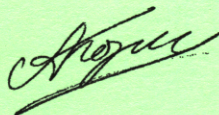


**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ГИДРОБИОЛОГИИ**

**КОЗИНЦЕВ
АЛЕКСАНДР ФЁДОРОВИЧ**



УДК 594.124: 628.193 (262.5)

**МИДИЯ *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* LAM. – БИОИНДИКАТОР
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД
КРЫМА (ЧЁРНОЕ МОРЕ)**

03.00.17 – гидробиология

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание научной степени
кандидата биологических наук

Киев - 2014

Диссертация является рукописью

Работа выполнена в Институте биологии южных морей
им. А.О. Ковалевского Национальной академии наук Украины

Научный руководитель: доктор биологических наук,
старший научный сотрудник
Рябушко Виталий Иванович,
Институт биологии южных морей
им. А.О. Ковалевского НАН Украины
заведующий отделом аквакультуры и
морской фармакологии

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Арсан Орест Михайлович,
Институт гидробиологии НАН Украины,
заведующий отделом экотоксикологии

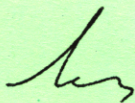
кандидат биологических наук, доцент
Вискушенко Дмитрий Андреевич,
Житомирский государственный университет
имени Ивана Франко,
проректор по учебно-методической и воспита-
тельной работе

Защита состоится «28 феврале» 2014 г. в 11⁰⁰ часов на заседании спе-
циализированного ученого совета Д 26.213.01 в Институте гидробиологии
НАН Украины по адресу: Украина, 04210 Киев, пр. Героев Сталинграда, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института гидробиоло-
гии НАН Украины по адресу: Украина, 04210 Киев, пр. Героев Сталинграда,
12.

Автореферат разослан «24 январе» 2014 г.

Учёный секретарь
специализированного ученого совета,
доктор биологических наук



Лищук А. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Двустворчатые моллюски являются признанными индикаторами антропогенного загрязнения прибрежных вод Мирового океана и широко применяются в системе биологических методов контроля качества среды, когда измеряют содержание поллютантов у животных определенных линейных размеров (Goldberg, 1975, 1978, 1986). При таком формализованном подходе обычно не учитывают экологические условия обитания моллюсков. Так, для биоиндикации загрязнения прибрежных вод Чёрного моря тяжёлыми металлами (ТМ) часто используют мидию *Mytilus galloprovincialis* Lam., которая доминирует по биомассе в донных биоценозах, образуя многочисленные поселения на глубинах до 60 м. С увеличением глубины изменяется размерная и возрастная структура поселений мидии из-за различных экологических условий её обитания. При этом у одновозрастной мидии в зависимости от места отбора проб наблюдается значительная вариабельность размеров. Поэтому более информативным параметром для целей нашего исследования является возраст мидии, а не её размеры, с помощью которого можно определить время нахождения моллюсков в море и длительность воздействия на них различных поллютантов. Однако только после разработки В.Н. Золотаревым (1974, 1989) метода определения индивидуального возраста моллюсков появилась возможность по-новому подойти к анализу данных по размерно-возрастной структуре мидийных поселений на черноморском шельфе. Этот метод позволяет использовать такой параметр, как возраст моллюсков, наряду с их линейными размерами, для расширения возможностей применения мидии в качестве биоиндикатора загрязнения прибрежных морских акваторий тяжёлыми металлами, что и определяет актуальность выбранной темы.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Работа выполнена в соответствии с научно-исследовательской тематикой ИнБЮМ НАН Украины, программами НАН Украины и МОН Украины: «Моделирование естественных и искусственных экосистем в целях прогнозирования ресурсов и обоснования методов марикультуры» (№ ГР 01828027773, 1986–1988 гг.); «Физиолого-биохимические основы продуцирования вещества для создания современной марикультуры» (№ ГР 01870012496, 1990–1996 гг.); «Изучить общие эколого-продукционные процессы мелиорации среды и марикультуры в прибрежных районах Черного моря» (№ ГР 0196U022106, 1996–1999 гг.); «Структурно-функциональные основы продукционных процессов у гидробионтов» (№ ГР 0199U001389, 1999–2002 гг.); «Разработка методологии и методов физико-биохимической индикации импактных морских экосистем» (№ ГР 0100U001553, 2000–2003 гг.); «Разработка научных основ биоиндикации морских импактных экосистем». (Грант МОН Украины № Ф/211–2004, 2004–2006 гг.); «Исследование состояния импактных морских экосистем методами биологического тестирования» (№ ГР 0103U007130, 2003–2007 гг.); «Экологическая

индикация импактных морских экосистем с целью рационального использования природных ресурсов» (№ ГР 0107U012020, 2008–2012 гг.), в которых соискатель был исполнителем.

Цель и задачи исследования. Цель настоящей работы заключается в обосновании применения нового методологического подхода - использование индивидуального возраста мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. для биоиндикации загрязнения тяжёлыми металлами акваторий крымского побережья Чёрного моря с разными уровнями антропогенной нагрузки.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- исследовать масс-размерную и возрастную структуру поселений мидии *M. galloprovincialis* в разных акваториях крымского побережья Чёрного моря;
- определить содержание 6 химических элементов (кадмий, свинец, медь, цинк, никель, железо) в мягких тканях и раковинах мидии и найти зависимости концентрации ТМ от индивидуального возраста моллюсков;
- определить влияние сезонов года на уровни содержания тяжёлых металлов в мягких тканях и раковинах мидии;
- оценить ёмкость мидийной плантации по содержанию тяжёлых металлов с использованием размерно-возрастной структуры поселений моллюсков;
- обосновать возможность использования возрастной структуры поселений мидии *M. galloprovincialis* в системе биологического мониторинга загрязнения морской среды тяжёлыми металлами;
- провести сравнительный анализ уровней загрязнения тяжёлыми металлами мидии *M. galloprovincialis* из различных регионов Чёрного моря.

Объект исследования – двустворчатый моллюск мидия *Mytilus galloprovincialis* Lam.

Предмет исследования – содержание тяжёлых металлов (Cd, Pb, Cu, Ni, Zn, Fe) в мягких тканях и раковинах мидии *M. galloprovincialis*, возраст, масса и линейные размеры моллюска.

Методы исследования. Изучение масс-размерной структуры поселений мидии осуществляли с помощью стандартных гидробиологических методов. При определении индивидуального возраста мидии использовали метод склерохронологии (Золотарев, 1989). При определении микроэлементов в мягких тканях и раковинах мидии использован метод атомно-абсорбционной спектрофотометрии (Славин, 1971, Хавезов, 1983). Обработка результатов осуществлена с помощью статистических методов.

Во время работы над диссертацией биоэтические нормы не нарушены.

Научная новизна полученных результатов. Впервые установлена зависимость масс-размерных характеристик мидии, а также содержание кадмия, свинца, меди, никеля, цинка, железа в мягких тканях и раковинах мидии от индивидуального возраста моллюсков, которые описаны степенными уравнениями. Установлены зависимости коэффициентов накопления исследуемых тяжелых металлов в мягких тканях и раковинах мидии от возраста моллюсков. Предложен новый методологический подход для биоиндикации за-

грязнения морских акваторий тяжёлыми металлами с помощью мидии *M. galloprovincialis*, заключающийся в том, что для анализа данных необходимо использовать индивидуальный возраст моллюска наряду с линейными размерами мидии. При этом в системе биомониторингу загрязнения токсикантами прибрежных акваторий необходимо применять мидий возрастом 2 года. Этот подход может быть использован для Международной программы биомониторинговых исследований с помощью двустворчатых моллюсков "The International Mussel Watch".

Практическое значение полученных результатов. Разработанная методика определения содержания тяжёлых металлов в мягких тканях и раковинах мидии в зависимости от возраста моллюска может быть использована в системе биомониторинга загрязнения токсикантами прибрежных акваторий. По уровню содержания тяжёлых металлов в тканях двухлетней мидии *M. galloprovincialis* из природных популяций, наряду с другими показателями, можно рекомендовать перспективные места размещения хозяйств по выращиванию двустворчатых моллюсков в Чёрном море.

Личный вклад автора. Диссертационная работа является самостоятельным научным исследованием, выполненным в рамках тематики ИнБЮМ НАН Украины в соответствии с поставленными целью и задачами. Автором проведен сбор и обработка материала, статистический и научный анализ полученных результатов, выполнено определение тяжёлых металлов в пробах на атомно-абсорбционном спектрофотометре, обобщены полученные данные, сформулированы основные положения и выводы работы.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертации были представлены и обсуждены на семинарах отдела аквакультуры и морской фармакологии ИнБЮМ НАН Украины, на национальных и международных конференциях: III Всесоюзная конференция по морской биологии (Севастополь, 1988), Всесоюзное совещание «Сырьевые ресурсы и биологические основы рационального использования промысловых беспозвоночных» (Владивосток, 1988), Международные семинары МГИ НАН Украины (Кацивели, 1999, 2008), 5 (14) Совещание по изучению моллюсков (РФ, Санкт-Петербург, 2000), ECSA³⁴ «Estuaries and other brackish areas – pollution barriers or sources to the sea?» (Gdansk-Sopot, 2002), Международная конференция «Современное состояние экосистем Чёрного и Азовского морей» (Донецк, 2005), Всеукраинская научно-практическая конференция «Устойчивое развитие Азово-Черноморского региона» (Керчь, 2009), V съезд Гидроэкологического общества "Актуальные гидроэкологические проблемы континентальных и морских экосистем" (Житомир, 2010).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 16 научных работ, в т. ч. 11 статей (1 – без соавторов), из них 9 – в специализированных научных изданиях, рекомендованных ДАК МОН Украины, 5 – в тезисах докладов конференций.

Структура и объем работы. Дис-сертация состоит из вступления, 6 разделов, выводов, списка литературы, включающего 254 источника, в т.ч. 71 – иностранные работы. Общий объем рукописи – 179 страниц, текста – 114 страницы. Работа включает 36 таблиц и иллюстрирована 51 рисунком.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю д.б.н. В.И. Рябушко за общее руководство и поддержку в работе, разработку методологии исследования. Особую признательность выражаю д.б.н., профессору А.В. Гаевской, д.б.н. Л.И. Рябушко, академику НАНУ, д.б.н. В.Н. Егорову и к.б.н. Л.В. Малаховой за просмотр рукописи диссертации и автореферата, ценные советы и замечания, к.б.н. Д.С. Парчевской – за консультации относительно статистических методов обработки данных; к.х.н. Т.Л. Макачук и к.ф.-м.н. В.К. Шинкоренко – за консультации и помощь при определении тяжелых металлов в пробах; О.Ю. Еремину – за техническую помощь при изготовлении иллюстраций.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ДВУСТВОРЧАТЫЕ МОЛЛЮСКИ – БИОИНДИКАТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКИХ ВОД ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ (обзор литературы)

Во второй половине XX ст. отмечается резкое возрастание техногенной нагрузки на морские акватории, особенно в зонах расположения прибрежных населенных пунктов у моря за счёт антропогенных выбросов. Показано, что для целей биомониторинга тяжёлых металлов в водной среде наиболее универсальными представителями биоты пригодны бурые водоросли-макрофиты и двустворчатые моллюски, в т. ч. мидии (Goldberg, 1975, 1978, 1986; Phillips, 1977; Bryan 1980). На основе многочисленных данных, полученных из различных районов Мирового океана, была разработана Международная программа биомониторинговых исследований с помощью двустворчатых моллюсков «The International Mussel Watch» (1980). Для биоиндикации загрязнения водной среды рекомендовано использовать мидий длиной 50 мм, чтобы стандартизировать отобранные пробы. За более чем 30-летний период действия программы накоплен значительный объем сведений о содержании тяжёлых металлов в гидробионтах и проведены сравнения уровней концентраций поллютантов в двустворчатых моллюсках из различных морских акваторий. Однако такой подход, с нашей точки зрения, имеет существенный методический недостаток, заключающийся в том, что авторы программы не учитывают биологические особенности развития моллюсков в разных экологических условиях прибрежных зон моря. Исследование распределения тяжелых металлов в мягких тканях и раковинах мидий, которые обитают в разных экологических условиях, в зависимости от масс-размерной и возрастной структуры поселений до настоящего времени не проводили. Этим обосновывается необ-

ходимость проведения работ по теме диссертации. Кроме того, мидия *M. galloprovincialis*, что живет в Чёрном море, используется не только для целей биоиндикации загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, а является и объектом культивирования и получения высококачественного деликатесного продукта питания. Поэтому проведение биомониторингу в шельфовой зоне Черного моря по приоритетным загрязнителям антропогенного происхождения с помощью мидии является важным как для биотестирования качества морской среды, так и безопасности человека.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования концентрации тяжёлых металлов в мидии *M. galloprovincialis* были выбраны районы крымского побережья Чёрного моря с различным уровнем техногенного загрязнения: мелководные Севастопольская, Казачья, Ласпинская бухты, глубинные поселения моллюсков в акваториях у мыса Тарханкут, Карадагского природного заповедника и Ялтинского залива (рис. 1). В разделе дана краткая гидрологическая характеристика мест обитания мидии и показаны потенциальные источники загрязнения водной среды.



Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб мидии в Чёрном море:
1 – Севастопольская бухта, 2 – Казачья бухта, 3 – Ласпинская бухта,
4 и 5 – м. Тарханкут, 6 – Карадагский заповедник, 7 – Ялтинский залив

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования масс-размерной и возрастной структуры поселений мидии *M. galloprovincialis* послужили пробы моллюсков, собранные в период с 1988 по 2008 гг. на разнообразных субстратах (ил, песок, камни, бетонные плиты, мидийные коллектора) на глубинах от 0 до 47 м в шести районах крымского побережья Чёрного моря. Пробы были также использованы для анализа содержания тяжёлых металлов в мидии в зависимости от длины раковин, массы и индивидуального возраста моллюсков. Три станции находились в бухтах: Севастопольской (район ГРЭС), Казачьей (район Государственного Океанариума МО и НАН Украины) и Ласпинской на глубине 0 – 5,0 м. Четыре станции находились в местах глубинных поселений мидии в акваториях м. Тарханкут (24 и 43 м), Карадагского природного заповедника (45 м) и Ялтинского залива (район глубоководного выпуска хозяйственно-бытовых и сточных вод, 47 м). На станциях 1, 3–7 образцы мидии отбирали из природных поселений, а в Казачьей бухте (ст. 2) – как из природных поселений, так и с коллекторов экспериментального морского хозяйства по культивированию мидии (рис. 1). Всего обработано около 12 тыс. экз. мидии, из них более 5 тыс. экз. – из мелководных и более 6 тыс. экз. – из глубинных поселений.

Определение содержания химических элементов (*Cd, Pb, Cu, Ni, Zn, Fe*) в растворах минерализатов проб проводили методом пламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе AAS-30 (Carl Zeiss Jena). Содержание (концентрацию) ТМ выражали в мкг на грамм сухой массы моллюска. Обработка полученных данных осуществлена с помощью компьютерных статистических программ «Excel», «Statistica 6», «Grapher 3». Для сравнения параметров выборок (средних значений и дисперсий) использованы методы Стьюдента и Фишера (Парчевская, 1969, Терентьев, Ростова, 1977).

МАСС-РАЗМЕРНАЯ И ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА ПОСЕЛЕНИЙ МИДИИ *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* ИЗ РАЗНЫХ АКВАТОРИЙ КРЫМА ЧЁРНОГО МОРЯ

Мелководные поселения мидии. Проведены исследования масс-размерно-возрастной структуры мидийных поселений из Севастопольской, Казачьей и Ласпинской бухт, а также для моллюсков, собранных на коллекторах в Казачьей бухте. Поскольку структура исследования имеет сходный характер для каждой бухты, приведём для примера анализ по одной бухте, а по остальным – краткие результаты.

Казачья бухта. Общий объём выборки составил более 2,2 тыс. экз. Длина раковин мидии варьировала от 10,6 до 77,4 мм. Максимальный возраст мидии – 6 лет. Основную численность составляли мидии возрастом от 3-х до 6 мес. – 73 % (рис. 2). Второе место по числу особей занимали двухлетки, к остальным относились годовики, а также 3 – 6-летние мидии. Градация численности мидии по возрасту составляла: $0,25 > 0,5 > 2 > 3 \approx 1 \approx 5 \approx 4 \approx 6$.

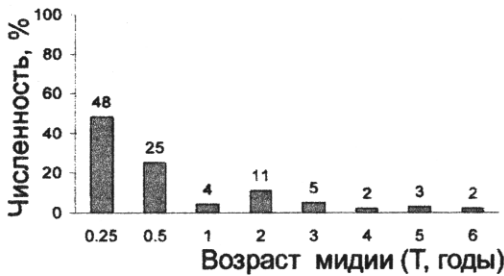


Рис. 2. Соотношение численности мидии *M. galloprovincialis* разных возрастных групп из природных поселений в Казачьей бухте

Зависимости весовых характеристик мидий (общая сырая масса мидии, масса раковин, сырая масса мягких тканей) от их возраста хорошо аппроксимируются уравнением степенной функции с высокими коэффициентами детерминации $R^2 \geq 0,98$ (рис. 3).

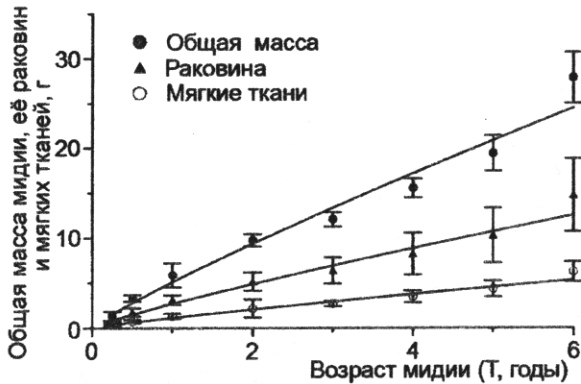


Рис. 3. Зависимость сырой массы мягких тканей, раковин и общей массы мидии *M. galloprovincialis* от возраста моллюска из природных поселений Казачьей бухты; ($M \pm m$, $p \geq 0,95$)

Анализ масс-размерного и возрастного состава мидий, культивируемых на коллекторах в Казачьей бухте, показал, что моллюски достигают товарных размеров за 18 ± 2 мес. от момента прикрепления спата к коллектору. В общей выборке масса мидии промысловых размеров составляла около 70 %, а товарные экземпляры по численности представлены на коллекторе всего 1 % особей.

Севастопольская бухта. Объем выборки мидии составлял около 0,9 тыс. экз. Диапазон длины раковин варьировал от 11,9 до 72,3 мм. Максимальный возраст мидии – 4 года. Моллюски в возрасте до 1 года составляли 62 %, 2-летние – 25 %, 3-летние – 9 %, 4-летние – 4 %. Градация численности мидии по возрасту составляла: $1 > 2 > 0,25 \approx 3 > 0,5 \approx 4$.

Ласпинская бухта. Объем выборки мидии составил более 2,3 тыс. экз. Диапазон размеров варьировал от 10,4 до 64,2 мм. Максимальный возраст ми-

дии – 6 лет. Моллюски в возрасте до 1 года составляли 57 %, 2-летние – 30%, 3-летние – 10 %, 4-летние – 1,0 %, 5-летние – 1,0 %, 6-летние – 1,0 %. Градация численности мидии по возрасту составляла: $1 > 2 > 0,5 > 3 > 0,25 > 4 \approx 5 \approx 6$.

Таким образом, возрастная структура поселения мидий в Севастопольской и Ласпинской бухтах характеризуется преобладанием моллюсков возрастом 1 – 2 года, а Казачья бухта – молодью до 0,5 лет.

Глубинные поселения мидии. Исследована масс-размерно-возрастная структура поселений мидий вдоль крымского побережья Чёрного моря: у м. Тарханкут, из районов Карадагского заповедника и Ялтинского залива. Анализ морфометрических характеристик мидий проводили по схеме, аналогичной для проб из мелководных поселений моллюсков.

Акватория Карадагского заповедника. Объём выборки мидии составил более 1,1 тыс. экз. Размерный диапазон моллюсков для данной акватории составлял от 9,7 до 42,6 мм. Максимальный возраст мидии – 3 года. Основную долю моллюсков (75 %) составляли особи возрастом 3 мес. и размером до 10,2 мм. Градация численности мидии по возрасту составляла: $0,25 > 0,5 \approx 1 > 2 > 3$.

Ялтинский залив. Объём выборки мидии составил более 0,7 тыс. экз. Размерный диапазон моллюсков составлял от 11,7 до 64,1 мм. Максимальный возраст мидии – 6 лет. В выборке преобладали мидии возрастов 0,5 и 2 года, со средним размером 20,2 (34 %) и 40,2 мм (22 %). Градация численности мидии по возрасту составляла: $0,5 > 2 > 0,25 > 1 > 3 \approx 4 \approx 5 \approx 6$.

Акватория м. Тарханкут (24 м). Объём выборки мидии составил более 2,7 тыс. экз. Диапазон размеров варьировал от 12,6 до 67,1 мм. Максимальный возраст мидии – 6 лет. Основную долю моллюсков (85 %) составлял спат до 3 месяцев. Градация численности мидии по возрасту составляла: $0,25 > 0,5 > 1 \approx 2 \approx 3 \approx 4 \approx 5 \approx 6$.

Акватория м. Тарханкут (43 м). Объём выборки мидии составил около 1,8 тыс. экз. Размерный диапазон мидии варьировал от 9,8 до 53,1 мм. Максимальный возраст мидии – 6 лет. Основную долю мидии составляли сеголетки размером до 22,2 мм (90 %). Градация численности мидии по возрасту составляла: $\geq 1 \approx 2 \approx 3 \approx 4 \approx 5 \approx 6$.

Для мидий из всех районов исследований установлены зависимости параметров массы (сырая масса целой мидии, раковин и мягких тканей) от длины моллюска (рис. 4), которые хорошо аппроксимируются степенной функцией с высокими коэффициентами детерминации ($R^2 = 0,94 - 0,98$).

При исследовании линейного роста мидии установлено (рис. 5), что моллюски одного и того же возраста, обитающие в глубинных поселениях, имеют меньшие размеры и массу, чем мидии из бухт. Можно предположить, что эти различия объясняются неблагоприятными пищевыми и температурными условиями обитания мидии, по сравнению моллюсками из других районов исследования и своеобразием гидрологических особенностями регионов.

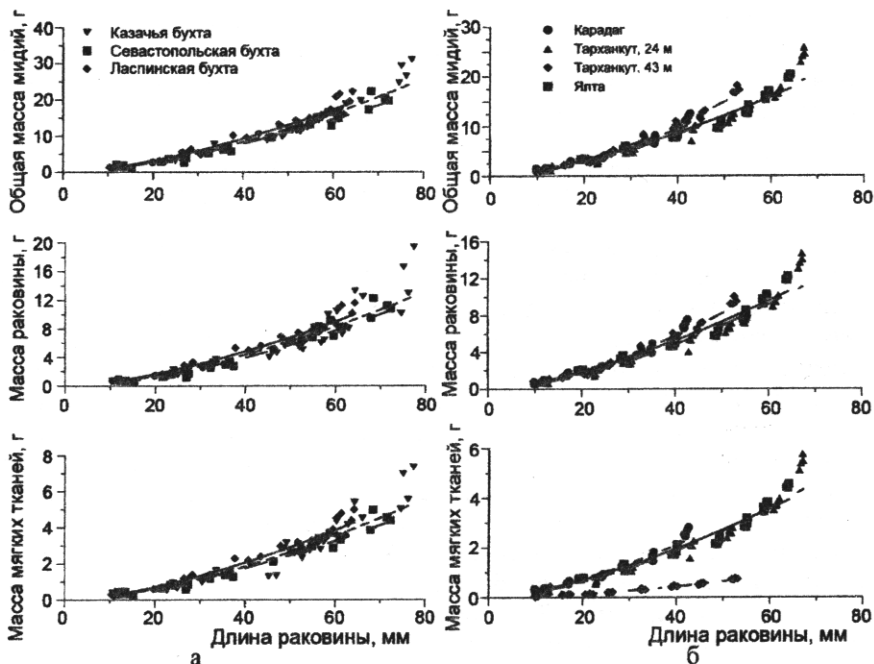


Рис. 4. Зависимость сырой массы целой мидии *M. galloprovincialis*, её раковины и мягких тканей от длины моллюска из бухт (а) и глубинных поселений (б)

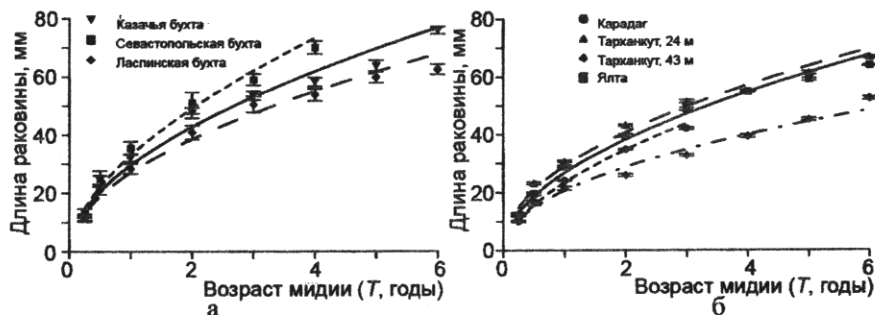


Рис. 5. Зависимость длины раковин мидии *M. galloprovincialis* от возраста для бухт Крыма (а) и глубинных поселений (б); ($M \pm m$, $p \geq 0,95$)

В целом, групповой линейный рост мидии может являться интегральным популяционным показателем мест обитания животных, поскольку размеры моллюсков для каждой возрастной группы различаются по районам исследования. Так, например, две акватории в прибрежье Крыма характеризуются су-

существенными различиями по групповому линейному росту моллюсков: в Казачьей бухте мидии промыслового размера 50 мм достигают за 2 года, а в Ласпинской бухте – за 3 года. Следовательно, анализ линейного роста мидий в зависимости от их индивидуального возраста имеет большое значение для выбора мест размещения марихозийств по выращиванию моллюсков.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В МИДИИ И ИХ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗРАСТА МОЛЛЮСКА

Исследования содержания ТМ в мидиях в зависимости от индивидуально-возрастного моллюсков ранее не проводили. Поэтому в данном разделе представлены результаты по изучению содержания *Cd*, *Pb*, *Cu*, *Ni*, *Zn*, *Fe* в мягких тканях и раковинах мидии *M. galloprovincialis* в зависимости от возраста моллюсков из разных районов крымского побережья Чёрного моря. Анализ содержания химических элементов в зависимости от возраста моллюска проведен по одинаковой схеме для всех исследованных акваторий, поэтому приведём в качестве примера данные, полученные только для Казачьей бухты. Сначала рассмотрим интервалы варьирования ТМ во всем размерном интервале моллюсков и представим данные для мидии 2-летнего возраста. Такая возрастная группа выбрана потому, что в Чёрном море этот моллюск достигает промысловых размеров приблизительно за два года, поэтому необходимо определять содержание ТМ в мидии из природных поселений и сравнивать их с предельно-допустимыми концентрациями (ПДК), нормируемые для товарных моллюсков.

Кадмий. Содержание *Cd* в мягких тканях моллюсков варьировали от 1,7 до 4,1 $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сух. массы с наибольшими значениями в мягких тканях и раковинах мидии в возрасте от 4 до 6 лет. Средние значения *Cd* в мягких тканях моллюска выше, чем в раковинах. Концентрация кадмия в мягких тканях 2-летней мидии составляла 0,27 $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сыр. массы, что почти в 8 раз меньше ПДК.

Свинец. Размах варьирования содержания *Pb* в мягких тканях мидии достигал от 3,8 до 5,3 $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сух. массы при наибольших значениях в возрастной группе 5 и 6 лет. Содержание свинца в мягких тканях всех возрастных групп моллюска выше, чем в раковинах. Концентрация свинца в мягких тканях 2-летней мидии составлял 0,28 $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сыр. массы, что в 35 раз меньше ПДК.

Медь. Содержание меди в мягких тканях мидии составляла 4,3–15,0 $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сух. массы при наибольших значениях в возрастной группе от 4 до 6 лет. Концентрация меди в мягких тканях всех возрастных групп моллюска выше, чем в раковинах, а в мягких тканях 2-летней мидии достигало 0,98 $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сыр. массы, что в 30 раз меньше ПДК.

Цинк. Размах варьирования содержания *Zn* в мягких тканях 5 – 6-летней мидии равен 181–297 $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сух. массы при наибольших значениях в группах моллюска от 3 до 6 лет. Средние значения концентрации цинка в мягких тканях всех возрастных групп мидии выше, чем в раковинах, а в тканях 2-летней мидии равны 28,4 $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сыр. массы, что в 7 раз меньше ПДК.

Никель. Содержание Ni в мягких тканях мидии составляла $0-2,3 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сух. массы, в раковинах – $0-2,1 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сух. массы, а средние значения содержания никеля в мягких тканях всех возрастных групп моллюска выше, чем в его раковинах. Концентрация данного химического элемента в мягких тканях 2-летней мидии достигала $1,38 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сух. массы или $0,26 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сыр. массы.

Железо. Размах варьирования содержания Fe в мягких тканях мидии возрастал до 3-х лет составлял $66-139 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сух. массы, а в раковинах – $166-488 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сух. массы при наибольших значениях в возрастных группах мидии 3 - 6 лет. Содержание железа в мягких тканях 5-6-летней мидии составляло $142-156 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сух. массы в раковинах – $479-686 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сух. массы. Среднее содержание Fe в мягких тканях почти во всех возрастных группах ниже, чем в раковинах. Концентрация Fe в мягких тканях 2-летней мидии равна $111,65 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сух. массы или $20,7 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сыр. массы. В связи с тем, что мидия была собрана на стальных сваях дельфинария, можно предположить, что их раковины, находившиеся в непосредственном контакте с металлом, оказались наиболее загрязненными железом. Даже после тщательной очистки поверхности раковин мидии от обрастаний, они оставались ржавого цвета. Ржавчина проникла и во внутренние слои створок моллюсков, поэтому содержание железа в раковине была больше, чем в мягких тканях.

Содержание Cd , Pb , Cu , Zn в мягких тканях мидии промысловых размеров (более 4 см), которые нормируются санитарными нормами, для моллюсков из крымских бухт (Севастопольская, Казачья, Ласпинская) в 1,5 – 10 раз меньше ПДК, а для глубинных поселений (Карадагский заповедник, мыс Тарханкут и Ялтинский залив) – на один-два порядка меньше.

Зависимости содержания тяжёлых металлов в мягких тканях и раковинах от возраста мидии описываются экспонентой или параболой с достаточно высокими коэффициентами детерминации (табл. 1, рис. 6). Аналогичные уравнения получены и для моллюсков из других районов исследований.

Для мягких тканей и раковин мидии существуют сезонные различия в содержании некоторых тяжёлых металлов (рис. 7). Содержание Fe , Ni , Cd , Zn , Cu и Pb в мягких тканях мидии достоверно зависит от сезона года: в тёплый период концентрация Fe , Ni , Cd и Zn увеличивается, а содержание Pb и Cu уменьшается. В раковинах мидии концентрация Cd и Zn увеличиваются в весенне-летний, а Fe – в летне-осенний период.

Культивируемые мидии. Для расчёта ёмкости мидийной плантации по содержанию ТМ были использованы данные по масс-размерно-возрастной структуре поселений моллюсков и содержание ТМ в мидии на экспериментальном 5-летнем коллекторе. Установлено, что максимальное содержание ТМ в тканях находится в 3-летних мидиях (рис. 8). Для раковин наблюдается сходная тенденция по Fe , Cd , Ni , Zn , а максимальные содержания Cu и Pb находятся в мидии 5-летней возрастной группы. Основная масса ТМ депонируется в раковинах моллюсков, а в мягких тканях находится не более 9–17% общего количества исследуемых элементов.

Таблица 1

Уравнения зависимости содержания химических элементов (Y , $\text{мкг}\cdot\text{г}^{-1}$ сух. массы) в мягких тканях и раковинах мидии *M. galloprovincialis* от возраста (X , год) моллюсков из Казачьей бухты, R^2 - коэффициент детерминации

Элемент	Мидия	Уравнение	R^2
Cd	Мягкие ткани	$Y = 0,79 + 0,26 X + 0,039 X^2$	0,65
	Раковины	$Y = 0,13 - 0,04 X + 0,07 X^2$	0,75
Pb	Мягкие ткани	$\ln(Y) = 0,3 X - 0,18$	0,85
	Раковины	$Y = 0,4 - 0,31 X + 0,13 X^2$	0,84
Cu	Мягкие ткани	$Y = -0,1 + 3,17 X - 0,22 X^2$	0,75
	Раковины	$Y = 0,64 - 0,61 X + 0,31 X^2$	0,75
Ni	Мягкие ткани	$\ln(Y) = 0,1 X + 0,12$	0,25
	Раковины	$Y = 0,99 - 0,49 X + 0,1 X^2$	0,41
Zn	Мягкие ткани	$Y = 102,37 + 25,19 X + 0,88 X^2$	0,69
	Раковины	$Y = 78,36 - 24,37 X + 8,95 X^2$	0,85
Fe	Мягкие ткани	$Y = 65,77 + 27,36 X - 2,21 X^2$	0,96
	Раковины	$Y = 192,33 + 93,23 X - 4,09 X^2$	0,91

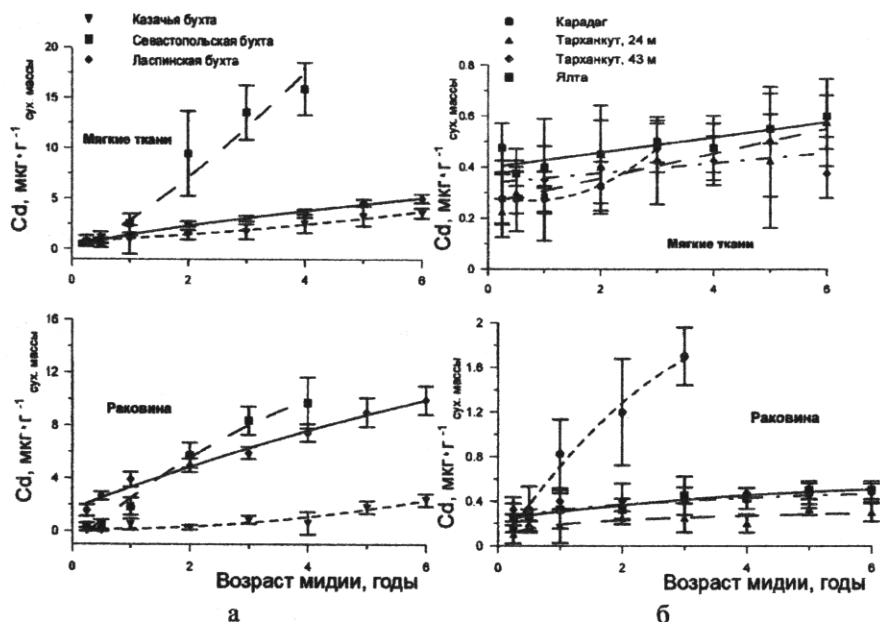


Рис. 6. Зависимость содержания кадмия в мягких тканях и раковинах мидии *M. galloprovincialis* от возраста моллюска из Севастопольской, Казачьей и Ласпинской бухт (а) и из акваторий мыса Тарханкут, Карадагского заповедника и Ялтинского залива (б); ($M \pm m$, $p \geq 0,95$)

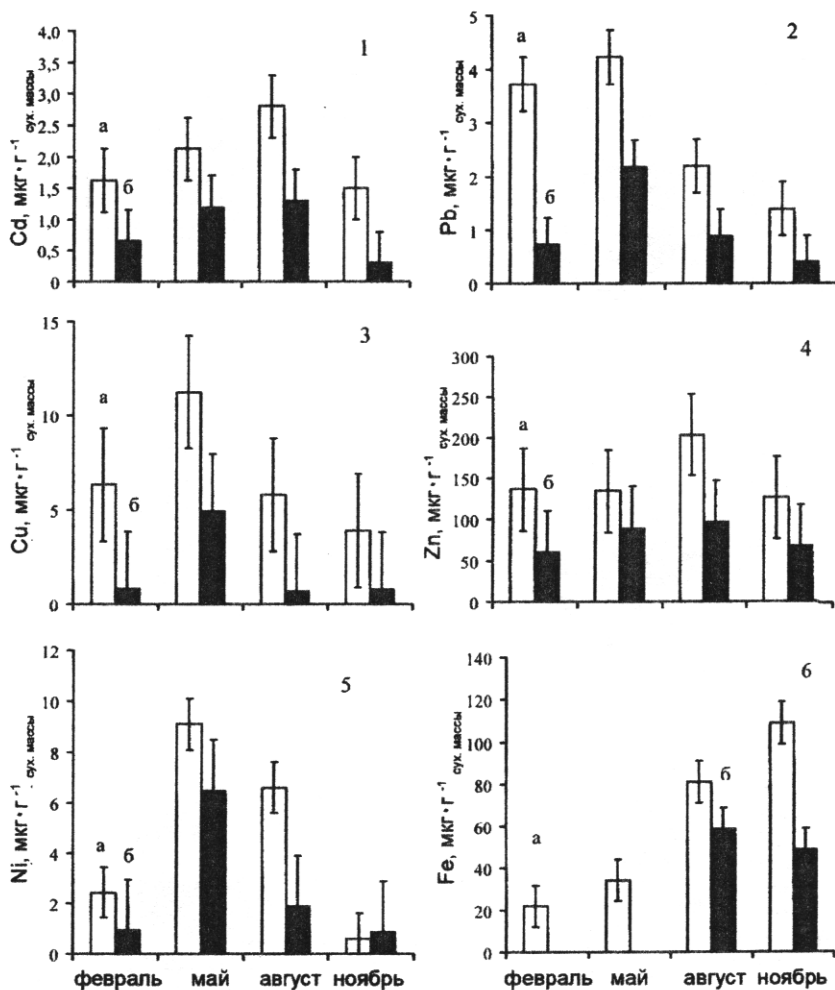


Рис. 7. Содержание кадмия (1), свинца (2), меди (3), цинка (4), никеля (5) и железа (6) в мягких тканях (а) и раковинах (б) двухлетней мидии *M. galloprovincialis* из Казачьей бухты в разные сезоны года; ($M \pm m$, $p \geq 0,95$)

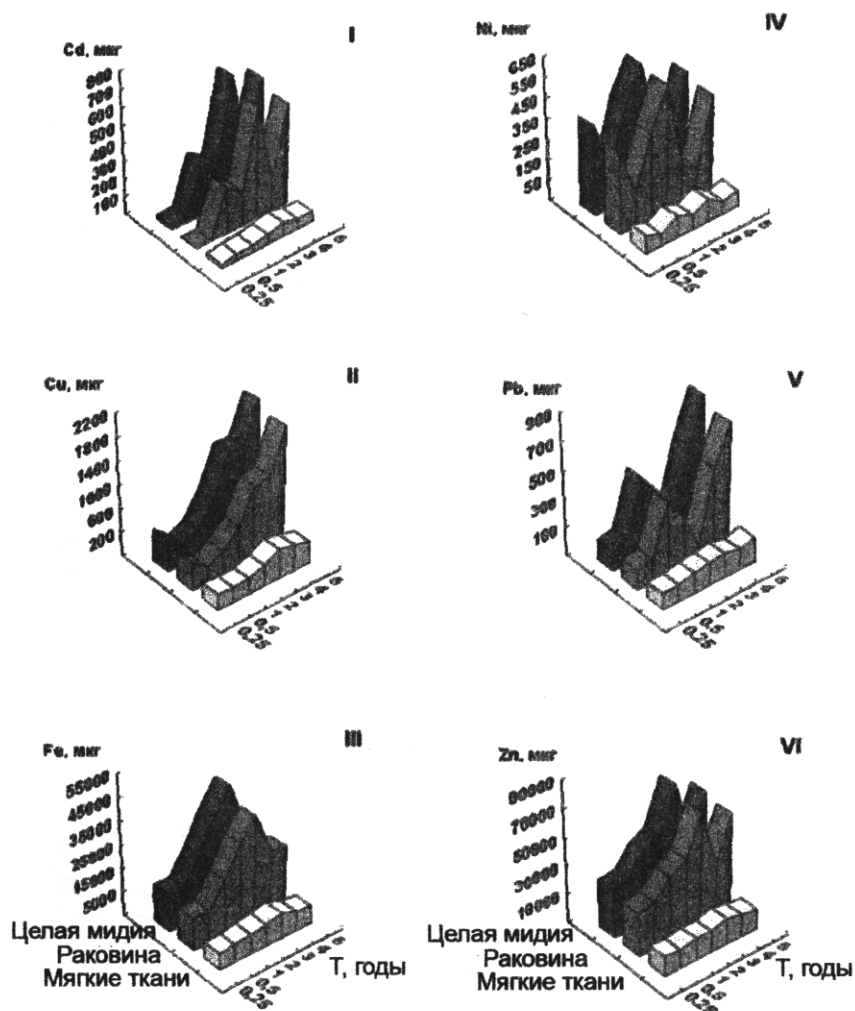


Рис. 8. Распределение кадмия (I), меди (II), железа (III), никеля (IV), свинца (V) и цинка (VI) в мидии *M. galloprovincialis* различных возрастных групп (T, год) на одном погонном метре коллектора из Казачьей бухты

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ МИДИИ *M. GALLOPROVINCIALIS* ИЗ РАЗНЫХ АКВАТОРИЙ ЧЁРНОГО МОРЯ

Для сравнения уровней загрязнения тяжёлыми металлами мидий в исследуемых районах крымского побережья Чёрного моря было определено их содержание в мягких тканях и раковинах одновозрастных моллюсков (табл. 2, 3). Средние значения содержаний ТМ в мягких тканях и раковинах 2-летней мидии в порядке убывания от максимальных величин к минимальным составляют следующие ряды в зависимости от района отбора проб. В конце ряда приведены средние значения содержаний ТМ в мидиях для исследованных бухт крымского побережья Чёрного моря.

Содержание ТМ в мягких тканях мидии (мягкие ткани, $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сух. массы) (в конце ряда приведены средние значения концентрации ТМ, $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сух. массы):

Cd – Севастопольская бухта > Ласпинская бухта > Казачья бухта – 3,65;

Pb – Севастопольская бухта > Ласпинская бухта > Казачья бухта – 6,61;

Cu – Севастопольская бухта > Ласпинская бухта > Казачья бухта – 8,56;

Zn – Севастопольская бухта > Казачья бухта > Ласпинская бухта – 150;

Ni – Ласпинская бухта > Севастопольская бухта > Казачья бухта – 3,03;

Fe – Ласпинская бухта > Казачья бухта > Севастопольская бухта – 134.

Для раковин мидии эти ряды представлены в следующем виде:

Cd – Севастопольская бухта > Ласпинская бухта > Казачья бухта – 3,59;

Pb – Севастопольская бухта > Ласпинская бухта > Казачья бухта – 6,83;

Cu – Ласпинская бухта > Севастопольская бухта > Казачья бухта – 6,00;

Zn – Казачья бухта > Ласпинская бухта > Севастопольская бухта – 30,17;

Ni – Ласпинская бухта > Севастопольская бухта > Казачья бухта – 13,44;

Fe – Казачья бухта > Севастопольская бухта > Ласпинская бухта – 155,84.

Для глубинных поселений мидии по уменьшению содержания тяжелых металлов в мягких тканях мидии построены такие ряды (в конце ряда приведены средние величины ТМ $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сух. массы):

Cd – Ялтинский зал. > м. Тарханкут (43) > м. Тарханкут (24) > Карадаг – 0,38

Pb – м. Тарханкут (43) > Ялтинский зал. > м. Тарханкут (24) > Карадаг – 0,50

Cu – м. Тарханкут (24) > Карадаг > Ялтинский зал. > м. Тарханкут (43) – 2,43

Ni – Ялтинский зал. > Карадаг > м. Тарханкут (24) > м. Тарханкут (43) – 0,89

Zn – Ялтинский зал. > Карадаг > м. Тарханкут (43) > м. Тарханкут (24) – 53,67

Fe – Ялтинский зал. > Карадаг > м. Тарханкут (24) > м. Тарханкут (43) – 443,8.

Для раковин мидии эти ряды представлены в следующем виде:

Cd – Карадаг > м. Тарханкут (43) > Ялтинский зал. > м. Тарханкут (24) – 0,56

Pb – Ялтинский зал. > м. Тарханкут (43) > Карадаг > м. Тарханкут (24) – 6,29

Cu – Карадаг > Ялтинский зал. > м. Тарханкут (24) > м. Тарханкут (43) – 8,96

Ni – Ялтинский зал. > Карадаг > м. Тарханкут (24) > м. Тарханкут (43) – 13,47

Zn – Ялтинский зал. > м. Тарханкут (24) > м. Тарханкут (43) > Карадаг – 9,62

Fe – Ялтинский зал. > Карадаг > м. Тарханкут (24) > м. Тарханкут (43) – 358,92.

Таблица 2

Средние значения содержания тяжёлых металлов в мягких тканях и раковинах 2-летней мидии *Mytilus galloprovincialis* из разных районов крымского побережья Чёрного моря:

I – III - Казачья, Севастопольская, Ласпинская бухты; IV – VII акватории Карадагского заповедника, м. Тарханкут (24 и 43 м) и Ялтинского залива

Район	Ср. длина раковин, мм	Химический элемент, мкг·г ⁻¹ сух. массы					
		Cd	Pb	Cu	Ni	Zn	Fe
Мягкие ткани мидии							
I	47,6±1,77	1,47±0,3	1,52±0,2	5,36±0,9	1,38±0,3	156,27±12	111,65±6
II	51,0±3,65	7,08±0,5	12,92±0,7	14,3±1,3	2,75±0,4	161,02±7,6	94,65±6
III	40,9±2,36	2,32±0,2	5,49±1,2	7,24±0,8	4,87±0,6	118,76±10	147,04±11
Среднее	46,5±5,1	3,62±3,02	6,64±5,79	8,97±4,71	3±1,76	145,35±23,2	117,8±26,7
IV	34,9±0,18	0,33±0,08	0,4±0,11	1,72±0,12	0,88±0,25	71,72±5,8	547,58±55
V	43,3±0,34	0,36±0,03	0,47±0,09	5,08±0,7	0,81±0,05	25,84±5,2	192,48±14
VI	25,9±0,49	0,38±0,06	0,62±0,07	1,41±0,1	0,73±0,07	38,09±2,2	96,37±3,7
VII	39,7±0,57	0,46±0,04	0,5±0,05	1,5±0,06	1,15±0,1	79,04±4,5	938,8±45
Среднее	36,0±7,5	0,38±0,06	0,5±0,09	2,43±1,77	0,89±0,18	53,67±25,73	443±382
Раковины мидии							
I	47,6±1,77	0,33±0,08	0,3±0,02	0,66±0,05	0,41±0,06	65,42±4,7	362,43±16
II	51,0±3,65	5,55±0,7	13,1±5,7	7,39±2,5	12,06±4,4	12,06±2,4	54,99±5,7
III	40,9±2,36	4,88±0,9	7,08±3,3	9,95±1,2	27,85±4,8	13,02±3,1	50,1±4,8
Среднее	46,5±5,1	3,59±2,84	6,83±6,4	6±4,8	13,44±3,77	30,17±30,53	156±179
IV	34,9±0,18	1,28±0,25	1,04±0,3	10,07±1,1	14,96±0,8	7,87±1,2	316,93±22
V	43,3 ±0,34	0,23±0,05	0,35±0,07	8,58±0,8	11,91±0,5	10,92±0,9	143,14±1,1
VI	25,9±0,49	0,37±0,04	10,28±0,5	7,66±0,5	10,97±0,4	8,15±0,5	12,43±0,9
VII	39,7±0,57	0,36±0,04	13,48±2,7	9,54±2,3	16,05±0,7	11,52±2,7	963,19±38
Среднее	36,0±7,5	0,56±0,48	6,29±6,59	8,96±1,07	13,47±2,42	9,62±1,87	359±422

Таким образом, по наиболее токсичным для человека из изучаемых химических элементов – кадмию и свинцу – самой загрязненной является Севастопольская бухта, а наименее – Казачья бухта. В раковинах мидии из Ялтинского залива отмечены экстремально высокие содержания железа, что свидетельствует о значительном техногенном влиянии глубоководного выпуска хозяйственно-бытовых и сточных вод Большой Ялты на морскую биоту.

Таблица 3

Минимальные и максимальные содержания тяжёлых металлов у 2-летней мидии *M. galloprovincialis* по разным районам исследования

Районы	Мягкие ткани мидии		Раковины мидии	
	Минимум	Максимум	Минимум	Максимум
Севастопольская бухта	<i>Fe</i>	<i>Cd, Zn, Cu, Pb</i>	–	<i>Cd</i>
Казачья бухта	–	–	<i>Ni, Pb, Cu</i>	<i>Zn</i>
Ласпинская бухта	–	<i>Ni</i>	–	<i>Ni</i>
М. Тарханкут (24 м)	<i>Zn</i>	–	<i>Cd</i>	–
М. Тарханкут (43 м)	<i>Ni, Cu</i>	–	<i>Fe</i>	–
Акватория Карадагского заповедника	<i>Cd, Pb</i>	–	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>
Ялтинский залив	–	<i>Fe</i>	–	<i>Pb, Fe</i>

Обобщение литературных и собственных данных по различным регионам Чёрного моря показало, что наибольшие значения кадмия в мягких тканях мидии из Севастопольской бухты оказались несколько ниже, чем для моллюсков, обитающих у мыса Фиолент (Бурдин, 1978), а также экстремально высоких значений ($126,7 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1} \text{ сух. массы}$), отмеченных ранее для мидий из указанной бухты (Шадрин, 1999). Наименьшие содержания кадмия получены для мидии из акватории Карадагского заповедника и некоторых районов юго-восточной части моря у турецкого побережья.

Максимальные значения свинца отмечены в мягких тканях мидии, обитающей в Севастопольской бухте, которые превосходят данные, полученные для моллюска из Казачьей и Ласпинской бухт, акваторий Карадагского заповедника, мыса Тарханкут и Ялтинского заливов в 8,5; 2,4; 32,3; 25,9; 20,9 и 27,5 раз, соответственно. Большое количество данных по содержанию *Pb* в мидии *M. galloprovincialis* приведено для турецкого сектора Чёрного моря (Kayhan, 2007, Ozden, 2008, Torcuğlu, 2003, Ünsal, 2001). Так, содержание *Pb* в мягких тканях мидии из района Босфора варьировали от 1,06 до $6,1 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1} \text{ сух. массы}$ (Kayhan, 2007), Трабзона – от 0,02 до $0,2 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1} \text{ сух. массы}$, Синопа – $1,7 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1} \text{ сух. массы}$; максимальное количество *Pb* приведено для юго-западной части турецкого сектора Чёрного моря ($40,2 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1} \text{ сух. массы}$) в районе выхода крупных рек (Ünsal, 2001).

По данным некоторых авторов, содержание тяжёлых металлов (кроме кадмия и свинца) в мягких тканях мидии не зависят от длины раковин (от 24 до 78 мм) во всём диапазоне размерных групп моллюсков (Бурдин, 1980, 1978), что противоречит нашим данным. Отмечено, что содержание тяжёлых метал-

лов в мягких тканях у разноразмерных групп мидии, собранных на одной станции, изменяются незначительно. Однако если сравнить данные этих работ с результатами, полученными нами, то видно, что содержание всех исследованных тяжёлых металлов по порядку величин совпадают.

Максимальные содержания меди в мягких тканях мидии обнаружены в северо-западной части Чёрного моря и лагуне Большого Утриша, а цинка и железа – в мидии из акваторий портов Батуми и Сухуми, открытой части бухты Капсель, в Севастопольской, Казачьей и Ласпинской бухтах, у мысов Фиолент и Херсонес, у берегов Румынии. Содержания никеля в мягких тканях мидии в бухте Капсель на порядок превосходят значения этого элемента, полученные нами для Ласпинской бухты и близки к турецким данным. Максимальные содержания железа отмечены в мягких тканях мидии из бухт Песчаная и Капсель (Безнос, 1986, Пашкова, 1993).

Анализ данных показал, что при исследовании содержания ТМ в мягких тканях и раковинах мидии *M. galloprovincialis* необходимо учитывать индивидуальный возраст моллюсков, который позволяет уменьшить разброс полученных данных. Кроме того, содержание ТМ в мягких тканях мидии возрастом до одного года из акваторий с различной антропогенной нагрузкой практически не отличаются, а с увеличением возраста моллюска до 6 лет содержание ТМ в мягких тканях и раковинах мидии из мелководных поселений увеличивается в соответствии с содержанием тяжёлых металлов в воде. Поэтому для биоиндикации качества морских вод рекомендуется выбирать мидии возрастом не менее двух лет.

Таким образом, по содержанию тяжёлых металлов в мидии, характеризующего техногенное загрязнение прибрежных районов Чёрного моря, к наименее загрязнённым акваториям относятся мысы Херсонес и Тарханкут, Большой Утриш, Карадагский заповедник, Казачья бухта, отдельные районы турецкого побережья Чёрного моря и места с отсутствием влияния на биоту стоков крупных рек. К наиболее неблагополучным районам относятся акватории городов Сухуми, Феодосии, Севастополя, Ялты, северо-западная часть моря и пролив Босфор.

ВЫВОДЫ

1. Для целей биоиндикации тяжёлых металлов в морской среде предложен новый методологический подход, заключающийся в использовании индивидуального возраста мидии *M. galloprovincialis*, характеризующего время нахождения моллюска в море, и обоснована возможность его применения в системе биомониторинга загрязнения токсикантами прибрежных акваторий.

2. Зависимости масс целой мидии, раковин и мягких тканей от индивидуального возраста моллюсков описываются степенной функцией с высокими коэффициентами детерминации ($R^2 \geq 0,96$).

3. Масс-размерная и возрастная структура мидийных поселений в Севастопольской и Ласпинской бухтах имеют сходство в том, что основную чис-

ленность составляли моллюски от одного года до 2-х лет. Для глубинных поселений мидии у мыса Тарханкут и Карадагского заповедника характерно преобладание возрастных групп моллюсков от 3 мес. до одного года, а в Ялтинском заливе – до 6 мес.

4. Установлено, что содержание тяжёлых металлов в мягких тканях и раковинах мидии возрастает с увеличением индивидуального возраста моллюсков и достоверно описывается степенной или параболической функциями с высокими коэффициентами детерминации ($R^2 \geq 0,94$).

5. Содержание тяжёлых металлов в мидии достоверно зависят от сезонов года: содержание *Fe*, *Ni*, *Cd*, *Zn* в мягких тканях увеличивается в тёплый период года, а *Pb* и *Cu* – уменьшается. Для раковин мидии содержания *Cd* и *Zn* увеличиваются в весенне-летний период, а *Fe* – в летне-осенний. Содержания всех химических элементов в мягких тканях мидии в 1,5 – 3 раза выше, чем в раковинах.

6. Концентрации *Cd*, *Pb*, *Cu*, *Zn* в мягких тканях мидии, культивируемой в Казачьей бухте, к моменту сбора урожая (~ 2 года) в 6 – 30 раз меньше ПДК, предъявляемым к пищевым продуктам. В других исследованных акваториях концентрации тяжелых металлов меньше ПДК в 1,5 – 10 раз, а для глубинных поселений мидии – меньше на один-два порядка.

7. Расчет ёмкости мидийной плантации по содержанию тяжёлых металлов с использованием размерно-возрастной структуры поселений моллюсков показал, что основная масса тяжелых металлов депонируется в раковинах мидий, а в мягких тканях находится не более 9–17 % общего количества исследуемых элементов. По уровню содержания тяжёлых металлов в тканях двухлетней мидии из природных популяций, наряду с другими показателями, можно рекомендовать перспективные места размещения хозяйств по выращиванию двустворчатых моллюсков в Чёрном море.

8. Проведено ранжирование акваторий по содержанию тяжёлых металлов в мидии. Мелководные районы представляют следующий ряд: Севастопольская бухта > Ласпинская бухта > Казачья бухта, а глубинные – Ялтинский залив > Карадаг > м. Тарханкут. По содержанию кадмия и свинца в мягких тканях и раковинах мидии самой загрязнённой является Севастопольская бухта, а наименее – Казачья бухта. В раковинах мидии из Ялтинского залива отмечены экстремально высокие концентрации свинца и железа, что свидетельствует о значительном техногенном влиянии на морскую биоту глубоководного выпуска хозяйственно-бытовых и сточных вод г. Ялты.

9. По суммарным показателям воздействия техногенного загрязнения на прибрежные районы Чёрного моря наиболее неблагополучными являются акватории городов Сухуми, Феодосии, Севастополя, Ялты, северо-западная часть моря и пролив Босфор. К наименее загрязнённым акваториям относятся мысы Херсонес и Тарханкут, Большой Утриш, Карадагский заповедник, Казачья бухта, отдельные районы турецкого побережья Чёрного моря и места с отсутствием влияния на биоту стоков крупных рек.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Козинцев А.Ф. Органическое вещество раковин черноморских устриц и мидий, их сходство и различие / А.Ф. Козинцев, Ю.А. Усс, М.В. Нехорошев // Докл. АН УССР. Сер. Б. Геол., хим. и биол. науки. – 1989. – № 4. – С. 62–65. (отбор проб, определение морфометрических показателей и возраста мидий, обобщение полученных данных, участие в написании статьи).
2. Романова З.А. Возраст, масс-размерные и биохимические показатели иловых мидий из разных районов Чёрного моря в период размножения / З.А. Романова, М.В. Нехорошев, А.Ф. Козинцев // Гидробиол. журн. – 1993. – № 6. – С. 57–65. (отбор проб, определение морфометрических показателей и возраста мидий, статистическая обработка результатов, участие в написании статьи).
3. Рябушко В.И. Ртуть в мидиях *Mytilus galloprovincialis* Lam. из бухт крымского побережья Черного моря / В.И. Рябушко, В.Н. Егоров, А.Ф. Козинцев, С.К. Костова, В.К. Шинкаренко // Морской экологический журн. – 2002. – Т. 1. – № 1. – С. 99–107. (отбор проб, определение морфометрических показателей и возраста мидий, статистическая обработка результатов, обобщение полученных данных, участие в написании статьи).
4. Рябушко Л.И. Распределение диатомовых водорослей на раковинах мидий *Mytilus galloprovincialis* Lam. из Чёрного моря в зависимости от возраста моллюсков / Л.И. Рябушко, А.Ф. Козинцев // Альгология. – 2003. – Т. 13. – № 1. – С. 48–54. (отбор проб, определение морфометрических показателей и возраста мидий, статистическая обработка результатов, участие в написании статьи).
5. Ryabushko L.I. Distribution of diatoms on the shells of Black Sea mussels *Mytilus galloprovincialis* Lam. depending on age of the mussels / L.I. Ryabushko, A.F. Kozintsev // Intern. J. on Algae. – 2003. – Vol. 5. – № 1. – P. 18–25. (отбор проб, определение морфометрических показателей и возраста мидий, статистическая обработка результатов, участие в написании статьи).
6. Рябушко В.И. Концентрация ртути в воде, донных отложениях и мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. на шельфе Крыма (Чёрное море) / В.И. Рябушко, А.Ф. Козинцев, С.К. Костова, Д.С. Парчевская, В.К. Шинкаренко // Морской экологический журн. – 2005. – Т. IV. – № 3. – С. 79–87. (отбор проб, определение морфометрических показателей и возраста мидий, статистическая обработка результатов, обобщение полученных данных, участие в написании статьи).
7. Козинцев А.Ф. Сезонная динамика содержания тяжёлых металлов в мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. из бухты Казачья Чёрного моря / А.Ф. Козинцев // Морской экологический журн. – 2006 – Т. V. – № 4. – С. 41–47. (отбор проб, определение морфометрических показателей и возраста мидий, статистическая обработка результатов, осуществление пробоподго-

товки для химического анализа тяжёлых металлов в мидии обобщение полученных данных, написание статьи).

8. Попов М.А. Влияние антропогенного фактора на гидрохимические условия, мидию *Mytilus galloprovincialis* Lam. и её эндосимбионты в Балаклавской бухте / М.А. Попов, Н.П. Ковригина, В.К. Мачковский, В.Л. Лозовский, А.Ф. Козинцев // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер.: біол. – 2010. – Вып. Гідроecологія, № 3 (44). – С. 205–208. (определение морфометрических показателей и возраста мидий, статистическая обработка результатов, участие в написании статьи).

9. Козинцев А.Ф. Накопление тяжелых металлов в мидиях, культивируемых в бухте Казачья Чёрного моря / А.Ф. Козинцев, В.И. Рябушко // Морські біотехнічні системи. – Вып. 2. – Севастополь. – 2002. – С. 222–230. (отбор проб, определение морфометрических показателей и возраста мидий, осуществлял пробоподготовку для химического анализа тяжелых металлов в мидии, статистическая обработка результатов, обобщение полученных данных, участие в написании статьи).

10. Рябушко В.И. Содержание тяжёлых металлов в мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. из бухты Казачья Черного моря / В.И. Рябушко, А.Ф. Козинцев, Т.Л. Макачук, В.К. Шинкаренко // Морські біотехнічні системи. – Вып. 2. – Севастополь. – 2002. – С. 215–221. (отбор проб, определение морфометрических показателей и возраста мидий, осуществлял пробоподготовку для химического анализа тяжелых металлов в мидии, статистическая обработка результатов, обобщение полученных данных, участие в написании статьи).

11. Козинцев А.Ф. Размерно-возрастная структура поселений мидии (*Mytilus galloprovincialis* Lam.) из Севастопольской бухты / А.Ф. Козинцев, А.М. Тоичкин // Рибне господарство України. – 2009. – 4(63). – С. 29–30. (отбор проб, определение морфометрических показателей и возраста мидий, статистическая обработка результатов, обобщение полученных данных, участие в написании статьи).

12. Нехорошев М.В., Усс Ю.А., Козинцев А.Ф. Содержание органического вещества в раковинах мидий: тез. докл. Всесоюз. совещ. [«Сырьевые ресурсы и биол. основы рац. использ. промысловых беспозвоночных»], (Владивосток, 22-24 нояб., 1988). – Владивосток, 1988. – С. 26.

13. Повчун А.С., Ревков Н.К., Валовая Н.Я., Козинцев А.Ф. Агрегация черноморских метиллид: различные варианты приспособления к среде: тез. докл. III Всесоюз. конф. по морской биологии (Севастополь, 18-20 окт. 1988 г.). – К., 1988. – Ч. I. – С. 239–240.

14. Рябушко В.И., Козинцев А.Ф. Использование возрастного маркера раковин при изучении накопления токсичных веществ у двустворчатых моллюсков: реф. докл. 5-го (14) совещ. по изучению моллюсков [«Морские моллюски: вопросы таксономии, экологии и филогении»], (Россия, СПб, 27-30 ноября 2000). – ЗИН РАН: Санкт-Петербург, 2000. – С. 71–73.

15. Ryabushko V.I., Egorov V.N., Kozintsev A.F., Kostova S.I., Shinkarenko V.K. Mercury content in the mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam. from the Crimean bays (the Black Sea): Abst. ECSA 34 [«Estuaries and other brackish areas – pollution barriers or sources to the sea?»], (Gdansk-Sopot, 15-20 Sept. 2002). – Gdansk-Sopot, 2002. – P. 69.

16. Мачкевский В.К. Изменчивость параметров популяции мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. и ее эндосимбионтов в районе Балаклавской бухты / В.К. Мачкевский, М.А. Попов, Н.П. Ковригина, В.Л. Лозовский, А.Ф. Козинцев: сб. науч. тр. [«Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа»]. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. – Вып. 25. – Ч. 1. – С. 417–428.

АННОТАЦИИ

Козинцев О.Ф. Мідія *Mytilus galloprovincialis* Lam. – біоіндикатор забруднення важкими металами прибережних вод Криму (Чорне море). – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук зі спеціальності 03.00.17 – гідробіологія. – Інститут гідробіології НАН України, Київ, 2013.

З метою проведення біоіндикації важких металів у морському середовищі запропоновано новий методологічний підхід, що полягає у використанні індивідуального віку мідії *Mytilus galloprovincialis*, який характеризує час знаходження молюска в морі, та обґрунтовано можливість його застосування в системі біомоніторингу забруднення токсикантами прибережних акваторій. Вперше було досліджено вміст кадмію, свинцю, міді, цинку, нікелю, заліза в м'яких тканинах й черепашках мідії з різних акваторій кримського прибережжя Чорного моря залежно від індивідуального віку молюсків, який описується за допомогою степеневі або параболічної функцій. Залежності мас цілої мідії, черепашки та м'яких тканин від індивідуального віку молюсків описуються за допомогою степеневі функції з високими коефіцієнтами детермінації ($R^2 \geq 0,96$). Вміст *Cd*, *Pb*, *Cu*, *Zn* в м'яких тканинах мідії промислових розмірів, культивованої в Козачій бухті, на час збору врожаю в 6 – 30 разів менший ГДК, що встановлено для харчових продуктів. За сумарними показниками впливу техногенного забруднення на прибережжі регіони Чорного моря найбільш неблагополучними є акваторії міст Сухумі, Феодосія, Севастополь, Ялта, північно-західна частина моря і протока Босфор. До найменше забруднених акваторій відносяться миси Херсонес і Тарханкут, Великий Утриш, Карадазький заповідник, Козача бухта, окремі райони турецького прибережжя Чорного моря та місця з відсутністю впливу на біоту стоків великих рік.

Ключові слова: мідія *Mytilus galloprovincialis*, вік, важкі метали, Чорне море.

Козинцев А.Ф. Мидия *Mytilus galloprovincialis* Lam. – биоиндикатор загрязнения тяжёлыми металлами прибрежных вод Крыма (Чёрное море). – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.17 – гидробиология. – Институт гидробиологии НАН Украины, Киев, 2013.

Для целей биоиндикации тяжёлых металлов в морской среде предложен новый методологический подход, заключающийся в использовании индивидуального возраста мидии *Mytilus galloprovincialis*, характеризующего время нахождения моллюска в море, и обоснована возможность его применения в системе биомониторинга загрязнения токсикантами прибрежных акваторий. Впервые исследованы содержания кадмия, свинца, меди, цинка, никеля, железа в мягких тканях и раковинах мидии из разных акваторий крымского побережья Чёрного моря в зависимости от индивидуального возраста моллюсков, которые описываются степенной или параболической функциями. Зависимости масс целой мидии, раковин и мягких тканей от индивидуального возраста моллюсков описываются степенной функцией с высокими коэффициентами детерминации ($R^2 \geq 0,96$). Содержание тяжёлых металлов в мидии достоверно зависят от сезонов года: содержание *Fe*, *Ni*, *Cd*, *Zn* в мягких тканях увеличивается в тёплый период года, а *Pb* и *Cu* – уменьшается. Для раковин мидии содержание *Cd* и *Zn* увеличивается в весенне-летний период, а *Fe* – в летне-осенний. Содержание всех химических элементов в мягких тканях мидии в 1,5 – 3 раза выше, чем в раковинах. Содержания *Cd*, *Pb*, *Cu*, *Zn* в мягких тканях мидии промысловых размеров (более 4 см), культивируемой в Казачьей бухте, к моменту сбора урожая (~ 2 года) в 6 – 30 раз меньше ПДК, предъявляемым к пищевым продуктам. Расчет ёмкости мидийной плантации по содержанию тяжёлых металлов с использованием размерно-возрастной структуры поселений моллюсков показал, что основная масса тяжелых металлов депонируется в раковинах моллюсков, а в мягких тканях находится не более 9–17 % общего количества исследуемых элементов. В районе глубоководного выпуска хозяйственно-бытовых и сточных вод Большой Ялты отмечены самые высокие содержания свинца и железа в раковинах мидии. По суммарным показателям воздействия техногенного загрязнения на прибрежные районы Чёрного моря наиболее неблагоприятными являются акватории городов Сухуми, Феодосии, Севастополя, Ялты, северо-западная часть моря и пролив Босфор. К наименее загрязнённым акваториям относятся мысы Херсонес и Тарханкут, Большой Утриш, Карадагский заповедник, Казачья бухта, отдельные районы турецкого побережья Чёрного моря и места с отсутствием влияния на биоту стоков крупных рек.

Ключевые слова: мидия *Mytilus galloprovincialis*, возраст, тяжёлые металлы, Чёрное море.

Kozintsev A.F. The mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam. is the biological indicator of pollution of the Crimean coastal waters (the Black Sea) with the heavy metals. - Manuscript.

Thesis of the dissertation for scientific degree of the Candidat of Biological Sciences in speciality 03.00.17 - hydrobiology. – Institute of Hydrobiology NAS of Ukraine, Kyiv, 2013.

For purposes of biological indication of heavy metals presence in the sea environment, the new methodological approach was provided, which consists in taking into account of the individual age of the mussel, *Mytilus galloprovincialis*, it shows the shellfish's living period spent in the sea; the approach was justified while running the biological monitoring for assessing the pollution degree of coastal waters with the toxicants. Never before the similar studies were run to reveal the level of cadmium, lead, copper, zinc, nickel, iron contained in the mussels' soft tissues and their shells which were took from the Black Sea's different areas of the Crimean coastal waters, depending on shellfishes' age described by power & quadratic functions. The dependence of the whole mussel's mass, shell and its soft tissues on shellfishes' individual age was described by power function with the high rates of determination ($R^2 \geq 0,96$). It is proved that the content of the heavy metals deposited in mussels depends on seasons: the concentration of *Fe*, *Ni*, *Cd*, *Zn* available in soft tissues increases during the warm season, but the level of *Pb* and *Cu* is reduced then. As to the shells, the concentrations of *Cd* and *Zn* are increased in them while spring and summer, the same concerns the *Fe*, but in summer and autumn. The concentrations of all chemical elements contained in the soft tissues of mussels 1,5 to 3 times higher compared to shells. The concentrations of *Cd*, *Pb*, *Cu*, *Zn*, which are available in the soft tissues of mussels of fishery sizes (more than 4 cm) and which are cultivated in Cozachya Bay until their harvesting (~ 2 years), are 6 to 30 times less than the maximum permissible concentration limits approved for food products. The calculation of capacity for the mussel plantations, considering of the concentration of heavy metals by means of the size-age structure applicable for settlements of shellfishes, has showed that the main mass of heavy metals deposited in the shells of mollusks, but the soft tissues contain no more than 9–17 % of elements being under studies. The highest concentrations of lead and iron were revealed in the shells of mussels found near the deep water discharge of sewage and household waters led from Greater Yalta. By the aggregate indices of the industrial pollution impact on the coastal areas of the Black Sea, the waters of the cities of Sukhumi, Feodosiya, Sevastopol, Yalta, the northwest part of the sea and the Bosphorus Strait are the most troubled ones. The least polluted waters are those of the Capes of Chersonese and Tarkhankut, Bolshoy Utrish, Karadag Reserve, the Kazachya Bay, separate regions of the Turkish Coast of the Black Sea and the places with no impact of large rivers' flows on the biota.

Keywords: mussel *Mytilus galloprovincialis*, age, heavy metals, the Black Sea.