

Ю.А. Кутлахмедов, И.В. Матвеева,  
В.А. Гроза

# НАДЕЖНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ



УДК 577.34:574.24:539.16  
ББК 28.080.1

К95

Кутглахмедов Ю.А., Матвеева И.В., Гроза В.А. Надежность биологических систем. Учебное пособие. - К.: Фитосоциологцентр, 2018. - 352 с.

Учебное пособие по курсу лекций «Надежность биологических систем» (проф. д.б.н. Ю.А. Кутглахмедов, проф. д.т.н. И.В. Матвеева, доцент, к.ф.-м.н. В.А. Гроза) посвящено новой проблеме по оценке надежности биологических систем на разных уровнях организации от клеток до экосистем разного типа. В дополнение к этому пособию авторами подготовлен сборник задач с решениями по теме «Надежность экологических систем».

Данное пособие может быть использовано при чтении курсов по оценке экологических рисков для разных уровней организации биоты в экосистемах от уровня клеток до уровня экосистем для радиационных и химических поллютантов.

Пособие будет полезно при чтении курсов лекций по экологии, радиэкологии, биофизике и экологической безопасности в технических вузах и на биологических факультетах университетов, для научных сотрудников, студентов и аспирантов данных направлений

Рецензенты: проф. д.г.-м.н. Г.А. Белявский  
д.б.н. А.Н. Михеев

Рекомендовано к печати на заседании Ученого совета Института  
клеточной биологии и генетической инженерии НАНУ  
постановлением №9 от 30 октября 2017 г.

ISBN 978-966-306-193-2

© Кутглахмедов Ю.А.,  
Матвеева И.В., Гроза В.А., 2018

Посвящается светлой памяти учителей и соратников  
проф. Д.М. Грозинского  
проф. В.И. Корогодина  
проф. Г.Г. Подикарпова

Любая система, зависящая от  
человеческой надежности, ненадежна

## Оглавление

ЧАСТЬ 1. ВВЕДЕНИЕ .....	9
1.1. Пути антропогенного воздействия на окружающую среду .....	10
1.2. Антропогенные воздействия на атмосферу и среду обитания людей .....	11
1.3. Экологические кризисы и экологические революции .....	12
1.3.1. Основные источники загрязнения ОС .....	13
Задачи и упражнения к 1 части книги .....	25
Литература к 1 части .....	25
ЧАСТЬ 2. РАДИОЕМКОСТЬ В ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ БИОСИСТЕМ .....	27
2.1. Основы теории надежности биосистем и ее применение в радиобиологии и экологии .....	27
2.1.1. Принципы анализа и основные понятия надежности биологических систем .....	27
2.1.2. Иерархические системы в биологии .....	30
2.1.3. Концепция надежности в радиобиологии многоклеточных систем .....	32
2.2. Введение в проблему надежности биосистем через модели надежности в радиобиологических реакциях .....	32
2.2.1. Проблемы надежности в иерархической структуре биосистем от клетки до экосистем .....	32
2.2.2. Методы испытания надежности биологических систем .....	35
2.3. Применение теории и моделей надежности к анализу радиобиологических явлений .....	44
2.3.1. Модели радиационного поражения многоклеточного организма (на примере растений) .....	44
2.3.2. Результаты экспериментальных исследований в теоретического анализа .....	48
2.3.3. Проблемы количественной радиобиологии многоклеточных организмов .....	59

2.3.4. Математическая модель ростовой реакции корня растения после облучения при участии репуляционного восстановления .....	61
2.3.5. Исследование радиобиологических реакций на организменном уровне интеграции Спироделы многоклеточной .....	65
2.3.6. Исследование особенностей процесса старения на уровне популяции растений и влияние на этот процесс радиации .....	66
2.4. Принципы анализа надежности биологических объектов .....	73
2.5. Конкретные методы испытания надежности биологических систем .....	81
2.6. Конкретные экспериментальные исследования. Обоснование выбора объекта исследований. Биологические особенности объекта. Методы исследования .....	81
2.6.1. Феноменологические и количественные характеристики радиационного поражения и восстановления меристемы у Спироделы многоклеточной .....	84
2.7. Исследование и моделирование радиомкости экосистем .....	91
2.7.1. Введение .....	92
2.7.2. Теория и модели радиомкости разных типов экосистем .....	93
2.7.3. Параметр радиомкости, как опережающий показатель состояния биоты экосистем .....	95
2.7.3.1. Теоретический анализ предлагаемого подхода .....	95
2.7.3.2. Экспериментальная проверка возможности использования фактора радиомкости, как опережающего параметра для оценки реакции биоты на действие различных поллютантов .....	96
2.7.3.3. Исследование поведения параметров радиомкости при действии на биоту различных стресс-факторов .....	98
2.7.3.4. Заключение по данному подразделу .....	99
2.8. Моделирование радиомкости в типичной склоновой экосистеме Украины .....	99
2.9. Общий алгоритм расчета и анализа надежности биосистем от клетки до экосистемы .....	114
Литература ко 2 части .....	116
Задачи и упражнения по 2 части .....	117
<b>ЧАСТЬ 3. НАДЕЖНОСТЬ БИОСИСТЕМ И ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ</b> .....	119
3.1. Радиомкость разных типов экосистем и принципы их экологического нормирования .....	119
3.1.1. Проблемы экологического нормирования экосистем .....	120
3.1.1.1. Оценка допустимых сбросов и складирования радионуклидов в пресноводном водоеме .....	122
3.1.2. Оценка предельно-допустимых сбросов и складирования радионуклидов в склоновых экосистемах .....	125

3.1.2.1. Экологическое нормирование для склоновой экосистемы .....	125
3.1.2.2. Оценка экологических нормативов на предельно допустимые сбросы и депонирование радионуклидов .....	125
3.1.2.3. Расчет и анализ допустимых сбросов радионуклидов в склоновой экосистеме склоновых экосистемах .....	126
3.2. Экологическое нормирование радиационного фактора .....	129
3.3. Экологическое нормирование в озерной экосистеме .....	131
3.3.1. Результаты моделирования допустимых сбросов в зерную экосистему .....	131
3.3.2. Пример анализа и расчета допустимых сбросов радионуклидов в озеро .....	131
3.4. Пример расчета экологического норматива для склоновой экосистемы .....	133
3.4.1. Оценка экологических нормативов на предельно допустимые сбросы и депонирование радионуклидов в склоновых экосистемах .....	134
3.4.2. Расчет и анализ допустимых сбросов радионуклидов в склоновой экосистеме .....	134
3.4.3. Расчет и анализ допустимых сбросов радионуклидов в лесной экосистеме .....	135
3.5. Экологическое нормирование в ландшафте методами аналитической ГИС (геоинформационной системы) технологии .....	137
3.5.1. Фактор радиомкости экосистемы ландшафта .....	137
3.5.2. Концепция трассиров в радиэкологии .....	138
3.5.3. Исследование радиомкости ландшафтов .....	139
3.6. Контроль в радиэкологии .....	141
3.6.1. Радиэкологическая оценка эффективности контроля .....	141
3.6.2. Контроль в условиях радиационных аварий .....	141
3.6.3. Принципы выбора контроля .....	144
3.6.4. Сравнительный анализ контроля, во время ликвидации аварии на ЧАЭС .....	146
3.7. Проблема экологического нормирования в свете Чернобыльской аварии .....	149
3.8. Экологическое нормирование радиационного фактора. Проблемы и перспективы .....	153
3.9. Сравнение систем экологического нормирования по референтным видам биоты и по биоте с максимальным депонированием Радионуклидов .....	156
Литература к 3 части. .....	161
Упражнения, вопросы и задачи к 3 части .....	161
<b>ЧАСТЬ 4. НАДЕЖНОСТЬ И РАДИОЭКОЛОГИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ</b> .....	163

4.1. Исследование и оценка надежности систетранспорта радионуклидов в локальной агроэкосистеме .....	163
4.1.1. Анализ проведенных исследований .....	163
4.2. Моделирование агроэкосистемы методами теории надежности .....	165
4.2.1. Описание и обсуждение полученных результатов .....	169
4.3. Оценка и сравнительный анализ радиомощности и надежности локальных агроэкосистем; загрязненных <sup>137</sup> Cs и <sup>90</sup> Sr .....	172
4.3.1. Введение .....	172
4.3.2. Моделирование конкретных локальных агроэкосистем .....	176
4.4. Проблемы надежности локальной агроэкосистемы .....	185
4.5. Оценка и повышение экологической безопасности агроэкосистемы на основе моделей надежности .....	186
4.5.1. Основные полученные результаты .....	187
4.5.2. Заключение и выводы. (Моделирование агроэкосистемы методами теории надежности) .....	188
Литература к 4 части .....	191
Упражнения и задания к 4 части .....	192
<b>ЧАСТЬ 5. ОЦЕНКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ОТ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ</b> .....	193
5.1. Риск и экологический риск .....	193
5.1.1. Определение риска .....	193
5.1.2. Опасность и риск .....	194
5.1.3. Разновидности риска .....	195
5.1.4. Особенности экологического риска .....	197
5.2. «Общество риска» и особенности принятия рискованных решений .....	202
5.2.1. Социологическая теория "общества риска" .....	202
5.2.2. Основные теоретические сведения .....	205
5.3. Теоретические сведения о прогнозе радиационного для человека .....	208
5.4. Теория радиомощности и надежности при оценке экологических рисков в экосистемах риска для человека .....	210
5.4.1. Теория и модели радиомощности в современной радиэкологии .....	210
5.4.2. Модель и параметр для оценки синергизма при действии комбинированных факторов на уровне экосистем .....	211
5.4.3. Моделирование надежности в иерархической системе от клетки до экосистем. Подсистемы с учетом возможного синергизма при комбинированном действии радиации и тяжелых металлов .....	213
5.4.4. Моделирование и теоретический анализ радиомощности ландшафтов .....	216
5.4.5. Исследование и оценка надежности и экологических рисков при транспорте радионуклидов в локальной агроэкосистеме .....	216
5.4.6. Оценка надежности и экологических рисков в избранных экосистемах .....	218
5.4.6.1. Надежность и формирование экологических рисков в склоновой экосистеме .....	218
5.5. Обсуждение описанных результатов и заключение по 5 части .....	223
5.5.1. Оценка критерия экологического риска на основе теории радиомощности экосистем .....	225
5.5.2. Экологическая емкость и радиомощность биоты экосистем, как мера экологического риска .....	226
5.5.3. Применение теории и моделей надежности при оценке экологических рисков в агроэкосистемах .....	227
Литература к 5 части .....	229
Упражнения и задания к 5 части .....	229
<b>ЧАСТЬ 6. ОЦЕНКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УЩЕРБОВ И СТРАХОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ</b> .....	231
6.1. Введение .....	231
6.2. Основные алгоритмы страховой защиты .....	231
6.3. Использование страховой защиты персонала .....	234
6.4. Алгоритм расчета ущерба от экологических последствий аварий на опасных производствах и оценка страховых сумм для ликвидации таких аварий .....	235
6.5. Экологическое нормирование, риск и страхование .....	236
6.5.1. Оценка допустимых сбросов и складирования радионуклидов и рисков в пресноводном водоеме .....	238
6.5.2. Оценка предельно допустимых сбросов и складирования и рисков от радионуклидов в склоновых экосистемах .....	241
6.5.3. Экологическое нормирование действия факторов разной природы и рисков – эквидозиметрия .....	243
6.6. Принципы нормирования. Экогигиенические нормативы .....	245
Литература к 6 части .....	247
Вопросы и упражнения к 6 части .....	248
<b>ЧАСТЬ 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ НАДЕЖНОСТНОГО АНАЛИЗА В ЭКОЛОГИИ</b> .....	249
7.1. Вступление .....	249
7.2. Пример использования данного надежностного подхода к конкретной озерной экосистеме .....	249
7.3. Пример использования данного надежностного подхода к конкретной озерной экосистеме с применением разных контрмер .....	256

4.1. Исследование и оценка надежности систетранспорта радионуклидов в локальной агроэкосистеме .....	163
4.1.1. Анализ проведенных исследований .....	163
4.2. Моделирование агроэкосистемы методами теории надежности .....	165
4.2.1. Описание и обсуждение полученных результатов .....	169
4.3. Оценка и сравнительный анализ радиомощности и надежности локальных агроэкосистем; загрязненных <sup>137</sup> Cs и <sup>90</sup> Sr .....	172
4.3.1. Введение .....	172
4.3.2. Моделирование конкретных локальных агроэкосистем .....	176
4.4. Проблемы надежности локальной агроэкосистемы .....	185
4.5. Оценка и повышение экологической безопасности агроэкосистемы на основе моделей надежности .....	186
4.5.1. Основные полученные результаты .....	187
4.5.2. Заключение и выводы. (Моделирование агроэкосистемы методами теории надежности) .....	188
Литература к 4 части .....	191
Упражнения и задания к 4 части .....	192
<b>ЧАСТЬ 5. ОЦЕНКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ОТ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ</b> .....	193
5.1. Риск и экологический риск .....	193
5.1.1. Определение риска .....	193
5.1.2. Опасность и риск .....	194
5.1.3. Разновидности риска .....	195
5.1.4. Особенности экологического риска .....	197
5.2. «Общество риска» и особенности принятия рискованных решений .....	202
5.2.1. Социологическая теория "общества риска" .....	202
5.2.2. Основные теоретические сведения .....	205
5.3. Теоретические сведения о прогнозе радиационного для человека .....	208
5.4. Теория радиомощности и надежности при оценке экологических рисков в экосистемах риска для человека .....	210
5.4.1. Теория и модели радиомощности в современной радиэкологии .....	210
5.4.2. Модель и параметр для оценки синергизма при действии комбинированных факторов на уровне экосистем .....	211
5.4.3. Моделирование надежности в иерархической системе от клетки до экосистем. Подсистемы с учетом возможного синергизма при комбинированном действии радиации и тяжелых металлов .....	213
5.4.4. Моделирование и теоретический анализ радиомощности ландшафтов .....	216
5.4.5. Исследование и оценка надежности и экологических рисков при транспорте радионуклидов в локальной агроэкосистеме .....	216

- 7.4. Пример использования данного надежного похода к конкретной озерной экосистеме с применением разных контролер и с постоянным дополнительным сбросом радиоактивности (+0,05t) .....259
- 7.5. Пример использования данного надежного похода к конкретной озерной экосистеме с применением разных контролер и с постоянным дополнительным сбросом радиоактивности (+0,2t), с учетом аварии на расположенной рядом авиабазе (пожар на складе ГСМ аэропорта) .....264

Приложение 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАДЕЖНОСТИ (по курсу лекций В.А. Дмитриева (Самара, 2008 г.) .....270

Приложение 2. «МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ АВИАПРЕДПРИЯТИЙ». Практикум для студентов .....304

Учебное пособие

**Ю.А. Кутлахмедов, И.В. Матвеева,  
В.А. Гроза**

# **НАДЕЖНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Печатается в авторской редакции  
Технический редактор – И.В. Соломаха

Издательство Украинского фитосоциологического центра  
Киев-28, Проспект Науки, 15/40, тел. (044) 5241161

Подписано в печать 08.12.2017 г. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать ризографическая.  
Усл.-печ. лист. 15.9. Уч.-печ. лист. 17.0.

Фарнитура Times New Roman. Тираж 100 экз. Зак. № 194.

Напечатано в типографии  
Украинского фитосоциологического центра