

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ПРЕЗИДИУМ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ

на правах рукописи

ЧЕРНОВА ЕЛЕНА НИКОЛАЕВНА

ОЦЕНКА ХИМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В БЕЛОМ МОРЕ
ПО СОДЕРЖАНИЮ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОБЫКНОВЕННОЙ МИДИИ

03.00.16 - экология

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

Владивосток

1993

Работа выполнена в Тихоокеанском институте географии ДВО РАН

Научный руководитель: доктор Биологических наук, профессор
Н. К. Христофорова

Официальные оппоненты: доктор геолого-минерал. наук, профессор
В. В. Преображенский
кандидат биологических наук
В. И. Фадеев

Ведущая организация: Зоологический институт РАН

Защита диссертации состоится "16" *ноября* 1993 г
в "14" часов на заседании специализированного Совета
Д 002.06.03. при Президиуме ДВО РАН.

Адрес: 690022 Владивосток, проспект 100-летия Владивостоку,
159. Биолого-почвенный институт ДВО РАН.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной библиотеке
ДВО РАН.

Автореферат разослан "15" *октября* 1993 г.

Ученый секретарь специализированного Совета
кандидат биологических наук И. В. Каргавцева

Актуальность проблемы. В результате растущего загрязнения прибрежных вод морей и океанов все большее значение приобретает роль уровней токсичных веществ, в том числе и тяжелых металлов, в морской среде. Высокая изменчивость факторов среды в прибрежной зоне, затрудняющая прямое определение содержания загрязняющих веществ, обусловила применение косвенных оценок, в частности, биоиндикации и биомониторинга с использованием аккумулирующих организмов, которые не только позволяют иметь интегрированные во времени данные об уровнях токсикантов в среде, но и судить об их биологической доступности (Phillips, 1977, 1980; Bryan, 1980; Бурдин, 1985; Христофорова, 1989).

Наиболее полно удовлетворяют требованиям, предъявляемым к аккумулирующим организмам-индикаторам, двустворчатые моллюски-фильтраторы, а применение представителей рода *Mytilus* стало основой ряда международных и национальных программ по мониторингу уровней тяжелых металлов в прибрежных водах морей (Goldberg et al., 1978; Phillips, 1980; Farrington et al., 1983; Христофорова, 1985).

Однако, несмотря на увеличение антропогенного пресса на морские бассейны и контроль за качеством среды, многие из них, в частности, моря Северного ледовитого океана, играющие важную роль как источники рыбного и биологического сырья, продолжают оставаться практически не изученными с точки зрения загрязнения.

Система слежения за состоянием среды на Белом море только зарождается. И пока, в связи с отсутствием данных о загрязнении моря, наука не может ни объяснить, ни предсказать событий, подобных разрывавшейся в 1989 г. на Летнем берегу трагедии - массовой гибели морских животных. В оценках химико-экологического состояния водной среды настоятельно заинтересована и развивающаяся на Белом море марикультура. Поэтому необходимо было изучить Белое море с

биогеохимических позиций, провести оценку загрязнения его вод тяжелыми элементами, для чего мы использовали общепризнанный организм-индикатор - обыкновенную мидю *Mytilus edulis* L., образующую в этом море мощные литоральные и сублиторальные поселения с высокой численностью и биомассой и часто являющуюся ценозообразующим видом в прибрежной полосе.

Однако моллюски реагируют не только на изменение концентраций элементов в среде, но и изменяют свой химический состав в онтогенезе в связи с процессами роста, развития и размножения. Поэтому для каждого региона необходимо знание биолого-экологических особенностей используемого вида-индикатора в накоплении ими токсических веществ, для выбора оптимального возраста, размера и времени сбора моллюсков, необходимых для унификации наблюдений и повышения эффективности биомониторинга.

Цель и задачи работы. Цель работы - определение условий использования мидии Белого моря как организма-индикатора микроэлементов и оценка загрязнения этого моря тяжелыми металлами по содержанию элементов в моллюсках.

Для достижения этой цели необходимо было решить задачи как методического плана - изучить особенности изменения микроэлементного состава беломорской мидии как организма-индикатора, - так и сравнительно-биогеохимического:

- Исследовать изменения концентраций металлов в мягких тканях мидий, связанные с размером, возрастом и стадией репродуктивного цикла моллюсков.

- Изучить влияние среды обитания на концентрации микроэлементов в мидиях, культивируемых и литоральных.

- Определить эколого-биологические параметры стандартизации образцов, которые наиболее целесообразно использовать для биомо-

нитринга тяжелых металлов на Белом море.

- Определить фоновые уровни металлов Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni в мидиях Белого моря.

- Провести сравнительную оценку состояния среды в Канда-лакшском и Онежском заливах, используя мидию в качестве организма-индикатора.

Научная новизна и практическая значимость работы. Исследована роль возраста, размера, физиологического состояния и факторов среды в изменении концентрации элементов в тканях беломорской мидии. Установлено более существенное влияние веса и размера, чем возраста моллюсков, на уровень содержания металлов в их тканях и размерно-возрастной диапазон, в котором концентрации микроэлементов в моллюсках практически не изменяются. Выявлена низкая изменчивость концентраций металлов в моллюсках, в связи с их нерестом. Изучено влияние характера водообмена, специфики речного стока и заиления грунтов литорали и сублиторали Белого моря на концентрации тяжелых металлов в мидиях. Определены фоновые уровни содержания металлов в тканях мидий из прибрежных поселений в Канда-лакшском и Онежском заливах. Полученные данные по содержанию элементов в моллюсках из различных биотопов, а также в донных отложениях использованы для сравнительной оценки состояния прибрежных вод Кандалакшского и Онежского заливов Белого моря. В пределах исследованного региона выделены импактные районы природного и антропогенного происхождения.

Все перечисленное позволяет уточнить возможности использования беломорской мидии как организма-индикатора тяжелых металлов в морской среде для выявления биогеохимических особенностей мелководных акваторий Белого моря.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на II Тихоо-

кеанском симпозиуме по морским наукам (Находка, 1988г), Всесоюзной конференции "Заповедники СССР - их настоящее и будущее" (Новгород, 1990), II Всесоюзной конференции по рыбохозяйственной токсикологии (С-Петербург, 1991), У Региональной конференции по проблемам изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря (Петрозаводск, сентябрь, 1992); на научных семинарах ТИГ и ИБМ (1992, 1993 гг).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 8 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, описания природных условий в районе работ, материала, методов исследования, результатов и их обсуждения, заключения, выводов, списка литературы, включающего 159 источников, из которых 75 иностранных, и приложения. Общий объем работы 124 страницы. Диссертация иллюстрирована 23 таблицами и 15 рисунками.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу работы положены результаты материалов, собранных автором на Белом море в 1989 и 1991 гг. В работе использован опыт по применению двустворчатых моллюсков для контроля за загрязнением среды тяжелыми металлами, полученный автором на японских видах. Основным объектом исследования являлась обыкновенная мидия *Mytilus edulis* L. Дополнительно исследовались также фукус пузырчатый *Fucus vesiculosus* и мягкие грунты литорали и сублиторали в местах обитания моллюсков и под марикультурными плантациями. Основными районами работ были прибрежные воды Кандалякшского и Онежского заливов Белого моря (1989г.) и акватории, занимаемые марикультурными хозяйствами в южной части Кандалякшского залива (1991 г) (рис. 1).

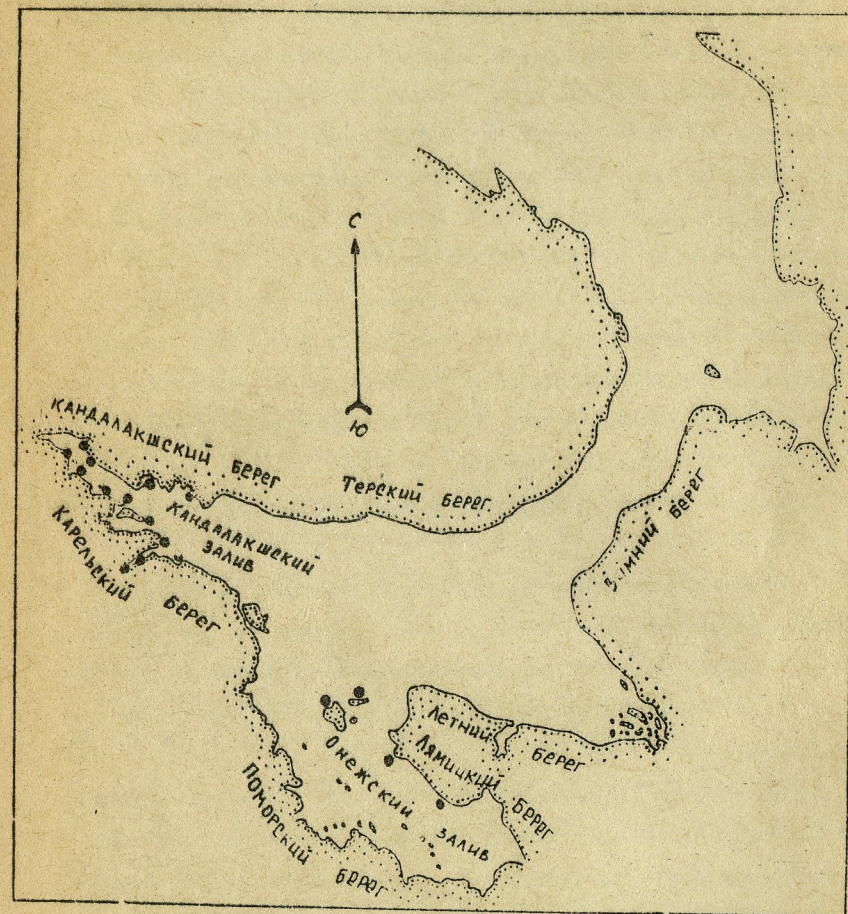


Рис. 1. Карта-схема района работ

● - станции сбор. проб

На литорали отбор проб проводился вручную во время отлива, в сублиторали пробы отбирались аквалангистами, в марикультурных хозяйствах - вручную с лодки. С каждой станции отбирали, как правило, 25-50 шт. относительно крупных особей доминирующего размера.

Особей с длиной раковины более 50 мм и весом более 0.5 г анализировали как отдельные образцы, мелких - группировали в пробу по 2-25 экземпляров в зависимости от размера. Всего собрано 859 проб моллюсков, 105 проб водорослей и 7 проб донных отложений. Все образцы после стандартной обработки проанализированы в лаборатории геохимии ТИГ ДВО РАН методом пламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии (Hitachi 180-70) на металлы Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni (ошибка определения не превышает 10-15%). Правильность и точность атомно-абсорбционного определения металлов в полученных растворах контролировалась систематическим анализом стандартных образцов (Лонщик, Петров, 1988), а возможное загрязнение исследуемых образцов в ходе анализа - регулярными холостыми пробами.

Для математической обработки данных использован стандартный пакет программ Statgraph.

При выборе элементов для изучения мы исходили из их биологической значимости (Fe, Mn, Cu, Zn), опасности для водных экосистем (Cd, Pb, Cu), металлогенической специализации региона (Ni, Cr, Cu), характера природных стоков (Fe, Mn), поступающих в Белое море.

Автор выражает глубокую благодарность проф. Н. К. Христофоровой за неизменное внимание к работе по ходу ее выполнения. Автор искренне признателен сотрудникам Беломорской биологической станции "Картеш" ЗИН РАН к. б. н. Э. Е. Кулаковскому, проф. В. В. Луканину, к. б. н. А. А. Сухотину, к. с. н. В. В. Федякову за помощь при сборе материала, а также сотрудникам лаборатории геохимии ТИГ ДВО РАН за

помощь в обработке проб, критические замечания, советы и поддержку.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение концентраций металлов в обыкновенной мидии в связи с размерами и возрастом моллюсков

Мидия съедобная *Mytilus edulis* L., обитающая в Белом море, отличается от представителей этого вида из других морей наибольшей продолжительностью жизни - 17-24 года (Савилов, 1953; Кузнецов, 1960), хотя известны сведения и о меньшей максимальной продолжительности (Максимович, 1978; Чемоданов, Максимович, 1983). Разнообразие мидиевых поселений на Белом море, имеющих различную размерно-возрастную структуру, затрудняет решение важного для биомониторинга вопроса о необходимом для стандартизации образцов размере и возрасте моллюсков. Имеющиеся литературные данные для разных районов земного шара по изменению концентраций элементов в мидиях в зависимости от возраста моллюсков не позволяют решить этот вопрос однозначно.

Изменение содержания микроэлементов в мидиях в связи с возрастом моллюсков изучалось на примере особей из искусственных и естественных поселений, где имелись моллюски равноразмерные и разновозрастные, одноразмерные и разновозрастные, равноразмерные и разновозрастные.

Наибольшие концентрации металлов наблюдаются у молодых моллюсков с высокой скоростью роста и у моллюсков меньших размеров с высокой удельной поверхностью тела. Они практически не увеличиваются у относительно старых мидий (табл. 1).

Показано, что влияние веса и размера особей на содержание ме-

таллов в моллюсках оказывается более значительным, чем возраста.

Таблица 1

Концентрации металлов (мкг/г сух. массы) в мидиях
в зависимости от их размера и возраста
(б. Круглая, гб. Чула, 12.07.91;

x - среднее, s - стандартное отклонение, n-количество проб,
* - различия достоверны для возрастных групп 3-4 и 5-6 лет;
** - различия достоверны для возрастных групп 5-6 и 8-12 лет)

Возраст (лет)	Размер (мм)	Сух. масса		Концентрации, мкг/г								
		(г)	n	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	Ni	
3-4	x	47.1	0.6	10	293*	6.2*	7.5*	101*	4.9*	3.6*	0.52*	1.37
	s	3.3	0.15		85	2.1	1.3	15	0.9	0.9	0.33	0.41
5-6	x	62.1	1.28	11	151	2.8	5.0	74	3.5	2.3	1.06**	1.37
	s	3.9	0.3		81	2.0	1.1	32	1.3	0.7	0.5	0.54
8-12	x	70.2	1.63	13	139	3.3	5.2	93	3.9	3.0	0.47	1.3
	s	8.1	0.64		59	1.6	1.1	73	1.3	0.9	0.27	1.1

Чтобы определить, какого размера мидий следует использовать в биомониторинге тяжелых металлов, исследовались выборки объединенных проб литоральных моллюсков, содержащих по 25 особей одинакового размера (The International..., 1980). С каждого места сбора отбиралось несколько проб моллюсков, различавшихся длиной раковин, в пределах выборки вычислялся коэффициент вариации (Cv.) концентраций металлов. Было показано, что в диапазоне размеров

25-45 мм полученные таким образом Cv средних концентраций элементов практически не отличаются от Cv, полученных при анализе индивидуальной изменчивости концентрации металлов в мидиях одинакового размера (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты вариации концентраций элементов
для мидий разных размеров

Место сбора	Длина раковин, диапазон (мм)	Коэффициент вариации (%)							
		Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni
О. Соловецкий, ниж. литораль	27-47	18	3	14	25	23	8	28	6
Устье р. Костарики, верх. лит. - верх. сублит.	36-51	50	27	13	10	9	15	38	14
Б. Круглая, гб. Чула, марикультурные установки	44-50	29	34	17	15	18	25	63	30

Таким образом, для литоральных моллюсков этих размеров характерна невысокая дисперсия величин концентраций металлов. Если принять во внимание существование в онтогенезе мидий периода с практически не меняющимися концентрациями металлов, который устанавливается благодаря равенству скоростей абсорбции и экскреции элементов (Cossa, 1990), то в литоральных моллюсках Белого моря это равновесное плато достигается у мидий с размерами 25-45 мм, что соответствует возрастному диапазону примерно 5-10 лет. Если мидии данных размеров находятся в одинаковом физиологическом состоянии, то при прочих равных условиях концентрации Fe, Mn, Cu, Zn, Cd в их тканях практически не меняются, поэтому для биомони-

торинга тяжелых металлов в среде наиболее целесообразно использовать моллюсков именно этих размеров.

Сезонные изменения концентраций элементов в беломорской мидии

Рассмотрим динамику содержаний металлов в беломорской мидии в летний период в связи с репродуктивным циклом и изменением массы мягких тканей.

Согласно Сухотину (1989), в культивируемых моллюсках с января по май-июнь происходит накопление сухой массы тканей (рис. 2). В июле наблюдается резкое падение массы тела за счет начавшегося нереста. В августе возможен некоторый рост массы и далее - до октября вновь ее снижение. Увеличение сухой массы начинается в ноябре. Масса мягких тканей литоральных моллюсков имеет большую амплитуду колебаний, хотя среднемесячные значения массы отличаются незначительно.

Наши данные по летним изменениям сухой массы, суммарного количества элементов и их концентраций в мидиях, культивируемых в Обориной Салме и б. Круглой, а также живущих на литорали в Обориной Салме, представлены на рис. 3, 4а, б. Как видно, снижение массы тела моллюсков продолжается как минимум два месяца - от начала июля до начала сентября и даже в октябре. Содержание микроэлементов в моллюсках максимально в преднерестовый период, а в мидиях, теряющих массу во время нереста, оно уменьшается. В октябре падение массы либо приостанавливается (б. Круглая), либо она начинает увеличиваться (Оборина Салма, искусственные субстраты), в это время суммарное содержание элементов также начинает возрастать.

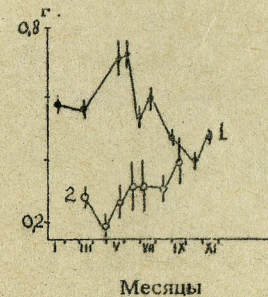


Рис.2. Сезонные изменения сухой массы мягких тканей беломорской мидии (по: Сухотин, 1989)

1 - искусственные субстраты
2 - литораль

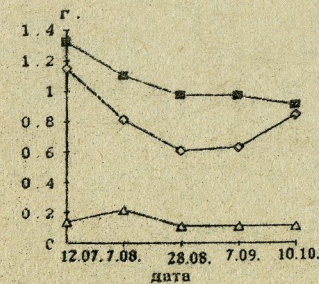


Рис.3. Изменение сухой массы мягких тканей беломорской мидии в летне-осеннее время (1991 г)
◇ - б.Круглая, марикультурные установки
■ - Оборина Салма, марикультурные установки
△ - Оборина Салма, литораль

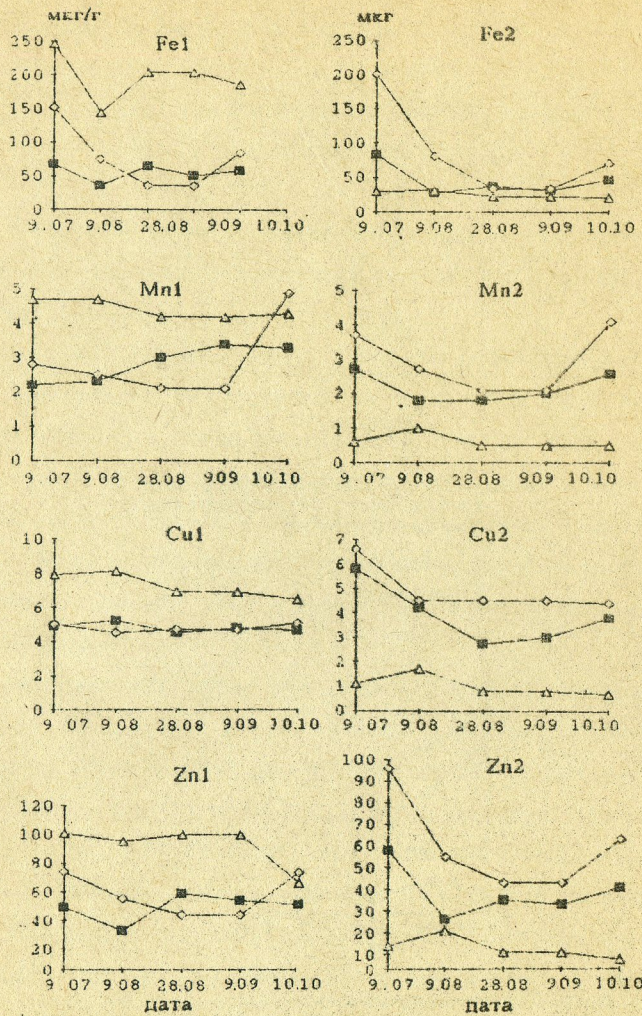


Рис.4а Сезонные изменения концентрации (1, $\mu\text{кг/г}$) и суммарных содержаний (2, $\mu\text{кг}$) металлов в мидиях Белого моря.

- Δ -Оборина Салма, литораль.
- \circ -о. Круглая, марикультурные установки
- \blacksquare - Оборина Салма, марикультурные установки

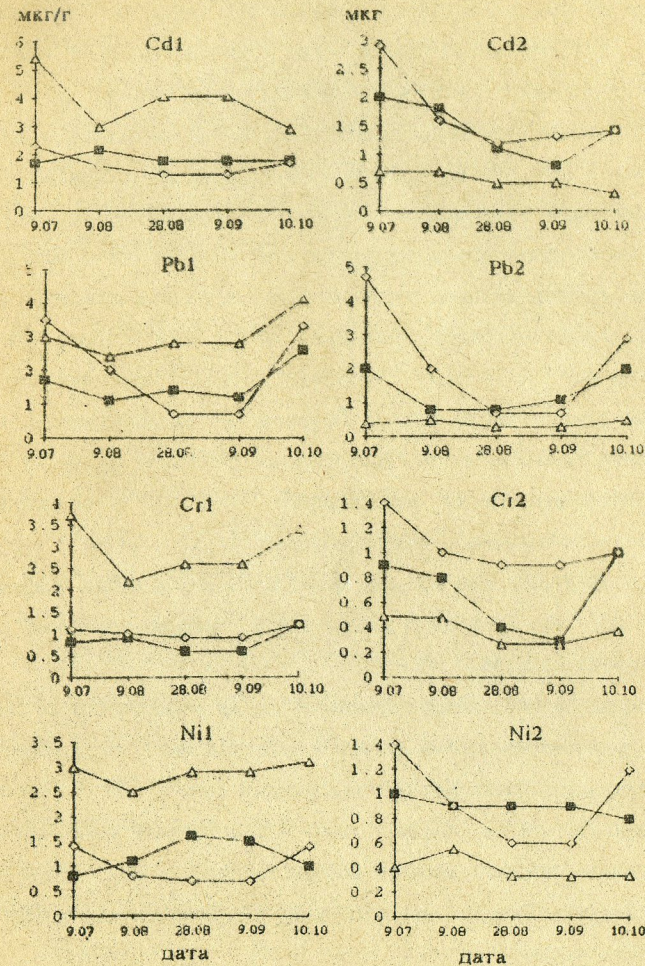


Рис. 4б. Обозначения те же, что и на рис.4а.

Изменение концентраций элементов в моллюсках в преднерестовом и посленерестовом периодах было значительно разнообразнее, чем изменение их общих содержаний, причем оно зависело от природы элемента и от характера биотопа. Оно зависело также от изменения массы мягких тканей, количества выведенных в момент нереста и после него металлов и от исходного содержания элементов в среде и организмах. Так, низкие в целом концентрации Zn в культивируемых мидиях еще более уменьшаются в момент нереста моллюсков, поскольку этот необходимый для воспроизводства, а также роста молодёжь би-элемент к этому времени перекачивается в гонады (Бойнар, 1960; Андреев, 1980; Воробьев, Самилкин, 1980), хотя в среде, где его достаточно или он находится в избытке, концентрации металла в тканях во время нереста либо не изменяются (Оборина Салма, литораль), либо увеличиваются (Японское море, -Кавун, 1990).

Аналогично увеличению концентраций металлов в моллюсках во время осеннего паводка в Японском море (Кавун, 1990), весеннее половодье на Белом море (апрель-июнь) приводит к росту концентраций Cu, Cd, Pb, Cr и Ni в тканях мидий, которые снижаются к моменту нереста (рис. 5).

Благодаря низкой потере массы во время нереста (около 30% - рассчитано по литературным данным и собственным), по сравнению с черноморскими и япономорскими моллюсками (более 50% - Горомосова, Таможняя, 1980; Кавун, 1990), беломорские мидии теряют и меньшие количества металлов (в абсолютных величинах), что ведет к более сглаженной картине летне-осенних изменений концентраций металлов в их тканях.

Таким образом, во время преднереста и после него изменение концентраций металлов в беломорских мидиях контролируется тремя процессами - изменением массы мягких тканей, изменением скорости

эксcreции металлов и исходным содержанием металлов в среде. Сезонные изменения уровней металлов в беломорских мидиях выражены менее сильно, чем в черноморских и япономорских моллюсках, так же как и изменения массы тканей. В связи с этим мидиевый контроль состояния морской среды на Белом море можно проводить практически в любое время, исключая изменчивый паводковый период, но наиболее подходящим для регулярного мониторинга месяцем является, на наш взгляд, сентябрь - период наибольшей стабильности в среде и физиологическом состоянии мидий.

Влияние характера местообитаний мидий на концентрации металлов в их тканях

Влияние местообитания на содержание микроэлементов в съедобной мидии проявляется через те же факторы, которые формируют различные по биомассе, размерам, продолжительности жизни, скорости роста поселения: характер субстрата, прибойность, глубина обитания (Митилиды...1991; Голиков и др., 1988).

Исследование моллюсков из подвешной культуры, собранных в участках с различным водообменом, показало, что в условиях интенсивной динамики вод мидии достигают больших размеров и меньших концентраций металлов (участок 2, 3-метровая толща) (рис. 6).

Сравнительный анализ содержания металлов в мидиях, выращенных в толще воды и собранных на литорали и в сублиторали, показал, что моллюски из природных поселений имели значительно более высокие концентрации элементов. Кроме менее благоприятных условий для роста, обуславливающих меньшие размеры мидий и большие уровни концентрации элементов в тканях, литоральные и сублиторальные моллюски испытывают влияние стока с суши и влажности грунтов.

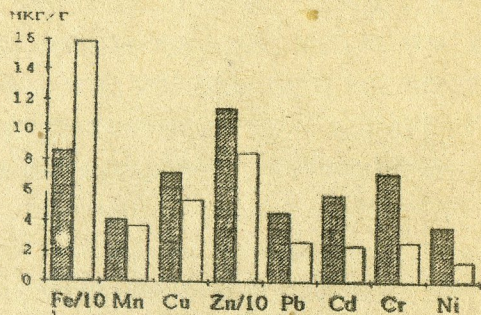


Рис.5. Концентрации металлов в 3-летних мидиях с коллекторов у м.Картеш (Кандалакшский залив. ■ - июнь, □ - июль)
* по: Христуфорова, Мильчакова, 1990;

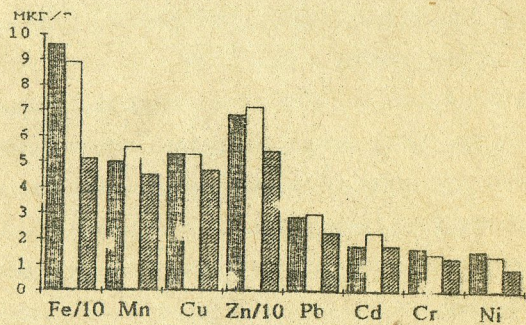


Рис.6. Концентрации металлов в культивируемых у Сонострова мидиях
■ - участок 1, подповерхностные воды
□ - участок 2, подповерхностные воды
▨ - участок 2, 3-метровая толща

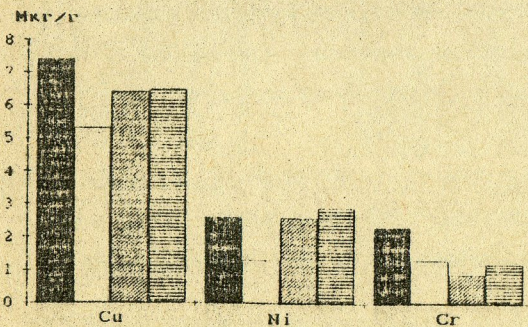
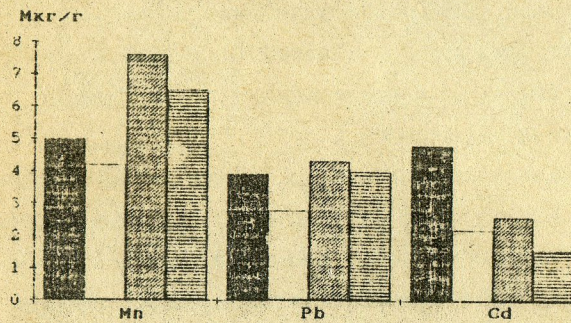
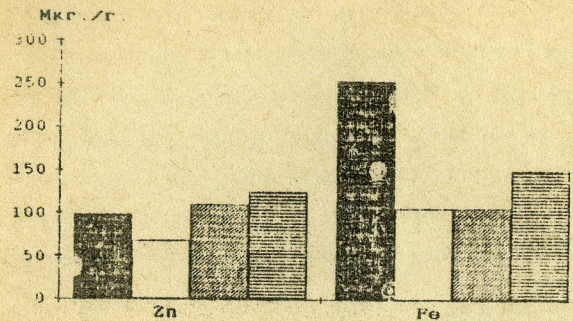


Рис. 7. Концентрации элементов в мидиях из искусственных и естественных поселений Белого и Японского морей
■ Белое море, литораль
□ Белое море, марикультурные установки
▨ Японское море, литораль
▩ Японское море, марикультурные установки

Если в моллюсках, обитающих на каменистых незаиленных грунтах, концентрации Ni и Cr сопоставимы с уровнями этих металлов в мидиях, выращенных в толще воды (Павлова и др., 1987; Морозов и др., 1984; Чернова и др., 1988; Чернова, неопубл.), то на заиленных грунтах в тканях моллюсков происходит увеличение количества всех изученных металлов, особенно хрома и никеля. Это связано с тем фактом, что увеличение пелитовой составляющей в составе грунтов влечет за собой увеличение концентраций металлов (Микроэлементы..., 1976).

Таким образом, характер местообитания оказывает влияние на содержание микроэлементов в моллюсках как непосредственно - через обмен со средой -, так и опосредованно - через изменение скорости роста и массы мягких тканей.

Наименьшие концентрации металлов имеют мидии, выращенные в толще воды в подвесной культуре в местах с хорошим водообменом и достаточным количеством пищи. Моллюски с высокой скоростью роста содержат более низкие количества металлов. Мидии обитающие на литорали и сублиторали, несмотря на разницу в скоростях роста, имеют сходные концентрации элементов, существенно превосходящие содержания металлов в культивируемых моллюсках.

Оценка химико-экологической ситуации в районах размещения
марикультурных хозяйств и заливах Белого моря
по микроэлементному составу съедобной мидии

Уровни металлов как в культивируемых моллюсках, так и в мидиях из природных поселений в районах размещения марикультурных хозяйств (рис. 8), не превышают предельно-допустимые концентрации этих элементов, установленные Минздравом СССР для морепродуктов

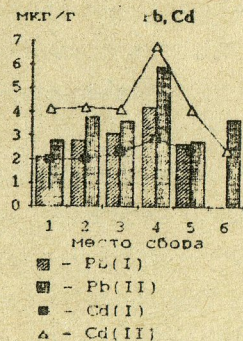
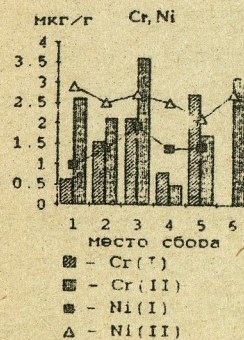
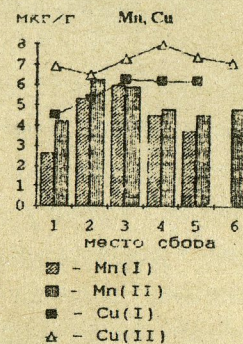
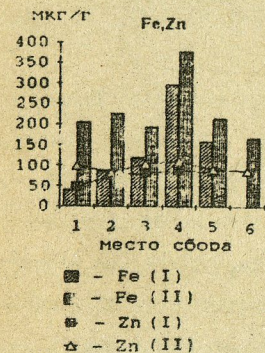
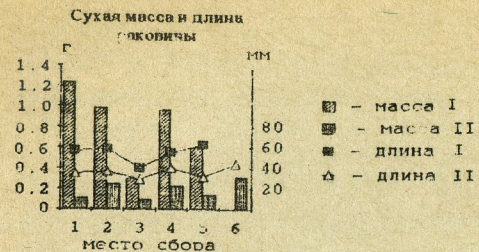


Рис. 8. Концентрации металлов в культивируемых (I) и литоральных (II) мидиях из районов марикультурных хозяйств Кандалакшского залива (июль, 1991)
1 - Оберина Салма, 2 - Соистров, 3 - г.б. Никольская, 4 - 6 Круглая илитый грунт, 5 - 6 Круглая, песчаный грунт, 6 - г.б. Кузовская

(Предельно допустимые... , 1986).

Концентрации металлов Fe, Zn, Mn и Ni в мидиях и водорослях Белого моря находятся в положительной корреляционной связи друг с другом, что свидетельствует об адекватности отражения состояния среды биоиндикаторами.

Согласно литературным данным и собственным наблюдениям, литоральные мидии Белого моря отличаются от мидий из других морей более высокими концентрациями Cu, Ni, Cr, Cd и Fe, а выращенные в толще воды - более низкими концентрациями Zn, Mn, Pb, Cu, Ni (табл. 3, рис. 7).

Высокие уровни Fe и Cd в литоральных моллюсках Белого моря - результат влияния кислого речного стока. Повышенные концентрации Cu, Ni и Cr в мидиях связаны с особенностями условий существования - обитанием на заиленных грунтах, что необходимо учитывать при сравнительной оценке уровней содержания элементов в моллюсках из разных акваторий, с субстратов с различной степенью заиления. Анализ содержания тяжелых металлов в донных отложениях в районах размещения марикультурных хозяйств в средней части Кандалакшского залива показал, что концентрации металлов в них сопоставимы с аналогичными по гранулометрическому составу осадками в незагрязненных акваториях.

Сравнение мидий, собранных на 19 станциях в Онежском и Кандалакшском заливах, показывает, что наименьшие концентрации элементов наблюдаются в обитателях литорали островов Ряшкова и Лодейного - в районе Кандалакшского заповедника (табл. 3). Поскольку эти величины самые малые из всех концентраций металлов, определенных нами в литоральных и сублиторальных мидиях для данного региона, то они могут быть приняты за нижние границы регионального фоновых уровней, которые, по нашему мнению, определяются пределами

Таблица 3

концентрации микроэлементов (мкг/г сух. массы) в литоральных мидиях Кандалакшского и Онежского заливов (* - Христофорова, 1993; ** - Бурдин, Савельев, 1976; в числителе - среднее, в знаменателе - стандартное отклонение)

Место сбора	Число проб/ станций	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	Ni
концентрации, мкг/г сух. массы									
Кандалакшский залив, сентябрь 1989									
Вершина	34/7	162	5,4	10,1	85	3,7	1,7	2,8	6,0
		32		0,7				0,7	0,9
Средняя часть	35/7	272	5,7	6,9	88	4,3	2,1	3,6	4,1
		107		0,5				1,2	0,5
о. Ряшкова	10/2	78	4,5	7,8	69	2,6	1,3	2,6	4,1
		10	0,6	0,4	8	0,3	0,3	0,6	0,7
Кандалакшский залив, июль 1991:									
средняя часть	64/10	233	5,4	7,3	105	3,9	5,0	3,3	2,7
		64	1,4	1,0	14	0,8	0,9	0,8	0,6
районы марикультуры	41/5	253	5,0	7,4	98	3,9	4,8	2,3	2,6
		64	1,4	1,0	14	0,8	0,9	0,8	0,6
	40/8	339	6,5	8,5	129	5,7	2,4	6,6	8,3
		17	0,3	0,4	11	0,3	0,1	1,1	0,6
июль 1976**									
	15/3	219	4,8	8,0	80	1,7	-	-	-
		35	0,4	3,1	15	1,5			
Онежский залив, сентябрь 1989									
Соловецкие о-ва,	21/5	438	9,0	8,6	107	2,2	2,2	3,8	4,7
Лямийский берег		53	1,3	1,0	19	0,5	0,4	1,6	0,7
Баренцево море, июнь 1987									
б. Дальнезеленшкая	25/2	225	5,9	7,6	119	-	3,2	0,7	3,5
		56	1,1	1,8	19		2,0	0,2	1,4

30-150 мкг/г сух. массы для Fe, 70-90 - для Zn, 4,5-6 - для Mn, 6-8 - для Cu, 3-4 - для Pb, 1,3-2 - для Cd, 2,5-3,5 - для Cr, 3-5 - для Ni.

Для сравнения приведем фоновые концентрации металлов в мидиях Японского моря: 80-100 для Fe; 80-120 для Zn; 4,5-5,5 для Mn; 5-8 для Cu; 3,5-5 для Pb; 1,2-2,5 для Cd; 0,5-1 для Cr; 1,5-2 мкг/г сух. массы для Ni (Кавун, 1991). Как видно, содержание микроэлементов в моллюсках из фоновых районов обеих морей сопоставимы, за исключением Zn, Cr и Ni.

Сравнение концентраций микроэлементов в мидиях из различных частей Кандалакшского и Онежского заливов дает основание полагать, что в водах Онежского залива концентрации Fe, Mn, Cu, Zn несколько выше, чем в срединной части Кандалакшского залива. Это связано, очевидно, с более высокими модулем речного стока, минерализацией, цветностью и концентрацией органического вещества в водотоках, впадающих в Онежский залив, а также с более значительным поступлением микроэлементов с атмосферным переносом (Новиков, 1986). Воды вершины Кандалакшского залива отличаются более высокими уровнями никеля и меди, что связано с металлогенической специализацией региона и техногенным влиянием на акваторию. Наблюдающееся в июне повышение концентраций металлов в мидиях, по сравнению с июлем, очевидно, связано с увеличением поступления элементов в воды заливов с поверхностным паводковым стоком.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Вес и размер моллюсков оказывают большее влияние на содержание металлов в их тканях, чем возраст. В беломорских мидиях в возрасте от 3 до 12 лет с увеличением линейного размера и массы моллюсков концентрации Fe, Mn, Cu, Pb, Cd уменьшаются. В мидиях

данного возрастного диапазона концентрации Zn, Cr, Ni практически не изменяются. В онтогенезе беломорских мидий имеется размерно-возрастной диапазон, внутри которого концентрации металлов в моллюсках практически не изменяются. В литоральных поселениях это моллюски в возрасте 5-10-лет, с длиной раковины 25-45 мм, которых наиболее целесообразно использовать для долговременного мониторинга тяжелых металлов на Белом море.

2. Выявлено, что сезонная динамика концентраций элементов в мидиях Белого моря, в отличие от мидий более южных морей, выражена слабо из-за низких потерь массы моллюсков при нересте и меньших абсолютных потерь количества металлов.

Наибольшие концентрации металлов в литоральных беломорских мидиях наблюдаются в июне, в связи с увеличением содержаний металлов в среде в половодье.

Мидиевый контроль состояния морской среды на Белом море можно проводить в любое время, исключая период весеннего паводка, но наиболее подходящим для регулярного мониторинга месяцем является сентябрь, период наиболее стабильного состояния в среде и физиологии мидий.

3. Специфической особенностью естественных биотопов мидии в Белом море является замкнутость грунтов, обуславливающая обогащение субстрата доступными для биоты формами элементов. Поэтому литоральные моллюски этого моря содержат повышенные концентрации Fe, Cu, Cd, Ni, Cr по сравнению с моллюсками, обитающими как в толще воды на искусственных субстратах, так и на более типичных для мидий скальных грунтах.

4. Для долговременного мониторинга тяжелых металлов на Белом море рекомендуется использовать литоральных мидий, как наиболее доступный и многочисленный материал. Для сравнительной оценки Fe-

лого моря с другими акваториями следует использовать моллюсков, выращиваемых в толще воды.

5. Фоновые уровни содержания металлов в тканях литральных мидий Белого моря составляют для: железа - 80-150; марганца - 4,5-6; меди - 6-7; цинка - 70-90; свинца - 3-4; кадмия - 1,3-2; хрома - 2,5-3,5; никеля - 3-5 мкг/г сух. массы.

Оценка районов размещения марикультурных хозяйств по содержанию тяжелых металлов в выращиваемой мидии свидетельствует об удовлетворительном состоянии акваторий, поскольку производимый в них товарный продукт отвечает санитарно-гигиеническим требованиям.

6. Исследование концентраций микроэлементов в обыкновенной мидии показало, что

а) воды кутовой части Кандалакшского залива обогащены медью, никелем ~~и цинком~~, в связи с распространенностью в Геломорском геологическом районе архейских основных и ультраосновных горных пород, обогащенных этими элементами, и разработкой медно-никелевых месторождений, загрязняющих водотоки, поступающие в Кандалакшский залив. б) воды Онежского залива по сравнению с Кандалакшским, имеют повышенные уровни железа, марганца меди и цинка как за счет большего терригенного стока, так и за счет высокой атмосферной составляющей баланса микроэлементов.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

1. Чернова Е. Н., Кавун В. Я., Христофорова Н. К. Оценка химико-экологических условий в районах культивирования моллюсков по микроэлементному составу съедобной мидии // Биология моря. 1988. №4. С. 71-74.

2. Христофорова Н. К., Кавун В. Я., Чернова Е. Н. Биомониторинг

тяжелых металлов в северо-западной части Тихого океана // Тез. докл. 2 Тихоокеанского симпозиума по морским наукам. Находка. 1988. С. 47-48.

3. Христофорова Н. К., Чернова Е. Н. Микроэлементный состав гигантской устрицы из заповедника (Японское море) // Биол. моря. 1989. №5. С. 54-60.

4. Христофорова Н. К., Чернова Е. Н., Кавун В. Я. Оценка состояния вод заповедных акваторий Приморья по микроэлементному составу // Тез. докл. Всес. конф. Заповедники СССР - их настоящее и будущее. Новгород. 1990. Ч. 1. С. 371-373.

5. Христофорова Н. К., Чернова Е. Н. Оценка экологической ситуации в акватории Амурского залива Японского моря по микроэлементному составу мидии и гребешковой устрицы // Биол. моря. 1991. №5. С. 75-82.

6. Чернова Е. Н. Концентрации тяжелых металлов в промысловых мидиях в акватории Петра Великого // Тез. докл. 2 Всес. конф. по рыбо-токсикологии. С-Петербург. 1991. С. 251-252.

7. Чернова Е. Н., Христофорова Н. К. Микроэлементный состав мидий, выращиваемых на Белом море // Тез. докл. V Региональной конф. по проблемам изучения, рационального использования и охраны прибрежных акваторий Белого моря (Петрозаводск, сентябрь 1992). 1992. С. 10-11.

8. Чернова Е. Н. Беломорокская мидия *Mutilus edulis*: изменение содержания тяжелых металлов в тканях в связи с размером и возрастом // Биол. моря. в печ.

Чернова