

**А. Н. Батян, Г. Т. Фрумин, В. Н. Базылев**

# **ОСНОВЫ ОБЩЕЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТОКСИКОЛОГИИ**

*Учебное пособие*

*Допущено Учебно-методическим Объединением  
по классическому университетскому образованию РФ  
в качестве учебного пособия для студентов высших  
учебных заведений, обучающихся по специальности  
«020801 – Экология» и направлению  
«020800 – Экология и природопользование»*

Санкт-Петербург  
СпецЛит  
2009

**Авторы:**

*Батян Анатолий Николаевич* — доктор медицинских наук, профессор кафедры радиобиологии и экологической медицины Международного государственного экологического университета им. Андрея Дмитриевича Сахарова (г. Минск, Республика Беларусь). Автор 5 изобретений и более 100 научных работ, в том числе трех монографий, 10 учебно-методических пособий.

*Фрумин Григорий Тевелевич* — доктор химических наук, профессор кафедры прикладной экологии Российского государственного гидрометеорологического университета. Автор и соавтор 28 изобретений и более 200 научных работ. Автор двух учебных пособий («Экологическая химия и экологическая токсикология», «Геоэкология: реальность, наукообразные мифы, ошибки, заблуждения») и соавтор одного учебного пособия («Экологическое нормирование и устойчивость природных систем»).

*Базылев Владимир Николаевич* — научный сотрудник лаборатории токсикологии Государственного учреждения «Научно-производственный центр „Институт фармакологии и биохимии Национальной Академии Наук Беларуси”», г. Минск. Автор 17 научных работ, в том числе 5 учебно-методических пособий.

**Рецензенты:**

*В. Д. Тонкопий* — доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией гидрохимии и экотоксикологии (Институт озераведения РАН), лауреат Государственной премии СССР.

*И. А. Гордей* — доктор биологических наук, профессор (Институт генетики и цитологии НАН Беларуси), заведующий лабораторией хромосомной инженерии.

**Батян А. Н., Фрумин Г. Т., Базылев В. Н.**

Б28 Основы общей и экологической токсикологии : учебное пособие / А. Н. Батян, Г. Т. Фрумин, В. Н. Базылев. — СПб. : СпецЛит, 2009. — 352 с.  
ISBN 978-5-299-00410-6

В учебном пособии представлены основные понятия токсикологии и экологической токсикологии. Обсуждаются приоритетные загрязняющие вещества и их экотоксикологические характеристики. Описаны методы экологического нормирования и принципы санитарно-гигиенической регламентации вредных веществ в объектах окружающей среды (атмосферном воздухе, воде и почве). Особое внимание уделено токсикомании (табакокурению, наркомании, алкоголизму). Материал может рассматриваться как основа для углубления и совершенствования токсикологического и эколого-токсикологического образования на уровне высшей школы.

Пособие предназначено для студентов, аспирантов и преподавателей экологических и медико-экологических факультетов высших учебных заведений, а также для научных работников и практиков, работающих в области охраны окружающей природной среды.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Условные сокращения</i> . . . . .	5
<i>Предисловие</i> . . . . .	7
<i>Введение</i> . . . . .	8
<b>Глава 1.</b> Приоритетные экотоксиканты . . . . .	12
1.1. Тяжелые металлы . . . . .	13
1.2. Полициклические ароматические углеводороды . . . . .	25
1.3. Хлорорганические пестициды . . . . .	27
1.4. Полихлорированные бифенилы . . . . .	29
1.5. Диоксин и диоксиноподобные соединения . . . . .	31
1.6. Фенолы . . . . .	35
1.7. Синтетические поверхностно-активные вещества . . . . .	36
1.8. Нефть и нефтепродукты . . . . .	38
1.9. Нитраты и нитриты . . . . .	40
<b>Глава 2.</b> Основные источники и виды антропогенного загрязнения биосферы . . . . .	44
2.1. Понятие о биосфере . . . . .	44
2.2. Основные источники и виды антропогенного загрязнения атмосферного воздуха . . . . .	48
2.3. Основные источники и виды антропогенного загрязнения почв . . . . .	58
<i>Кислотные загрязнения и их химические последствия для почвы</i> . . . . .	59
<i>Загрязнение почв тяжелыми металлами</i> . . . . .	60
<i>Загрязнение почв пестицидами</i> . . . . .	61
<i>Загрязнение почв твердыми бытовыми отходами</i> . . . . .	67
2.4. Основные источники и виды антропогенного загрязнения гидросферы . . . . .	69
<i>Антропогенное эвтрофирование водоемов</i> . . . . .	71
<i>Закисление (ацидификация) водоемов</i> . . . . .	76
<i>Химическое загрязнение водных объектов</i> . . . . .	82
<b>Глава 3.</b> Понятие о промышленных (производственных) ядах и отравлениях . . . . .	89
<b>Глава 4.</b> Критерии эколого-токсикологической оценки загрязняющих веществ . . . . .	94
4.1. Поступление химических веществ в окружающую среду . . . . .	94
4.2. Подвижность в окружающей среде (миграция) . . . . .	95
4.3. Стойкость в объектах внешней среды . . . . .	99
4.4. Способность к накоплению в биологических объектах . . . . .	100
<i>Водные организмы</i> . . . . .	100
<i>Наземные организмы</i> . . . . .	104
4.5. Метаболизм органических экотоксикантов . . . . .	106
4.6. Биотрансформация неорганических экотоксикантов . . . . .	111

<b>Глава 5.</b>	Токсикометрия химических веществ . . . . .	113
5.1.	Пробит-анализ . . . . .	119
5.2.	Экспрессные методы определения средних летальных доз (концентраций) . . . . .	122
5.3.	Хронические интоксикации при интермиттирующих воздействиях вредных веществ . . . . .	124
5.4.	Общие закономерности поступления, накопления, транспорта, распределения и выведения токсических веществ из организма. Биологические особенности организма и токсический эффект . . . . .	126
5.5.	Отдаленные эффекты воздействия химических соединений на организм человека и основные методы их изучения .	156
<b>Глава 6.</b>	Комбинированное действие ксенобиотиков . . . . .	178
6.1.	Формы воздействия токсичных веществ . . . . .	178
6.2.	Адаптационные характеристики водных экосистем . . . .	180
6.3.	Общие представления о развитии токсического эффекта при комбинированном и сочетанном действии веществ . .	185
<b>Глава 7.</b>	Методология установления предельно допустимых концентраций вредных веществ для рыбохозяйственных водоемов . . .	217
7.1.	Предельно допустимая концентрация, предельно допустимые сбросы, биотестирование . . . . .	217
7.2.	Основные недостатки системы рыбохозяйственных ПДК . .	225
<b>Глава 8.</b>	Установление гигиенических регламентов в различных средах	232
8.1.	Основные принципы регламентирования атмосферных загрязнений. Методы и критерии установления ПДК и оценка качества воздушной среды . . . . .	232
8.2.	Основные принципы регламентирования химических соединений в воде. Методы и способы обоснования ПДК вредных веществ в водной среде . . . . .	253
8.3.	Основные принципы регламентирования химических соединений в почве. Критерии и методы обоснования ПДК вредных веществ в почве . . . . .	286
<b>Глава 9.</b>	Токсичность и риск ксенобиотиков для человека . . . . .	312
9.1.	Количественные соотношения между токсичностью химических веществ для человека и их содержанием в нормальном организме . . . . .	319
9.2.	Количественная оценка риска здоровью населения при воздействии ксенобиотиков, загрязняющих окружающую среду . . . . .	321
	<i>Расчет риска здоровью в зависимости от качества атмосферного воздуха . . . . .</i>	322
	<i>Расчет риска здоровью в зависимости от качества питьевой воды . . . . .</i>	325
9.3.	Классификация источников риска смерти . . . . .	327
<b>Глава 10.</b>	Токсикометрия: сущность и основные проявления . . . . .	332
	<i>Вопросы для самопроверки . . . . .</i>	344
	<i>Литература . . . . .</i>	348

## УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

АДФ	– аденозиндифосфат
АКТГ	– адренокортикотропный гормон
АМФ	– аденозинмонофосфат
АТФ	– аденозинтрифосфат
АЭС	– атомная электростанция
БП	– бенз(а)пирен
БОВ	– боевые отравляющие вещества
БОК	– безопасное остаточное количество
БПК	– биохимическое потребление кислорода
ВМС	– высокомолекулярные соединения
ВНД	– высшая нервная деятельность
ВОЗ	– Всемирная организация здравоохранения
ГРЭС	– гидроэлектростанция
ГХЦГ	– гексахлорциклогексан (гексахлоран), инсектицид
2,4-Д	– дихлорфеноксиуксусная кислота (корнокс-Д, дипау), гербицид
ДДТ	– 4,4'-дихлордифенилтрихлорметилметан
ДДЕ	– 4,4'-дихлордифенилхлорметилметан
ДДД	– 4,4'-дихлордифенилдихлорметилметан
ДДВФ	– о,о-диметил-2,2-дихлорвинилфосфат (дихлорфос, нуван, вапона, фосвит, морин), инсектоакарицид
ДМНА	– диметилнитрозоамин
ДНК	– дезоксирибонуклеиновая кислота
ДНОК	– динитроортокрезол (4,6-динитро-о-крезол), гербицид
ДОК	– допустимое остаточное количество
ДХМ	– дихлоральмочевина, гербицид
ЖКТ	– желудочно-кишечный тракт
ЗВ	– загрязняющие вещества
ИАО	– интегральный адаптивный отклик
ИТС	– индекс токсичности смеси
ИФК	– изопропил-н-фенилкарбамат (профам), гербицид
КБА	– коэффициент биоаккумуляции
КНС	– кислото-нейтрализующая способность
ЛАО	– локальный адаптивный отклик
ЛОС	– летучие органические соединения
ЛПВ	– лимитирующий признак вредности
МНД	– максимально недействующая доза
МНК	– максимально недействующая концентрация
МПЭ	– модельный почвенный эталон
МЧС	– Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
МЭОС	– микросомальная этанолокисляющая система
НАДФ	– никотинамидадениндинуклеотидфосфат

ОБУВ	— ориентировочные безопасные уровни воздействия
ОПК	— ориентировочная пороговая концентрация
ОСФ	— оксидазы со смешанными функциями
ОЛТ	— относительная летальная токсичность
ПАВ	— поверхностно-активные вещества
ПАН	— пероксиацетилнитрат
ПАУ	— полициклические ароматические углеводороды
ПДВ	— предельно допустимые выбросы
ПДОК	— предельно допустимые остаточные количества
ПДК	— предельно допустимая концентрация
ПДС	— предельно допустимые сбросы
ПК	— пороговая концентрация
ПДУВ	— предельно допустимый уровень внесения
ПХБ	— полихлорированные бифенилы
ПХДД	— полихлорированные дибензо- <i>n</i> -диоксины
ПХДФ	— полихлорированные дибензофураны
ПХК	— полихлоркамфен (токсафен, килфен), десикант
ПХП	— полихлорпинен (стробан), десикант
РНК	— рибонуклеиновая кислота
РОВ	— растворенное органическое вещество
СМД	— сверхмалые дозы
СМК	— сверхмалые концентрации
СНГ	— Содружество Независимых Государств
СОД	— супероксиддисмутаза
СОЭ	— скорость оседания эритроцитов
СПАВ	— синтетические поверхностно-активные вещества
ТБО	— твердые бытовые отходы
ТМ	— тяжелые металлы
ТМТД	— тетраметилтиурамдисульфид (тирам), фунгицид
ТХФ	— трихлорфенол
ТХА Na	— трихлорацетат натрия, гербицид
ТЭС	— тепловая электрическая станция
ТЭЦ	— тепловая электрическая станция
УФО	— ультрафиолетовое облучение
ФАО	— Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН
ФАР	— фотосинтетическая активная радиация
ФОС	— фосфорорганические соединения
ХОП	— хлорорганические пестициды
ХОС	— хлорорганические соединения
ЦНС	— центральная нервная система
ЧС	— чрезвычайная ситуация
ЮНЕП	— программа ООН по окружающей среде
BAF	— фактор биомагнификации
BCF	— фактор биоконцентрирования
BMF	— фактор биомагнификации
2,3,7,8-TXDD	— 2,3,7,8-тетрахлоридибензопараоксин

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Современная эволюция человеческой цивилизации в своей основе обязана развитию искусственной среды или инфраструктуры человеческого общества. В связи с быстрым изменением материального состава окружающей среды, начавшимся в 50-х гг. XX столетия, выявилась необходимость в более глубоком изучении химических веществ, выпускаемых промышленностью, так как стала очевидной связь изменений окружающей среды с антропогенным и техногенным воздействиями, аварийными ситуациями, а также постоянным влиянием химических веществ на человека, животных и на растения. Это привело к необходимости найти новые подходы и сформулировать новые точки зрения на химические процессы, в связи с чем были введены понятия экологической химии и экологической токсикологии как направления исследований на стыке различных научных дисциплин.

Экологическая токсикология (экоотоксикология) – учение о биологических эффектах химических загрязняющих веществ, их влиянии на экосистемы и последствиях, ими вызываемых. Уже сами эти определения обуславливают актуальность и значимость знаний в данных областях как для экологического образования, так и для понимания проблем охраны окружающей среды.

Важнейшая цель предлагаемого учебного пособия – способствовать формированию у студентов концепции экологической оценки антропогенного воздействия химических веществ на биосферу и ее составные элементы (атмосферу, почву, воду).

Книга может быть использована на разных уровнях обучения. Вместе с тем актуальность проблемы и уровень изложения позволяют рекомендовать ее для широкого круга читателей и прежде всего для тех, кто занимается природоохранной деятельностью.

Авторы отдают себе отчет в том, что учебное пособие не лишено недостатков, обусловленных разнородностью содержащегося в нем материала, и заранее признательны за любые критические замечания и пожелания, которые позволят улучшить в будущем его содержание.

## ВВЕДЕНИЕ

Стратегия мониторинга токсического загрязнения окружающей среды в индустриально развитых странах основана на современных научных достижениях, из которых следует особо выделить два главных направления: экотоксикологический подход к анализу антропогенного воздействия на окружающую среду и использование концепции риска (анализа, оценки и управления риском).

Экотоксикология и оценка риска представляют собой сравнительно новые отрасли научного знания, тем не менее именно эти научные направления стоят в авангарде мировых тенденций развития методологии контроля качества природной среды и оценки экологической опасности.

Отправной точкой в выделении экотоксикологии как самостоятельной области знаний об окружающей среде явилась публикация «Принципы экотоксикологии», подготовленная в 1978 г. Международным научным комитетом по проблемам окружающей среды (SCOPE) и основанная на более ранних исследованиях, в частности по загрязнению окружающей среды радионуклидами. В этой публикации экотоксикология была определена как наука, изучающая воздействие поллютантов на окружающую среду и биоту. При этом человек рассматривался как наиболее важная часть биоты, а эффекты поллютантов на здоровье человека — как центральное звено в экотоксикологии (Никаноров А. М., Хоружая Т. А., 1999).

К настоящему времени выделены две главные причины тесной связи между деятельностью человека и экотоксикологией:

- человек изменяет окружающую среду, продуцирует и «выделяет» в нее все новые и новые поллютанты;
- все изменения в окружающей среде или биоте могут действовать (прямо или косвенно) на физическое, экономическое или эстетическое благополучие человека.

Термин «экотоксикология» введен в 1969 г. в Международном научном комитете по проблемам окружающей среды. В этом же комитете в 1978 г. было предложено считать термин официальным. Первое упоминание об экотоксикологии в научных публикациях появилось в конце 1960-х гг. Данное направление было предложено рассматривать как естественное ответвление токсикологии

(науки об изучении воздействия ядов на индивидуальные организмы) в направлении экологических эффектов поллютантов. Таким образом, токсикология рассматривает эффекты воздействия ксенобиотиков на отдельные организмы, а экотоксикология — их действие на экосистемы. Ксенобиотик может оказывать смертельное воздействие на индивидуальные организмы, но не иметь экологического значения. Нередко наблюдается обратная картина: малотоксичный поллютант является экотоксикантом.

Согласно современным представлениям, экотоксикология — это международное научное направление, связанное с изучением токсических эффектов химических веществ на живые организмы, преимущественно на популяции организмов и биоценозы, входящие в состав экосистем. Экотоксикология изучает источники поступления вредных веществ в окружающую среду, их распространение в окружающей среде, действие на живые организмы. Она оперирует как категориями общей экологии (экосистема, биоценоз, биотоп, биосфера и т. д.), общей токсикологии (яд, токсичность, опасность, токсический эффект и др.), так и собственными терминами (токсикант, экотоксикант, поллютант, суперэкотоксикант и др.) (Головко А. И. [и др.], 1999).

В самом термине «экотоксикология» ярко проявляется связь токсикологии с исследованием экосистем, причем не имеет значения, какие экосистемы рассматриваются — природные или культурные (созданные человеком).

Под вредным воздействием, наносимым соответствующей системе, в экотоксикологии понимают явные изменения обычных колебаний численности популяции; долгосрочные или необратимые изменения состояния экосистемы (Корте Ф., 1997 [и др.]).

К важнейшим задачам экотоксикологии относятся выявление степени вредности ее воздействия (в качественном и количественном отношении) и разработка лечебных мероприятий. Другой важной задачей экотоксикологии является выявление изменений видового состава и функций экосистемы. Такое же важное значение, как структурно-видовые изменения, имеют функциональные нарушения в экосистеме. В этом случае речь идет в принципе о контрольных количественных параметрах роста организмов и обмена веществ.

Если под экотоксикологией понимать одно из направлений исследования экосистем, то ее важнейшими частями должны быть проблемы сохранения — при работе с ненарушенными экосистемами и восстановления — для уже пострадавших систем. Обе эти цели могут быть достигнуты лишь на пути функционального моделирования. Однако, в связи с тем что нет никакой универсальной

модели, разработка таких моделей, а также создание лабораторных и математических моделей или подобные исследования в естественных условиях проводят, исходя из поставленной цели для решения какой-либо конкретной проблемы (Корте Ф., 1997 [и др.]).

Согласно А. М. Никанорову, Т. А. Хоружая (1999), термин «экоотоксикология» становится все более популярным, но часто его употребляют неправильно, путая с «токсикологией». Одно из главных отличий между классической токсикологией и экоотоксикологией состоит в том, что последняя имеет *четырёхкомпонентный предмет исследований*:

1. Вещества (поллютанты) освобождаются (выбрасываются) в окружающую среду; количества, формы и состояния поллютантов должны быть известны, если соответствующее «поведение» их уже было изучено.

2. Вещества транспортируются географически и в пределах различной биоты. При этом их химическая структура, вероятно, трансформируется, а содержание в окружающей среде повышается за счет накопления.

Важно, что «поведение» различных компонентов и их токсичность существенно отличаются. Природа этих процессов для основных загрязняющих веществ пока недостаточно изучена. Опасность, связанная с неопределенностью конечной судьбы некоторых химических веществ, возрастает, в связи с чем она должна быть установлена и обоснована документами в ближайшие годы.

3. Поллютанты воздействуют на один или более организм-мишень. Для того чтобы это оценить, нужно вначале идентифицировать природу мишеней (сам человек, домашний скот, популяция, экосистема и т. д.) и исследовать тип воздействия.

4. В классической токсикологии рассматривается отклик отдельного организма на воздействие загрязняющего вещества, в экоотоксикологии — отклик *популяции, сообщества или экосистемы* на воздействие загрязняющего вещества (возможно, трансформированного) в соответствующей временной шкале.

Все оценки конечных эффектов воздействия поллютантов на окружающую среду даются только в количественном выражении.

Главными направлениями экоотоксикологии в настоящее время считают:

— идентификацию загрязняющих веществ, их форм и компонентов в экосистеме, в которой они находятся;

— изучение эффектов воздействия загрязняющих веществ, в частности биохимических, физиологических и анатомических, на отдельных индивидуумов или небольшие группы отдельных

видов, что способствует выявлению мишеней воздействия на уровне индивидуума;

- изучение эффектов воздействия загрязняющих веществ на популяционном уровне, сравнение с видовыми эффектами, выделение наиболее чувствительных видов и наиболее важных эффектов для этих видов; это помогает выявить мишени и точки приложения на популяционном уровне;

- количественное изучение миграции поллютантов в экосистеме, в том числе количества токсикантов, достигающих мишени через воздух, воду, почву и пищу, времени циркуляции определенных концентраций токсикантов в этих средах, физиологии и метаболизма организмов-мишеней при воздействии этих концентраций;

- изучение комбинированных эффектов воздействия поллютантов для количественной и интегрированной оценки их воздействия на окружающую среду.

# Глава 1

## ПРИОРИТЕТНЫЕ ЭКОТОКСИКАНТЫ

Загрязняющие химические продукты классифицируют по источникам поступления, областям применения и характеру воздействия. Другим типом классификации химических продуктов является деление их на природные и не свойственные окружающей среде (ксенобиотики). Ксенобиотиками называют вещества, по своей структуре и биологическим свойствам чуждые биосфере и полученные исключительно в результате химического синтеза. Степень «несвойственности» таких химических веществ природе различна, так как по своей структуре они могут быть совсем близкими к природным веществам или полностью отличаться от них (например, идентичные природным ароматические вещества, выпускаемые промышленностью; близкие к природным инсектициды — синтетические пиретроиды, в противоположность соединениям с новой структурой, созданной человеком).

Разнообразие и большая численность загрязняющих веществ делают практически невозможным контроль над содержанием каждого из них в объектах окружающей среды. Поэтому выделяют группу так называемых приоритетных загрязняющих компонентов. Например, в «черный список», составленный в начале 1980-х гг. Агентством по охране окружающей среды США (EPA) и ответственными органами стран Европейского сообщества, входит 180 соединений, объединенных в 13 групп (Исидоров В. А., 2001):

- 1) хлорорганические пестициды;
- 2) фосфорорганические пестициды;
- 3) пестициды на основе феноксиуксусной кислоты;
- 4) азотсодержащие пестициды на основе триазина и мочевины;
- 5) летучие хлорорганические соединения;
- 6) «малолетучие» хлорорганические соединения;
- 7) хлорфенолы;
- 8) хлоранилины и хлорнитроароматические соединения;
- 9) полихлорированные и полибромированные бифенилы;
- 10) ароматические углеводороды;
- 11) полициклические ароматические углеводороды (ПАУ);
- 12) металлорганические соединения;
- 13) другие соединения.

Для обоснованного выбора приоритетных химических веществ обычно придерживаются определенных требований, изложенных в Международной программе по химической безопасности. Приоритетными считают вещества, имеющие следующие характеристики (Токсикометрия..., 1986; Дмитриев В. В., Фруммин Г. Т., 2004):

- широкое распространение вещества в окружающих человека микросредах и уровни его воздействия, способные вызвать неблагоприятные изменения в состоянии здоровья населения;

- устойчивость токсического вещества к воздействию факторов окружающей среды, его накопление в организме, включение в пищевые цепи или в природные процессы циркуляции веществ;

- частота и тяжесть неблагоприятных эффектов, наблюдаемых в состоянии здоровья населения при воздействии токсического агента; при этом особенно важны необратимые или длительно протекающие изменения в организме, приводящие к генетическим дефектам, или другие нарушения развития у потомства;

- постоянный характер действия;

- изменение (трансформация) химического вещества в окружающей среде или организме человека, приводящее к образованию продуктов, имеющих большую, чем исходное вещество, токсичность для человека;

- большая величина популяции населения, подверженного действию химического вещества (вся популяция, профессиональные контингенты или подгруппы, имеющие повышенную чувствительность к воздействию данного токсиканта).

Анализ списка показывает, что около 60 % приоритетных загрязняющих веществ относится к хлор- и бромсодержащим соединениям.

Странами ООН, участвующими в мероприятиях по улучшению и охране окружающей среды, согласован общий перечень наиболее важных (приоритетных) веществ, загрязняющих биосферу. К их числу обычно относят соединения тяжелых металлов, пестициды, полициклические ароматические углеводороды, хлорорганические соединения (ХОС), нефтепродукты, фенолы, детергенты, нитраты. Из этого перечня приоритетных загрязняющих веществ наиболее опасными являются тяжелые металлы, полиароматические углеводороды и хлорорганические соединения.

### **1.1. Тяжелые металлы**

Из всех классов неорганических соединений, поступающих в биосферу в результате человеческой деятельности, наибольшее внимание привлекают тяжелые металлы. В их число, согласно решению

Целевой группы по выбросам Европейской экономической комиссии ООН, включены Pb, Cd, Hg, Ni, Co, Cr, Cu, Zn, а также As, Sb и Se (Исидоров В. А., 1997).

Некоторые из перечисленных элементов необходимы живым организмам, поскольку входят в состав простетических групп важных биомолекул. Однако потребность в них невелика и поступление избыточных металлов в организмы приводит к тяжелой интоксикации. Поэтому многие организмы имеют естественные механизмы метаболизма и удаления тяжелых металлов, чаще всего в форме металлорганических соединений.

Особое место металлов среди приоритетных химических веществ, загрязняющих биосферу, обусловлено следующими причинами (Яцимирский К. Б., 1976; Фруммин Г. Т., 2002):

1. Скорость извлечения металлов из земной коры человеком выше, чем геологическая скорость их извлечения (табл. 1.1).

Основными антропогенными источниками металлов служат различные топливные установки, предприятия черной и цветной металлургии, горнодобывающие предприятия, цементные заводы, химические предприятия, гальванические производства и транспорт.

2. В отличие от органических загрязняющих веществ, подвергающихся процессам разложения, металлы способны лишь к перераспределению между отдельными компонентами географической оболочки.

3. Металлы сравнительно легко накапливаются в почвах, но трудно и медленно из нее удаляются. Период полужизни из почвы цинка — до 500 лет, кадмия — до 1100 лет, меди — до 1500 лет, свинца — до нескольких тысяч лет.

4. Металлы хорошо аккумулируются органами и тканями человека, теплокровных животных и гидробионтов.

5. Металлы, особенно тяжелые, высокотоксичны для различных биологических объектов.

Таблица 1.1

**Скорость извлечения металлов из земной коры (т/г)**

Элемент	«Геологическая скорость», $V_g$	Скорость извлечения человеком, $V_h$	$V_h/V_g$
Железо	$2,5 \cdot 10^7$	$3,2 \cdot 10^8$	12,8
Медь	$3,8 \cdot 10^5$	$4,5 \cdot 10^6$	11,8
Цинк	$3,7 \cdot 10^5$	$3,9 \cdot 10^6$	10,5
Свинец	$1,8 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^6$	12,7
Марганец	$4,4 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^6$	3,6
Олово	$1,5 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^5$	113
Молибден	$1,3 \cdot 10^4$	$5,7 \cdot 10^4$	4,4
Ртуть	$3,0 \cdot 10^3$	$7,0 \cdot 10^3$	2,3
Серебро	$5,0 \cdot 10^3$	$7,0 \cdot 10^3$	1,4

В последнее время (с конца 1960-х гг.) в специальной научной литературе появился термин «тяжелые металлы», который сразу же приобрел негативное звучание. С этим термином связано представление о чем-то токсичном, опасном для живых организмов: будь то люди, животные или растения. Однако надо иметь в виду, что многие из причисляемых к этой группе элементов жизненно необходимы (эссенциальны) для различных живых организмов.

Обычно к тяжелым металлам относят группу химических элементов, имеющих плотность более  $5 \text{ г/см}^3$ . Для биологической классификации правильнее руководствоваться не плотностью, а атомной массой, т. е. относить к тяжелым металлам все металлы с относительной атомной массой более 40 а. е. м. (Алексеев Ю. В., 1987).

И хотя термин «тяжелые металлы» неудачен, им приходится пользоваться, так как он прочно вошел в экологическую литературу. Набор тяжелых металлов (ТМ) во многом совпадает с перечнем «микроэлементов». Под микроэлементами подразумеваются такие химические элементы, облигатные (обязательные) для растений и живых организмов, содержание которых измеряется величинами порядка  $n \cdot 10^{-2}$ – $n \cdot 10^{-5} \%$ . Также их называют «следовые», «малые», «редкие», «рассеянные». Из приоритетных металлов наибольшее внимание уделяется четырем, называемым «большой четверкой», это – свинец, ртуть, кадмий и мышьяк.

**Свинец.** История применения свинца очень древняя, что обусловлено относительной простотой его получения и большой распространенностью в земной коре ( $1,6 \cdot 10^{-3} \%$ ). Общие запасы свинца на планете оценивают в 100 млн т, главным образом в виде сульфата. Из этого естественного источника в окружающую среду поступает ежегодно в виде силикатной пыли почвы, вулканического дыма, испарений лесов, морских солевых аэрозолей и метеоритной пыли до 210 тыс. т свинца.

Свинец применяется в производстве кабелей, в химическом машиностроении; для защиты от  $\gamma$ -излучения; для получения тетраэтилсвинца и свинцовых пигментов; как компонент разнообразных сплавов. Свинец и его оксиды используются в производстве аккумуляторов. Многие соединения свинца используются для изготовления красок, замазок, лаков, спичек, пиротехнических изделий, пластмасс (в качестве стабилизатора), пьезоэлектрических элементов и т. д. Соединения свинца –  $\text{Pb}_3\text{O}_4$  и  $\text{PbSO}_4$  – основа широко применяемых пигментов: сурика и свинцовых белил. Глазури, которыми древние покрывали глиняную посуду, также включают соединения свинца.

Начиная со времен Древнего Рима, металлический свинец используют при прокладке водопроводов.

*Учебное издание*

БАТЯН Анатолий Николаевич,  
ФРУМИН Григорий Тевелевич,  
БАЗЫЛЕВ Владимир Николаевич

**ОСНОВЫ ОБЩЕЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТОКСИКОЛОГИИ**

Учебное пособие

Подписано в печать 15.01.2009. Формат 60 × 88<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Печ. л. 22,0. Тираж 2000 экз. Заказ №

ООО «Издательство „СпецЛит“». 190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29,  
тел./факс: (812) 251-66-54, 251-16-94, <http://www.speclit.spb.ru>.

Отпечатано с диапозитивов ООО «Издательство „СпецЛит“»  
в ГП ПО «Псковская областная типография»  
180004, г. Псков, ул. Ротная, 34

ISBN 978-5-299-00410-6



9 785299 004106