

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет

С.М. ЧЕСНОКОВА

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ
КАЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Учебное пособие

В двух частях

Часть 1. МЕТОДЫ БИОИНДИКАЦИИ

Владимир 2007

УДК 504.064.36 : 574

ББК 28.081.4 : 28.088

Ч-24

Рецензенты:

Доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой биологии
и почвоведения Владимирского государственного университета

М.А. Мазиров

Кандидат биологических наук, доцент, зав. кафедрой экологии
и безопасности жизнедеятельности

Владимирского государственного педагогического университета

В.М. Усоев

Печатается по решению редакционно-издательского совета

Владимирского государственного университета

Чеснокова, С. М.

Ч-24 Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1. Методы биоиндикации / С. М. Чеснокова ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 84 с.

ISBN 5-89368-711-6

Рассмотрены краткие теоретические основы методов биоиндикации загрязнения воздуха, почв, природных вод и конкретные методики проведения биомониторинга указанных объектов окружающей среды.

Предназначено для студентов 3-го и 4-го курсов всех форм обучения специальностей 020801 – экология и 280201 – охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, изучающих дисциплины «Экологический мониторинг» и «Экотоксикология», а также может быть полезно широкому кругу читателей, интересующихся проблемами экологии и охраны окружающей среды.

Ил. 7. Табл. 14. Библиогр.: 16 назв.

УДК 504.064.36 : 574

ББК 28.081.4 : 28.088

ISBN 5-89368-711-6

© Владимирский государственный университет, 2007.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	5
1. МЕТОДЫ ИНДИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА	10
1.1. Классификации методов фитоиндикации загрязнения воздуха	10
1.2. Фенологические методы фитоиндикации	13
1.3. Морфо- и биометрические методы	14
1.4. Анатомио-цитологические методы	15
1.5. Физиологические методы	16
1.6. Биохимические методы.....	17
1.7. Биофизические методы	19
1.8. Дендрохронологический метод.....	21
1.9. Флористический метод	22
1.10. Популяционные и экосистемные методы.....	23
1.11. Генетические методы	24
1.12. Лихеноиндикационный метод	25
Тесты для самоконтроля	27
2. МЕТОДЫ БИОИНДИКАЦИИ ПОЧВ.....	30
2.1. Биоиндикация почв по видовому составу почвенных беспозвоночных.....	30
2.2. Требования к индикаторным видам	31
2.3. Эколого-биологическая характеристика почвенных животных, используемых в качестве биоиндикаторов	32
2.4. Таксономические группы почвенной фауны, используемые в экологическом мониторинге почв.....	35
2.5. Методы учета почвенных беспозвоночных.....	39
2.6. Биоиндикация загрязнения почв по изменению видового биоразнообразия	40
2.7. Пример реализации методики	42
Тесты для самоконтроля	49

3. МЕТОДЫ БИОИНДИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОДОЕМОВ.....	52
3.1. Биоиндикация загрязнения малых рек по видовому составу макрозообентоса	52
3.2. Отбор проб для биоиндикации	53
3.3. Определение класса качества речной воды по методу С.Г. Николаева	55
3.4. Оценка качества природных вод по индексу Шеннона	62
3.5. Мониторинг загрязнения природных вод биогенными элементами	64
3.6. Оценка степени загрязнения водоема по видовому составу макрофитов.....	65
3.7. Оценка степени эвтрофикации водоема по зообентосу	67
3.8. Оценка устойчивости водоема к антропогенному загрязнению по видовому составу гидробиоценоза	68
Тесты для самоконтроля	70
Заключение	73
Приложения	76
Библиографический список.....	82

ПРЕДИСЛОВИЕ

Загрязнение природной среды традиционно контролируют путем физико-химических, физических и химических методов анализа проб воздуха, воды, почвы, биологических объектов и сравнения содержания в этих объектах загрязняющих веществ с фоновыми концентрациями или установленными гигиеническими нормативами (ПДК, ОДК).

Развитие экологической ситуации на Земле в последние десятилетия показало, что гигиенические нормативы, разработанные в целях охраны здоровья человека, в большинстве случаев не обеспечивают сохранение и выживание многих видов растений (лишайников, мхов, хвойных пород) и нормальное функционирование многих экосистем.

Существующие физико-химические методы анализа объектов окружающей среды на содержание загрязнителей и особенно на наиболее опасные поллютанты (тяжелые металлы, пестициды, диоксины и др.) не только чрезвычайно сложны и трудоемки, но и требуют больших финансовых затрат. Вместе с тем несмотря на высокую точность определения элементов и соединений в пробах результаты этих анализов недостаточно надежны в экологическом отношении по следующим причинам:

- содержание загрязняющих веществ в объектах анализа никогда математически не соответствует произведению доз на время из-за миграции и перераспределения их в объектах и среде;

- содержание (накопление) вредных веществ в объектах серьезно различается по годам даже в случае постоянства их выбросов или содержания в атмосфере из-за нестабильности погодных-климатических условий;

- результаты кратковременных химических и физико-химических методов не могут обеспечить правильную экологическую оценку долговременного действия загрязняющих веществ на экосистемы.

Характерная черта современной науки – создание новых методов на стыках различных смежных областей науки. Примером служит развитие биологических методов анализа, базирующихся на достижениях таких областей биологии, как микробиология, зоология, ботаника и др.

Использование биологических методов позволяет:

- регистрировать одновременно загрязнение среды различными веществами от низкого уровня (ниже санитарно-гигиенических ПДК) до критически опасных уровней на больших территориях;

- проводить экологическое зонирование обширных территорий (мегаполиса, района, области) по уровням загрязнения и состоянию растительности;

- оценивать экологическую опасность разных уровней загрязнения воздуха для биоты вообще и растительности в частности;

- определять критические уровни нагрузки химических загрязнителей для наземных экосистем.

Важные преимущества биологических методов – их простота, отсутствие дорогостоящего и сложного оборудования, необходимого для использования традиционных физико-химических и физических методов. Они не требуют пробоподготовки и выделения определенного соединения, позволяют проводить анализ вод, почв и воздуха в экспедиционных условиях непосредственно на месте отбора проб. С их помощью оценивают степень общего загрязнения и общей токсичности объекта окружающей среды для живых организмов и целесообразность его дальнейшего детального анализа другими, более сложными и дорогостоящими, методами.

О качестве окружающей среды, степени ее загрязнения судят по видовому составу, соотношению видов или состоянию отдельных видов в экосистеме (методы биоиндикации) либо по реакциям лабораторных подопытных организмов, помещенных в исследуемую среду (методы биотестирования). Эти организмы должны иметь известные и поддающиеся учету характеристики, легко культивироваться в лабораторных условиях.

Биологические методы основаны на том, что для жизнедеятельности – роста, размножения и функционирования живых организмов – необходима среда строго определенного химического состава. При изменении химического состава среды обитания организм через какое-то время, иногда практически сразу подает соответствующий ответный сигнал.

Все вещества по отношению к живым организмам можно условно разделить: 1) на жизненно необходимые; 2) токсичные; 3) физиологически неактивные. Очевидно, только в двух первых случаях можно ожидать сравнительно быструю реакцию организма. Физиологически неактивные вещества могут дать лишь отдаленный результат.

Ответные реакции живых организмов на изменение химического состава почвы, воды и воздуха могут быть самыми разнообразными: изменение характера поведения (поведенческие реакции); стимуляция или подавление роста, накопление биомассы; изменение пигментации, состава крови, биоэлектрической активности органов и тканей; нарушение функций систем различных органов (размножения, пищеварения); патолого-анатомические изменения организма; накопление загрязняющих веществ в биомассе и даже гибель.

Контроль уровня загрязнения объектов окружающей среды можно проводить практически по любым видам, начиная от вирусов и микроорганизмов и заканчивая человеком, и на всех уровнях организации живой материи от молекулярного до экоси-

стемного. Исторически в решении проблем нормирования качества окружающей среды наметился антропоцентрический подход. Однако сохранение среды для безопасной жизни человека возможно только при условии обеспечения необходимого экологического режима для всей биоты и биосферы в целом. Для поддержания биогеохимических циклов в биосфере и ее гомеостаза необходимо в первую очередь обеспечить оптимальные условия для деятельности продуцентов (растительности). Это важно потому, что они стоят в начале трофической цепи и от их продуктивности зависит круговорот материи и энергии в биосфере.

В условиях глобального загрязнения воздуха, воды и почвы уже нельзя говорить об абсолютном качестве объектов окружающей среды и, возможно, даже и о доантропогенном их качестве или естественном биогеохимическом фоне загрязнителей. Поскольку признана необходимость диалектического единства и своего рода компромисса в эволюции человеческого общества и природы в условиях техногенеза, постольку качество среды следует рассматривать как оптимально допустимое, необходимое для сохранения и развития цивилизации и биосферы. Поэтому допустимым в современных условиях качеством среды следует признать такое (состав, свойства, чистота), которое не вызывает ощутимых нарушений в функционировании организмов, экосистем и биогеохимических циклов биосферы.

Экологический подход в этом вопросе указывает на необходимость признания и учета следующих основополагающих принципов, полезных и важных для разработки нормативов допустимого загрязнения среды и оценки ее качества:

- качество (оптимальность) условий среды должно устанавливаться для всей биоты по самым чувствительным (видам) и процессам;

- в качестве диагностических признаков для оценки качества среды и состояния экосистем должны использоваться наиболее

чувствительные и поэтому информативные процессы и функции на клеточном, тканевом и организменном уровне;

- регистрация изменений и нарушений у организмов и популяций должна осуществляться с помощью объективных и точных методик с использованием современных прецензионных приборов;

- качество (чистоту) среды следует оценивать по долговременному действию загрязнителей (среднегодовых концентраций ингредиентов) и таким же по времени нарушениям и изменениям у живых организмов.

В данном учебном пособии рассматриваются наиболее распространенные, доступные методы биоиндикации загрязнения основных компонентов окружающей природной среды (воздуха, почв, природных водоемов).

1. МЕТОДЫ ИНДИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

1.1. Классификация методов фитоиндикации загрязнения воздуха

Качество воздуха определяют в первую очередь по реакциям растений и лишайников на загрязнители. Метод определения качества среды с помощью растений – фитоиндикация, лишайников – лишеноиндикация.

Растения весьма чувствительны к загрязнению воздуха. Высокая чувствительность растений вызвана наличием у них фотосинтетического аппарата, высокочувствительного к любым воздействиям. Синтез углеводов и запасание световой энергии в процессе фотосинтеза у растений сопровождаются поглощением диоксида углерода. Попутно, а иногда и в ущерб ассимиляции диоксида углерода растения поглощают из воздуха загрязняющие вещества. Именно с этой особенностью автотрофного метаболизма продуцентов связана их более высокая чувствительность к большинству поллютантов.

Оценку качества воздуха проводят с помощью чувствительных растений-индикаторов. Разработаны ботанические, биофизические, дендрохронологические, популяционные и биогеоэкологические подходы и методы оценки влияния атмосферных загрязнителей на растительность и биоиндикации чистоты воздуха.

С одной стороны, классификация принципов и уровней биоиндикации качества воздуха и вообще окружающей среды может быть произведена с учетом уровней организации живой материи: 1 – молекулярный уровень биоиндикации; 2 – субклеточный

и клеточный уровни биоиндикации; 3 – органнй и организменный уровени; 4 – популяционный уровень; 5 – экосистемный и биогеоценотический; 6 – биосферный. С другой стороны, методы биоиндикации могут классифицироваться по общности методов исследования: 1 – фенологические методы; 2 – морфо- и биометрические; 3 – анатомо-цитологические; 4 – физиологические; 5 – биохимические; 6 – биофизические; 7 – флористические; 8 – генетические; 9 – биоценотические; 10 – экосистемные.

Биоиндикация может осуществляться по ответной реакции наиболее чувствительных к отдельным ингредиентам видов растений или по накоплению вредных веществ в их теле. Поэтому среди растений выделяют следующие виды: 1 – биоиндикаторы с высокой чувствительностью к поллютантам; 2 – биоиндикаторы-накопители. Для анализа загрязнения лучше использовать первую группу биоиндикаторов, так как изменения и нарушения у них непосредственно отражают (сигнализируют) степень загрязнения воздуха. Во втором случае необходимо дополнительно экспериментально определить, при каких уровнях накопления поллютантов в организмах находятся (соответствуют) допустимые уровни загрязнения воздуха.

Большинство используемых в фитоиндикации методов неспецифичны, так как изменения и нарушения у растений под влиянием загрязнителей, как и многих экстремальных условий, вообще не определены и в то же время часто сходны. Нередко сходный и неспецифичный характер имеют и последующие после стресса биологические последствия и процессы репарации. Поэтому признано необходимым для надежности установления природы (причины) нарушений у растений вредными соединениями определять или знать: 1 – состав и концентрации ингредиентов в воздухе, время действия; 2 – накопление загрязнителей в тканях растений в опыте и контроле.

К сожалению, химические анализы растений на содержание в них поллютантов не дают четкой и надежной информации о загрязнении воздуха, так как поглощенный листьями ингредиент из воздуха подвергается перераспределению по органам, удалению в почву и воздух, вымыванию осадками. Замечено, что ксенобиотики (чужеродные растениям соединения – фтор, хлор, свинец, ванадий и др.) накапливаются в растениях и более надежно характеризуют произведение дозы на время действия, чем элементы-органогены и их соединения (N, S, P, CO₂, CH₂O).

Начиная с пятидесятых годов XX в., в экологии сформировалось мнение, что ее проблемы и проблемы охраны природы должны изучаться исключительно с помощью методов современной популяционной и экосистемной экологии. Это четко просматривается при анализе программы ГСМОС и национальных программ мониторинга и даже программы «Экологическая безопасность России». Нельзя отрицать полезность и важность этих методов, когда изучаются процессы антропогенных нарушений в экосистемах и ландшафтах, когда необходимы специальные расчеты динамики сообществ, накопления и превращения в трофических цепях органической материи и энергии и в ряде других случаев. Вместе с тем имеется ряд проблем, изучение которых невозможно этими или только этими методами. С одной стороны, (определение ПДК и ПДС, механизмы повреждения и гибели организмов, механизмы связывания, транслокации и обезвреживания поллютантов, биоиндикация загрязнения среды, экологическое зонирование территорий и др.) нужны и важны методы и подходы классических наук – физиологии, биохимии, биофизики, молекулярной биологии.

С другой стороны, большинство методов этих дисциплин часто более чувствительны и точны (на 2 – 5 порядков), а потому и более эффективны для исследований по биомониторингу и биоиндикации загрязнения среды. Методы современной экологии

не только менее чувствительны и информативны для указанных целей из-за высокой сложности систем и интегральности их параметров, но чрезвычайно трудоемки и сложны. Поэтому их никогда не смогут использовать как экспресс-методы. По ряду генетических и чисто экологических причин (генетический полиморфизм и изменчивость, экотипическое разнообразие, различия в экологической валентности видов и экотипов, в гомеостатических механизмах экосистем, в стено- и эврибионтности видов и др.) методы дем- и синэкологии в биоиндикации качества среды не могут быть признаны надежными и достоверными.

1.2. Фенологические методы фитоиндикации

Многие исследователи отмечают при загрязнении воздуха нарушение феноритмов роста и развития растений и ускорение процессов старения организмов. Начальные фазы распускания почек, облиствения побегов древесных растений и начало цветения (липа), а также пожелтение листьев при загрязнении воздуха до 12 – 17 ПДК ускоряются, продолжительность вегетации сокращается, но полный листопад заканчивается в близкие сроки, как и в чистой среде. Указанные нарушения феноритмов и развития растений вызваны изменением микроклимата: на загрязненных территориях раньше и быстрее происходит снеготаяние и среднесуточная температура воздуха достигает +5 °С. Такая температура необходима для распускания почек.

Вместе с тем фенологические методы биоиндикации применимы для оценки достаточно высоких уровней загрязнения воздуха (10 ПДК и более).

Имеются сведения, что под влиянием некоторых газов может изменяться окраска генеративных органов и листьев (гесперис женский, барбарис обыкновенный), ослабление осенней раскраски листьев перед листопадом.

1.3. Морфо- и биометрические методы

Промышленные газы в определенном диапазоне концентраций (от 1 ПДК и выше) вызывают у растений появление некрозов (ожогов) на листьях и хвое, уменьшение линейного роста побегов, количества и размеров ассимиляционных органов на годичных побегах (древесные растения) или на стебле (травянистые растения), уменьшение площади листовой пластинки, сырого и сухого веса листьев годичного побега (ксерофитизация), снижение возраста хвои у хвойных пород, ускорение усыхания нижних ветвей в насаждениях (ель, пихта), сокращение сроков жизни деревьев.

У хвойных пород более интенсивно идет снижение охвоенности (количество хвои на 1 см побега) годичных отрезков побегов.

Перечисленные нарушения заметно раньше проявляются у хвойных пород с большой длительностью жизни хвои (ель), несколько позднее – у сосны. У лиственных пород, ежегодно сбрасывающих в умеренно континентальном климате листву, эти же нарушения проявляются при относительно большем уровне загрязнения воздуха (7 – 10 ПДК и более).

Многими исследователями сформулированы и обоснованы методические указания по правилам отбора насаждений, модельных деревьев и проб с них для анализов, методов расчета показателей. Так, при высоких уровнях загрязнения воздуха морфобиометрические измерения для получения достоверных различий в вариантах, опыт и контроль можно у хвойных пород проводить в 10-кратной повторности, у лиственных пород – в 20-кратной, а при низких уровнях загрязнения воздуха у хвойных пород – в 20-кратной и более. В качестве модельных лучше отбирать деревья 1-го класса Крафта.

1.4. Анатомио-цитологические методы

Длительное или постоянное воздействие промышленных газов на растительность вызывает серьезное изменение анатомического строения листьев и хвои растений и увеличение ксерофитизации.

В городах и промышленных центрах у растений более мелкие и несколько более толстые листья, а у хвои более мелкие клетки. Листья имеют меньшую толщину верхнего эпидермиса, кутикулы, меньшую толщину и число слоев палисадной ткани, больше устьиц на 1 мм^2 поверхности листа. Под влиянием промышленных газов уменьшается апертура устьиц в течение дня. Степень описанных нарушений в анатомическом строении ассимиляционных органов зависит от концентрации и токсичности газов, а также длительности действия их и чувствительности видов.

Серьезные нарушения наблюдаются и в строении фотосинтезирующих клеток и особенно в хлоропластах и вакуолях. Кислые газы вызывают в фотосинтезирующих клетках разбухание клеточных оболочек, псевдовыросты на митохондриях, разбухание и деструкцию хлоропластов (грануляцию и увеличение плотности стромы хлоропластов), увеличение количества пластоглобул и их размеров, набухание мембран хлоропластов и митохондрий, редукцию гран, потерю тургора клеток.

Так как тонкие изменения структуры клетки можно видеть при больших увеличениях микроскопа, то приготовление срезов и их микроскопирование представляют собой трудную и долговременную работу. Более быстрыми среди этой группы являются методы биоиндикации с использованием в качестве показателей числа и размеров устьиц на поверхности листьев; дневную динамику апертуры устьиц, размеры клеток эпидермиса.

1.5. Физиологические методы

Многие физиологические процессы у зеленых растений обладают высокой чувствительностью к промышленным загрязнителям. Влияния большой группы кислых (SO_2 , NO_x , Cl_2 , HF , озон) и некоторых других (NH_3 , CH_2O и др.) газов близки, сходны и потому неспецифичны.

Кислые газы вызывают трехфазное изменение фотосинтеза (1-я фаза – слабое подавление; 2-я фаза – активация; 3-я фаза – устойчивое и глубокое подавление). В полевых условиях обычно фиксируется только подавление фотосинтеза. На основании этого явления (подавление фотосинтеза) был разработан метод определения физиологических ПДК допустимого загрязнения воздуха для растительности и определены нормативы ПДК для растений по 11 ингредиентам. Так как фотосинтез у продуцентов является одним из самых чувствительных физиологических процессов к действию любых экологических и антропогенных факторов, то указанный выше метод может использоваться как метод биоиндикации чистоты воздуха.

Кислые газы вызывают вначале активацию, а затем подавление дыхания листьев растений и изменение химизма дыхания. Активация дыхания вызвана окислением свежих продуктов фотосинтеза, так как почти все газы являются сильными окислителями, а подавление дыхания вызвано полным расходом дыхательного субстрата клетки и прекращением фотосинтеза. Вместе с тем современные методы определения дыхания не позволяют использовать эти нарушения для биоиндикации загрязнения воздуха.

Многие исследователи установили влияние промышленных газов на проницаемость клеточных мембран. Так как многие газы – окислители и проникновение их в клетку происходит через биомембраны, то окисление их облегчает экзоосмос из клетки в дистиллированную воду катионов и анионов. Метод определения

изменения проницаемости клеточных мембран листьев и хвои растений по изменению электропроводности дистиллированной воды после 2 – 4-часового пребывания в ней высечек из листьев достаточно прост и доступен для массовых исследований по биоиндикации загрязнения воздуха. Разработан новый неэлектрометрический метод определения нарушения проницаемости клеточных мембран под влиянием газов.

В связи с окислительным процессом биомембран клеток растений газами листья и хвоя быстрее теряют свободную воду. Поэтому в промышленных регионах и крупных городах с высоким уровнем загрязнения воздуха листья и хвоя растений имеют меньшую оводненность (процент содержания воды в свежих листьях). Вместе с тем сам показатель оводненности листьев и хвои недостаточно стабилен в природных условиях, так как зависит от многих экологических условий. Поэтому был предложен метод определения водоудерживающей способности листьев растений или скорости потери воды изолированными органами при завядании в контролируемых условиях. В этом случае обнаруживается четкая зависимость между названным показателем и степенью загрязнения воздуха.

1.6. Биохимические методы

Нарушение фотосинтеза и дыхания растений даже на первых этапах действия газов вызывает изменения их химизма. Многие промышленные газы вызывают изменения метаболизма углерода при фотосинтезе: увеличение синтеза C_4 -продуктов, аланинный эффект, снижение синтеза полимерных углеводов (сахарозы, крахмала). Происходит деструкция белков, которая ведет к накоплению свободных аминокислот и органических кислот. Кислые газы вызывают снижение синтеза галактолипидов, уменьшается содержание пальмитиновой кислоты и моноальдегида, повышается содержание этилена, этана и абсцизовой кислоты.

Вместе с тем все биохимические методы исследований (изотопный и радиохроматография, газожидкостная хроматография и др.) чрезвычайно сложны и трудоемки и потому не могут использоваться как методы биоиндикации загрязнения воздуха.

Промышленные газы вызывают у растений нарушение синтеза или окисление некоторых вторичных метаболитов, имеющих важное значение для толерантности клеток. К таким соединениям относятся аскорбиновая кислота (антиоксидант). Исследования, проведенные в условиях усадьбы Ясная Поляна, показали, что у хвойных (ель) и лиственных пород (дуб, липа, береза) в условиях повышенного загрязнения воздуха аммиаком, окислами азота, сероводородом, формальдегидом и другими (суммарно 13 – 18 ПДК) в течение вегетационного периода 1984 – 1987 гг. содержание аскорбиновой кислоты в листьях и в хвое было постоянно ниже, чем в контроле на 20 – 58 %. Метод определения аскорбиновой кислоты в растениях титрованием по Сапожникову очень прост, что позволяет его рекомендовать для биоиндикации загрязнения атмосферного воздуха. Однако необходима доработка метода с целью определения корреляции концентрационной (газ) и временной зависимости действия поллютантов на содержание аскорбиновой кислоты, а также подбор видов растений-индикаторов.

Многие газы оказывают влияние на ферменты фотосинтетического цикла и дыхания. Ферменты фотосинтетического цикла трудны для анализов и потому не могут использоваться для биоиндикации. Проще и доступнее методы определения активности окислительных ферментов (пероксидаза, полифенолаксидаза, аскорбатоксидазы) и нитрат-редуктазы. Сернистый газ вызывает активацию пероксидазы и полифенолоксидазы и ингибирование каталазы. Азотсодержащие газы повышают активность дегидрогеназ и нитратредуктаз.

Изменение активности названных ферментов достаточно легко определить фотоколориметрическими и другими методами, и потому его можно использовать для биоиндикации загрязнения воздуха, что подтвердили исследования многих авторов. По изменению активности пероксидазы финские исследователи смогли картировать зоны разного поражения хвойных лесов и, следовательно, определить долговременное действие разных уровней загрязнения воздуха диоксидом серы. Было даже высказано положение, что по активации фермента пероксидазы можно определять ПДК допустимого загрязнения воздуха для растительности.

Пигментный состав фотосинтезирующих растений привлекал многих исследователей растений к газам и степени поражения растений, что приближало многих из них к оценке биоиндикационной значимости этого показателя. К сожалению, пигментный состав листьев и хвои растений достаточно лабильный, неустойчивый признак в течение не только вегетации, но и одних суток. С другой стороны, изменение пигментного состава растений под влиянием промышленных газов происходит неоднозначно не только в зависимости от концентрации и времени действия газа. Как и в случае с фотосинтезом, содержание пигментов под влиянием газов изменяется двухфазно (сначала наблюдается даже увеличение содержания пигментов, а затем разрушение их). Поэтому, а также в связи с методической сложностью и трудоемкостью определения пигментов последние не могут широко использоваться в биоиндикации загрязнения воздуха. Вместе с тем в ряде случаев исследователи рекомендуют использовать изменение содержания пигментов в растениях для целей биоиндикации загрязнения воздуха.

1.7. Биофизические методы

Биофизические методы исследования жизнедеятельности растений имеют значительные преимущества перед традицион-

ными физиолого-биохимическими методами, так как позволяют прижизненно (без умерщвления и растирания) изучать многие процессы в динамике действия любых экологических и антропогенных факторов. К ним относят электрофизические методы регистрации рН и гН, электропроводности и электрической емкости, биолюминесценцию, спектральный анализ и некоторые другие процессы.

Многие исследователи установили, что кислые газы вызывают снижение рН, Eh и гН, а щелочные газы (NH_3) – увеличение их. Использование твердых игольчатых электродов позволяет проводить массовые полевые исследования окислительно-восстановительного потенциала тканей растений под влиянием промышленных загрязнителей. Исследователи нашли, что электросопротивление камбия древесных пород и тканей хвои, биопотенциалы и ответная биоэлектрическая реакция листьев растений на импульсную засветку могут характеризовать уровни загрязнения воздуха и состояние растений. Под влиянием промышленных эмиссий у древесных растений увеличивается электросопротивление тканей с 80 – 100 до 200 – 500 мОм у ослабленных и более 500 мОм у отмирающих деревьев. Следовательно, этот метод позволяет оценивать как долговременные уровни загрязнения воздуха, так и состояние лесных экосистем.

Быстрая и замедленная флуоресценция надежно характеризует влияние любых экстремальных условий на фотосинтезирующие органы растений и состояние, продуктивность растений. Использование этих методов в исследованиях показало, что быстрая флуоресценция хлорофилла увеличивается или уменьшается в зависимости от чувствительности вида, токсичности газа и скорости его связывания. Замедленная флуоресценция в начале действия газов активизируется, а затем подавляется, как и фотосинтез.

В полевых условиях с помощью фосфороскопа можно регистрировать нарушения замедленной флуоресценции и фотосинтеза и после методической доработки выйти на определение уровней загрязнения воздуха и состояния растений.

В.Н. Карнауховым, А.С. Керженцевым и В.А. Яшиным предложен люминесцентный метод биоиндикации состояния экосистем в промышленных регионах.

1.8. Дендрохронологический метод

Дендрохронологический метод позволяет изучать изменение климатических условий на Земле и действие различных экологических и антропогенных факторов на древесные породы и лесные экосистемы. Хвойные и другие кольцепоровые древесные породы благодаря большой длительности жизни позволяют по радиальному годичному приросту реставрировать и анализировать динамику изменений климатических условий в регионах и на континентах за сотни и тысячи лет. Точно также можно изучать многолетнюю динамику изменения загрязнения атмосферного воздуха в городах и промышленных центрах, так как подавление фотосинтетической деятельности древесных растений и ослабление деревьев и насаждений интегрально отражаются на радиальном годичном приросте. Установлена надежная корреляция между уровнями загрязнения воздуха фтором и снижением радиального годичного прироста у сосны, ели и лиственницы. Из этих пород ель (длительность жизни хвои от 7 до 15 лет в контроле) проявила большую чувствительность к фтору (снижение годичного радиального прироста более существенно). Меньшая чувствительность к фтору у лиственницы (хвоя ежегодно опадает).

Разработаны некоторые методические правила для повышения эффективности дендрохронологического метода биоиндикации загрязнения воздуха. Дендрохронологический метод биоиндикации перспективен еще и потому, что он позволяет рассчитать снижение прироста древесины за год и, следовательно, экономический ущерб от загрязнения воздуха и одновременно состояние лесных экосистем. Так, промышленная пыль, как и многие газы, за 5 – 7 лет до гибели дерева вызывает очень сильное подавление радиального годичного прироста. Последнее можно и следует связывать с резким сокращением охвоенности кроны, возраста хвои и подавлением фотосинтеза у оставшейся хвои в кроне.

1.9. Флористический метод

В районах действия крупных промышленных предприятий (Братск, Норильск, Мончегорск и др.) четко выделяются 3 – 5 зон уровней загрязнения воздуха и дигрессии насаждений. Здесь по зонам можно четко проследить изменение уровня загрязнения воздуха и распада, гибели насаждений. Вначале действия газов и пыли и при низких уровнях загрязнения воздуха погибают и исчезают наиболее чувствительные лишайники *Usnea*, *Alectoria*, *Вуорогон* (среднедолголетняя концентрация SO_2 – 3, HF – 1 мкг/м³), а затем более устойчивые лишайники и мхи (*Нурогумния*, *Parmelia*, *Sphagnum*) – концентрация SO_2 – 3 – 7; HF 1 – 3 мкг/м³. Затем повреждаются и усыхают хвойные породы (сосна, ель) и лишь при высоких среднедолголетних концентрациях газов – вначале чувствительные, а затем менее чувствительные лиственные породы. Последние погибают (I зона) при концентрации SO_2 и HF 3 – 5 ПДК и более.

Таким образом, изменение флористического состава растительности, исчезновение подроста хвойных пород, и в первую

очередь лишайников может использоваться для биоиндикации загрязнения воздуха и состояния наземных экосистем. Для этих целей может использоваться ряд флористических показателей: индекс видового разнообразия, плотность покрытия поверхности почв, индекс жизненного состояния и др.

Ряд авторов приводит списки особо чувствительных видов растений к отдельным загрязнителям. Искусственный посев таких чувствительных видов на различных расстояниях от источника эмиссий и постоянный морфобиометрический контроль могут позволить выявить уровни загрязнения воздуха и критические или пороговые уровни загрязнения.

Вместе с тем флористические методы биоиндикации более субъективны и менее надежны, чем другие перечисленные выше методы.

1.10. Популяционные и экосистемные методы

Влияние атмосферных загрязнителей на растения в определенном интервале концентраций и времени действия можно квалифицировать как химический стресс. Обнаружение стресса на популяционном уровне может быть критерием (индикатором) наличия воздействия атмосферных токсикантов на растительность. В этом случае можно регистрировать изменения различных параметров популяции: скорость размножения; плотность, смертность особей; возрастной состав популяции; динамику численности; повышение изменчивости ряда параметров популяции и др.

При действии досублетальных концентраций токсикантов, когда в популяциях проявляются процессы адаптации, последняя должна сопровождаться повышением изменчивости ряда морфобиометрических признаков у особей популяции. Анализ изменчивости признаков популяции при разных уровнях загрязнения

среды позволит разработать критерии, полезные для последующей биоиндикации загрязнения воздуха и, возможно, экологического нормирования химических нагрузок.

Индикация уровня рекреационной нагрузки, не затрагивающей эдификаторного (верхнего) яруса биоценоза, может осуществляться путем наблюдения за соотношением численности растительных доминантов и эксплерентов, т.е. видов травяного яруса, полностью приуроченных к одной ассоциации. В интервале более значительных нагрузок, уже угрожающих целостности растительного покрова, целесообразно учитывать видовой состав и проективное покрытие ценофобных видов.

Биоиндикация антропогенных воздействий на биосферу может быть обеспечена средствами динамической биогеоценологии (синдина-мики).

Первые исследования биогеоценологического уровня в Белоруссии показали, что атмосферные загрязнители вызывают уменьшение индекса разнообразия видов и плотности покрытия почвы чувствительными видами, снижение бонитета и полноты насаждений, запаса древесины на 1 га, уменьшение среднего диаметра и высоты главной породы, среднего годовичного прироста на 1 га, изменение соотношения (процента) деревьев разных форм по состоянию (уменьшение здоровых деревьев и увеличение ослабленных и усыхающих), снижается КПД фотосинтеза и транспирации, усиливается отпад вегетативных органов, ослабляется разложение подстилки, увеличивается проникновение под разреженный полог насаждений кустарников и ксерофильной травянистой растительности (злаки).

1.11. Генетические методы

Важным результатом многолетнего периода исследований влияния химических загрязнителей на растения было доказатель-

ство генетической природы их газоустойчивости. Вместе с тем до сих пор генетики мало интересуются генетическими последствиями воздействия атмосферных загрязнителей.

Под влиянием атмосферных загрязнителей падает митотическая активность, увеличивается частота хромосомных aberrаций, изменяется спектр перестроек, увеличивается процент перестроек хроматидных мостов, появляются многополюсные митозы. Установлено, что изменения активности пролиферации клеток, частоты и спектра хромосомных aberrаций меристем и зачаточных листочков древесных растений могут быть использованы как критерии загрязнения среды газами и тяжелыми металлами. Выявлены наиболее чувствительные виды растений для цитогенетической биоиндикации (береза повислая, сирень обыкновенная, конский каштан обыкновенный).

Цитогенетические методы биоиндикации, однако, не могут быть экспресс-методами полевых исследований.

1.12. Лихеноиндикационный метод

Лихеноиндикация как метод определения степени загрязнения воздуха заняла в последнее время среди других методов оценки состояния окружающей среды определенное и достойное место. По сравнению с аэрохимическими методами лихеноиндикация имеет ряд положительных моментов: 1) это быстрый и дешевый метод картирования химических нагрузок на больших территориях; 2) метод позволяет фиксировать состояние воздушной среды за длительные сроки. Вместе с тем этот метод можно применять только в тех городах и лесных экосистемах, где есть лишайники. При отсутствии лишайников (лишайниковая пустыня) этот метод теряет смысл. В настоящее время изучена чувствительность различных видов лишайников к ряду загрязнителей, определена их полетолерантность.

Исследования в северной тайге на Кольском полуострове показали, что эпифитные кустистые лишайники (*Usnea*, *Alectoria*, *Bryoragon*) выдерживают многолетние предельные допустимые концентрации SO_2 до 3 мкг/м^3 , HF – 1 мкг/м^3 и пыль – $0,01 \text{ мг/м}^3$; эпифитные листоватые лишайники родов *Hypogymnia*, *Parmelia*, *Parmeliopsis* и мох *Sphagnum* выдерживают SO_2 – $3 - 7 \text{ мкг/м}^3$, HF – $1 - 3 \text{ мкг/м}^3$ и пыль $0,01 - 0,2 \text{ мг/м}^3$.

С помощью химического анализа серы в слоевище лишайника *Hypogymnia physodes* было обнаружено, что в первично чистом районе Белоруссии при фоне SO_2 $1,9 - 3,3 \text{ мкг/м}^3$ в лишайнике содержится 5 мкг SO_4 в 1 г , слабозагрязненном районе – 10 мкг SO_4^{2-} в 1 г и в сильнозагрязненном районе, где заметна дигрессия хвойных насаждений, – 60 мкг/м^3 . Следовательно, с помощью химического анализа слоевища лишайника *Hypogymnia physodes* можно определять среднемноголетнюю концентрацию SO_2 в воздухе.

Исследователями (Х.Трасс, Андерсон, Трешоу) разработан индекс атмосферной чистоты (ИАЧ). Он вычисляется по формуле

$$\text{ИАЧ} = \sum(Qf)^{10},$$

где Q – экологический индекс определенного вида (или индекс токсифобности);

f – комбинированный показатель покрытия – встречаемость.

Показатель ИАЧ имеет широкую амплитуду от нуля (отсутствии лишайников) до $50 - 60$ и более. Чем чище воздух, тем больше показатель ИАЧ.

С помощью ИАЧ были картированы зоны загрязнения воздуха во многих крупных городах Западной и Центральной Европы.

Таким образом, метод лишеноиндикации достаточно прост и удобен для индикации атмосферного загрязнения и картирования многолетних химических нагрузок на лесные экосистемы.

Тесты для самоконтроля*

1. Биологические методы мониторинга загрязнения объектов окружающей среды позволяют оценить:

а) химический состав загрязняющих веществ; б) определить влияние критически опасных уровней загрязнения на живые организмы; в) оценить воздействие всего комплекса вредных факторов на живые организмы; г) оценить влияние отдельных загрязнителей на здоровье человека.

2. Какие из указанных растений являются наиболее чувствительными индикаторами загрязнения воздуха диоксидом серы и фторводородом?

а) кукуруза, рожь; б) сосна, ель; в) овес, горох; г) одуванчик, подорожник большой.

3. Какие из указанных загрязнителей наиболее опасны для фотосинтетического аппарата растений?

а) SO_2 и NO_2 ; б) CO и CH_4 ; в) C_2H_4 ; г) CO и C_2H_6 .

4. В каких методах биоиндикации изучается зависимость между уровнем загрязнения воздуха и подавлением фотосинтеза?

а) анатомо-цитологических; б) морфо-биометрических, физиологических; г) фенологических.

5. Нарушения феноритмов роста и развития растений происходят:

а) при низких уровнях загрязнения воздуха (меньше или равно ПДК); б) высоких уровнях загрязнения воздуха (более 10 ПДК); в) увеличении в воздухе концентрации CO_2 ; г) возрастании в воздухе концентрации CH_4 .

* Ответы на тесты приведены в прил. 3.

6. Какие методы фитоиндикации основаны на изучении зависимости между уровнем загрязнения воздуха и уменьшением линейного роста побегов, размеров листьев?

а) фенологические; б) биохимические; в) анатомо-цитологические; г) морфобиометрические.

7. Анатомо-цитологические методы фитоиндикации основаны на изучении зависимости между уровнем загрязнения воздуха и:

а) биофизическими параметрами тканей растений; б) морфобиометрическими показателями растений; в) содержанием поллютантов в тканях растений; г) нарушениями в анатомическом строении ассимиляционных органов.

8. Дендрохронологический метод биоиндикации загрязнения воздуха проводится по изменению:

а) радиального годичного прироста древесных пород; б) видового состава фитоценозов; в) биохимических показателей растений; г) морфобиометрических показателей растений.

9. Какие из указанных методов фитоиндикации могут быть использованы для изучения изменения климата под воздействием загрязнения воздуха в различных континентах и регионах?

а) флористические; б) физиологические; в) дендрохронологические; г) морфобиометрические.

10. Какие из указанных растений используются в качестве индикаторных в генетических методах биоиндикации загрязнения воздуха?

а) клен американский, тополь пирамидальный; б) крапива двудомная, полынь горькая; в) береза повислая, сирень обыкновенная; г) горчица белая, люпин многолетний.

11. Методами лишеноиндикации можно оценить:

а) среднемноголетний уровень загрязнения воздуха SO_2 , NO_2 , HF ; б) среднемноголетний уровень загрязнения воздуха CO , CH_4 , CH_2O ; в) уровень загрязнения воздуха токсичными газами в момент исследования; г) изменение среднегодовых температур воздуха за длительный период.

12. В генетических методах биоиндикации загрязнения воздуха регистрируются:

а) изменения различных параметров популяции растений; б) изменение видового состава растительных сообществ; в) изменение частоты хромосомных аббераций, митотической активности; г) нарушение процессов фотосинтеза и дыхания растений.

2. МЕТОДЫ БИОИНДИКАЦИИ ПОЧВ

2.1. Биоиндикация почв по видовому составу почвенных беспозвоночных

Почва, выполняя свои экологические функции, обеспечивает стабильность отдельных биогеоценозов и биосферы в целом, поэтому мониторинг состояния почв имеет особо важное значение. В настоящее время разработано множество методов и методик оценки состояния почв: по состоянию растительных и животных биоиндикаторов; показателям биологической активности почв (активности почвенных ферментов, дыханию почв, целлюлолитической активности и т.д.).

В основе этих методик лежит визуальное наблюдение за изменением видового состава мезофауны и макрофауны.

Видовой состав животных, обитающих в почвах, является специфическим для различных почвенных комплексов, поэтому изменения группировок и численности видов в них могут свидетельствовать о загрязнении почв различными веществами и изменении структуры почв под влиянием антропогенных факторов. В соответствии с этим биоиндикация химического загрязнения почв с помощью беспозвоночных применима только для одного типа почвы в пределах одной почвенной зоны, для которой характерен определенный перечень животных биоиндикаторов, районированных в данной климатической зоне, для данного типа почв.

Данная методика предназначена для использования в умеренном климатическом поясе с подзолистыми, дерново-подзолистыми и серыми лесными почвами. Методика применима

только в весенне-летний период. Это связано с увеличением жизненной активности почвенных беспозвоночных.

2.2. Требования к индикаторным видам

Правила проведения биоиндикации:

– биоиндикатор должен быть наиболее приспособлен к существованию в строго определенных условиях среды обитания (стенотопные виды); более редкие виды в биоценозах, как правило, являются лучшими индикаторами, нежели широко распространенные (эвритопные виды);

– при работе отдавать приоритет более крупным видам биоценозов, так как последние являются лучшими индикаторами по сравнению с мелкими вследствие того, что скорость оборота последних в биоценозах выше и они могут не попасть в пробу в момент исследования;

– при выделении вида (группы видов), используемого в качестве биоиндикатора, необходимо иметь экспериментальные данные о лимитирующих значениях вредного воздействия среды с учетом возможных компенсаторных реакций вида и его толерантности;

– отдавать предпочтение численному соотношению разных видов, так как последнее более показательно, нежели численность одного вида (относительные оценки всегда предпочтительнее абсолютных);

– биоиндикатор должен быть универсальным (чем в большем количестве климатических зон распространен биоиндикатор, тем он более универсален);

– минимизация усилий при работе в полевых условиях, т.е. при равных достоинствах выбирать тот биоиндикатор, с которым удобнее и дешевле работать.

2.3. Эколого-биологическая характеристика почвенных животных, используемых в качестве биоиндикаторов

Животные обитатели почв принимают активное участие в разложении мертвых растительных остатков наряду с почвенными бактериями и грибами. Почвенные животные оказывают существенное влияние на химизм почв, образование гумуса, структурные свойства, биологическую активность и в целом на почвенное плодородие.

Все животные, обнаруживаемые в почвах, могут быть разделены на три группы: геобионты, геофилы и геоксены.

Геобионты – постоянные обитатели почв (например дождевые черви, многоножки, ногохвостки).

Геофилы – животные, живущие в почве на протяжении части жизненного цикла (личинки клещей, шелконов, медведок).

Геоксены – животные, лишь временно укрывающиеся в почве (например вредная черепашка, некоторые насекомые (колорадский жук)).

Почва – сложная среда, в ней есть и воздушные полости, и тонкие капилляры, заполненные раствором с разной концентрацией органических и минеральных веществ, и огромная площадь твердых поверхностей; почва может быть рыхлой и плотной. Поэтому заселение почвы как в целом, так и отдельных ее слоев и микролюков производится животными по-разному в зависимости от величины их тела, типов дыхания и питания.

Учитывая особенности образа жизни и влияние на почву животных разных размеров, их делят на три группы, что оправдывается также необходимостью применения для каждой из них специфических методов количественной оценки содержания в почве.

Чаще выделяют три группы: микро-, мезо- и макрофауну. Иногда из первой вычлняют нанофауну, а из последней – мегафауну.

Нанофауна представлена одноклеточными простейшими, размеры которых не выходят за пределы двух – трех десятков микрометров. Они живут в водной фазе почвы, в почвенных порах, заполненных водой, и по сути своей являются не столько гео-, сколько гидробионтами. Популяции некоторых видов встречаются как в почве, так и в водоемах, но, как правило, почвенные формы в несколько раз мельче водных. Представители нанофауны отличаются также способностью долго находиться в состоянии покоя в форме цист и переживают в таком виде неблагоприятные периоды, связанные с иссушением и промерзанием почвы.

Микрофауна представлена многоклеточными микроскопическими животными, такими как коловратки, нематоды, тихоходки. Они живут во влажных средах – в порах и камерах, атмосфера которых насыщена парами воды. К этой же группе относят микроскопических клещей и ногохвосток, которые составляют аэробную группировку мелких почвенных животных. Их распределение в почве зависит от мертвых растительных остатков и гумуса, некоторые из них связаны с корнями живых растений.

Мезофауна объединяет разнообразную и многочисленную часть почвенного животного населения с размерами, которые позволяют видеть этих животных невооруженным глазом или под лупой и собирать вручную. Основную массу мезофауны составляют членистоногие: мелкие виды насекомых, многоножки-симфилы, мокрицы, пауки, а также мелкие черви энхитреиды. Живут они в полостях и способны к вертикальной миграции по скважинам и крупным порам.

Макрофауна представлена в почве дождевыми червями, многоножками и личинками насекомых. Для них почва выступает как плотная среда, при передвижении в которой необходимо активно прокладывать себе ходы. Эти животные роют норки или же продвигаются по естественным скважинам, расширяя их при этом.

Мегафауна почв – это крупные животные, размеры которых достигают десятков сантиметров. К ним относятся землерои и гигантские земляные черви.

В экологическом мониторинге используются главным образом представители мезо- и макрофауны.

Экологические группы почвенных животных выделяются не только по размерам, что отражается непосредственно на их воздействии на почву, но также по типам питания, что определяет положение организмов в тропических цепях биотического сообщества. Среди почвенных животных есть следующие трофические группы: фитофаги, зоофаги, некрофаги, сапрофаги.

Фитофаги считаются тканями корней живых растений, нанося ущерб сельскому и лесному хозяйству. Например, личинка майского хруща подгрызает корни молодых сеянцев сосны. Свекловичная нематода внедряется в корни сахарной свеклы до образования корнеплода и вызывает значительные потери урожая.

Зоофаги поедают других почвенных животных, выступая в роли хищников или паразитов. Примерами могут служить все насекомоядные животные: нематоды, питающиеся простейшими и коловратками, хищные клещи, пожирающие нематод, коллембол, энхитреид.

Некрофаги питаются трупами животных, выступая в роли санитаров в природных экосистемах.

Сапрофаги перерабатывают мертвые остатки растений, опад и отпад как на поверхности почвы – в подстилке, так и в зоне корневых систем. К ним относятся черви, многоножки, мокрицы, некоторые клещи и личинки насекомых.

К сапрофагам относят копрофагов, питающихся экскрементами других животных, главным образом млекопитающих (жуки-навозники).

2.4. Таксономические группы почвенной фауны, используемые в экологическом мониторинге почв

Черви

Черви (Vermes) – сборная группа беспозвоночных, объединяющих несколько типов животных с двусторонне-симметричным вытянутым телом. Черви входят в состав всех размерных групп.

Первичнополостные черви – коловратки и нематоды – относятся к микрофауне.

Коловратки (Rotatoria) – самые мелкие из многоклеточных животных размерами от 0,01 до 2,5 мм. Название их связано с наиболее характерным признаком – наличием коловращательного аппарата, состоящего из круговых рядов ресничек на передней части тела (рис. 2.1). Этот ресничный аппарат служит для передвижения и захвата пищи.

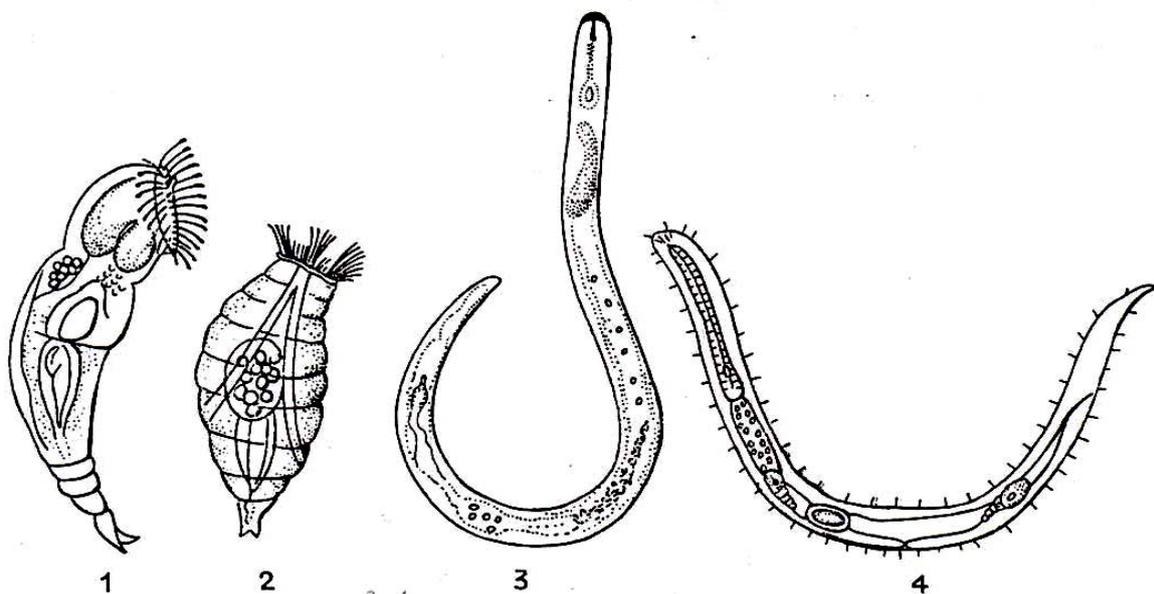


Рис. 2.1. Коловратки (1, 2) и нематоды (3, 4)

Нематоды (Nematode) – круглые черви (см. рис. 2.1), наиболее разнообразны и многочисленны из всех многоклеточных животных, живущих в почве. Биомасса их в культурных почвах дос-

тигает 5 г/м^2 . Размеры свободноживущих нематод от 0,05 до 5 мм. По образу жизни, связанному с типом питания, нематоды соответствуют ряду от чисто сапрофитных форм через полупаразитов до настоящих паразитов растений.

Кольчатые черви представлены в почве малощетинковыми кольчецами, или олигохетами (*Oligochaeta*). Среди олигохет наибольшее значение для мониторинга почв имеют энхитреиды и земляные, или дождевые, черви.

Энхитреиды относятся к мезофауне почвы. Их размеры колеблются от 2 – 3 до 40 – 50 мм в длину при толщине 0,2 – 0,8 мм. Плотность популяций энхитреид в почвах луговых угодий составляет до 120 тыс./ м^2 , а биомасса – до 50 г/м^2 . Энхитреиды очень чувствительны к засухе и высоким температурам. Они активны в постоянно влажной среде, но избегают переувлажненных почв, где мало кислорода. Основная масса энхитреид сосредоточена в верхнем корнеобитаемом слое почвы, так как основная их пища – отмирающие корни.

Дождевые (земляные) черви (рис. 2.2) на территории РФ представлены главным образом видами семейства люмбрицид (*Lumbricidae*).

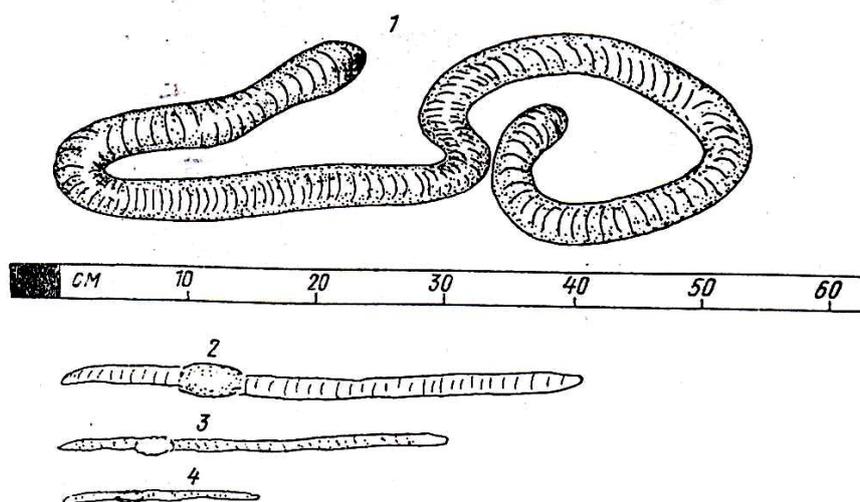


Рис. 2.2. Соотношение размеров дождевых червей:
1 – *Megascolides australis*; 2 – *Allobophora magnifica*;
3 – *Lumbricus terrestris*; 4 – *L. rubellus*

Это преимущественно крупные виды, входящие в состав микрофауны. Все дождевые черви – истинные геобионты. Распространение дождевых червей связано с климатическими факторами и типом почв. Важным условием является влажность. При засухе и ранних заморозках черви обычно погибают в массовом количестве. Плохо переносят они и высокие температуры. Наименьшая численность дождевых червей наблюдается в кислых почвах. При рН около 4 они обычно погибают.

Моллюски

Моллюски (Mollusca) в почвенной биоте представлены брюхоногими, или гастроподами. К ним относятся улитки и слизни (рис. 2.3).

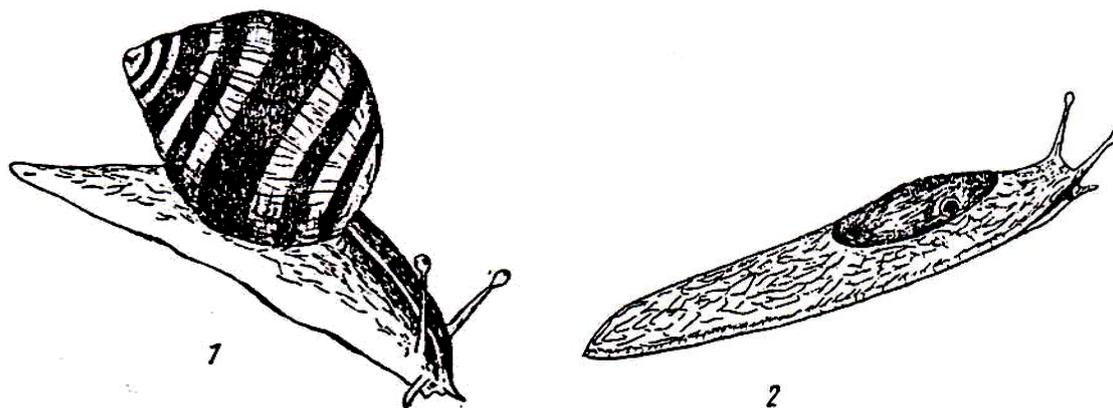


Рис. 2.3. Моллюски: 1 – улитка *Helix vulgaris*;
2 – слизень *Arion empiricorum*

Моллюски в большинстве гидробионты. К наземному образу жизни приспособились так называемые легочные улитки – группа брюхоногих моллюсков, встречающихся от тундры до тропиков.

Особую группу наземных моллюсков составляют голые слизни. Их раковина нацело обрастает мантией и становится рудиментарной, а у некоторых исчезает полностью. Слизни обитают в тех местах, где почва достаточно влажная.

Членистоногие

Членистоногие (Anthropoda) – самая многочисленная и разнообразная группа почвенных животных. Среди них есть представители микро-, мезо- и макрофауны почв.

К мезофауне почв относятся пауки, мокрицы, многоножки и насекомые (рис. 2.4). Пауки чаще всего встречаются в почвах пастбищных угодий. Все пауки – хищники, поедающие насекомых и других беспозвоночных.

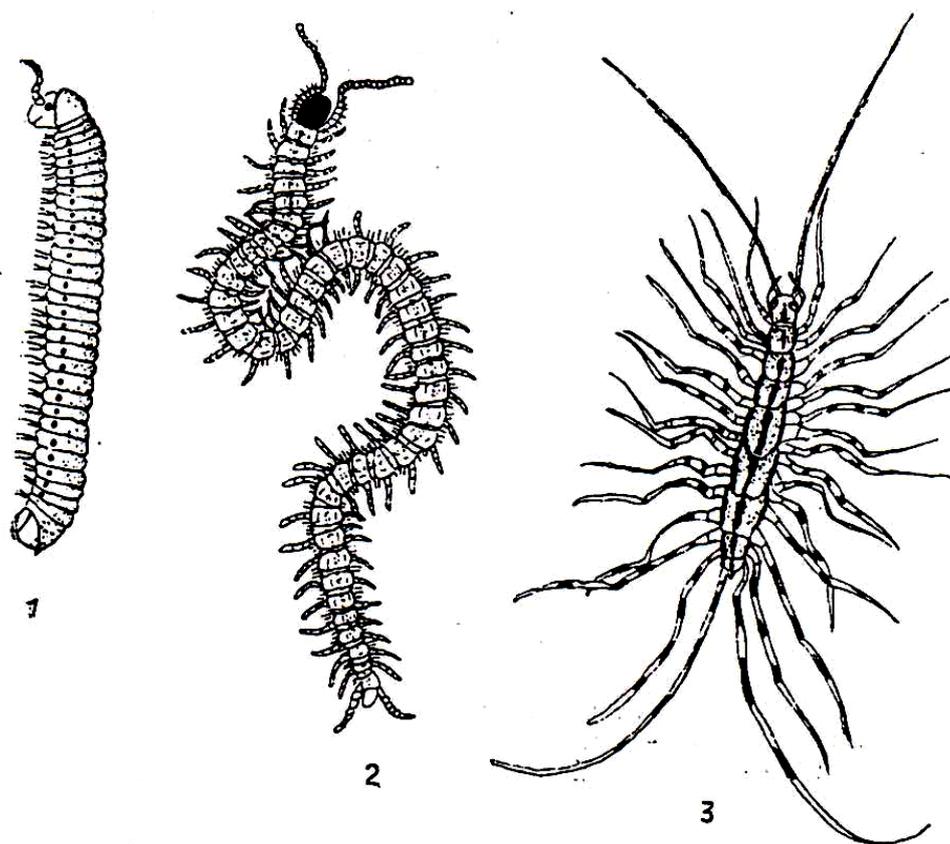


Рис. 2.4. Многоножки: 1 – кивсяк; 2 – геофил; 3 – мухоловка

Мокрицы (Oniscoidea) – равноногие ракообразные, полностью перешедшие на сухопутный образ жизни. Предпочитают места с повышенной влажностью.

Многоножки (Myriapoda) имеют тело, разделенное на два отдела, – голову и длинное туловище, почти каждый членик которого снабжен конечностями (см. рис. 2.4). Всего сегментов бывает до 170 и более. Среди многоножек есть мелкие виды. Длина

их тела 1,5 – 2,0 мм, а самые крупные достигают 10 – 15 см и могут быть отнесены к макрофауне почв. Наиболее многочисленны и разнообразны в почве диплоподы (Diplopoda) – двупарноногие многоножки. К ним относятся широко распространенные в почвах кивсяки.

Насекомые (Insecta, или Hexapoda) – класс наземных членистоногих, имеющих тело, расчлененное на голову, грудь и брюшко. Грудь имеет 3 пары членистых конечностей – ног, число которых – характерный признак насекомых (шестиногие) (рис. 2.5).

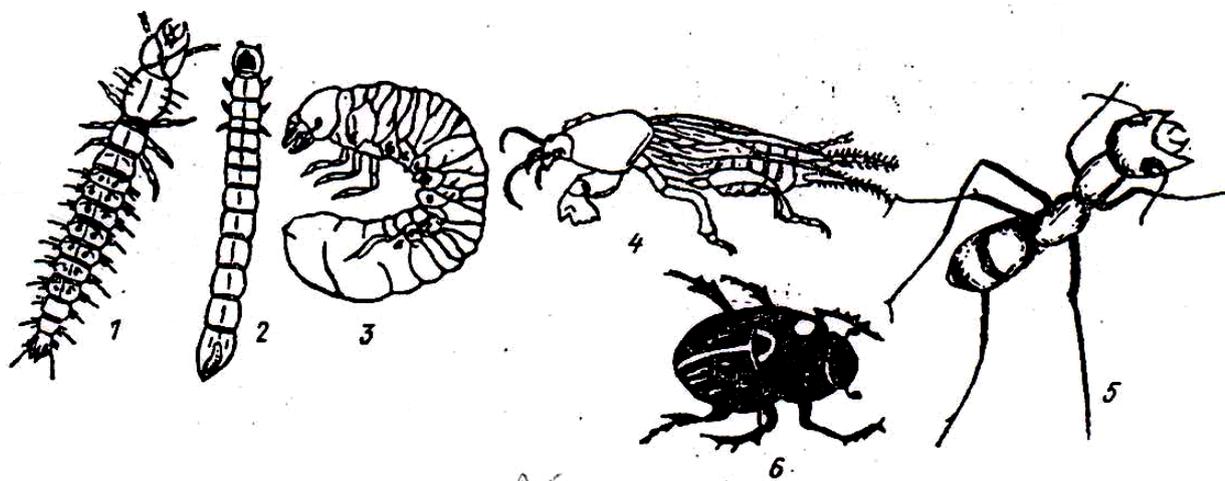


Рис. 2.5. Насекомые: 1 – личинка жуужелицы; 2 – личинка шелкуна; 3 – личинка хруща; 4 – пустынный муравей-бегунок; 5 – пустынный муравей-бегунок; 6 – жук-навозник

2.5. Методы учета почвенных беспозвоночных

Выбор приемов для учета разных групп обитающих в почве животных определяется особенностями почвы и объектами исследования. Учет крупных беспозвоночных (мезофауна) производят методом выборки животных из почвы.

Простой способ выборки животных – метод почвенных раскопок. Размеры выбираемой пробной площадки зависят от степе-

ни увлажненности почвы, чаще всего $0,5 \times 0,5$ м ($0,25$ м²), в сухих районах до $1 - 2$ м². Чем больше заложено почвенных раскопок, тем точнее проводится выявление видового состава и количества животных. Расстояние между раскопками $5 - 10$ м. Глубина почвенных раскопок $30 - 50$ см, в сухих местах на легких почвах – до 100 см и более. Из раскопки почву выбирают послойно. Раскопки проводят следующим образом: отмечают размеры площадки, забивают по углам колышки, натягивают между ними бечевку. Затем от границ отмеренной площадки отгребают в разные стороны опад или подстилку (если проба берется в лесу) или сухую землю поверхностного слоя. Рядом с площадкой помещают клеенку или плотную материю, на которую затем кладут выбранную из раскопки почву. Сначала с площадки снимают опад и другие растительные остатки, которые тщательно вручную перебирают, учитывая и собирая всех найденных при этом животных, а траву выщипывают для того, чтобы облегчить разборку почвы из верхнего слоя. Встреченных на поверхности почвы животных учитывают отдельно от тех, которых выбирают непосредственно из нее. После удаления разобранных растительных остатков приступают к выкапыванию почвы лопатой. Выбрасываемые на разложенную рядом с площадкой клеенку небольшие порции почвы тщательно перетирают руками, разбивают крупные комки, разрывая дерновину. Всю почву из разбираемого слоя порцию за порцией перетирают на весу между ладонями, тщательно следя за сыпающейся на клеенку почвой и собирая падающих животных.

Животных собирают отдельно из каждой пробы и каждого слоя.

2.6. Биоиндикация загрязнения почв по изменению видового биоразнообразия

Видовое биоразнообразие – наиболее часто используемый показатель, учитывающий два компонента – видовое разнообра-

зие (количество видов, наблюдаемых в естественных условиях обитания на определенной площади или объеме) и количественное распределение по видам. Количественно видовое разнообразие (ВР) характеризуют с помощью индексов. Наиболее широко используют индекс Симпсона. При вычислении индекса используют численность организмов i -го вида n_i , найденных наблюдателем на площадке биоиндикации, и общую численность всех видов N на площадке биоиндикации.

Методика обеспечивает выявление зон экологических аномалий на местности с вероятной ошибкой не более 20 %. Величина погрешности гарантируется при соблюдении следующих норм биоиндикации:

- количество площадок обследуемой местности биоиндикации не менее 5;
- размер площадки биоиндикации почвенного покрова не менее 1 м²;
- размеры почвенной прикопки: 0,25×0,25 м, на глубину встречаемости беспозвоночных (20 см).

В данной методике индекс Симпсона рассчитывается по формуле

$$D_i = 1 / (P_1^2 + \dots + P_i^2), \quad (1)$$

где D_i – индекс Симпсона, рассчитанный для каждой площадки биоиндикации;

$P_1 \dots P_i$ – доля каждого вида в суммарном обилии, взятом за единицу. P_i рассчитывают следующим образом:

$$P_i = n_i / N, \quad (2)$$

где n_i – численность i -го вида на площадке биоиндикации;

N – общая численность всех видов на площадке биоиндикации.

Относительный показатель видового биоразнообразия на площадке биоиндикации исследуемой территории рассчитывают по формуле

$$D_i = D_i / D_{\text{контр}} \cdot 100. \quad (3)$$

Для проведения данной оценки необязательно использовать данные по всей фауне, можно ограничиться анализом характерных групп видов, по которым имеется надежная информация.

2.7. Пример реализации методики

Пример приведен для пяти площадок биоиндикации контрольной и исследуемой территории.

В результате проведенного экологического обследования были получены следующие данные (табл. 2.1 и 2.2).

Таблица 2.1

Численность и видовой состав почвенных беспозвоночных животных на «условно чистой» (контрольной) территории

Номер прикопки	Виды и количество биоиндикаторов					
	Дождевые черви	Моллюски (слизни, улитки)	Многоножки (геофилы)	Паукообразные	Равноногие (мокрицы)	Насекомые
1	9	5	4	5	4	7
2	10	4	5	4	5	4
3	8	4	3	6	7	6
4	8	5	5	5	6	7
5	7	3	3	4	3	5

Таблица 2.2

Численность и видовой состав почвенных беспозвоночных животных на исследуемой территории

Номер прикопки	Виды и количество биоиндикаторов					
	Дождевые черви	Моллюски (слизни, улитки)	Многоножки (геофилы)	Паукообразные	Равноногие (мокрицы)	Насекомые
1	9	3	2	1	5	4
2	8	2	2	1	3	1
3	3	3	0	0	1	2
4	3	1	6	7	9	3
5	4	4	5	2	8	2

Расчет показателя изменения видового биоразнообразия
(для контрольной территории)

Расчет показателя видового биоразнообразия (индекса Симпсона) проводят по формуле (1), используя экспериментальный материал (см. табл. 2.1).

Площадка № 1

Дождевые черви

Количество животных на площадке биоиндикации 9. Среднее количество животных на площадке биоиндикации контрольной территории 32.

Отсюда $P_1 = 9 \cdot 1 / 32 = 0,28$.

Моллюски

Количество животных на площадке биоиндикации 5. Среднее количество всех животных на площадке биоиндикации контрольной территории 32.

Отсюда $P_2 = 5 \cdot 1 / 32 = 0,15$.

Многоножки

Количество животных на площадке биоиндикации 4. Среднее количество всех животных на площадке биоиндикации контрольной территории 32.

$$\text{Отсюда } P_3 = 4 \cdot 1 / 32 = 0,12.$$

Паукообразные

Количество животных на площадке биоиндикации 5. Среднее количество всех животных на площадке биоиндикации контрольной территории 32.

$$\text{Отсюда } P_4 = 5 \cdot 1 / 32 = 0,15.$$

Мокрицы

Количество животных на площадке биоиндикации 4. Среднее количество животных на площадке биоиндикации контрольной территории 32.

$$\text{Отсюда } P_5 = 4 \cdot 1 / 32 = 0,12.$$

Насекомые

Количество животных на площадке биоиндикации 7. Среднее количество всех животных на площадке биоиндикации контрольной территории 32.

$$\text{Отсюда } P_6 = 7 \cdot 1 / 32 = 0,22.$$

Подставив найденные значения в формулу (1), получаем:

$$D_1 = \frac{1}{\sum P_i} = \frac{1}{0,28^2 + 0,15^2 + 0,12^2 + 0,15^2 + 0,12^2 + 0,22^2} = \frac{1}{0,2} = 5,0.$$

Площадка № 2

Дождевые черви

Количество животных на площадке биоиндикации 10. Среднее количество всех животных на площадке биоиндикации контрольной территории 32.

$$\text{Отсюда } P_1 = 10 \cdot 1 / 32 = 0,31.$$

Моллюски

Количество животных на площадке биоиндикации 4. Среднее количество всех животных на площадке биоиндикации контрольной территории 32.

$$\text{Отсюда } P_2 = 4 \cdot 1 / 32 = 0,12.$$

Многоножки

Количество животных на площадке биоиндикации 5. Среднее количество всех животных на площадке биоиндикации контрольной территории 32.

$$\text{Отсюда } P_3 = 5 \cdot 1 / 32 = 0,15.$$

Паукообразные

Количество животных на площадке биоиндикации 4. Среднее количество всех животных на площадке биоиндикации контрольной территории 32.

$$\text{Отсюда } P_4 = 4 \cdot 1 / 32 = 0,12.$$

Мокрицы

Количество животных на площадке биоиндикации 5. Среднее количество всех животных на площадке биоиндикации контрольной территории 32.

$$\text{Отсюда } P_5 = 5 \cdot 1 / 32 = 0,15.$$

Насекомые

Количество животных на площадке биоиндикации 4. Среднее количество всех животных на площадке биоиндикации контрольной территории 32.

Отсюда $P_6 = 4 \cdot 1 / 32 = 0,12$.

Подставив найденные значения в формулу (1), получаем:

$$D_2 = \frac{1}{\sum P_i} = \frac{1}{0,31^2 + 0,12^2 + 0,15^2 + 0,12^2 + 0,15^2 + 0,12^2} = \frac{1}{0,1843} = 5,42.$$

На остальных площадках биоиндикации показатель изменения видового биоразнообразия рассчитывают аналогичным образом. Полученные результаты экологического обследования контрольной (эталонной) территории представлены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Результаты биоиндикации контрольной территории

Номер площадки биоиндикации	1	2	3	4	5
Показатель изменения видового биоразнообразия (индекс Симпсона D_0)	5,0	5,42	5,0	4,76	10,0

Расчет усредненного показателя изменения видового биоразнообразия биоиндикаторов на контрольной территории проводят по формуле

$$D_{\text{контр}} = \sum D_i / b,$$

где b – количество площадок биоиндикации.

Отсюда

$$D_{\text{контр}} = (5,0 + 5,42 + 5,0 + 4,76 + 10,0) / 5 = 30,18 / 5 = 6,04.$$

Расчет относительного показателя изменения видового
биоразнообразия (для исследуемой территории)

Расчет проводят по формуле (1), используя экспериментальный материал (см. табл. 2.2).

Площадка № 1

Дождевые черви

Количество животных на площадке биоиндикации 9. Общее количество животных на площадке биоиндикации 24.

$$\text{Отсюда } P_1 = 9 \cdot 1 / 24 = 0,37.$$

Моллюски

Количество животных на площадке биоиндикации 3. Общее количество животных на площадке биоиндикации 24.

$$\text{Отсюда } P_2 = 3 \cdot 1 / 24 = 0,12.$$

Многоножки

Количество животных на площадке биоиндикации 2. Общее количество животных на площадке биоиндикации 24.

$$\text{Отсюда } P_3 = 2 \cdot 1 / 24 = 0,08.$$

Паукообразные

Количество животных на площадке биоиндикации 1. Общее количество животных на площадке биоиндикации 24.

$$\text{Отсюда } P_4 = 1 \cdot 1 / 24 = 0,04.$$

Мокрицы

Количество животных на площадке биоиндикации 5. Общее количество животных на площадке биоиндикации 24.

$$\text{Отсюда } P_5 = 5 \cdot 1 / 24 = 0,2.$$

Насекомые

Количество животных на площадке биоиндикации 4. Общее количество животных на площадке биоиндикации 24.

Отсюда $P_6 = 4 \cdot 1 / 24 = 0,17$.

Подставив найденные значения в формулу (1), получаем:

$$D_i = \frac{1}{\sum P_i} = \frac{1}{0,37^2 + 0,12^2 + 0,08^2 + 0,04^2 + 0,2^2 + 0,17^2} = \frac{1}{0,22} = 4,54.$$

Относительный показатель изменения видового биоразнообразия [рассчитывают по формуле (3)] на данной площадке биоиндикации

$$D_i = \frac{4,54}{6,04} 100 = 75,1.$$

Сравнив полученное значение с критериальными (табл. 2.4), получаем соответствие экологической обстановки «относительной удовлетворительной ситуации».

Таблица 2.4

Критерии изменения экологического состояния почвенного покрова

Показатель	Параметр		Относительно удовлетворительная ситуация
	Экологическое бедствие	Чрезвычайная экологическая ситуация	
Относительное изменение видового биоразнообразия (индекс Симпсона) (D_i)	Менее 25	25 – 50	Более 50

По остальным площадкам биоиндикации исследуемой территории относительный показатель изменения видового биоразнообразия рассчитывают аналогичным образом. По расчетным данным дается оценка экологического состояния почвенного покрова на исследуемой территории. Полученные значения записывают в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Классификация экологического состояния почвенного покрова по видовому биоразнообразию

Номер площадки биоиндикации	1	2	3	4	5
Относительный показатель изменения видового биоразнообразия D_i	75,1	59,1	59,4	20,3	10,6
Параметр экологического состояния почвы	Относительно удовлетворительная ситуация	Относительно удовлетворительная ситуация	Относительно удовлетворительная ситуация	Экологическое бедствие	Экологическое бедствие

Тесты для самоконтроля

1. В качестве биоиндикаторов при мониторинге почв целесообразнее использовать виды:

а) эврибионтные; б) стенобионтные; в) любые; г) исчезающие.

2. Геобионтами называют:

а) постоянных обитателей почв; б) виды, укрывающиеся в почве; в) виды, живущие в почве на протяжении части жизненного цикла; г) всех обитателей почв.

3. При мониторинге почв в качестве биоиндикаторов чаще всего используют представителей:

а) микрофауны; б) мегафауны; в) мезофауны; г) нанофауны.

4. Дождевые черви являются представителями:

а) мезофауны; б) макрофауны; в) мегафауны; г) микрофауны.

5. Какие из указанных представителей педобионтов относятся к фитофагам?

а) многоножки; б) мокрицы; в) личинки насекомых; г) личинки майского хруща.

6. Улитки и слизни, используемые в качестве биоиндикаторов при мониторинге почв, являются представителями:

а) круглых червей (нематод); б) кольчатых червей (олигохет); в) моллюсков; г) членистоногих.

7. Кивсяки являются представителями:

а) моллюсков; б) членистоногих; в) круглых червей; г) насекомых.

8. Индекс Симпсона является показателем:

а) изменения видового биоразнообразия под действием загрязнения; б) загрязнения почв тяжелыми металлами; в) плодородия почв; г) показателем засоленности почв.

9. При величине индекса Симпсона, равной 30, экологическое состояние почвы характеризуется:

а) как экологическое бедствие; б) чрезвычайная экологическая ситуация; в) относительно удовлетворительная ситуация; г) хорошее экологическое состояние.

10. Экологическое состояние почвы характеризуется как относительно удовлетворительная ситуация при индексе Симпсона, равном:

а) 25; б) 75; в) 30; г) менее 25.

11. Размер выбираемой пробной площадки при биомониторинге почв по видовому составу почвенных беспозвоночных зависит:

а) от температуры почвы; б) степени засоленности почвы; в) степени увлажненности почвы; г) для всех почв одинаков.

12. В какие месяцы года наиболее целесообразно проводить биомониторинг почв по видовому составу почвенных беспозвоночных в средней полосе Российской Федерации?

а) март – май; б) сентябрь – октябрь; в) май – сентябрь; г) апрель – ноябрь.

3. МЕТОДЫ БИОИНДИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОДОЁМОВ

3.1. Биоиндикация загрязнения малых рек по видовому составу макрозообентоса

Природные водоемы постоянно испытывают огромную антропогенную нагрузку. Они загрязняются промышленными, коммунально-бытовыми, сельскохозяйственными стоками, а также ливневыми стоками с населенных мест. Исходя из этого в водоемы попадают как токсичные для гидробионтов вещества (соли Cu^{2+} , Hg^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , нефтепродукты, пестициды), так и биогенные элементы (соединения фосфора, азота, калия), вызывающие эвтрофикацию водоемов. Для биоиндикации качества воды в водоемах в настоящее время используются различные группы водных организмов: водоросли, макрофиты, животные различных экологических групп. О чистоте природного водоема можно судить по видовому разнообразию и обилию различных видов гидробионтов.

К макрозообентосу относят наиболее крупных представителей бентоса, с размером тела более 2 мм. Относительно крупные размеры представителей микрозообентоса облегчают задачу их обнаружения и распознавания. Высокая стенобионтность (требовательность к условиям существования) ряда видов, формирование сложных многокомпонентных систем, приуроченность к определенным субстратам, относительная малоподвижность позволяют использовать зообентос для регистрации антропогенного воздействия на водные экосистемы.

Наиболее часто для оценки уровня загрязнения малых рек используется метод С. Г. Николаева. В основе метода лежит зависимость видового состава крупных донных беспозвоночных от уровня загрязнения речной воды. В качестве биоиндикаторов используют организмы, широко распространенные в водоемах Центральной России: червей, губок, моллюсков, ракообразных, личинок насекомых (ручейников, стрекоз, веснянок и др.).

Среди них для целей биоиндикации выбраны наиболее характерные таксоны, т. е. конкретные представители систематических групп беспозвоночных, наличие которых в донных отложениях отчетливо характеризует уровень загрязнения воды. В качестве индикаторных групп выступают как отдельные виды, так и таксоны более высокого ранга: роды, семейства, отряды, классы, типы; а также экологические группы. Это объясняется тем, что организмы одного таксона, рангом более высокого, чем вид, могут иметь практически одинаковую чувствительность к загрязнениям и, таким образом, также служить в качестве биоиндикаторов загрязнения.

Многие индикаторные организмы представлены насекомыми, находящимися в личиночной стадии. Поэтому для обследования рек следует выбирать периоды либо до вылета насекомых, либо после вылета, т. е. весну или начало осени.

3.2. Отбор проб для биоиндикации

Выбор точек (мест) отбора проб в водоёме является главным моментом при проведении экологического мониторинга, так как от правильного выбора места отбора зависят полученные результаты.

При проведении мониторинга выбирают участки субстрата, располагающиеся в местах с возможными более благоприятными условиями аэрации. В стоячих водоёмах такие условия создаются в литоральной (прибрежной) зоне, а в реках – в прибрежной зоне и на перекатах.

Количество участков реки, выбираемых для обследования, определяется целями работы. При исследовании качества воды на всём протяжении водотока места отбора проб выбирают через равные интервалы от истока до устья. Если исследуется влияние конкретного источника загрязнения, качество воды можно определять на небольшом участке ниже и выше по течению от него.

При выборе участков отбора проб следует учитывать ряд условий. На них не должно быть мелководий с густой водной растительностью, а также затонов с застойной водой. И в том и в другом случае донное население может значительно отличаться от такового на участках реки с нормальной скоростью течения воды.

Очень важно, чтобы в пробах на каждом из обследованных участков были представлены донные организмы различных биотопов: илистых, песчаных и каменистых грунтов; скоплений растительности, а также ее остатков; погруженных в воду стволов, веток и иных предметов и т.п. Чем разнообразнее участок по числу местообитаний, тем число проб должно быть больше. Но и на участках с однообразным дном проб не должно быть менее трех.

Пробы грунта с обитающими в нем донными организмами отбирают с помощью специальных ловушек: закидной драги и сачкового скребка (рис. 3.1).

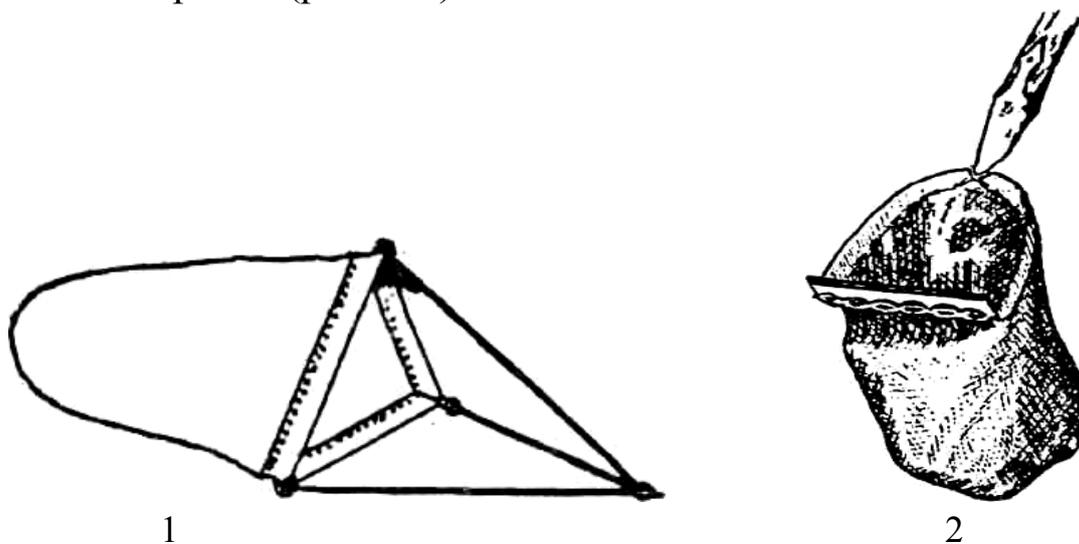


Рис. 3.1. Пробоотборники: 1 – закидная драга (общий вид); 2 – скребок

Закидная драга представляет собой треугольную пирамиду, основанием которой служит треугольник из стальных полос, а ребрами – стальные прутья, жестко скрепленные друг с другом (в вершине пирамиды), а также с углами основания. Длина стороны основания 25 см, высота пирамиды 50 – 75 см. Боковые стороны пирамиды обшивают прочным сетчатым материалом (например мельничным газом № 17 – 19). Драга применяется для облова удаленных от берега участков дна. Для этого ее закидывают с берега или лодки и волокут по дну с помощью веревки или тросика.

Скребок представляет собой сачок, имеющий в нижней части дугообразного обода заточенную металлическую пластинку длиной 25 см. Сачок, как и драгу, обшивают прочной сетчатой тканью. Во время отбора проб движение сачка и драги следует направлять против течения, чтобы отловленные организмы не вымывались из них водой.

После каждого наполнения ловушек донным материалом пробы промывают непосредственно в этих же ловушках и помещают в эмалированные емкости с крышками. Отбор организмов из промытого грунта обычно ведут на месте отбора проб. При этом небольшую порцию грунта переносят в кювету с водой и с помощью пинцета перекладывают животных в баночки с 4%-ным раствором формалина. На баночки наклеивают этикетки с указанием названия реки, а также даты и места отбора пробы. Допускается разбор проб и в лаборатории. Промытые пробы можно хранить в холодильнике в течение 1 – 2 суток.

3.3. Определение класса качества речной воды по методу С. Г. Николаева

Определение уровня загрязнения вод по методу С.Г. Николаева производят с помощью шкалы (табл. 3.1), которая содержит шесть классов качества вод – от очень чистых (1-й класс) до

очень грязных (6-й класс). Для каждого класса качества в ходе многолетних наблюдений были найдены свои индикаторные таксоны, которые в водах других классов встречаются лишь изредка. Так, личинки веснянок, характерные для вод 1-го класса, в более загрязненных водах 2-го класса встречаются редко, а в водах 3-го класса – очень редко. Признаком же принадлежности вод к 6-му классу служит полное отсутствие крупных беспозвоночных (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Шкала качества вод

Индикаторный таксон	Условная значимость каждого таксона в классе, ед.	Класс качества вод
1	2	3
Личинки веснянок Личинки ручейника рода риакофила	50,0	1-й, очень чистые
Губки Плоские личинки поденок Личинки ручейника рода нейреклеписис. Личинки вилхвосток	25	2-й, чистые
Роющие личинки поденок Личинки ручейников при отсутствии риакофил и нейреклеписисов Личинки стрекоз красотки и плосконожки Личинки мошек Водяной клоп Крупные двустворчатые моллюски Моллюски-затворки	14,2	3-й, удовлетворительно чистые
Личинки стрекоз при отсутствии красотки и плосконожки. Личинки вислоккрылок Водяной ослик Плоские пиявки Мелкие двустворчатые моллюски	20	4-й, загрязнённые
Мотыль (в массе) Крыски (личинки мух-пчеловидок) Трубочник (в массе). Червеобразные пиявки при отсутствии плоских	25	5-й, грязные
Макробеспозвоночных нет	–	6-й, очень грязные

Для определения класса качества вод обследованного участка реки среди пойманных организмов отбирают представителей индикаторных таксонов и их названия записывают в рабочую таблицу (табл. 3.2), в строгом соответствии с их положением в классах шкалы качества вод. Организмы, не относящиеся к индикаторным таксонам, не учитывают.

Таблица 3.2

Рабочая таблица определения качества вод
 реки _____
 на участке _____

Класс качества вод	Обнаруженные индикаторные организмы	Условная значимость таксонов в пределах класса, ед	Количество обнаруженных таксонов	Суммарная значимость обнаруженных таксонов, ед.
1	2	3	4	5
1-й				
2-й				
3-й				
4-й				
5-й				

После внесения в табл. 3.2 всех обнаруженных в пробах индикаторных таксонов в каждом разделе (классе) графы 2 подсчитывают число таксонов и умножают на величину условной значимости данной группы таксонов (графа 2 табл. 3.1). Найденную суммарную значимость таксонов заносят в графу 5 табл. 3.2 в раздел соответствующего класса.

Класс качества вод на обследованном участке определяют по максимальной классовой значимости одной из групп таксонов. Несколько возможных вариантов определения класса качества вод приведено в табл. 3.3.

В табл. 3.3 кроме списка таксонов, соответствующих определенному классу качества вод, приведена условная значимость каждого из них. Эта величина нужна для последующей количественной оценки уровня загрязнения.

Таблица 3.3

Определение классов качества вод

Класс качества вод	Условная значимость каждого таксона в классе, ед.	Вариант											
		1		2		3		4		5		6	
		а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
1-й	50	1	50	2	100	—	—	—	—	—	—	1	50
2-й	25	2	50	—	—	—	—	2	50	—	—	4	100
3-й	14,2	7	99,4	1	14,2	—	—	2	28,4	—	—	5	71
4-й	20	3	60	2	40	—	—	3	60	—	—	3	60
5-й	25	—	—	—	—	4	100	1	25	—	—	—	—
6-й	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. а – число обнаруженных таксонов; б – суммарная классовая значимость.

В первом варианте в пробах были обнаружены таксоны, характерные для первых четырех классов качества вод. Однако наибольшая суммарная классовая значимость приходится на таксоны 3-го класса. Следовательно, воды этого участка реки следует относить к 3-му классу качества с некоторым смещением к 4-му классу.

Во втором варианте речную воду участка следует однозначно относить к 1-му классу, а в третьем – к 5-му. В четвертом варианте получаются неоднозначные результаты: суммарные значимости таксонов 2-го и 4-го классов различаются незначительно. Значит, этот участок нуждается в повторном обследовании.

В пятом и шестом вариантах результаты несомненны: качество вод на этих участках характеризуется 6-м и 2-м классами соответственно.

Помимо рассмотренной выше существуют и другие методики оценки степени загрязнения водоема (биоиндикации) по составу водных беспозвоночных. В журнале «Вестник АсЭкО» (1995 г.) на с. 24 – 26 описана методика биологического анализа качества воды в водоеме по трем группам таксонов крупных беспозвоночных (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Группы таксонов крупных организмов по отношению к чистоте воды

Таксоны группы		
1-й	2-й	3-й
Личинки поденок	Личинки комара-долгоножки	Личинки комара-звонца (мотыль)
Личинки (нимфы) веснянок	Личинки стрекоз	Прудовики
Личинки вислокрылок	Речные раки	Пиявки
Личинки ручейников	Бокоплавцы	Водяные ослики
Двустворчатые моллюски	Моллюски (катушки и лужанки)	Личинки мошки Олигохеты

В первую группу (рис. 3.2) входят таксоны, предпочитающие чистую воду и наиболее чувствительные к загрязнению. К третьей группе относятся наиболее устойчивые к загрязнению воды таксоны. По количеству индикаторных таксонов и численности особей каждого из них в пробах можно определить, относится ли вода обследованного участка к загрязненной, малозагрязненной или чистой.



Рис. 3.2. Таксономические группы беспозвоночных для определения степени загрязнения воды: а – 1-я; б – 2-я; в – 3-я

Группа 1. Эти организмы погибают в грязной воде. Преобладание их – признак очень чистой воды.

Группа 2. Эти организмы могут существовать в воде различной степени загрязнённости.

Группа 3. Эти организмы выживают даже в очень грязной воде. Преобладание их – признак загрязнённой воды.

Пробы для трехуровневой индикации отбирают так же, как и при использовании метода С.Г. Николаева. Однако теперь по-

мимо распределения организмов по индикаторным таксонам надо будет подсчитать число особей, относящихся к каждому из них. Оценку качества воды делают следующим образом.

Загрязненная вода – 90 % организмов и более относятся к 3-й группе индикаторов.

Малозагрязненная вода (удовлетворительного качества) – от 11 до 30 % организмов в пробе относятся к индикаторным таксонам групп 1-й и 2-й.

Чистая вода – 30 % и более организмов в пробе относятся к индикаторным таксонам 1-й группы.

Результаты биологического анализа по вышеуказанным трем группам таксонов можно затем индексировать по значимости таксонов, подобно тому, как это делается в методе С.Г. Николаева. Подобный прием позволяет оценивать качество воды уже по четырем уровням загрязнения.

Таксонам групп 1, 2 и 3-й присваивается значимость 3, 2 и 1 соответственно. По числу индикаторных таксонов в группе определяют индекс для каждой из групп.

Индекс 1 равен числу индикаторных таксонов в группе 1-й, умноженному на 3.

Индекс 2 равен числу индикаторных таксонов в группе 2-й, умноженному на 2.

Индекс 3 равен числу индикаторных таксонов в группе 3-й, умноженному на 1.

Суммарный индекс для обследованного участка водоема определяют как сумму всех трех индексов. Качество воды оценивают с помощью шкалы (табл. 3.5).

Следует отметить, что рассмотренные методики, разработанные для областей Центральной России, могут оказаться малопригодными при их переносе в другие климатические зоны или Зауралье. Дело в том, что видовой состав беспозвоночных жи-

вотных от региона к региону может заметно меняться, а индикаторные качества одного и того же вида в разных частях его ареала заметно различаться. Поэтому для других регионов может понадобиться корректировка как состава индикаторных таксонов, так и их значимости. На методику отбора проб, а также последовательность операций и приемов их обработки географическое положение района исследования не влияет.

Таблица 3.5

Четырехуровневая оценка качества воды

Качество воды	Суммарный индекс
Очень чистая	Более 22
Чистая	От 17 до 22
Малозагрязненная	От 11 до 16
Загрязненная	Менее 11

3.4. Оценка качества природных вод по индексу Шеннона

Индекс Шеннона основывается на определении относительного обилия видов, т.е. позволяет найти некоторую числовую величину, учитывающую не только количество видов в биоценозе (водоеме), но и соотношение численности их. Этот индекс выведен на основе теории информации. Он предполагает, что разнообразие (информацию) в естественной экосистеме можно измерить так же, как информацию, содержащуюся в коде или сообщении. Индекс рассчитывают по формуле

$$H_s = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i,$$

где H_s – численное значение индекса Шеннона;

p_i – доля в биоценозе особей i -го вида.

p_i рассчитывают по формуле

$$p_i = n_i / N,$$

где n_i – число организмов i -го вида в биоценозе (водоеме);

N – общее число особей всех видов в биоценозе (водоеме).

Формула для индекса Шеннона начинается со знака "минус", чтобы отрицательные величины, полученные при логорифмировании, превратить в положительные. Величина индекса измеряется в битах – единицах информации. Эта величина зависит не только от числа видов, встречающихся в данном сообществе, но и от распределения численности по отдельным видам (обилия видов). Величина индекса уменьшается в биоценозах с повышенной биомассой и в случае резкого преобладания какого-либо одного или немногих видов в этом биоценозе. Это наиболее характерно для неустойчивых сообществ, испытывающих большую антропогенную нагрузку. Так, в зоне загрязнения малых рек сточными водами, содержащими большое количество органических веществ, происходит значительный рост численности трубочников и мотыля, а другие виды практически не встречаются.

Величины индекса разнообразия Шеннона обычно укладываются в интервал от 1,5 до 3,5 и очень редко превышают 4,5.

Соответственно, чем выше числовое значение индекса, тем выше биоразнообразие в исследуемом водоеме (створе).

Пример обработки данных для индекса разнообразия Шеннона по четырем створам (водоемам) озера по данным определения видов макрозообентоса приведен в табл. 3.6.

Чем выше значение индекса Шеннона, тем выше биоразнообразие водоема, тем устойчивее экосистема. Наличие в пробах личинок поденок и веснянок в двух первых створах свидетельствует об относительном благополучии водоема, так как эти виды встречаются только в чистой воде.

Индекс Шеннона можно рассчитать и по видовому составу макрофитов.

Таблица 3.6

Результаты определения макрозообентоса

№ п/п	Обнаруженная группа организ- мов	Количество экземпляров в пробе				
		Фоновое озеро	Створ I	Створ II	Створ III	Створ IV
1	Личинки поденок	18	6	1	0	0
2	Личинки веснянок	16	2	1	0	0
3	Личинки стрекоз	13	1	1	3	1
4	Водяные ослики	14	2	15	10	8
5	Мотыль	4	5	10	15	10
6	Двустворчатые моллюски	12	1	2	2	1
7	Ручейники	—	10	10	8	0
8	Клоп-водомерка	—	10	10	20	10
9	Личинки мошки	2	1	10	4	5
10	Клещ географический	0	10	10	20	18
11	Волосатик	0	1	—	5	15
12	Жук-вертячка	0	1	0	0	2
13	Пиявки	0	0	—	3	3
Общее количество экземпляров в пробе		79	50	70	90	73

3.5. Мониторинг загрязнения природных вод биогенными элементами

Среди экологических проблем последнего десятилетия XX в. важное место занимает интенсивное антропогенное загрязнение внутренних водоёмов и прибрежных зон морских вод био-генными элементами.

Загрязнение водоёмов биогенными элементами стимулирует развитие тех или иных групп гидробионтов, в результате этого

нарушается экологическое равновесие и происходит вторичное загрязнение продуктами жизнедеятельности этих организмов и их остатками. Такое загрязнение называется эвтрофицирующим. Эвтрофикация приводит к быстрому снижению качества воды в водоёмах и его самоочищающей способности.

Под самоочищением поверхностных водоёмов следует понимать совокупность природных процессов и факторов, определяющих восстановление первоначальных свойств и состава воды. К числу факторов самоочищения относятся: солнечная радиация, деятельность гидробионтов и высшей водной растительности.

Самоочищающая способность водоёма в большой мере зависит от равновесия сложившегося биоценоза животных, микроорганизмов и растений.

В число основных гидробиологических показателей при контроле состояния водных объектов входят следующие экологические группы водных организмов: фитопланктон, зоопланктон, зообентос, перифитон (совокупность организмов, поселяющихся на различных подводных объектах) и макрофиты.

Оценка качества воды по группам и видам гидробионтов позволяет установить степень загрязнения водоёма, зоны загрязнения, экологические последствия, а также прогнозировать приближение загрязнённых зон по расположению зон сапробности на водоёме.

3.6. Оценка степени загрязнения водоёма по видовому составу макрофитов

Некоторые виды высших водных растений (макрофитов) широко используются для биоиндикации степени загрязнения водоёмов. По способности развиваться в загрязнённых водоёмах они делятся на олигосапробные, мезосапробные и полисапробные.

Сапробность – это комплекс физиологических свойств организмов, обуславливающий способность развиваться в воде с тем или иным содержанием загрязнений.

По индикаторным видам устанавливаются и зоны сапробности на водоёмах. Полисапробная зона характеризуется наибольшей загрязнённостью биогенными элементами; олигосапробные зоны – зоны чистой воды; мезосапробные зоны – умеренно загрязнённые.

Для численной оценки загрязнения водоёмов используют индекс сапробности растений-биоиндикаторов (табл. 3.7).

Таблица 3.7

*Индекс сапробности некоторых растений-индикаторов
загрязнения водоёмов*

Вид растения	Индекс сапробности N_0	Зона сапробности
Стрелолист обыкновенный	1,4	Олигосапробная
Кувшинка белая	1,4	
Рдест блестящий	1,4	
Водокрас обыкновенный	1,5	
Рдест злаковый	1,7	
Кубышка жёлтая	1,7	
Рдест пронзённолистный	1,7	Мезосапробная
Рдест курчавый	1,8	
Уруть колосистая	1,8	
Ряска трёхдольная	1,8	
Пузырчатка обыкновенная	1,8	Полисапробная
Горец земноводный	1,8	
Элодея канадская	1,9	
Роголистник тёмно-зелёный	1,9	
Многокоренник обыкновенный	2,0	
Ряска горбатая	2,0	
Ряска малая	2,0	

Из данных табл. 3.7 следует, что самым низкосапробным растением является стрелолист обыкновенный, а высокосапробным – ряска малая. Исходя из того, какие растения преобладают в водоёме, определяют общий индекс сапробности. Например, если в водоёме примерно 60 % макрофитов представлено ряской малой и около 40 % – элодеей канадской, то общий индекс сапробности $N_{\text{общ}}$ рассчитывается как сумма индексов сапробности этих видов ($N_{\text{общ}} = 2,3 + 1,9 = 4,2$). Указанный водоём (участок водоёма) относят к полисапробным.

Если численность нескольких растений-биоиндикаторов приблизительно одинакова, например, по 30 % разных видов: рдест курчавый ($N_C = 1,8$), элодея канадская ($N_C = 1,9$), ряска малая ($N_C = 2,3$), то указывают на широкий диапазон сапробности $N_{\text{общ}} = 1,8 - 2,3$.

3.7. Оценка степени эвтрофикации водоёма по зообентосу

Уровень загрязнения (эвтрофикации) водоёма $K_{\text{Э}}$ можно оценить по видовому составу зообентоса как отношение количества организмов-детритофагов к общему количеству организмов. Наиболее часто из детритофагов для этих целей используют представителей типа малощетинковые черви – олигохет. Коэффициент эвтрофикации рассчитывают по формуле

$$K_{\text{Э}} = n_{\text{ол}} / n_{\text{общ}} \cdot 100 \%,$$

где $n_{\text{ол}}$ – количество особей олигохет в 4 мл пробы зообентоса;

$n_{\text{общ}}$ – общее количество особей зообентоса.

Чем больше коэффициент эвтрофикации, тем сильнее загрязнение водоёма и тем выше уровень эвтрофикации водоёма (табл. 3.8).

Таблица 3.8

Классификация качества поверхностных водоемов по зообентосу

Класс вод	Качество вод	Относительная численность олигохет, % от общего количества донных организмов K_3	Биотический индекс
1-й	Очень чистые	1 – 20	10 – 8
2-й	Чистые	21 – 35	7 – 5
3-й	Умеренно загрязнённые	36 – 50	7 – 3
4-й	Загрязнённые	51 – 65	2 – 1
5-й	Грязные	66 – 85	1 – 0
6-й	Очень грязные	86 – 100	0

3.8. Оценка устойчивости водоёма к антропогенному загрязнению по видовому составу гидробиоценоза

Устойчивость любой экосистемы зависит от её способности к самоочищению и самовосстановлению.

Естественное самоочищение водоёма – это непрерывный процесс физико-химической и биохимической утилизации и обезвреживания веществ, загрязняющих водный объект.

Физико-химическое самоочищение осуществляется путём осаждения взвешенных частиц и окисления растворённых соединений кислородом воды.

Сущность процессов биохимического самоочищения сводится к постепенной минерализации поступающего органического вещества до стабильных соединений (CO_2 , H_2O , SO_4^{2-} , NO_3 и др.). Биогенные элементы (N, P, C, S, K и др.), образующиеся в результате минерализации, вновь включаются в круговорот веществ водоёма. В биологическом самоочищении участвуют все живые организмы водоёма: микроорганизмы, водоросли, высшая растительность, беспозвоночные и позвоночные животные.

Устойчивость экосистемы (гидробиоценоза) определяется количеством видов, обитающих в ней. Наибольшей устойчивостью обладают водоёмы с высоким индексом биоразнообразия.

Индекс биоразнообразия K_6 вычисляют по формуле

$$K_6 = 1,44 \cdot N / (n_1 + n_2 + n_3 + \dots n_n),$$

где N – число видов на исследуемом участке водоёма;

n_1, n_2, n_3, n_n – среднее количество особей каждого вида в последней пробе (4 мл).

Степень деградации водоёма можно оценить по величине коэффициента биологического сходства Р. Жаккара. Этот коэффициент показывает степень оскуднения биоценоза загрязнённого водоёма по сравнению с контрольным, относительно чистым и ненарушенным. Коэффициент Р. Жаккара рассчитывают по формуле

$$K = V_3 \cdot 100 / (V_1 + V_2 - V_3),$$

где V_1 – число видов в исследуемом водоёме;

V_2 – число видов в контрольном водоёме;

V_3 – число видов, общих для обоих водоёмов.

Количество видов устанавливают с помощью определителей водных растений и беспозвоночных и рисунков (прил. 1 – 2). Чем выше K , тем чище водоём.

Оборудование:

- пипетки вместимостью 4 см³;
- драга с сетью из мельничного газа;
- водный сачок; микроскоп;
- ёмкости для хранения проб грунта;
- лупа;
- формальдегид, 4%-ный раствор; пенициллиновые флаконы; определитель водных беспозвоночных; гербарная папка.

Порядок выполнения работы:

1. С помощью драги отбирают 250 – 300 мл природного грунта в стеклянные банки или пластмассовые ведерки. Крупных

беспозвоночных помещают в пенициллиновые флакончики с 4%-ным раствором формальдегида.

2. Отбирают пробы воды с водной растительностью и помещают в стеклянные банки или пластмассовые ведерки.

3. С помощью определителей устанавливают видовой состав макробионтов.

4. Определяют по определителю крупных беспозвоночных.

5. Подсчитывают общее количество видов (таксонов) зообентоса в 4 мл отобранной пробы с помощью рисунков (см. прил. 1 – 2) и определителей (для исследуемого и контрольного водоема).

6. Определяют количество особей каждого вида в нескольких пробах исследуемого образца и устанавливают n_1, n_2, n_3 и n_n . Рассчитывают индекс биоразнообразия и коэффициент эвтрофикации.

7. Данные заносят в (табл. 3.9).

Таблица 3.9

Индекс биоразнообразия водоема

Водоем	Таксоны (отряд, тип)	Количество таксонов	Количество особей каждого таксона (в 4 мл)						Индекс биоразнообразия, K_6
			n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_n	

8. Оценивают сапробность водоёмов по видовому составу растений-биоиндикаторов и дают комплексную оценку состояния исследуемого водоёма.

Тесты для самоконтроля

1. Биоиндикация загрязнения природных вод по методу С.Г. Николаева производится по видовому составу:

а) макрофитов; б) перифитона; в) зообентоса; г) зоопланктона.

2. Метод С.Г. Николаева используется для биоиндикации загрязнения малых рек:

а) биогенными элементами; б) токсичными веществами; в) органическими веществами; г) любыми веществами.

3. Отбор проб при биомониторинге производится с участков субстрата, располагающихся в местах:

а) с возможно более благоприятными условиями аэрации; б) мелководной густой растительностью; в) с затонов с застойной водой; г) ниже по течению от источника загрязнения.

4. Личинки веснянок и ручейников встречаются в водах:

а) очень грязных; б) чистых; в) очень чистых; г) загрязненных.

5. Плоские пиявки и мелкие двустворчатые моллюски характерны для вод:

а) очень грязных (6-й класс); б) удовлетворительно чистых (3-й класс); в) очень чистых (1-й класс); г) загрязненных (4-й класс).

6. Оценка качества вод по индексу Шеннона основывается на определении:

а) видового состава перифитона; б) относительного обилия видов; в) видового состава зообентоса; г) видового состава зоопланктона.

7. При загрязнении водоемов биогенными элементами происходит:

а) увеличение видового состава гидробионтов; б) возрастание численности некоторых макрофитов; в) возрастание численности некоторых видов зоопланктона; г) гибель всех макрофитов.

8. Олигосапробные зоны водоемов характеризуются:

а) наибольшей загрязненностью воды биогенными элементами; б) наибольшей загрязненностью воды токсичными веществами; в) наименьшей загрязненностью воды биогенными элементами; г) умеренно загрязненной водой.

9. Элодея канадская и ряска малая характерны для зон:

а) олигосапробных; б) мезосапробных; в) всех; г) полисапробных.

10. Относительная численность олигохет в процентах от общего количества донных организмов в очень чистых водоемах составляет:

а) 20 – 30; б) 1 – 20; в) 30 – 40; г) 60 – 80.

11. Какие из указанных загрязняющих веществ, попав в больших количествах в водоем, могут вызвать его эвтрофикацию?

а) NaCl , CaCl_2 ; б) NaHCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$; в) Na_2SO_4 , CuSO_4 ; г) KNO_3 , CaHPO_4 .

12. Какие из указанных веществ являются наиболее токсичными для гидробионтов?

а) $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$; б) NaCl , KCl ; в) $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$, CdCl_2 ; г) CaSO_4 , MgSO_4 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применяемая в настоящее время в Российской Федерации методология нормирования и аналитического контроля загрязнения объектов окружающей среды (воздуха, почв, природных и сточных вод) не отвечает современным требованиям экологического контроля состояния окружающей среды, поскольку:

- охватывает лишь незначительную часть реально присутствующих в окружающей среде загрязняющих веществ;
- не учитывает воздействие загрязняющих веществ на все виды живых организмов, обитающих в почве, воздухе, природных водах;
- не учитывает воздействие комплекса загрязняющих веществ на процессы самоочищения в почвах и водоёмах;
- не выявляет эффектов синергизма и антагонизма химических соединениях на живые организмы;
- не выявляет воздействия комплекса вредных факторов на популяции и экосистемы.

В настоящее время в связи с экологическим кризисом, охватившим многие регионы планеты, биоиндикаторы нашли широкое применение при мониторинге и контроле качества природной среды. Метод биоиндикации стал крупным разделом в системе экологического мониторинга во многих странах. Ценный опыт выявления зон с опасным уровнем загрязнения воздуха накоплен в странах Западной Европы, особенно в Германии, Великобритании. Среди методов биоиндикации, применяемых в этих странах, большой популярностью пользуются методы лишеноиндикации загрязнения воздуха.

Возросшая антропогенная нагрузка на окружающую среду приводит к изменению химического состава биотопов и, как следствие, к сокращению естественной биоты в объёме, превышающем пороговое значение, сокращению биоразнообразия, лишает экосистемы устойчивости, так как вид организма может существовать до тех пор и постольку, поскольку окружающая его природная среда соответствует генетическим возможностям приспособления этого вида к её колебаниям и изменениям. Методы биоиндикации позволяют получить интегральную оценку качества объектов окружающей среды для живых организмов, выявить критические уровни нагрузки химических загрязнителей для наземных и водных экосистем.

О качестве среды, степени её загрязнения судят по видовому составу, соотношению видов и состоянию отдельных видов в экосистеме, накоплению в биомассе некоторых видов различных веществ (тяжёлых металлов, пестицидов, радионуклидов, нитратов и т.д.).

Биологические методы просты в исполнении, не требуют дорогостоящего оборудования и в то же время за короткий промежуток времени позволяют собрать информацию о состоянии окружающей среды на больших территориях, о влиянии крупных источников загрязнения на окружающую среду. Исходя из вышеизложенного, студенты экологических специальностей должны овладеть общепринятыми методами оценки качества воздуха, почв и природных вод методами биоиндикации. Указанные методы могут быть использованы при выполнении учебно-исследовательских работ в лабораторных практикумах по экологии, экотоксикологии и экологическому мониторингу, а также дипломных работ. Применение методов биоиндикации загрязне-

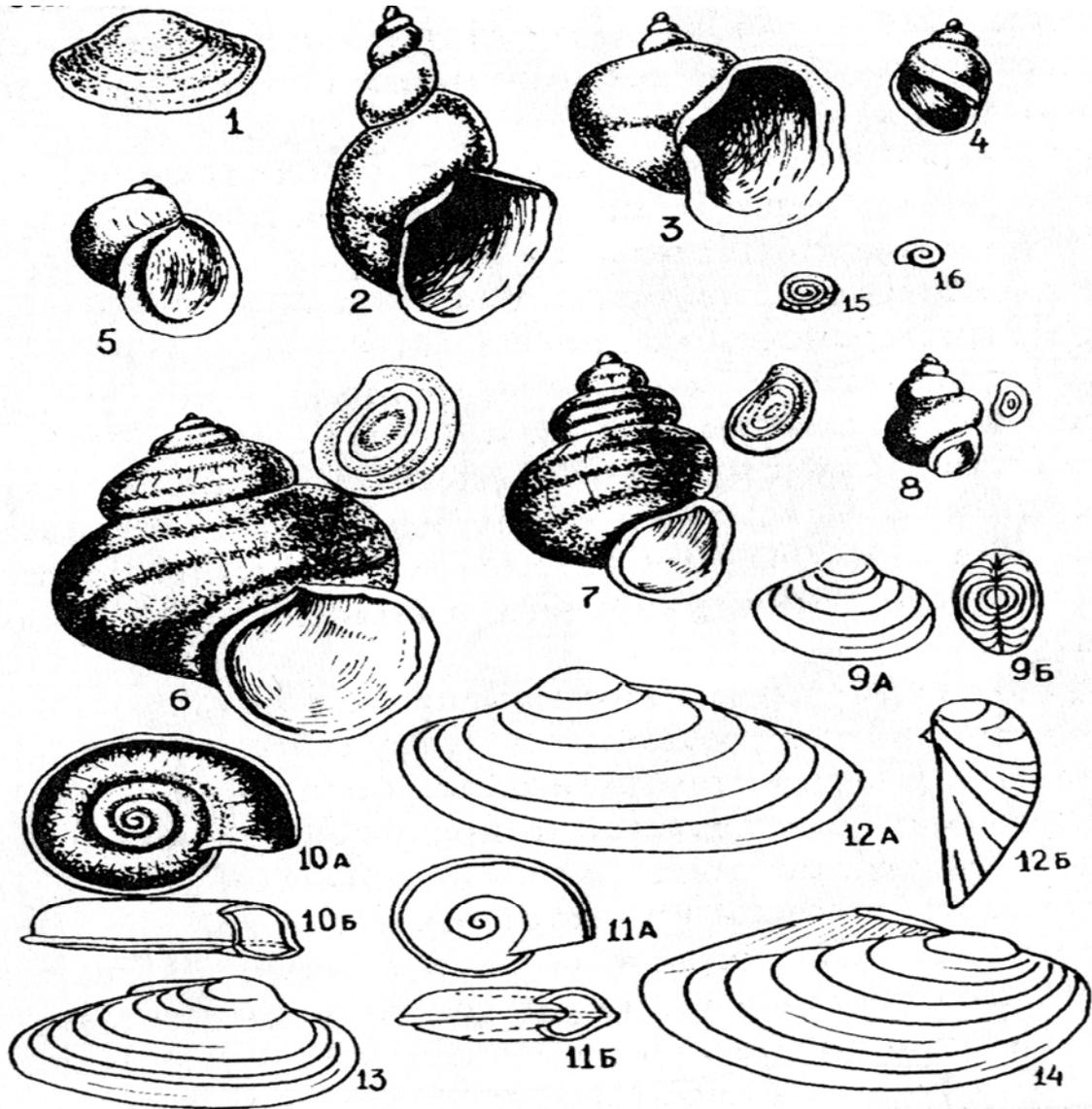
ний природной среды позволит студентам овладеть приемами научного эксперимента, необходимыми будущим специалистам-экологам, глубже осознать процессы, происходящие в окружающей природной среде под воздействием антропогенных факторов и принимать адекватные решения по восстановлению природных экосистем, нормированию экологических нагрузок на окружающую природную среду.

Биоиндикация уровня загрязнения окружающей природной среды является начальным этапом комплексной системы экологического мониторинга состояния компонентов окружающей среды, включающей использование современных физических, физико-химических и химических методов анализа.

ПРИЛОЖЕНИЯ

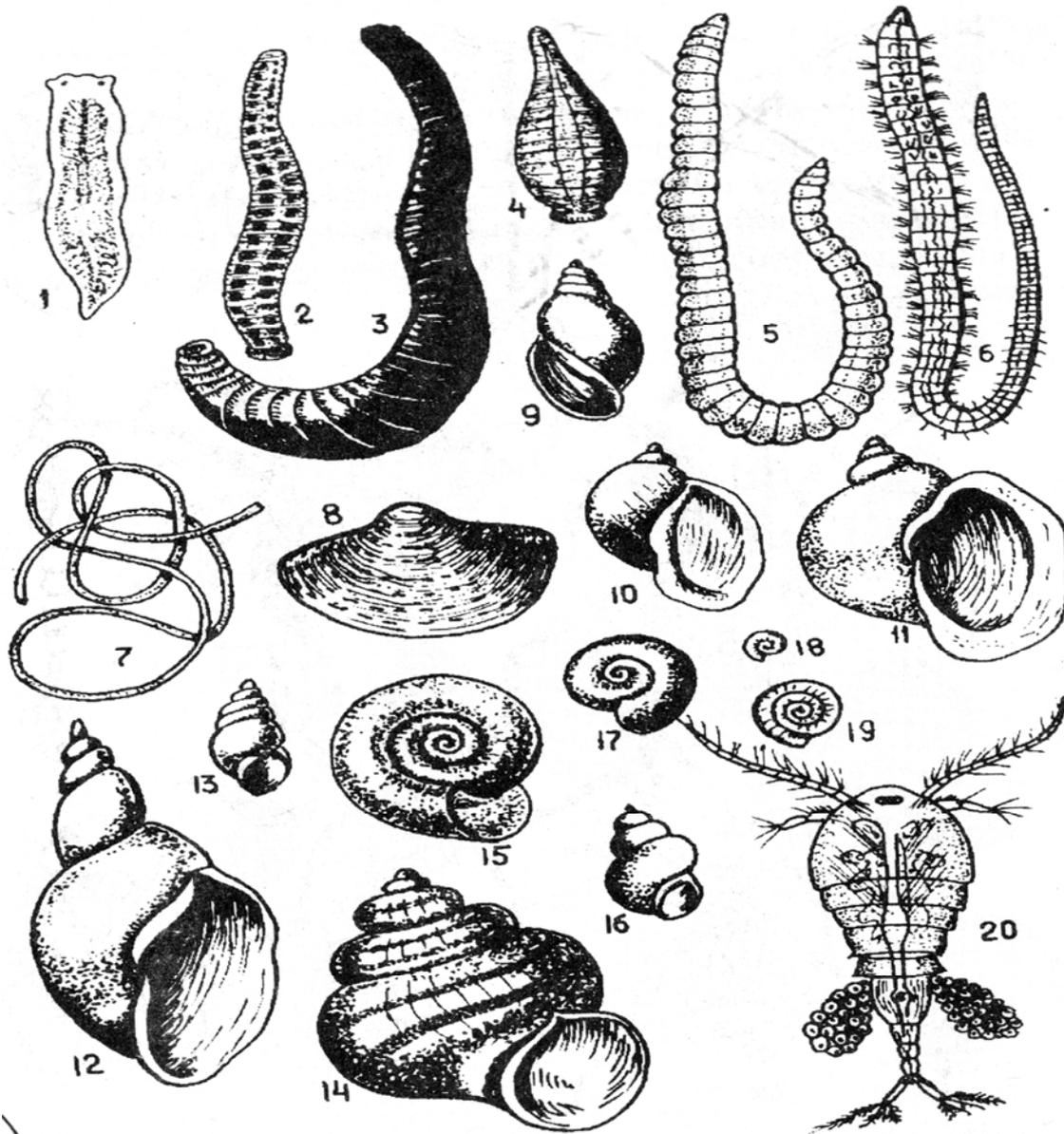
Приложение 1

Пресноводные моллюски-биоиндикаторы чистоты водоёма



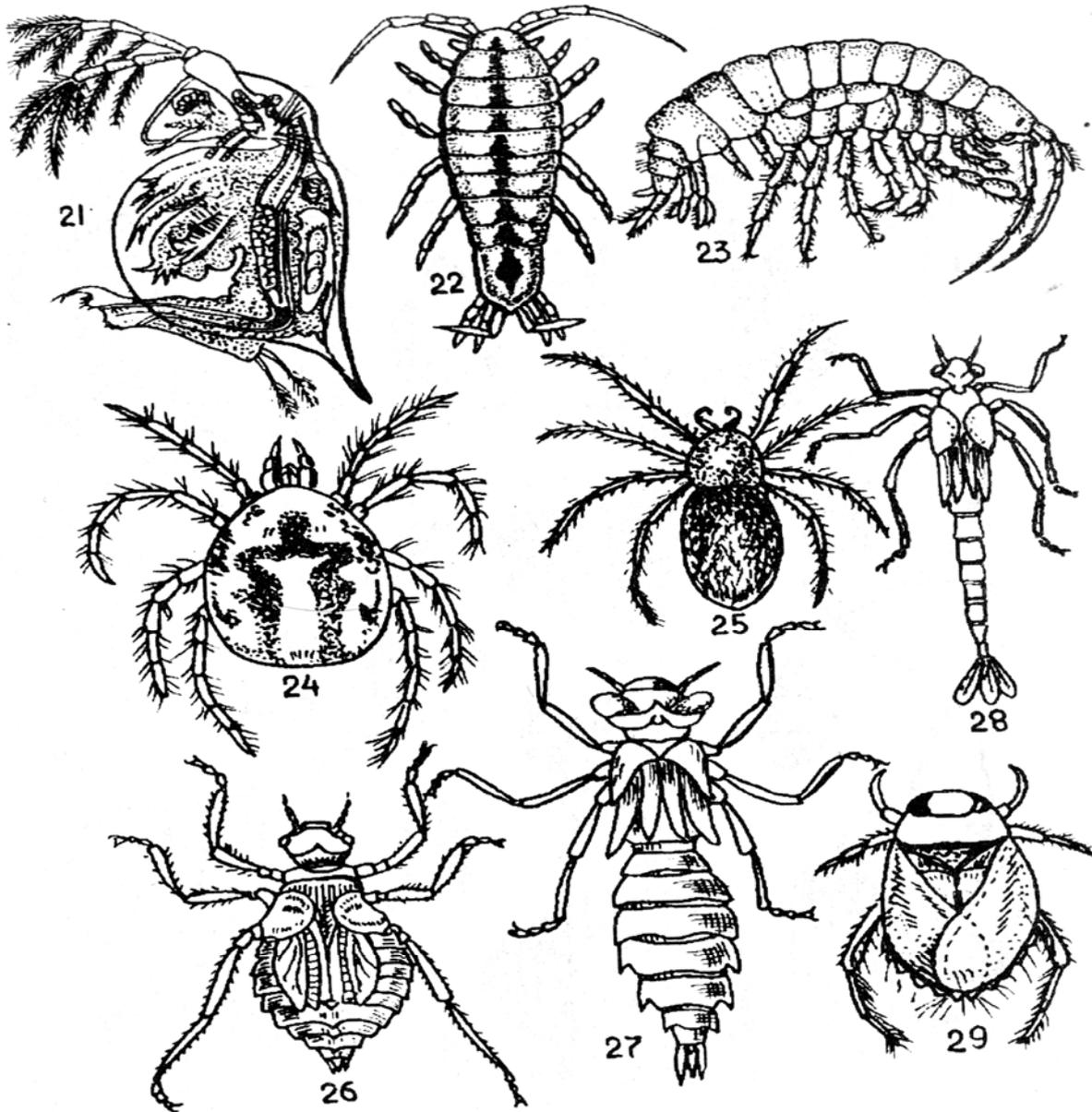
1. Роговая шоровка. 2. Прудовик обыкновенный. 3. Прудовик ушковый.
4. Физа ключевая. 5. Прудовик яйцевидный. 6. Лужанка настоящая.
7. Лужанка полосатая. 8. Битиния щупальцевая. 9А,Б. Горошина. 10 А, Б. Катушка обыкновенная. 11 А, Б. Катушка килевая. 12 А,Б. Перловица вздутая.
13. Перловица-живописец. 14. Беззубка утиная. 15. Катушка завитая.
- 16 Катушка гладкая

Животное население малых рек и озёр

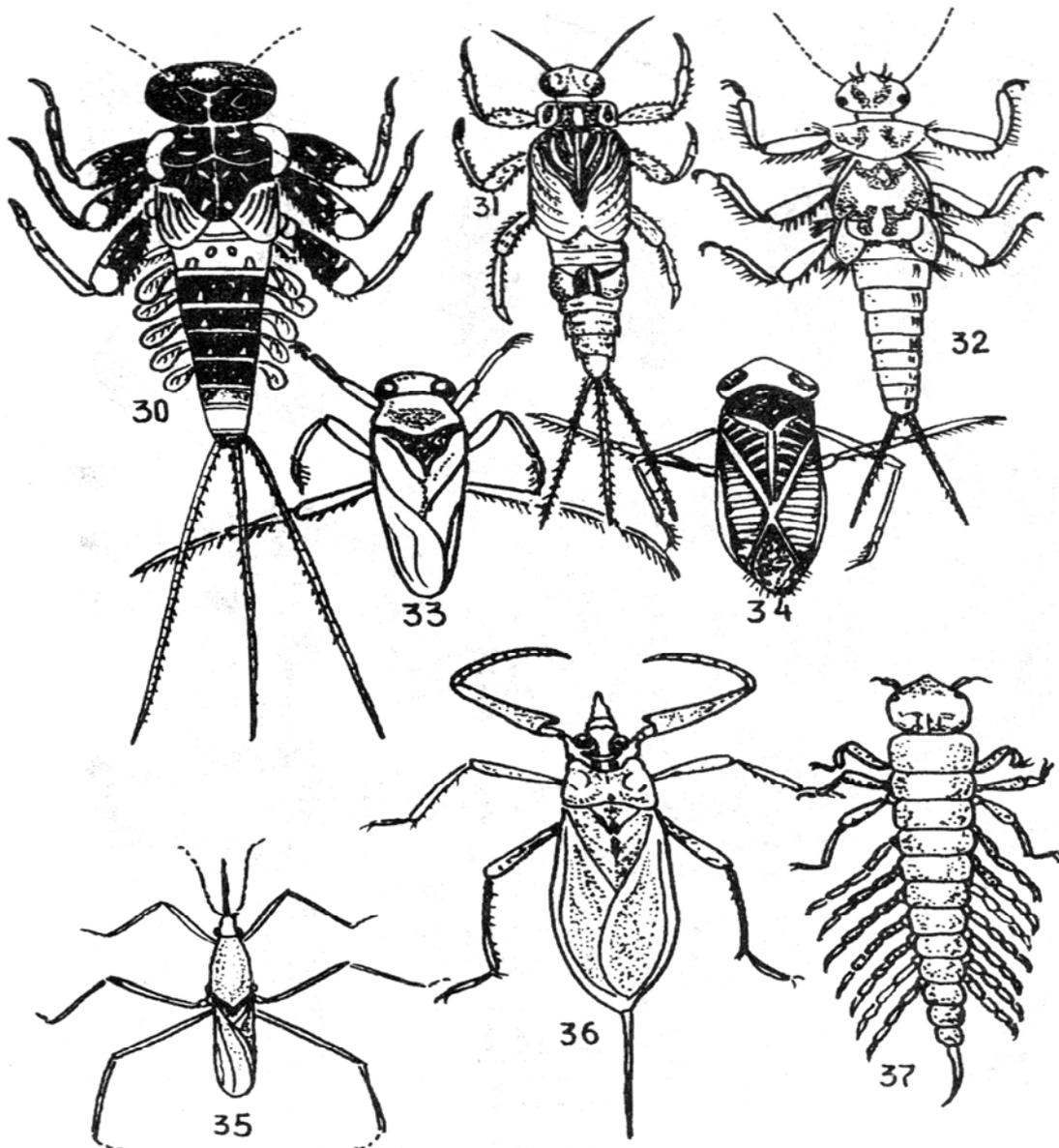


1. Молочно-белая планария. 2. Малая ложноконская пиявка. 3. Ложноконская пиявка. 4. Улитковая пиявка. 5. Дождевой червь. 6. Трубочник.
7. Волосатик. 8. Шаровка. 9. Физа заострённая. 10. Яйцевидный прудовик. 11. Ушковый прудовик. 12. Обыкновенный прудовик. 13. Прудовик малый.
14. Лужанка настоящая. 15. Роговая катушка. 16. Битиния шупальцевая.
17. Катушка килевая. 18. Катушка гладкая. 19. Катушка круговая.
20. Циклоп

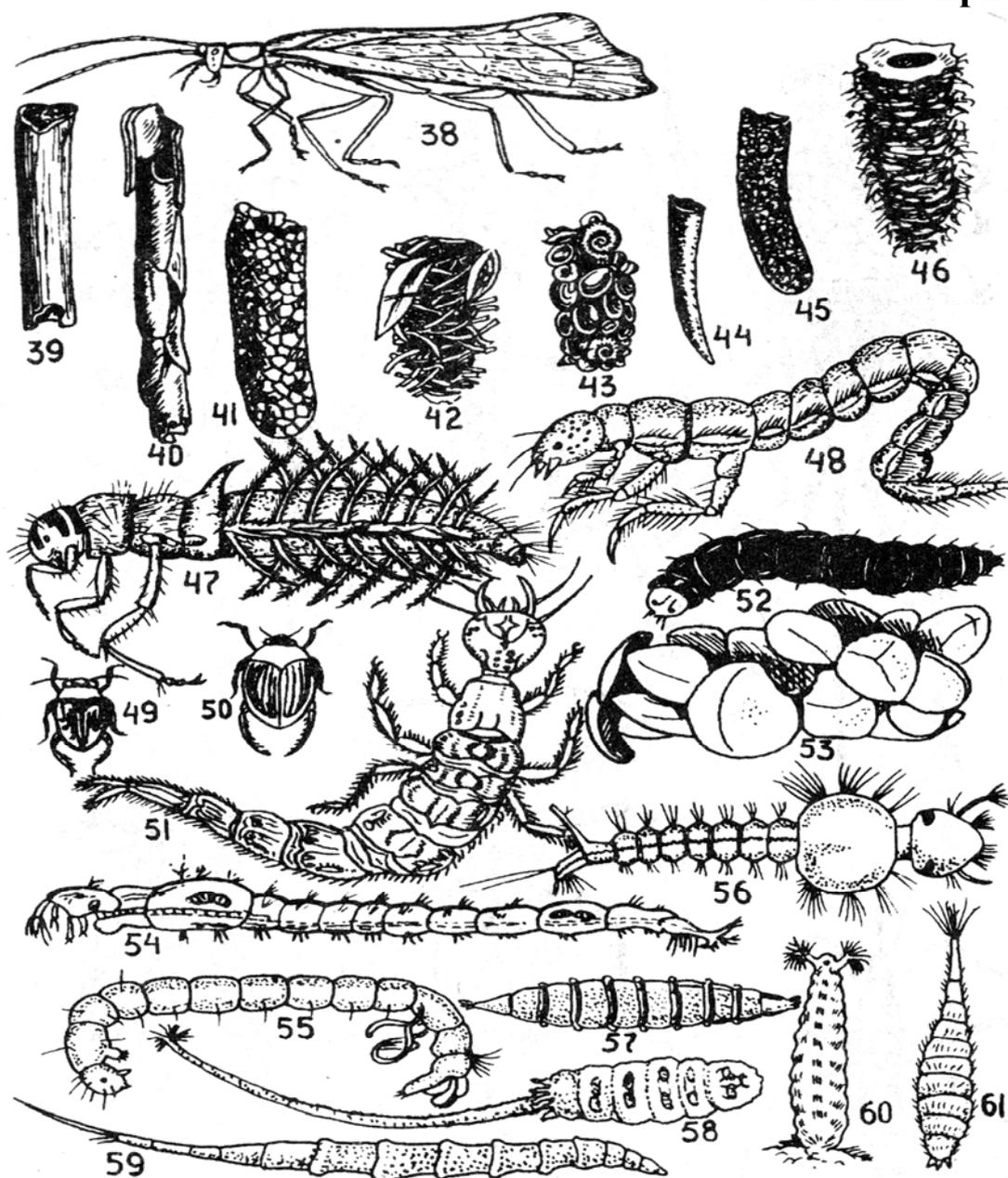
Продолжение прил. 2



21. Дафния. 22. Водяной ослик. 23. Бокоплав. 24. Гидракарина ацеркус торрис. 25. Водяной паук (самка). 26. Личинка настоящей стрекозы. 27. Личинка стрекозы коромысла. 28. Личинка стрекозы-лютки. 29. Плавт



30. Личинка подёнки. 31. Личинка подёнки кенис макрура. 32. Личинка веснянки Перла маргината. 33. Гладыш (клоп). 34. Гребляк малый.
35. Водомерка панцирная. 36. Водяной скорпион. 37. Личинка вислокрылки с трахейными жабрами



38. Ручейник. 39. Чехлик агрипнии. 40. Чехлик ручейника граммотаулиуса.
 41. Чехлик стенофилакса. 42, 43, 46. Чехлик лимнофиуса. 44. Чехлик колчанки. 45. Чехлик стенофилакса ротундипенниса. 47. Личинка большого ручейника. 48. Личинка ручейника, не строящая чехликов. 49. Пеструшка. 50. Желтушка. 51. Личинка плавунца окаймлённого. 52. Личинка бабочки рясковой огневки. 53. Чехлик из ряски. 54. Личинка комара-коретры. 55. Личинка комара-дергуна. 56. Личинка комара обыкновенного. 57. Личинка слепня. 58. Личинка иловой мухи. 59. Птихоптера. 60. Личинка мокреца. 61. Личинка мухи-львинки

Приложение 3

Ответы к тестам

Номер вопроса	ОТВЕТЫ К ГЛАВЕ		
	1-й	2-й	3-й
1	в	б	в
2	б	а	б
3	а	в	а
4	в	б	в
5	б	г	а
6	г	в	б
7	г	б	б
8	а	а	в
9	в	б	г
10	в	б	б
11	а	в	г
12	в	в	в

Библиографический список

1. *Израэль, Ю. А.* Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. – М. : Гидрометеиздат, 1984 – 560 с.
2. *Вайнерт, Э.* Биоиндикация загрязнения наземных экосистем / Э. Вайнерт [и др.]. – М. : Мир, 1988 – 350 с.
3. *Николаевский, В. С.* Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации / В. С. Николаевский. – Пущино : ВНИИЛМ, 2002 – 220 с. – ISBN 5-94219-030-5.
4. Загрязнения воздуха и жизнь растений / под ред. М. Трешоу. – Л. : Гидрометеиздат, 1998 – 380 с.
5. *Гюнтер, Л. И.* Самоочищение и биоиндикация загрязненных вод / Л. И. Гюнтер [и др.]. – М. : Наука, 1980. – 241 с.
6. Биоиндикация и биомониторинг / под ред. Д. А. Криволучкого. – М. : Наука, 1991. – 288 с. – ISBN 5-02-005419-4.
7. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. – Л. : Гидрометеиздат, 1983. – 239 с.
8. *Тарарина, Л. Ф.* Экологический практикум для студентов и школьников (биоиндикация загрязнений среды) / Л. Ф. Тарарина. – М. : Аргус, 1997. – 80 с. – ISBN 5-85549-163-3.
9. *Фёдорова, А. И.* Практикум по экологии и охране окружающей среды : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / А. И. Фёдорова, А. Н. Никольская. – М. : Гумманит, ВЛАДОС, 2001. – 288 с. – ISBN 5-691-00309-7.
10. *Маннинг, У. Дж.* Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений / У. Дж. Маннинг, У. А. Федер. – М. : Гидрометеиздат, 1985. – 143 с.
11. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / под ред. Р. Шуберта. – М. : Мир, 1988. – 348 с.

12. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР / отв. ред. Л. А. Кутикова, Я. И. Старобогатов. – М. : Гидрометеиздат, 1977. – 670 с.

13. *Чеснокова, С. М.* Лихеноиндикация загрязнения окружающей среды : практикум / С. М. Чеснокова ; Владим. гос. ун-т. – Владимир, 1999. – 36 с. – ISBN 5-89368-141-X.

14. *Бабьева, И. П.* Биология почв / И. П. Бабьева, Г. М. Зенова ; под ред. Д.Г. Звягинцева. – М. : Изд-во МГУ, 1989. – 336 с. – ISBN 5-211-00459-0.

15. *Чеснокова, С. М.* Практикум по экологическому мониторингу / С. М. Чеснокова, Е. П. Гришина ; Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2004. – 144 с. – ISBN 5-89368-476-1.

16. *Орлов, Д. С.* Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении : учеб. пособие для хим., хим.-технол. и биол. специальностей вузов. – М. : Высш. шк., 2002. – 334 с. – ISBN 5-06-004099-2.

Учебное издание

ЧЕШНОКОВА Светлана Михайловна

БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Учебное пособие

Ч. 1. Методы биоиндикации

Подписано в печать 20.02.07.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 5,25. Тираж 100 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.