



Д.Б. ГЕЛАШВИЛИ, В.С. БЕЗЕЛЬ,
Е.Б. РОМАНОВА, М.Е. БЕЗРУКОВ,
А.А. СИЛКИН, А.А. НИЖЕГОРОДЦЕВ

ПРИНЦИПЫ
И МЕТОДЫ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
ТОКСИКОЛОГИИ

Министерство образования и науки Российской Федерации
Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского
Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН

**Д.Б. Гелашвили, В.С. Безель, Е.Б. Романова,
М.Е. Безруков, А.А. Силкин, А.А. Нижегородцев**

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТОКСИКОЛОГИИ

Под общей редакцией проф. Д.Б. Гелашвили

Учебное пособие

Рекомендовано ученым советом Института биологии и биомедицины
ННГУ им. Н.И. Лобачевского для студентов, обучающихся по направлениям
06.03.01; 06.04.01 – «Биология» и 05.03.06; 05.04.06 – «Экология и природопользование»
аспирантов и специалистов, интересующихся вопросами экотоксикологии

Нижний Новгород
Издательство Нижегородского госуниверситета
2016

УДК 574:615(075.8)

ББК 20.1:52.84я43

П 76

Рецензенты:

чл.-корр. РАН, доктор биологических наук **Г.С. Розенберг** (ИЭВБ РАН);
доктор биологических наук **И.Е. Постнов** (НГСХА)

Гелашвили Д.Б., Безель В.С., Романова Е.Б., Безруков М.Е., Силкин А.А., Нижегородцев А.А.

П 76 **Принципы и методы экологической токсикологии** / Под ред. проф. Д.Б. Гелашвили. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2016. – 702 с., ил.

ISBN 978-5-91326-336-0

В учебном пособии рассмотрены общие вопросы экотоксикологии, включая популяционные и биоценотические аспекты, экотоксикологическую характеристику приоритетных загрязняющих факторов, методы токсикометрии, в том числе кумулятивное и комбинированное действие. Изложены принципы обоснования ПДК загрязняющих веществ, включая аллергенов, в объектах производственной и окружающей среды, а также рыбохозяйственных водоемах. Рассмотрены принципы обоснования нормативов допустимого воздействия (НДВ) на водные объекты. Приведены методы оценок химического загрязнения воздуха атмосферы, поверхностных вод, в том числе нормативов допустимого сброса (НДС), почв, включая методы определения класса опасности токсичных отходов производства и потребления, наноматериалов, а также методы оценки экологического риска. Глоссарий включает свыше 400 аннотированных терминов.

Предназначена для студентов, обучающихся по направлениям 06.03.01; 06.04.01 – «Биология» и 05.03.06; 05.04.06 – «Экология и природопользование», аспирантов и специалистов, интересующихся вопросами экотоксикологии.

Подготовлено в соответствии с Планом мероприятий по реализации программы повышения конкурентоспособности ННГУ среди ведущих мировых научно-образовательных центров на 2013–2020 гг.

Поддержано Программой фундаментальных исследований УРО РАН № 15-3-4-28.

ISBN 978-5-91326-336-0

УДК 574:615(075.8)

ББК 20.1:52.84я43

© Д.Б. Гелашвили, В.С. Безель, Е.Б. Романова, М.Е. Безруков,
А.А. Силкин, А.А. Нижегородцев, 2016

© Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского, 2016

Ministry of Education and Science of the Russian Federation
Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod
National Research University
Institute of Plant and Animal Ecology,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

**D.B. Gelashvili, V.S. Bezel, E.B. Romanova,
M.E. Bezrukov, A.A. Silkin, A.A. Nizhegorodtsev**

PRINCIPLES AND METHODS of ecological toxicology

Under the general editorship of Prof. D.B. Gelashvili

Recommended by the Academic Council of the UNN Institute of Biology and Biomedicine
for students in the areas of studies 06.03.01; 06.04.01 – «Biology»
and 05.03.06; 05.04.06 – «Ecology and environmental management»,
postgraduates and for professionals interested in ecotoxicology

Nizhni Novgorod
Nizhni Novgorod State University Press
2016

UDC 574:615(075.8)
LBC 20.1:52.84я43
P 76

Reviewers:

G.S. Rozenberg, Corresponding Member of the RAS, Doctor of Sciences (Biology) (IEVB RAS);
I.E. Postnov, Doctor of Sciences (Biology) (NNSAA)

**Gelashvili D.B., Bezel V.S., Romanova E.B., Bezrukov M.E., Silkin A.A.,
Nizhegorodtsev A.A.**

П 76 **Principles and Methods of Ecological Toxicology** / Ed. Prof. D.B. Gelashvili. –
Nizhni Novgorod: Nizhni Novgorod State University Press, 2016. – 702 p., Ills.

ISBN 978-5-91326-336-0

The book deals with general issues of ecotoxicology, including population and biocenotic aspects, ecotoxicological characterization of priority pollution factors, toxicometry methods, comprising cumulative and combined effects. The principles are presented for substantiation of MPCs of pollutants, including allergens, in production facilities and in the environment, as well as in fishery waters. The principles for substantiation of permissible exposure standards (PES) for water bodies are considered. Methods are presented for assessing chemical pollution of the atmosphere, of surface waters, including the permissible discharge standards (PDS), of soils, including methods for determining the hazard class of production and consumption toxic waste, of nanomaterials, as well as methods for assessing environmental risks. The glossary contains more than 400 annotated terms.

Readership: students in the areas of studies 06.03.01; 06.04.01 – "Biology" and 05.03.06; 05.04.06 – "Ecology and environmental management", postgraduates and professionals interested in ecotoxicology.

*Prepared in accordance with the Action plan for implementation of the program
to enhance the competitiveness of UNN among the world's leading
scientific and educational centers in 2013-2020.*

Supported by the Basic Research Program of UB RAS № 15-3-4-28

ISBN 978-5-91326-336-0

UDC 574:615(075.8)
LBC 20.1:52.84я43

© D.B. Gelashvili, V.S. Bezel, E.B. Romanova, M.E. Bezrukov,
A.A. Silkin, A.A. Nizhegorodtsev, 2016
© Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Перечень сокращений.....	25
Предисловие	26
От авторов.....	27
Введение	29

ЧАСТЬ I

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТОКСИКОЛОГИИ

Введение	37
----------------	----

ГЛАВА 1. АУТЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОТОКСИКОЛОГИИ

1.1. Экоотоксикология в системе биологических наук.....	38
1.2. Проблема нормы в экотоксикологии.....	44
1.3. Экоотоксикологические эффекты на разных уровнях организации биосистем.....	48
1.3.1. Молекулярно-генетический уровень	49
1.3.2. Клеточно-тканевый уровень	51
1.3.3. Онтогенетический уровень.....	53
1.4. Биотрансформация и биодеградация токсических веществ.....	57

ГЛАВА 2. ПОПУЛЯЦИОННЫЕ И БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОТОКСИКОЛОГИИ

2.1. Зависимость «доза – эффект» в экологической токсикологии.....	62
2.2. Популяционный уровень экотоксикологических эффектов.....	67
2.2.1. Роль эколого-генетической и пространственной структуры популяции в условиях экотоксикологической нагрузки.....	67
2.2.2. Изменчивость популяционных параметров в качестве основы популяционной адаптации к экотоксикологическому воздействию	68
2.2.3. Роль пространственно-функциональной структуры популяции в экотоксикологических эффектах.....	72
2.2.4. Процессы воспроизводства в природных популяциях растений и животных в условиях экотоксикологической нагрузки	74
2.3. Биогеоценотический уровень экотоксикологических эффектов	81

ГЛАВА 3. ОБЩАЯ ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

3.1. Понятие о загрязнении окружающей среды	85
3.2. Количественные критерии активности экотоксикантов.....	90

ГЛАВА 4. ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

4.1. Органические загрязняющие вещества	94
---	----

4.2. Нефтяное загрязнение.....	99
4.3. Продукты ракетного топлива.....	103
4.4. Химическое оружие	108

ГЛАВА 5. ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

5.1. Общая экотоксикологическая характеристика тяжелых металлов.....	115
5.1.1. Биологическая роль тяжелых металлов.....	115
5.1.2. Токсичность тяжелых металлов.....	116
5.1.3. Тяжелые металлы в окружающей среде.....	119
5.2. Экотоксикологическая характеристика приоритетных тяжелых металлов	130
5.2.1. Ртуть	130
5.2.2. Кадмий.....	136
5.2.3. Свинец	138
5.2.4. Бериллий.....	141
5.2.5. Цинк и медь.....	144
5.2.6. Алюминий	145

ЧАСТЬ II МЕТОДЫ ТОКСИКОМЕТРИИ

Введение	151
----------------	-----

ГЛАВА 6. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ОСТРОЙ ТОКСИЧНОСТИ ЭКОТОКСИКАНТОВ

6.1. Токсикологический эксперимент и его подготовка.....	152
6.1.1. Условия проведения эксперимента.....	152
6.1.2. Способы введения токсикантов.....	157
6.1.3. Выбор и подготовка лабораторных животных к эксперименту.....	161
6.2. Экспериментальное определение параметров токсикометрии	164
6.2.1. Критерии токсикометрии.....	164
6.2.2. Планирование эксперимента	168
6.2.3. Методы расчета среднееффективной дозы токсикантов	170
6.3. Классификация токсичности и опасности химических соединений	186

ГЛАВА 7. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КУМУЛЯТИВНОГО И КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ЭКОТОКСИКАНТОВ

7.1. Методы оценки кумулятивного действия экотоксикантов	190
7.1.1. Метод Ю.С. Кагана и В.В. Станкевича	194
7.1.2. Метод Б.М. Штабского	195
7.1.3. Метод С.М. Новикова и соавторов	197
7.1.4. Метод С.П. Черкинского и соавторов.....	198
7.1.5. Метод Лима и соавторов.....	198
7.2. Методы оценки комбинированного действия экотоксикантов.....	200
7.2.1. Графический анализ изобол.....	204
7.2.2. Метод анализа комбинированного действия смеси веществ с постоянным соотношением компонентов	206

7.2.3. Применение методов планирования эксперимента для оценки эффекта комбинированного действия ксенобиотиков	208
7.2.3.1. Однократное комбинированное действие	210
7.3.3.2.. Многократное комбинированное действие	217
7.3. Приложение. Перевод процентов в пробиты	221

ГЛАВА 8. МЕТОДЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ЭКОТОКСИКАНТОВ

8.1. Общие принципы биологического тестирования	224
8.2. Процедура биологического тестирования	234
8.2.1. Отбор, транспортировка и хранение проб анализируемого материала	234
8.2.1.1. Пробы осадков сточных вод на песковых, шламовых и иловых площадках	234
8.2.1.2. Пробы промышленных и твёрдых бытовых отходов	236
8.2.1.3. Пробы почвы	239
8.2.1.4. Отбор, хранение и транспортировка проб поверхностных, природных и сточных вод	239
8.2.2. Приготовление водной вытяжки из осадков сточных вод, отходов и почв	240
8.2.3. Приготовление разбавлений исследуемых вод для биотестирования	245
8.2.4. Постановка эксперимента биологического тестирования	246
8.2.4.1. Эксперименты по установлению острого токсического действия на <i>Daphnia magna</i>	247
8.2.4.2. Эксперименты по установлению острого токсического действия на <i>Ceriodaphnia affinis</i>	248
8.2.4.3. Эксперименты по установлению острого токсического действия на <i>Chlorella vulgaris</i>	250
8.2.4.4. Методика определения токсичности вод, почв и донных отложений по ферментативной активности бактерий (колориметрическая реакция)	253
8.2.4.5. Определение токсичности воды по хемотаксической реакции инфузорий	256
8.2.4.6. Метод клеточного микроэлектрофореза с использованием приборного комплекса «Цито-эксперт»	259
8.3. Обработка, оценка и оформление результатов биотестирования	263
8.3.1. Обработка результатов биотестирования в эксперименте на ракообразных (дафнии и цериодафнии)	263
8.3.2. Обработка результатов биотестирования в эксперименте на одноклеточных водорослях	268
8.3.3. Обработка результатов биологического тестирования с использованием комплекса «Цито-эксперт»	269

ЧАСТЬ III

ПРИНЦИПЫ РЕГЛАМЕНТИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Введение	275
----------------	-----

ГЛАВА 9. ПРИНЦИПЫ ОБОСНОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

9.1. Порог действия вредного вещества.....	280
9.2. Ориентировочный безопасный уровень воздействия	282
9.3. Предельно допустимые концентрации.....	284
9.3.1. Обоснование ПДК	285
9.3.2. Виды ПДК и классификация вредных веществ в воздухе рабочей зоны.....	288
9.3.3. Контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны.....	289
9.3.4. Критерии определения объема и очередности исследований для ускоренного обоснования гигиенических нормативов	290
9.3.5. Критерии выбора веществ, не нуждающихся в установлении нормативов	291
9.4. Тест экспозиции	292
9.5. Зарубежный опыт	292

ГЛАВА 10. ПРИНЦИПЫ ОБОСНОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ АТМОСФЕРЫ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

10.1. Общие замечания	293
10.2. Определение пороговой концентрации вредного вещества по ре- флексорному действию.....	297
10.3. Определение пороговой концентрации вредного вещества по ре- зортивному действию	299
10.4. Соотношение дифференцированных по времени осреднения ПДК.....	301
10.5. Критерии определения объема и очередности исследований, необхо- димых для ускоренного обоснования гигиенических нормативов.....	303
10.6. Критерии выбора веществ, не нуждающихся в установлении норма- тивов.....	304

ГЛАВА 11. ПРИНЦИПЫ ОБОСНОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ

11.1. Алгоритм обоснования эколого-гигиенических нормативов содер- жания загрязняющих веществ в воде	306
11.2. Этапы обоснования ПДК.....	307
11.3. Оценка стабильности и трансформации веществ в водной среде	313

11.4. Определение пороговых концентраций по влиянию веществ на органолептические свойства воды	315
11.5. Экспериментальное установление пороговых концентраций загрязняющих веществ по влиянию на процессы самоочищения водных объектов.....	317
11.6. Установление параметров токсичности веществ в острых опытах на животных	321
11.7. Порог вредного действия при однократном поступлении вещества в организм.....	323
11.8. Изучение действия вещества на организм в условиях подострого опыта	324
11.9. Проведение хронического санитарно-токсикологического опыта	328
11.10. Обоснование величины ПДК (ОДУ) веществ в воде	329
11.11. Нормирование препаратов смешанного состава	330
11.12. Критерии выбора веществ, не нуждающихся в установлении нормативов.....	332
11.13. Критерии определения объема и очередности исследований, необходимых для ускоренного обоснования гигиенических нормативов.....	332

ГЛАВА 12. ПРИНЦИПЫ ОБОСНОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

12.1. Общие положения	334
12.2. Общие требования к разработке ПДК вредного вещества	337
12.3. Краткая характеристика пресноводных биологических тест-объектов ..	340
12.4. Оценка влияния вещества на показатели водной среды.....	348
12.5. Требования к разработке ПДК и ОБУВ для смесей постоянного состава ..	350
12.6. Разработка нормативов ПДК веществ с учетом природных особенностей водных объектов	352
12.7. Оценка класса опасности вредного вещества.....	353

ГЛАВА 13. ПРИНЦИПЫ ОБОСНОВАНИЯ НОРМАТИВОВ ДОПУСТИМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ (НДВ) ПО ПРИВНОСУ ХИМИЧЕСКИХ И ВЗВЕШЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

13.1. Общие положения	357
13.2. Схема расчета НДВ на водные объекты.....	360
13.3. Состав исходной информации для обоснования НДВ.....	362
13.4. Алгоритмы расчета НДВ	363
13.4.1. Расчет региональных ПДК.....	365
13.4.2. Расчет НДВ.....	366
13.5. Методы анализа НДВ.....	370

ГЛАВА 14. ПРИНЦИПЫ ОБОСНОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВЕ

14.1. Основные положения.....	378
14.2. Алгоритм обоснования ПДК вредных веществ в почве	380
14.3. Основные этапы эколого-гигиенического регламентирования содержания вредных веществ в почве	383
14.4. Эколого-гигиенические характеристики показателей вредности химических веществ в почве	387
14.5. Альтернативные методы установления гигиенических нормативов вредных веществ в почве.....	396
14.6. Предельно допустимый уровень внесения (ПДУВ) и безопасные остаточные количества (БОК) вредных веществ в почве как региональные ПДК	397

ГЛАВА 15. ПРИНЦИПЫ ОБОСНОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ АЛЛЕРГЕНОВ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ И АТМОСФЕРЫ

15.1. Иммунологическая защита организма от ксенобиотиков	404
15.2. Аллергические реакции. Классификация иммунопатологических состояний	409
15.2.1. Факторы, определяющие алергоопасность региона.....	411
15.2.2. Общие подходы к оценке аллергенных свойств ксенобиотиков.....	412
15.3. Алгоритм обоснования ПДК промышленных химических аллергенов в воздухе рабочей зоны и атмосферы.....	414
15.3.1. Общие рекомендации к постановке эксперимента.....	415
15.3.2. Выбор животных (возраст, пол, количество).....	416
15.3.3. Иммунизация животных	417
15.3.4. Расчет доз для испытания	417
15.3.5. Пути воздействия химических веществ на организм	418
15.3.6. Длительность воздействия.....	418
15.3.7. Эколого-гигиеническое регламентирование содержания аллергенов в воздухе рабочей зоны и атмосферы.....	419
15.3.8. Методы выявления сенсибилизации организма на первом этапе исследований	421
15.3.9. Постановка исследований по обоснованию величины гигиенических нормативов	422
15.3.10. Методы выявления аллергенного действия химических веществ.....	424
15.3.11. Дополнительные методы установления аллергенного действия химических веществ.....	430
15.3.12. Обоснование величины гигиенических нормативов аллергенов.....	433

ГЛАВА 16. ПРИНЦИПЫ И ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ

16.1. Концепция экологического нормирования	436
16.2. Проблема устойчивости экологических систем	442
16.3. Временные аспекты экологического нормирования.....	445
16.4. Пространственная неоднородность экологических систем.....	448

ЧАСТЬ IV МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Введение	453
----------------	-----

ГЛАВА 17. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

17.1 Классификация источников загрязнения	456
17.2. Краткая характеристика физических процессов в приземных слоях атмосферы.....	458
17.3. Организация наблюдений за уровнем загрязнения атмосферы	461
17.4. Характеристики состояния загрязнения атмосферы населенных мест	465
17.5. Пример расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе.....	470
17.6. Расчет загрязнения атмосферы с учетом суммации вредного действия нескольких веществ	477
17.7. Учет фоновых концентраций при расчетах загрязнения атмосферы и установления фона расчетным путем.....	478
17.8. Расчет минимальной высоты источника выброса	479
17.9. Установление предельно допустимых выбросов	480
17.10. Санитарно-гигиенические требования к охране атмосферного воздуха населенных мест	482
17.11. Санитарно-защитные зоны	483
17.11.1. Режим территории санитарно-защитной зоны.....	486
17.11.2. Санитарная классификация промышленных объектов, размеры ориентировочных санитарно-защитных зон для них	487

ГЛАВА 18. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

18.1. Общие требования охраны поверхностных вод от загрязнений.....	489
18.2. Требования к санитарной охране водных объектов.....	490
18.3. Нормативы качества воды водных объектов	491
18.4. Требования к размещению, проектированию, строительству, реконструкции и эксплуатации хозяйственных и других объектов.....	494
18.5. Требования к организации надзора и контроля за качеством воды водных объектов.....	496

18.6. Водные объекты рыбохозяйственного водопользования	498
18.7. Условия отведения сточных вод в поверхностные водные объекты.....	498
18.8. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям	501
18.8.1. Система формализованных показателей комплексной оценки	502
18.8.2. Требования к исходной информации.....	504
18.8.3. Техника расчета показателей комплексной оценки	506
18.8.4. Комплексная оценка степени загрязненности воды водных объектов с помощью комбинаторного индекса загрязненности воды.....	509
18.8.5. Выделение критических показателей загрязненности воды.....	512
18.8.6. Рекомендации по использованию метода комплексной оценки	514
18.8.7. Пример расчета комплексных показателей степени загрязненности воды.....	515
18.9. Методы расчета нормативов допустимых сбросов (НДС) веществ и микроорганизмов	522
18.9.1. Общие положения	522
18.9.2. Установление лимитов на выбросы и сбросы веществ и микроорганизмов	528
18.9.3. Нормативы качества воды в поверхностных водных объектах.....	529
18.9.4. Методическая основа расчета нормативов допустимых сбросов	531
18.9.5. Расчет величин НДС для отдельных выпусков сточных вод в водные объекты	533
18.9.6. Методика расчета НДС отдельного выпуска в водоем	537
18.9.7. Пример оформления нормативов допустимого и фактического сброса веществ и микроорганизмов.....	543

ГЛАВА 19. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛАССА ОПАСНОСТИ ТОКСИЧНЫХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

19.1. Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды	547
19.2. Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления.....	554
19.2.1. Расчетный метод определения класса опасности токсичных отходов производства и потребления.....	557
19.2.2. Экспериментальный метод определения класса опасности токсичных отходов производства и потребления	562
19.2.3. Сокращенная схема оценки опасности отхода	563
19.2.4. Расширенная схема оценки опасности отхода.....	567
19.3. Требования к документации, представляемой для утверждения класса опасности отходов производства и потребления.....	568

ГЛАВА 20. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ

20.1. Количественная оценка степени химического загрязнения почвы населенных мест.....	571
20.1.1. Отбор проб	573

20.1.2. Показатели уровня химического загрязнения почвы	574
20.2. Рекомендации по использованию почв	581
20.3. Организация контроля качества почв	582

ГЛАВА 21. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ И ТОКСИЧНОСТИ НАНОМАТЕРИАЛОВ

21.1. Общая характеристика наночастиц и наноматериалов	588
21.2. Продукция, содержащая наноматериалы	593
21.3. Классификация нанотехнологий и продукции наноиндустрии по степени их потенциальной опасности	597
21.4. Методы выявления наноматериалов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека	599
21.5. Последовательность анализа научно-технической информации	600
21.5.1. Физические характеристики	600
21.5.2. Физико-химические характеристики	601
21.5.3. Молекулярно-биологические характеристики	602
21.5.4. Цитологические характеристики	603
21.5.5. Токсикологические характеристики	603
21.5.6. Экологические характеристики	604
21.6. Алгоритм выявления наноматериалов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека	605
21.6.1. Метод математического моделирования	606
21.6.2. Пример выявления наноматериалов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека	612
21.6.3. Алгоритм определения уровня потенциальной опасности продукции наноматериалов для потребителя	614
21.6.3.1. Ограничительные критерии <i>K1–K4</i>	614
21.6.3.2. Критерий <i>B</i> , характеризующий степень близости продукции наноматериалов к человеку	616
21.6.4. Алгоритм определения уровня потенциальной опасности нанотехнологии для работников предприятия, здоровья населения и окружающей среды	618
21.7. Интерпретация результатов оценки степени потенциальной опасности продукции наноиндустрии и нанотехнологии для здоровья человека и окружающей среды. Составление заключения и рекомендаций	620
21.8. Приложение	622
21.8.1. Медико-биологическая оценка безопасности наноматериалов на культурах клеток высших животных, семенах высших растений и лабораторных животных	622
21.8.2. Тестирование безопасности наноматериалов <i>in vitro</i> и в модельных системах <i>in vivo</i>	633

ГЛАВА 22. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА

22.1. Понятие об экологическом риске	637
22.2. Оценка риска	639
22.2.1. Оценка риска угрозы здоровью при воздействии беспороговых токсикантов	643

22.2.2. Оценка риска угрозы здоровью при воздействии пороговых токсикантов.....	646
22.3. Управление риском	650
22.4. Информирование о риске	651
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	655
ГЛОССАРИЙ.....	664
ЛИТЕРАТУРА.....	690

CONTENTS

List of abbreviations.....	25
Foreword.....	26
From the authors.....	27
Introduction.....	29

PART I

GENERAL ISSUES OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY

Introduction.....	37
-------------------	----

CHAPTER 1. AUTECOLOGICAL ASPECTS OF ECOTOXICOLOGY

1.1. Ecotoxicology in the system of biological sciences.....	38
1.2. The problem of the norm in ecotoxicology.....	44
1.3. Ecotoxicological effects at different levels of organization of biological systems.....	48
1.3.1. Molecular and genetic level.....	49
1.3.2. Cellular and tissue level.....	51
1.3.3. Ontogenetic level.....	53
1.4. Biotransformation and biodegradation of toxic substances.....	57

CHAPTER 2. POPULATION AND BIOGEOCENOTIC ASPECTS OF ECOTOXICOLOGY

2.1. «Dose – effect» relationship in ecological toxicology.....	62
2.2. Population level of ecotoxicological effects.....	67
2.2.1. The role of the ecological and genetic and spatial structure of the population under ecotoxicological load.....	67
2.2.2. Variability of population parameters as a basis for population adaptation to ecotoxicological effects.....	68
2.2.3. The role of spatial and functional structure of the population in ecotoxicological effects.....	72
2.2.4. Reproduction processes in natural plant and animal populations under ecotoxicological load.....	74
2.3. Biogeocenotic level of ecotoxicological effects.....	81

CHAPTER 3. GENERAL ECOTOXICOLOGICAL CHARACTERISTICS OF POLLUTING FACTORS

3.1. The concept of environmental pollution.....	85
3.2. Quantitative criteria of ecotoxicant activity.....	90

CHAPTER 4. ECOTOXICOLOGY OF ORGANIC POLLUTANTS

4.1. Organic pollutants	94
4.2. Oil pollution	99
4.3. Products of rocket fuel	103
4.4. Chemical weapons	108

CHAPTER 5. ECOTOXICOLOGY OF HEAVY METALS

5.1. General ecotoxicological characterization of heavy metals	115
5.1.1. Biological role of heavy metals	115
5.1.2. Toxicity of heavy metals	116
5.1.3. Heavy metals in the environment	119
5.2. Ecotoxicological characterization of priority heavy metals	130
5.2.1. Mercury	130
5.2.2. Cadmium	136
5.2.3. Lead	138
5.2.4. Beryllium	141
5.2.5. Zinc and copper	144
5.2.6. Aluminium	145

PART II METHODS OF TOXICOMETRY

Introduction	151
--------------------	-----

CHAPTER 6. METHODS FOR ASSESSING ACUTE TOXICITY OF ECOTOXICANTS

6.1. Toxicological experiment and its preparation	152
6.1.1. Conditions of the experiment	152
6.1.2. Methods for introducing toxicants	157
6.1.3. Selection and preparation of laboratory animals for the experiment	161
6.2. Experimental determination of toxicometry parameters	164
6.2.1. Toxicometry criteria	164
6.2.2. Design of experiments	168
6.2.3. Methods for calculating the mean effective dose of toxicants	170
6.3. Classification of toxicity and hazard level of chemicals	186

CHAPTER 7. METHODS FOR ASSESSING CUMULATIVE AND COMBINED EFFECTS OF ECOTOXICANTS

7.1. Methods for assessing the cumulative effect of ecotoxicants	190
7.1.1. The method of Yu.S. Kagan and V.V. Stankevich	194
7.1.2. The method of B.M. Shtabsky	195
7.1.3. The method of S.M. Novikov and co-authors	197
7.1.4. The method of S.P. Cherkinsky and co-authors	198
7.1.5. The method of Lim and co-authors	198
7.2. Methods for assessing the combined effect of ecotoxicants	200

7.2.1. Graphical analysis of isoboles	204
7.2.2. The method of analysis of the combined action of a mixture of substances with a constant ratio of components.....	206
7.2.3. Application of experimental design methods to evaluate the effect of combined action of xenobiotics.....	208
7.2.3.1. Single combined action.....	210
7.2.3.2. Multiple combined action	217
7.3. Supplement. Conversion of percentage into probit units	221

CHAPTER 8. METHODS OF BIOLOGICAL TESTING OF ECOTOXICANTS

8.1. General principles of biological testing.....	224
8.2. The procedure for biological testing	234
8.2.1. Sampling, transporting and storage of samples of materials to be analyzed.....	234
8.2.1.1. Samples of sewage sludge in grit dewatering bays and sludge drying beds.....	234
8.2.1.2. Samples of industrial and solid waste	236
8.2.1.3. Soil samples	239
8.2.1.4. Sampling, storage and transporting of samples of surface and natural water and sewage	239
8.2.2. Preparation of aqueous extract of sewage sludge, waste and soil.....	240
8.2.3. Preparation of water dilutions for bioassay	245
8.2.4. Experimental design for bioassay	246
8.2.4.1. Experiments to establish an acute toxic effect on <i>Daphnia magna</i>	247
8.2.4.2. Experiments to establish an acute toxic effect on <i>Ceriodaphnia affinis</i>	248
8.2.4.3. Experiments to establish an acute toxic effect on <i>Chlorella vulgaris</i>	250
8.2.4.4. Methods for determining the toxicity of water, soil and sediments based on the enzymatic activity of bacteria (colorimetric reaction)....	253
8.2.4.5. Determination of water toxicity by chemotactic response of ciliates	256
8.2.4.6. The method of cell micro-electrophoresis with the use of the "Cyto-expert" instrument system	259
8.3. Processing, evaluation and presentation of bioassay results	263
8.3.1. Processing bioassay results in the experiment on crustaceans (<i>Daphnia</i> and <i>Ceratodaphnia</i>).....	263
8.3.2. Processing bioassay results in the experiment with single-celled algal	268
8.3.3. Processing bioassay results with the use of the «Cyto-expert» instrument system	269

**PART III
PRINCIPLES OF REGULATION
OF ENVIRONMENTAL POLLUTION**

Introduction275

**CHAPTER 9. PRINCIPLES FOR SUBSTANTIATION OF MAXIMUM
PERMISSIBLE
CONCENTRATIONS OF POLLUTANTS
IN WORKPLACE AIR**

9.1. Threshold of harmful substance action.....280
9.2. Tentative safe exposure level282
9.3. Maximum permissible concentrations284
 9.3.1. Substantiation of MPC.....285
 9.3.2. Types of MPC and classification of harmful substances in workplace
 air.....288
 9.3.3. Monitoring the content of harmful substances in workplace air.....289
 9.3.4. Criteria for determining the scope and priority of research for an ac-
 celerated substantiation of hygienic standards.....290
 9.3.5. Criteria for selection of substances that do not require the establish-
 ment of standards.....291
9.4. Exposure test292
9.5. Foreign experience292

**CHAPTER 10. PRINCIPLES FOR SUBSTANTIATION OF MAXIMUM
PERMISSIBLE CONCENTRATIONS OF POLLUTANTS
IN THE ATMOSPHERIC AIR OF POPULATED AREAS**

10.1. General remarks293
10.2. Determination of threshold concentration of harmful substances based on
reflex action.....297
10.3. Determination of threshold concentration of harmful substances based on
resorptive action.....299
10.4. Relationship between MPCs differentiated with respect to averaging time ..301
10.5. Criteria for determining the scope and priority of research required for
accelerated substantiation of hygienic standards.....303
10.6. Criteria for selection of substances that do not require the establishment
of standards.....304

**CHAPTER 11. PRINCIPLES FOR SUBSTANTIATION OF MAXIMUM
PERMISSIBLE CONCENTRATIONS OF POLLUTANTS
IN SURFACE WATERS**

11.1. The algorithm for substantiation of ecological and hygienic standards for
pollutant content in water.....306
11.2. Stages of MPC substantiation307
11.3. Evaluation of stability and transformation of substances in an aqueous
medium.....313

Determination of threshold concentrations with regard to the effect of metals on organoleptic properties of water	315
Experimental determination of threshold concentrations of pollutants with regard to the effect on the processes of self-purification of water bodies	317
Establishing the toxicity parameters of substances in acute tests on ani- mals	321
One-time threshold of harmful effect	323
The study of effects of a substance on the body in a subacute test.....	324
10. Chronic sanitary and toxicological test	328
10. Substantiation of the MPC (TPL) value for substances in water.....	329
11. Regulation of mixed-composition chemicals	330
12. Criteria for selection of substances that do not require standards	332
13. Criteria for determining the scope and priority of research required for accelerated substantiation of hygienic standards.....	332

CHAPTER 12. PRINCIPLES FOR SUBSTANTIATION OF MAXIMUM PERMISSIBLE CONCENTRATIONS OF HARMFUL SUBSTANCES IN FISHERY WATER BODIES

12.1. General provisions.....	334
12.2. General requirements for the development of MPCs for harmful sub- stances	337
12.3. Brief description of freshwater biological test objects	340
12.4. Assessing the impact of a substance on the aquatic environment indica- tors.....	348
12.5. Requirements for the development of MPCs and TSELs for mixtures of constant composition.....	350
12.6. Development of standards for MPCs with the account of natural features of water bodies	352
12.7. Assessment of the hazard class of a harmful substance	353

CHAPTER 13. PRINCIPLES FOR SUBSTANTIATION OF PERMISSIBLE EXPOSURE STANDARDS (PES) FOR THE INPUT OF CHEMICAL AND SUSPENDED MINERAL SUBSTANCES TO SURFACE WATER BODIES

13.1. General provisions.....	357
13.2. PES calculation scheme for water bodies.....	360
13.3. Source information for substantiating PESs.....	362
13.4. Algorithms for calculating PESs	363
13.4.1. Calculation of regional MPCs	365
13.4.2. Calculation of PESs	366
13.5. Methods of PES analysis.....	370

**CHAPTER 14. PRINCIPLES FOR SUBSTANTIATION
OF MAXIMUM PERMISSIBLE CONCENTRATIONS
OF POLLUTANTS IN THE SOIL**

14.1. General provisions.....	378
14.2. The algorithm for substantiation of MPC of harmful substances in the soil ..	380
14.3. Main stages of ecological and hygienic regulation of harmful substances in the soil.....	383
14.4. Ecological and hygienic characteristics of hazard indicators of chemicals in the soil.....	387
14.5. Alternative methods for establishing hygienic standards for harmful sub- stances in the soil	396
14.6. Maximum permissible application level (MPAL) and safe residual levels (SRLs) of harmful substances in the soil as regional MPCs	397

**CHAPTER 15. PRINCIPLES FOR SUBSTANTIATION
OF MAXIMUM PERMISSIBLE CONCENTRATIONS
OF INDUSTRIAL CHEMICAL ALLERGENS
IN THE WORKPLACE AREA
AND IN THE ATMOSPHERE**

15.1. Immunological defense of an organism from xenobiotics	404
15.2. Allergic reactions. Classification of immunopathological states.....	409
15.2.1. Factors determining the allergic hazard level of a region.....	411
15.2.2. General approaches to the evaluation of allergenic properties of xe- nobiotics	412
15.3. The algorithm for substantiation of MPC for industrial chemical aller- gens in the workplace area and the atmosphere	414
15.3.1. General recommendations for experimental design.....	415
15.3.2. Selection of animals (age, gender, number).....	416
15.3.3. Immunization of animals	417
15.3.4. Calculation of doses for testing	417
15.3.5. Ways of an organism's exposure to chemicals.....	418
15.3.6. Duration of exposure	418
15.3.7. Ecological and hygienic regulation of the content of allergens in the air of the workplace area and in the atmosphere.....	419
15.3.8. Methods for detection of an organism's sensitization at the first stage of research	421
15.3.9. Design of research to substantiate the values of hygienic standards.....	422
15.3.10. Methods for detection of allergenic action of chemicals	424
15.3.11. Additional methods for establishing the allergenic action of chemi- cals.....	430
15.3.12. Substantiation of the value of hygienic standards for allergens.....	433

**CHAPTER 16. PRINCIPLES AND PROBLEMS OF ECOLOGICAL
REGULATION OF ANTHROPOGENIC LOADING
BY POLLUTANTS**

The concept of environmental regulation.....436
The problem of stability of ecological systems.....442
Temporal aspects of environmental regulation445
Spatial heterogeneity of ecological systems.....448

**PART IV
METHODS FOR ASSESSING CHEMICAL POLLUTION
AND MONITORING THE STATE OF THE
ENVIRONMENT**

roduction.....453

**CHAPTER 17. METHODS FOR ASSESSING
CHEMICAL POLLUTION OF ATMOSPHERIC
AIR**

17.1. Classification of pollution sources456
17.2. Brief description of the physical processes in the surface layers of the
atmosphere458
17.3. Organisation of the monitoring of air pollution level.....461
17.4. Characteristics of atmospheric pollution of residential areas465
17.5. An example of calculating the concentration of harmful substances in the
air470
17.6. Calculating air pollution based on the summation of the harmful effects
of several substances477
17.7. Accounting for background concentrations in the calculation of air pollu-
tion and establishing the background by calculation.....478
17.8. Calculating the minimum height of an emission source.....479
17.9. Establishing maximum permissible emissions.....480
17.10. Sanitary and hygienic requirements for the protection of atmospheric air
of residential areas.....482
17.11. Sanitary protection zones483
 17.11.1 The regime of the territory of a sanitary protection zone486
 17.11.2 Sanitary classification of industrial facilities and the dimensions of
buffer zones for them.....487

**CHAPTER 18. METHODS FOR ASSESSING
CHEMICAL POLLUTION OF SURFACE WATERS**

18.1. General requirements for the protection of surface waters from pollution....489
18.2. Requirements for sanitary protection of water bodies.....490
18.3. Quality standards for water in water bodies491
18.4. Requirements for the location, design, construction, reconstruction and
operation of economic and other facilities 494

18.5. Requirements for the organization of supervision and control of water quality in water bodies	496
18.6. Fishery water bodies.....	498
18.7. Conditions for discharge of effluent into surface water bodies	498
18.8. The method of integrated assessment of surface water pollution in terms of hydrochemical indicators	501
18.8.1. The system of formalized indicators for integrated assessment.....	502
18.8.2. Requirements for source information	504
18.8.3. Techniques for calculating the integrated assessment indicators.....	506
18.8.4. Integrated assessment of the degree of water pollution of water bodies by using the Specific Combined Water Pollution Index (SCWPI)	509
18.8.5. Identification of critical indicators of water pollution	512
18.8.6. Recommendations for the use of the integrated assessment method ..	514
18.8.7. An example of calculation of integrated indicators of the degree of water pollution	515
18.9. Methods for calculating the permissible discharge standards (PDS) for substances and microorganisms	522
18.9.1. General provisions.....	522
18.9.2. Setting limits on emissions and discharges of substances and microorganisms.....	528
18.9.3. Quality standards of water in surface water bodies	529
18.9.4. Methodological basis for the calculation of standards for allowable discharges	531
18.9.5. Calculation of the PDS for individual discharges of sewage effluent into water bodies.....	533
18.9.6. Methods for calculating the PDS for an individual discharge into a water body	537
18.9.7. An example of standards for permissible and actual discharge of substances and microorganisms.....	543

CHAPTER 19. METHODS FOR DETERMINING THE CLASS OF HAZARD OF TOXIC PRODUCTION AND CONSUMPTION WASTES

19.1. Criteria for classification of hazardous waste in terms of environmental hazard.....	547
19.2. Sanitary rules for determining the hazard class of production and consumption toxic waste	554
19.2.1. Calculation method for determining the hazard class of production and consumption toxic waste.....	557
19.2.2. Experimental method for determining the hazard class of production and consumption toxic waste.....	562
19.2.3. Reduced evaluation scheme for waste hazard rating	563
19.2.4. Extended evaluation scheme for waste hazard rating	567
19.3. Requirements for the documentation to be submitted for the approval of the hazard class of production and consumption waste.....	568

CHAPTER 20. METHODS FOR ASSESSING CHEMICAL CONTAMINATION OF SOILS

20.1. Quantitative assessment of chemical contamination of soil in populated areas	571
20.1.1. Collection of samples	573
20.1.2. Indicators of chemical contamination of soil	574
20.2. Recommendations for the use of soils	581
20.3. Organization of soil quality monitoring	582

CHAPTER 21. METHODS FOR ASSESSING HAZARDS AND TOXICITY OF NANOMATERIALS

21.1. General characteristics of nanoparticles and nanomaterials	588
21.2. Products containing nanomaterials	593
21.3. Classification of nanotechnologies and nanotechnology products in terms of their potential hazard	597
21.4. Methods for identification of nanomaterials posing a potential hazard to human health	599
21.5. Sequence of analysis of scientific and technical information	600
21.5.1. Physical characteristics	600
21.5.2. Physico-chemical characteristics	601
21.5.3. Molecular biological characteristics	602
21.5.4. Cytological characteristics	603
21.5.5. Toxicological characteristics	603
21.5.6. Ecological characteristics	604
21.6. The algorithm for identification of nanomaterials posing a potential hazard to human health	605
21.6.1. Mathematical modelling method	606
21.6.2. An example of identifying nanomaterials that pose a potential hazard to human health	612
21.6.3. The algorithm for determining the level of the potential hazard to the consumer of products containing nanomaterials	614
21.6.3.1. Restrictive criteria K1 – K4	614
21.6.3.2. The criterion B for characterizing the degree of proximity of nanomaterial products to humans	616
21.6.4. The algorithm for determining the level of potential hazards of nanotechnologies for enterprise employees, public health and the environment	618
21.7. Interpretation of the results of assessing potential hazards of nanoindustry products and nanotechnologies to human health and the environment. Drawing conclusions and recommendations	620
21.8. Supplement	622
21.8.1. Medical and biological safety assessment of nanomaterials in cell cultures of higher animals, seeds of higher plants and laboratory animals	622
21.8.2. Testing the safety of nanomaterials in vitro and in vivo model systems	633

CHAPTER 22. ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT METHODS

22.1. The concept of environmental risk	637
---	-----

22.2. Risk assessment.....	639
22.2.1. Assessment of health risks arising from non-threshold toxicants.....	643
22.2.2. Assessment of health risks arising from threshold toxicants	646
22.3. Risk management	650
22.4. Informing about the risk	651
CONCLUSION	655
GLOSSARY.....	664
REFERENCES.....	690