии в зависимости от их индивидуального возраста, представленный на рис. 1, фактически отражает групповой темп роста моллюсков для различных районов исследования.

С наибольшей скоростью растут мидии, обитающие в Севастопольской и Казачьей бухтах, а групповой рост моллюсков из б. Ласпинская в полтора раза ниже. Это хорошо иллюстрируют данные по групповому росту моллюсков, приведенные на рис. 1. Так, мидии из Севастопольской и Казачьей бухт вырастают до 50 мм за 2 года, а из б. Ласпинская – за 3 года. Таким образом, в двух первых районах существуют более благоприятные пищевые и температурные условия, обеспечивающие высокие темпы роста мидий. В этих бухтах, закрытых по сравнению с открытыми морскими акваториями, существует более высокий уровень эвтрофикации вод из-за близости антропогенных источников растворенного органического и взвешенного вещества, поступающего с терригенными стоками, что улучшает пищевые условия обитания моллюсков-фильтраторов.

Открытая Ласпинская бухта примыкает к приглубому шельфу южного берега Крыма, где существует своеобразный гидрологический режим, когда, из-за сгонно-нагонных ветровых явлений, к поверхности поднимаются холодные воды, формирующие низкопродуктивные слои моря. Поэтому темпы роста мидии в этом районе значительно ниже, чем в

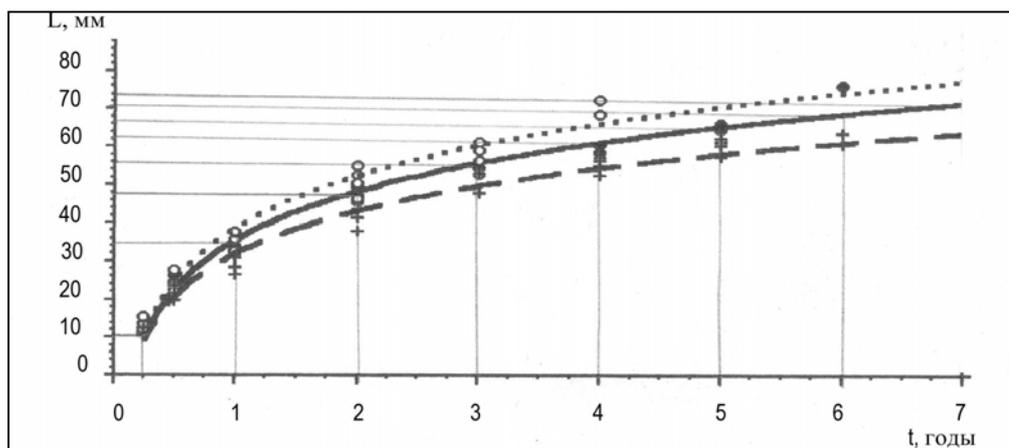


Рис. 1. Зависимость группового роста (L - длина раковины) мидий *Mytilus galloprovincialis* от их индивидуального возраста (A). Бухты: ○ - Севастопольская, ● - Казачья, + - Ласпинская

Fig. 1. Dependence of the group growth (L - length of a shell) on the age of mussel *Mytilus galloprovincialis* (A). Bays: ○ - Sevastopolskaya, ● - Kazachya, + - Laspinskaya

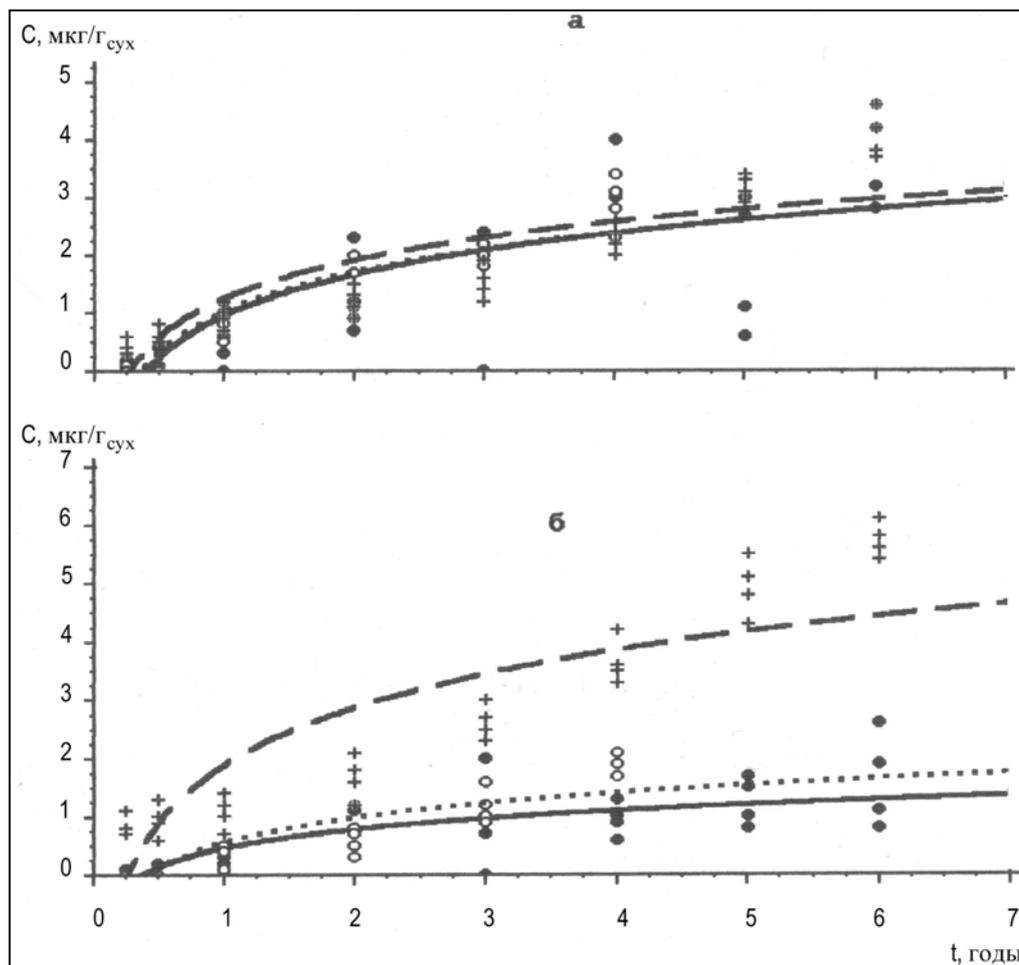


Рис. 2. Зависимость концентрации ртути (C) в мягких тканях (а) и раковинах (б) мидий *Mytilus galloprovincialis* от их индивидуального возраста. Бухты: ○ - Севастопольская, ● - Казачья, + - Ласпинская

Fig. 2. Dependence of the mercury concentration (C) in tissue and shells on the age of mussels *Mytilus galloprovincialis* (A). Bays: ○ - Sevastopolskaya, ● - Kazachya, + - Laspinskaya

хорошо прогреваемых эвтрофных водах полу- закрытых, внутренних бухт.

Зависимость концентрации ртути в мягких тканях и раковинах мидии от времени также хорошо аппроксимируется экспоненциальной функцией:

$$C = C_0 + b_1 \lg t, \quad (2)$$

где C – содержание ртути, мкг/г_{сух}; t – индивидуальный возраст моллюска, г.; C_0 – свободный коэффициент уравнения, соответствующий концентрации ртути в моллюске возрастом 1 год, мкг/г_{сух}; b_1 – коэффициент, показывающий, с какой скоростью идет накопление элемента во времени, мкг/г_{сух}/год (табл. 2).

По концентрации ртути в мягких тканях мидии из трех бухт практически не отличаются друг от друга, хотя содержание Hg в животных из б. Ласпинская несколько выше (рис. 2). В Севастопольской и Казачьей бухтах уровень накопления ртути в тканях всех возрастных групп моллюсков выше, чем в раковинах. Это показывает, что общий фон содержания ртути в воде не очень высокий и в раковинах моллюсков не происходит интенсивного депонирования Hg.

Напротив, у мидий из Ласпинской бухты скорость накопления Hg в раковинах в 2 - 3 раза выше, чем для двух других биотопов (табл. 2, рис. 2). В этом районе, вероятно, существуют источники поступления в ртуть в воду. При длительном воздействии на гидробионтов малых концентраций ртути этот токсикант в процессе метаболизма частично вы-

водится из тканей в воду, а частично депонируется в раковине, накапливаясь во времени.

Таблица 2. Значения коэффициентов экспоненциального уравнения (2), описывающего изменение концентрации ртути (мкг/г_{сух}) в мягких тканях и раковинах мидий *Mytilus galloprovincialis* от их индивидуального возраста (годы)

Table 2. Coefficients of the equation (2), describing a quantitative changes of concentration of mercury (μg/g_{dry}) in soft tissue and shells with individual age (years) of mussel *Mytilus galloprovincialis*

Район (бухты)	Объект исследования	Линейный параметр C_0	Степенной коэффициент b_1
Казачья	ткани	0.961	2.371
«-»	раковина	0.466	1.062
Севастопольская	ткани	1.027	2.277
«-»	раковина	0.554	1.423
Ласпи	ткани	1.257	2.211
«-»	раковина	1.898	3.269

Таким образом, можно предположить, что уровень Hg, депонированной в метаболически неактивных раковинах моллюсков, может характеризовать долговременное состояние среды по воздействию загрязняющих веществ на гидробионтов.

Известно, что предельно допустимая концентрация (ПДК) ртути в мясе мидий, рассчитанная на сырую массу, равна 0.2 мг/кг [17]. Сухая масса мягких тканей мидий составляет в разные сезоны года 16 - 20% от сырой массы. Поэтому усредненное значение ПДК ртути в пересчете на сухую массу тканей равно 1.2 мг/кг_{сух}. Такое содержание ртути

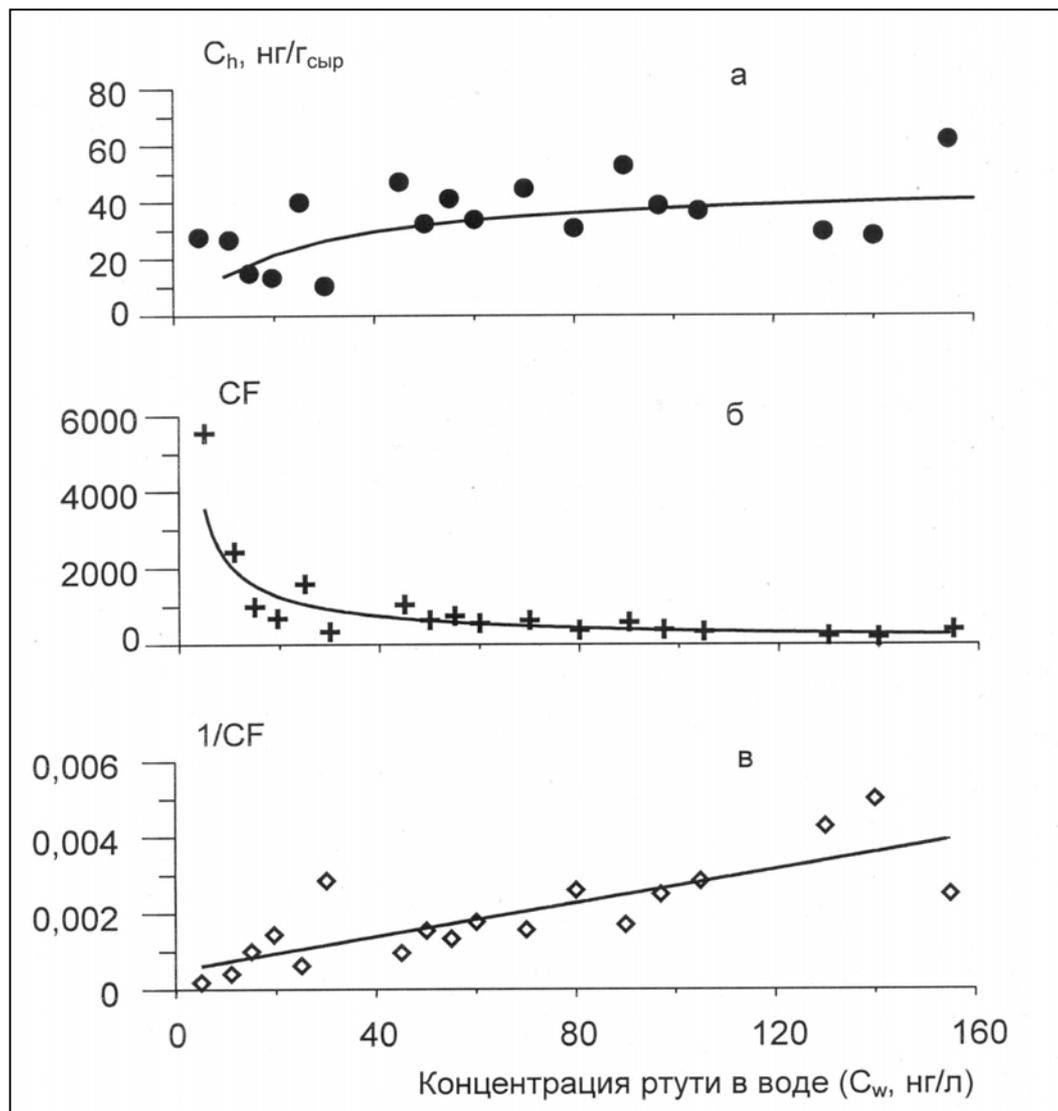


Рис. 3. Зависимость усредненной концентрации ртути в мягких тканях мидии *Mytilus galloprovincialis* (C_h) от содержания ртути в воде (C_w) севастопольских бухт: а – концентрация ртути в мягких тканях мидии; б – коэффициент накопления ($CF = C_h/C_w$); в – уравнение Ленгмюра в координатах модифицированного уравнения Лайнуивера-Бэрка ($1/CF$)

Fig. 3. Dependence of average concentration of mercury in soft tissue mussel *Mytilus galloprovincialis* (C_h) from the contents of mercury in water (C_w) of the Sevastopol bays: (C_w): а – concentration of mercury in soft tissue of molluscs; б – Hg concentration factor ($CF = C_h/C_w$); в – Langmuir equation in the scale modified Laynuiver – Bark equation ($1/CF$)

достигается у мидий в возрасте 1.5 года. Таким образом, культивировать мидию для пищевых целей в бухтах Казачья, Севастопольская и Ласпинская более 1.5 лет не следует из-за превышения ПДК ртути, установленные для морепродуктов.

Исследования в рамках радиохемозкологического мониторинга севастопольских бухт показали [10], что зависимость между содержанием ртути в мягких тканях мидий и в водной среде отличается от линейной (рис. 3а). Это обусловлено тем, что коэффициент накопления ртути мидиями (CF), равный отношению концентрации ртути в тканях мидии (C_h) к ее концентрации в водной среде (C_w), с ростом значений C_w снижается (рис. 3б). Эта зависимость с достаточной степенью адекватности описывается уравнением Ленгмюра, о чем свидетельствует достаточно близкое расположение на прямой данных по ($1/CF$) при соответствующих им значениях C_w в координатах модифицированного уравнения Лайнуивера-Бэрка (рис. 3в).

Зависимость между усредненной концентрацией ртути в мягких тканях мидий севастопольских бухт и концентрацией ртути в воде описывалась уравнением Ленгмюра:

$$C_h = \frac{k C_{\max} C_w}{1 + k C_w} \quad (3)$$

при следующих значениях параметров:

$k = 0.0432 \pm 0.0115$ (л/нГ); $C_{\max} = 46.7 \pm 8.9$ (нГ·Г_{сыр}⁻¹).

Из уравнения Ленгмюра (3) следует, что максимальная концентрирующая способ-

ность мягких тканей мидий в севастопольских бухтах в отношении ртути составляет 46.7 ± 8.9 нГ·Г_{сыр}⁻¹. Следует отметить, что, с одной стороны, в местах обитания мидий содержание ртути в водной среде подвержено значительной вариабельности в результате воздействия гидрологических факторов переноса вод. С другой стороны, равновесное состояние удельных концентраций ртути в мидиях и водной среде может устанавливаться в масштабе времени до нескольких месяцев [25]. Поэтому полученная оценка, в первую очередь, только свидетельствует о феномене насыщения рутью мягких тканей мидий, а не является количественным показателем меры этого насыщения.

Выводы. С наибольшей скоростью растут мидии, обитающие в Севастопольской и Казачьей бухтах, а групповой рост моллюсков из Ласпинской бухты в полтора раза ниже. В мидиях возрастом до 1.5 лет из бухт Казачья, Севастопольская и Ласпинская концентрации ртути в мясе не превышают предельно допустимых концентраций для морепродуктов, установленных требованиями санитарно-гигиенических норм. Однако за это время мидии из акватории Ласпинской бухты по темпам группового роста еще не достигают промысловых размеров (более 50 мм). Зависимость между содержанием ртути в мягких тканях мидий из севастопольских бухт и концентрацией ртути в воде с достаточной степенью адекватности описывается уравнением Ленгмюра. Индивидуальный возраст дву

створчатых моллюсков является хорошим интегральным параметром (биомаркером) при изучении распределения токсикантов,

в частности ртути, в популяциях мидий из различных районов шельфа Черного моря.

1. Безносков В. Н., Плеханов С. Е. Содержание некоторых металлов в черноморских мидиях // Экология. - 1986. - № 5. - С. 80 - 81.
2. Безносков В. Н., Плеханова И. О., Прохоров В. Г. и др. О накоплении тяжелых металлов черноморскими мидиями и устрицами // Использование и охрана ресурсов флоры и фауны СССР. - М., 1987. - С. 54 - 57.
3. Беспмятников Г. П., Кротов Ю. А. Предельно-допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. - Л., Химия, 1985. - 304 с.
4. Бурдин К. С., Крупина М. В., Савельев И. Б. Моллюски рода *Mytilus* как возможные показатели содержания тяжелых металлов в морской воде // Океанология. - 1979. - 19, вып. 6. - С. 1038 - 1044.
5. Бурдин К. С., Савельев И. Б. Тяжелые и переходные металлы в черноморских мидиях // Тез. докл. II Всесоюз. конф. по биологии шельфа. - Севастополь, 1978. - Ч. 2. - С. 10 - 11.
6. Головенко В. Е., Полудина В. П. Черноморская мидия как индикатор загрязнения окружающей среды // Проблемы охраны здоровья населения и защиты окружающей среды от химических вредных факторов: Тез. докл. I Всесоюз. съезда океанологов. - Ростов-на-Дону, 1986. - С. 173 - 174.
7. Егоров В. Н. Нормирование потоков антропогенного загрязнения черноморских регионов по биогеохимическим критериям // Экология моря. - 2001. - Вып. 57. - С. 75 - 84.
8. Золотарев В. Н. Склерохронология морских двустворчатых моллюсков. - К., 1989. - 112 с.
9. Иванов А. И., Назаренко М. Ф. Накопление тяжелых металлов в культивируемых мидиях северо-западной части Черного моря // Научно-технические проблемы марикультуры в стране. - Владивосток, 1989. - С. 90 - 91.
10. Костова С. К., Егоров В. Н., Поповичев В. Н. Многолетние исследования загрязнения ртутью Севастопольских бухт (Черное море) // Экология моря. - 2001. - Вып. 56. - С. 99 - 103.
11. Кудинский О. Ю., Костылев Э. Ф., Чермиева О. Л. Изменения в гонадах черноморских мидий *Mytilus galloprovincialis* под влиянием двухлористой ртути // Промысловые двустворчатые моллюски - мидии и их роль в экосистемах. - Л., 1979. - С. 69 - 71.
12. Миронов О. Г., Ковальчук Ю. Л., Крючков Г. И. К вопросу о содержании металлов в черноморских мидиях // Морская санитарная гидробиология (под ред. О. Г. Миронова). - Севастополь, 1995. - С. 83 - 85.
13. Молчанов Е. Ф., Куропатов Л. А., Маслов И. И. К изучению мидиевых поселений в заповедных акваториях южного берега Крыма (Сообщение 2. Содержание тяжелых металлов) // Бюлл. Гос. Никитского ботанического сада. - Ялта, 1991. - Вып. 73. - С. 15 - 20.
14. Некрасов С. Н. Содержание тяжелых металлов в моллюске *Mytilus galloprovincialis* Азовского моря // Промысловые двустворчатые моллюски-мидии и их роль в экосистемах. - Л., 1979. - С. 90 - 91.
15. Пашкова И. М., Глушанкова М. А. Содержание тяжелых металлов в мягких тканях и раковинах особей трех варитетов Азово-Черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* // Цитология. - 1993. - 35, № 6/7. - С. 64 - 67.
16. Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде. - Л.: Химия, 1972. - 375 с.
17. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах. СанПиН 42-123-4089-86 // Общесоюзные санитарно-гигиенические и санитарно-противоэпидемические правила и нормы. - М., 1986. - 11 с.
18. Прокофьев А. К. Химические формы ртути, кадмия и цинка в природных водных средах // Успехи химии. - 1981. - 50, № 1. - С. 54 - 84.

19. Прокофьев А. К., Степанченко Т. В. Методы определения токсичных загрязняющих веществ в морской воде и донных осадках. – М.: Гидрометеиздат, 1981. – С. 34 – 42.
20. Светашева С. К. Загрязнения ртутью воды, грунтов и рыб Севастопольской бухты // Ихтиофауна черноморских бухт в условиях антропогенного воздействия. - Киев, 1993. – С. 67 – 70.
21. Светашева С. К. Загрязнения ртутью Севастопольской бухты // Вторая Всесоюзная конференция по рыбохозяйственной токсикологии, посвященная 100-летию проблемы качества воды в России: Тез. докл. - СПб., 1991. - 2. - С. 171 – 173.
22. Унифицированные методы мониторинга фоновое загрязнения природной среды. - М.: Гидрометеиздат, 1986. – 180 с.
23. Шадрин Н. В., Андрусишина И. Н., Белашов Е. Б. Тяжелые металлы в организмах супралиторали побережья юго-западного Крыма // Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу. - Севастополь: Аквита, 1999. - С. 194 - 203.
24. Шурова Н. М., Золотарев В. Н. Сезонные слои роста в раковинах мидии Черного моря // Биология моря. – 1988. – № 1. – С. 18 – 22.
25. Fisher N. S., Teyssie J. L., Fowler S. W. et al. Accumulation and retention of metals in mussels from food and water: a comparison under field and laboratory conditions // Environment Science and Technology. - 1996. – 30. - P. 3232 - 3242.