

3 ТЕХНОЛОГИИ ВИЗУАЛЬНОЙ БИОИНДИКАЦИИ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

1.2 Методы биодиагностики качества окружающей среды

Решение проблемы повышения эффективности экологического мониторинга заключается в рациональном сочетании (комплексировании) дифференциальной диагностики загрязнения ОС с методами биологической диагностики качества ОС. Последние основанные на оценке состояния сообществ и отдельных особей живых организмов и природных экосистем.

Оценка состояния экологических систем представляет собой серьезную проблему. При оценке качества природной среды рекомендуется классификатор, в соответствии с которым при проведении экологического мониторинга определяют обилие и видовой состав растительных и животных организмов, а состояние каждого из этих биотических идентификаторов оценивается путем расчета соответствующих индексов устойчивости в загрязненной среде обитания. Недостатком этих показателей является то, что они игнорируют отношения между популяциями в реальных сообществах, например, конкуренция, мутуализм и др.

Этот недостаток был устранен В.А. Абакумовым на основе развитых им представлений об экологических модификациях биоценозов. Он предложил ввести градации состояния экосистем: фоновое состояние, состояние антропогенного экологического напряжения, состояние антропогенного экологического регресса и состояние антропогенного метаболического регресса.

Идея использования эталонных экосистем была в основе системы экологического мониторинга. В дальнейшем она была практически осуществлена в виде программы фонового мониторинга, как одного из элементов государственного контроля состояния природной среды. Поиск интегральных показателей нормы и патологии для функционирования экосистем подсказывал выбор в качестве функции отклика показатели продуктивности их высших трофических звеньев. Для диагностики состояния водных экосистем использовались величины уловов и урожайности промысловых рыб на протяжении последних 50 лет. Для экосистем, включающих человеческие популяции, в качестве функции отклика предлагались различные медико-демографические данные, обусловленные негативным воздействием загрязненной ОС.

Реализация биотического подхода к экологическому нормированию требует осуществления следующих этапов:

- создание статистически представительного банка биологических данных об исследуемой экосистеме;
- диагностики состояния экосистемы на шкале «норма-патология» по биотическим идентификаторам для каждого из наблюдений;
- создания банка данных об абиотических факторах среды, потенциально влияющих на экологическое состояние биоты, и совпадающих по времени и месту отбора с биологическими наблюдениями.

Сдвиг границы между оценками, объявленными благополучными и неблагоприятными, меняет границу области нормального функционирования

действующих факторов, а вместе с нею – и нормативы экологически допустимого уровня (ЭДУ). С учетом этого появляется возможность вводить дифференцированные ЭДУ воздействий для различных природных объектов (например, заповедных зон, зон рекреаций, хозяйственных территорий и др.).

ЭДУ на основе оценок по различным биотическим идентификаторам, естественно, могут различаться. Для выбора истинного норматива следует, как в случае отбора оценок состояния, или выбрать приоритетный идентификатор, или, применив принцип наибольшей жесткости, отобрать наиболее жесткий норматив.

Метод ЭДУ позволяет:

- выделить из всего набора действующих факторов те, что вносят наиболее значимый вклад в экологическое неблагополучие исследуемого природного объекта;
- ранжировать отдельные факторы и их различные наборы по вкладу по степени неблагополучия;
- рассчитать для значимых факторов их ЭДУ;
- указать для незначимых факторов экологически безопасные границы, внутри которых состояние экосистемы в ее предыстории было заведомо благополучно;
- рассчитать допустимые уровни средних, пиковых и др. значений абиотических факторов;
- строить хронограммы сезонного и многолетнего допустимого уровня воздействия ОС;
- обнаружить неполноту наблюдений в действующих программах мониторинга;
- генерировать оптимальные пути выхода экосистемы из неблагополучных состояний.

Особенности отличия нормативов ЭДУ от нормативов ПДК:

- выделенные границы не универсальны, а отражают специфику данного региона, его фоновые характеристики и адаптационный потенциал биоты конкретных экосистем;
- ЭДУ каждого фактора определено с учетом действия на экосистему всего полного комплекса абиотических факторов, включая все те, что не учтены в программах мониторинга;
- нормативы ЭДУ получены не для изолированных лабораторных популяций, а для всей реально взаимодействующей в экосистеме биоты;
- ЭДУ учитывает не только прямые, но и косвенные эффекты воздействий;
- метод ЭДУ позволяет нормировать несубстратные воздействия на экосистемы, для которых не определяются аналоги ПДК.

ЭДУ может использоваться в качестве критерия при прогнозе изменения состояния экосистем[11]. В этом случае составление прогноза становится тривиальным – необходимо выяснить, по какую сторону от границы нормального функционирования, или по какую сторону ЭДУ лежит каждое из заданных параметров негативного воздействия на экосистему. Состояние исследуемого объекта считается неблагополучным, если значение хотя бы одного воздей-

ствующего фактора выходит за пределы ЭДУ, и наоборот, - состояние благополучно, если значение всех факторов находятся в пределах ЭДУ.

Совершенно очевидно, что оценка экологической обстановки на территории в ходе формирования эффективной системы государственного экологического мониторинга невозможна без использования методов биоиндикации качества ОС.

Проведение оценки и обеспечение постоянного контроля состояния ОС является узловой задачей на всех этапах организации разумного природопользования для обеспечения устойчивого развития человечества в гармонии с природой, при котором человечество органично вписывает свою все возрастающую активность в естественные возможности планеты Земля.

Реализация основных принципов обеспечения такого устойчивого развития предполагает наличие объективной информации о состоянии среды в ответ на каждый новый шаг человечества на всех этапах (от планирования до практической реализации) любой деятельности, связанной с природопользованием.

Оценивать качество ОС, степень ее благоприятности для человечества необходимо, прежде всего, в целях:

- определения состояния природных ресурсов;
- разработки стратегии рационального использования региона;
- определения предельно допустимых нагрузок для любого региона;
- решение судьбы районов интенсивного промышленного и сельскохозяйственного использования, загрязненных территорий и т.д.;
- решения вопроса о строительстве, пуске или остановке определенного предприятия;
- оценки эффективности природоохранных мероприятий, введения очистных сооружений, модернизации производства и т.д.;
- введения новых химикатов и оборудования;
- создания рекреационных и заповедных территорий.

Ни один из этих вопросов не может быть объективно решен лишь на уровне рассмотрения формальных показателей, а требует проведения специальной разносторонней оценки качества среды обитания. Поэтому оценка качества среды оказывается узловой задачей оценки экологической обстановки, обеспечения экологической безопасности народнохозяйственной и военной деятельности.

Для получения заключения о качестве среды необходима интегральная характеристика ее состояния. При всей важности проведения такой оценки на всех уровнях, с применением различных подходов (включая физические, химические, социальные и др. аспекты), приоритетной представляется именно биологическая оценка.

Состояние окружающей среды в США характеризуется индексом качества природной среды. Его значение определяется по результатам балльной оценки состояния воды, воздуха, природных ресурсов и т.д., и для самых лучших условий окружающей среды достигает 700 баллов.

4.3 Морфология и физиология биоиндикаторов среды обитания

Каждый организм, сообщество организмов реагирует на возмущающие воздействия неблагоприятных экологических факторов, и в этом смысле могут рассматриваться как биоиндикаторы. Для выбора среди этого множества организмов-индикаторов требуются критерии или требования, которым должны удовлетворять растительные и животные биоиндикаторы. Ю. Одум [4.6] и др. ученые сформулировали следующие требования к биоиндикаторам:

- 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);

- более крупные виды биоценозов являются лучшими индикаторами по сравнению с мелкими, так как 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, лимитирующие значения вредного воздействия среды с учетом возможных компенсаторных реакций вида и его толерантности;

- численное соотношение разных видов более показательнее, нежели численность одного вида (целое лучше, чем часть отражает общую сумму условий);

- универсальность; 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.

Биоиндикаторы качества атмосферного воздуха, удовлетворяющие указанным требованиям, являются лишайники и сосна, основные показатели и приемы определения которых, приведены в таблице 4.2. [4.1 -4.19]

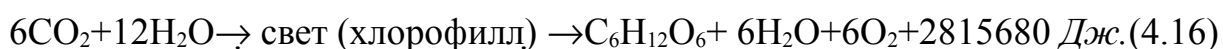
Таблица 4.2- Основные показатели и приемы определения внешних признаков лишайников и сосны

Наименование показателя	Основной методический приём
1.Виды лишайников	1. Визуальное наблюдение
2.Плотность популяции лишайников	1.Визуальное наблюдение и измерение с помощью простейшего устройства - палетки (рамки)
3. Повреждения хвои сосны (наличие пятен на хвое)	1. Сбор побегов сосны обыкновенной 2. Визуальная оценка поврежденности хвоинок 3. Расчёт показателя повреждённости хвоинок
4.Усыхание хвои сосны (наличие сухих участков)	1. Визуальная оценка класса усыхания хвоинок 2. Расчёт показателя усыхания хвоинок
5.Репродуктивная функция сосны (состояние семян)	1.Сбор и выдержка в течение 3 месяцев шишек 2.Сушка шишек в термошкаву при температуре 40...45 °С 3. Визуальные измерения семян сосны
6.Дефолиация сосны	1. Визуальная оценка дефолиации кроны

Сосна чувствительна к загрязнению атмосферного воздуха. Под действием ЗВ на хвое сосны появляются сначала пятна хлороза, затем некрозы и в конечном итоге наблюдается усыхание хвои. Действие ЗВ негативно сказывается на репродуктивную функцию сосны: уменьшается число шишек на дереве, снижается число нормальных семян в шишках. Наблюдается усыхание кроны сос-

ны. По этим внешним признакам судят о неблагоприятном состоянии атмосферного воздуха. Однако количественных критериев оценки качества атмосферного воздуха по состоянию хвои сосны пока не разработано. Сложность состоит в том, что причиной усыхания хвои сосны может быть не только загрязнение воздуха, но и почвы.

Лишайники не имеют связи с почвой, растут на стволах и ветвях других растений, на скалах, камнях и других неподвижных предметах. Симпсон Швендер в 1867 году установил, что тело лишайников (слоевище или таллом) всегда состоит из гриба водоросли. Водорослевые компоненты под действием света из углекислого газа и воды синтезируют органические соединения. Этот процесс, именуемый фотосинтезом, обычно выражается суммарным уравнением [4.5]:



Из уравнения видно, что хлорофилл лишайников под действием света из углекислого газа и воды синтезирует глюкозу ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) и кислород. Процесс идёт при избытке воды и с выделением энергии 2815680 Дж.

Интенсивность фотосинтеза в большей мере зависит от экологических условий, одно из них – влажность. Установлено [4.15, 4.16], если влажность ниже 30% или выше 90% (на массу сухого вещества), то скорость фотосинтеза быстро падает. При влажности от 2 до 10 % лишайники впадают в «анабиоз» и в таком состоянии могут выдерживать сильное солнечное облучение, сильное нагревание и охлаждение до минус 35 С°. В результате непостоянства влажности воздуха скорость роста лишайников составляет от 0,1 до 10 мм в год.

По внешним признакам можно различить три основные группы лишайников: накипные, листоватые, кустистые. Тело лишайника состоит из слоевища, которое образовано сложным переплетением нитей гриба с клетками водорослей. Слоевище накипных лишайников имеет вид корочки, плотно сросшейся с субстратом (корой дерева или другого предмета, находящегося годами в неподвижном состоянии). Толщина корочки в виде накипи или еле заметного порошкообразного налёта может быть от 1 до 5 мм.

Слоевище накипных лишайников может быть и в виде чешуек (переходная форма от накипных к листоватым лишайникам). Цвет лишайника преимущественно серый, но встречаются виды желтого и бурого цветов.

Слоевище листоватых лишайников имеет вид листовидной пластинки, горизонтально распростёртой на субстрате. Наиболее характерна для него округлая форма. Размеры пластинки могут достигать в диаметре 10-20 см. Такая пластинка нередко бывает плотной, кожистой, окрашенной в тёмно-серый, тёмно-коричневый или чёрный цвет. Листоватое слоевище может быть расчленившимся на множество мелких лопастей самого разного размера и формы. Лопасточки бывают узкими и широкими, слабоветвистыми, сильноветвистыми, плоскими, выпуклыми, тесно сомкнутыми, разделёнными, налегающими друг на друга своими краями или строго ограниченными.

Характерной особенностью листоватого лишайника является то, что верхняя поверхность бывает серой или желтой (оранжевой), а нижняя – красновато-оранжевой, белесой, розовой или красновато-оранжевой. В отличие от накипных лишайников, слоевище которых плотно срастается с субстратом, листоватые лишайники обычно довольно рыхло с ним связаны. Листоватые лишайники по сравнению с накипными являются более организованными формами. Среди листоватых лишайников встречаются и неприкрепленные, кочующие формы (блуждающие пармелии).

Слоевище кустистых лишайников имеет вид прямостоячего или свисающего кустика, реже неразветвленных выростов. По организационному уровню кустистые лишайники представляют высший этап развития слоевища. Слоевища кустистых лишайников могут быть разных размеров – от нескольких миллиметров до 30 ...50 см.

Особая чувствительность лишайников к токсичным веществам объясняется тем, что они не могут выделить в среду впитанные элементы. Токсические вещества вызывают разрушение хлорофилла в клетках водорослей, приводя лишайники к гибели. Шкала оценки загрязнения среды обитания лишайников, приведена в табл. 4.2 [4.1] и на рисунке 4.3.

Таблица 4.3- Шкала загрязнения атмосферного воздуха по лишайникам

Классы загрязнения воздуха и группа лишайников				
1 чистый	2 слабо загрязнен	3 средне загрязнен	4 сильно загрязнен	5 очень сильно загрязнен
Кустистый, К				Нет лишайников и мхов (зона экологической аномалии)
Листоватый, Л	Листоватый			
Накипной, Н	Накипной	Накипной		
Мох	Мох	Мох	Мох	

В таблице выделены 5 классов загрязнения атмосферного воздуха по наличию и внешним признакам лишайников и мхов. Обращает на себя внимание (выделено жирным шрифтом), что в каждом классе загрязнения воздуха имеется группа лишайников, наличие которого характеризует максимальный уровень информации о качестве воздуха:

- 1 кустистый лишайник – **чистый воздух**;
- 2 листоватый лишайник – **слабо загрязненный воздух**;
- 3 накипной лишайник – **средне загрязненный воздух**;
- 4 мох – **сильно загрязненный воздух**;
- 5 отсутствие лишайников и мхов – **очень сильно загрязненный воздух**

Внешние признаки кустистых лишайников приведены на рис. 4.2-4.4.

Рисунок 4.2- Кустистый лишайник Уснея перепутанная на коре сосны (Цейское ущелье Северной Осетии)

Рисунок 4.3- Кустистый лишайник Уснея жесткая на коре сосны (Цейское ущелье Северной Осетии)

Рисунок 4.4 –Кустистый прямостоячий лишайник *Кладония грациозная* в виде бокальчиков на покрытой мхом нижней части сосны (природный заповедник Лысые горы Тамбовской области)

Внешние признаки листоватых и накипных лишайников приведены на рисунках 4.5 и 4.6.

Рисунок 4.5 – Внешние признаки серых и желтых листоватых лишайников (высокогорное село Даргавс в Северной Осетии - Алании)

Рисунок 4.6 – Внешние признаки желтых и черных накипных лишайников (скалы в районе озера- «хвостохранилища» горно-обогатительного комбината в Алагирском ущелье Северной Осетии –Алании)

Биоиндикаторы качества поверхностных вод, относящиеся к стенотопным видам животных, приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Основные показатели биоиндикаторов качества поверхностных вод и приемы их определения

Наименование показателя	Основной методический приём
1. Видовое разнообразие и биомасса рыб-индикаторов	1.Отлов ценных пород рыб-индикаторов 2. Взвешивание рыб 3. Расчет показателей биоиндикации
2. Видовое разнообразие и биомасса раков-индикаторов	1.Отлов раков-индикаторов 2. Взвешивание раков 3. Расчет показателей биоиндикации
1.Видовое разнообразие пресноводных моллюсков	1.Сбор пресноводных моллюсков со дна 2.Расчет индекса биоразнообразия
2.Плотность популяции пресноводных моллюсков	1.Сбор пресноводных моллюсков со дна 2.Расчет показателя плотности популяции

Анализ данных таблицы показывает, что для таких биоиндикаторов как рыбы и раки необходимо измерение биомассы, что усложняет процедуру биоиндикации качества поверхностных вод. Что касается пресноводных моллюсков, то определение их биоразнообразия и плотности популяции (шт./м²) проводится чисто визуально, что весьма привлекательно для военного эколога.

Пресноводные моллюски обычно обитают в слое придонного ила водоема. Плавающие и мигрирующие организмы позволяют получать лишь сравнительно небольшую информацию относительно условий, в которых протекает их жизнь в течение длительного периода времени. Хорошо сбалансированная благополучная система насчитывает большое число видов, ни один из которых не является доминирующим. Поскольку в загрязненной воде почти всегда присутствуют живые организмы, которые представляют собой особо толерантные к загрязнению виды, то, наблюдая изменение соотношения видов разной толерантности, можно судить лишь приблизительно о качестве поверхностных вод.

Представители различных видов водных животных-биоиндикаторов приведены на рисунке 4.7.

Рисунок 4.7 – а) организмы не толерантные к загрязнению воды: 1 — нимфа веснянки, 2 — личинки ручейников; б) организмы толерантные к умеренному загрязнению воды: 3 — равноногий рак, 4 — бокоплав, 5 — личинки мошек, 6 — улитка, 7 — нимфа стрекозы, 8 — пиявка; в) организмы толерантные к среднему загрязнению воды: 9 — личинки звонца, 10 — крыска.

Среда, которая является почти анаэробной, считается самой неблагоприятной для водных форм жизни. Поскольку на разложение органических отходов может быть израсходован весь растворенный в воде кислород, то вследствие снижения его концентрации гибнет рыба. В результате отложения ила на дне лишаются среды обитания большинство живущих на дне организмов, сокращаются районы нереста рыбы. Водные растения встречаются в ограниченных количествах, так как они не в состоянии выжить на мягком покрове из ила.

В сильно мутной воде гибнут плавающие растения и животные. Но в этих условиях происходит интенсивное разложение органических отходов, и образуются неистощимые запасы пищи для тех водных организмов, которые приспособились к такой среде. В такой водной среде значительно возрастает численность бактерий и некоторых простейших организмов, обитающих на дне, например, трубочники, черви красного цвета и др. Так, например, на 1 м² загрязненного дна можно обнаружить 500 000 и более иловых червей.

Одним из показателей оценки качества поверхностных вод является численности водных организмов. В зависимости от их толерантности к ЗВ организмы подразделяются на соответствующие группы. Так, например, организмы, относящиеся к группе иловых червей, могут обитать как в незагрязненной, так и в загрязненной органическими отходами воде. Ценность этой группы состоит в том, что в незагрязненной воде численность особей в пределах группы чрезвычайно мала, тогда как в среде, загрязненной органическими отходами, эта численность может быть значительной.

По мере того как поступление органических отходов становится более стабильным, один преобладающий вид организмов, обитающих в воде, сменяется другим. Установлено, что красный цвет, в который «окрашивается» дно

реки, связан с колебательными движениями, которые периодически совершают личинки звонца. В некоторых случаях было обнаружено, что популяции личинок ручейников превышают 10000 шт./м², а популяции нимф поденок — 3000 шт./м².

Пресноводные моллюски среди животных биоиндикаторов загрязнения поверхностных вод занимают особое место [4.1, 4.27, 4.28]. Они имеют органы химического чувства (чувствительные клетки), которыми они пользуются для определения недоброкачественной воды. Некоторые пресноводные двустворчатые моллюски живут только в чистых водоёмах. Например, жемчужница, катушки (гладкая, завитая, килевая, обыкновенная), перловица живописцев и утиная беззубка обитают только в чистых реках с быстрым течением. Населяют они речные перекаты, где вода насыщается кислородом. Они очень чувствительны к содержанию кислорода в воде. Плотность популяции этих моллюсков на плесах может достигать до 60 экземпляров на квадратный метр. С загрязнением рек сточными водами эти моллюски исчезают из рек.

Моллюски по способу питания – фильтраторы. Они засасывают воду, содержащую органические и минеральные частицы, взвешенные в воде, мелкие планктонные организмы, а выделяют профильтрованную воду.

Место обитания пресноводных моллюсков – придонный слой ила, глубина которого может достигать 3 см. Но если вода богата органическими отходами, служащей пищей для моллюсков, то последние могут обитать в воде, не зарываясь в слой ила.

Способность пресноводных двустворчатых моллюсков (мидий) очищать воду характеризуется следующими данными: плотное скопление мидий, заселяющих квадратный метр площади дна водоема, за одни сутки способно профильтровать до 280 кубометров воды [4.27, 4.28].

По толерантности к загрязнению воды пресноводные моллюсков подразделяются на три вида:

- α-мезосапробные (живут в умеренно загрязненной воде);
- β-мезосапробные (живут в слабо загрязненной воде);
- олигосапробные (живут в чистой воде).

Использование пресноводных моллюсков для биоиндикации качества поверхностных вод практически исключается в зимний период, когда водоемы покрыты слоем льда. Однако в некоторых случаях, например, для выявления залповых сбросов в поверхностные водоемы ЗВ, возможно использовать и пресноводных моллюсков и в зимний период. В этих случаях на замерзших водоемах проделывают полыньи размером 1×1 м в прибрежном участке водоема. Наличие в иле большого количества мертвых особей свидетельствует о фактах сброса вредных веществ в водоем. Шкала качества воды водоема по обитающим в нем моллюскам – сапробионтам в сопоставлении с индексами загрязнения воды P_v приведены в таблице 4.4.[4.1]

Таблица 4.4 - Шкала качества воды по состоянию пресноводных моллюсков

Умеренно загрязнённая (III класс, $1 \leq P_v \leq 2$)	Слабо загрязненная (II класс, $0,2 \leq P_v \leq 1$)	Относительно чистая (I класс $P_v \leq 0,2$)
α –мезосапробионты	β -мезосапробионты	олигосапробионты
1- Роговая шаровка	2-Прудовик обыкновенный 3-Прудовик ушковый 4-Физа ключевая 5-Прудовик яйцевидный 6-Лужанка настоящая 7-Лужанка полосатая 8-Битиния щупальцевая 9-Горошина 10-Перловица вздутая	11-Катушка обыкновенная 12-Катушка килевая 13-Перловица живописцев 14-Утиная беззубка 15-Катушка завитая 16-Катушка гладкая

Внешние признаки пресноводных моллюсков-биоиндикаторов в зависимости от сапробности, показаны на рисунке 4.8.

Качество воды поверхностного водоема

Рисунок 4.8 – Атлас внешних признаков пресноводных моллюсков-биоиндикаторов качества поверхностных вод

Биоиндикаторами качества почвы являются растения и беспозвоночные почвенные животные [4.1, 4.6]. Почва наиболее сложный объект для биоиндикации. Разнообразие климатических условий, растительности, горных пород, рельефа, различный возраст отдельных территорий обуславливает и разнообразие почв. Географические закономерности их распространения определяются сочетанием факторов почвообразования. Для России этими факторами являются зональные изменения климата и растительности, они формируют горизонтальную и вертикальную зональность почв. Особенности почвенного покрова небольших участков территорий связаны с влиянием на процесс почвообразования местного рельефа, состава и свойств пород, растительности и почвенных организмов. Как важная среда развития животного мира, почва насчитывает около восьмидесяти типов на территории России, исключая почвы Крайнего севера и мерзлотных областей Сибири. В основе принципа биологической диагностики почв лежит представление о том, что почва как среда обитания, составляет единую систему с населяющими ее популяциями разных организмов. Методические приемы определения показателей растительных видов биоиндикаторов, которые наиболее часто применяются при биоиндикации качества почвы приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5- Основные методические приемы биоиндикации почв

Наименование показателя	Основной методический приём
1. Биоразнообразие и плотность популяции трав и мхов	1. Визуальное наблюдение 2. Расчет показателей биоиндикации
2. Биоразнообразие и биомасса беспозвоночных животных	1. Прикопы почвы и сбор беспозвоночных животных 2. Взвешивание собранных беспозвоночных животных 3. Расчет показателей биоиндикации
3. Качество пыльцы растений	1. Сбор и лабораторный анализ пыльцевых зерен

Загрязнение почвы можно оценить по всхожести семян, по хлорозам (частичной потерей хлорофилла зеленых листьев и стеблей) и некрозам (полное отмирание хлорофилла листьев, стеблей), по снижению скорости роста растений и др. Шкала оценки по этим внешним признакам класса загрязнения почвы приведена в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Шкала оценки загрязненности почвы по состоянию травы

Класс загрязнения	Виды растений с жизненностью:	
	угнетенной ¹	сильно угнетенной ²
1 (незначительное)	полынок	вика тонколистая, вязель, клеверы, крестовник, люцерна серповидная, лядвенец, молочай, солодка, синеголовник, шалфей луговой
2 (сильное)	метлица, прибрежница, ситник, тростник,	герань луговая, донник, люцерна хмелевидная, череда
3 (очень сильное)	мятлик луковичный, полынь австрийская, солянки	лебеда, овсяница солончаковая, одуванчик, подорожник, спорыш

Примечания: 1 – меньший размер взрослых особей, семенное размножение растений невозможно;

2 – резкое отклонение морфологического облика взрослых особей, нет цветущих и плодоносящих побегов.

Растения - биоиндикаторы месторождений полезных ископаемых

О том, что растительность может быть биоиндикатором месторождений рудных ископаемых знали еще в XVI веке. В 1550 году немецкий ученый Георгиус Агринола писал: «Трава над рудными жилами весной и осенью... отличается от растущей по соседству. Трава здесь низкая и нездоровая. Деревья над месторождением весной с голубоватыми или свинцово-серыми листьями, особенно верхними, черной или другой неестественной окраски, стволы расщепленные, и ветер их легко выворачивает, открывая жилу. Там, где бывает полоса этих удивительных растений, которых не видно по соседству, есть жила». Наш великий соотечественник М.В. Ломоносов в 1763 году отметил следующее: «На горах, в которых руда и другие минералы рождаются, растущие деревья бывают обыкновенно нездоровы, то есть листья их бледны, а сами низки, кривлеваты... и прежде совершенной старости своей подсыхают, а трава, над жилами растущая, бывает обыкновенно мельче и бледнее».

Беспозвоночные почвенные животные является одним из наиболее распространенных и чувствительных биоиндикаторов экологического состояния почвы. Показателями загрязнения почвы и экосистемы в целом является изменение видового состава и количества почвенных беспозвоночных животных.

В большинстве случаев виды беспозвоночных почвенных животных в центре ареала, где они обитают, более многочисленны и обычно заселяют более разнообразные места, чем на периферии, а у границ ареала вид встречается редко – только там, где микроклимат близок к средним климатическим условиям области массового распространения вида. К таким условиям относится, наряду с прочими, водный и тепловой режим почвы, к которому почвенные беспозвоночные животные очень чувствительны.

В качестве примера можно привести поведение насекомого – июньского хруща, который встречается в лесостепной зоне в различных почвах. На севере (в лесной зоне) она предпочитает склоны, обращенные на юг, где песчаные или известковые почвы, а на юге (в сухой степи) – склоны, обращенные на север, с тяжелыми почвами, а также берега рек. Не случайно К. Линней называл некоторые широко распространенные в Скандинавии виды "песчаными". В Скандинавии они действительно встречаются в песках.

К настоящему времени на многочисленных опытах и на основе стационарных исследований установлено, что по мере увеличения степени загрязнения почв происходит обеднение видового состава, наблюдается неравномерное территориальное и вертикальное распределение, снижение их численности и биомассы. При сильном загрязнении указанные выше группы беспозвоночных могут "выпадать" из состава почвенной фауны.

Дождевые (земляные) черви относятся к кольчатым малощетинковым червям – олигохетам. Главная особенность организации олигохет – повторяемость органов вдоль оси тела, так называемая метамерия. На территории России дождевые черви представлены главным образом видами семейства люмбрицид (*Lumbricidae*), около 100 видов которых входят в состав макрофауны почв нашей страны. Одиннадцать видов занесены в Красную книгу России.

Все дождевые черви – геобионты. Многие выходят на поверхность почвы только ночью. В сырую погоду и особенно после дождя, когда их норки заливаются водой, они и днем в массовом количестве выползают на поверхность, за что и получили народное название "выползков".

Люмбрициды составляют три экологические группы: поверхностно-живущие (подстилочные), почвенно-подстилочные и норники, прокладывающие глубокие ходы, которые они редко покидают. Виды двух последних групп взаимно заменяют друг друга в зональных почвах: почвенно-подстилочные заходят далеко на север, населяя заболоченные почвы тайги, а норники обитают в районах со средиземноморским климатом.

Распространение дождевых червей связано с климатическими факторами и типом почв. Важным условием жизни является влажность, при засухе обычно черви погибают в массовом количестве. Ранние заморозки тоже вызывают их гибель. Плохо они переносят и высокие температуры. Наименьшая численность дождевых червей отмечается при наличии высоких концентраций ЗВ в почве, особенно тех, которые изменяют кислотность почвы в сторону уменьшения pH. Это связано с высокой чувствительностью дождевых червей к кислой реакции почвенного раствора. Поэтому дождевые черви являются прекрасными индикаторами загрязнения почв при незначительных концентрациях ЗВ, что

очень важно для своевременного принятия мер по устранению причин загрязнения.

Моллюски (мягкотелые) относятся к брюхоногим или гастроподам. К ним относятся улитки и слизни. В своем большинстве моллюски – водные обитатели. К наземному образу жизни приспособились так называемые легочные улитки – группа брюхоногих моллюсков, встречающихся от тундры до тропиков. В фауне нашей страны их насчитывается около 700 видов. Среди улиток есть устойчивые к дефициту влаги виды, населяющие южные районы. Особую группу наземных моллюсков составляют голые слизни. Их раковина нацело обрастает мантией и становится рудиментарной, а у некоторых исчезает полностью. Слизни живут в местах, где имеется достаточная влажность, поэтому они не встречаются в степях и пустынях. Поэтому их использование ограничивается территориями с постоянным увлажнением. Это является своего рода преимуществом моллюсков как биоиндикаторов, поскольку использование других видов беспозвоночных животных затруднено.

Мокрицы – равноногие ракообразные, единственная из жабродышащих групп, полностью перешедшая на сухопутный образ жизни. Известно около 1000 их видов. Распространены повсеместно – от тайги до пустынь. Предпочитают места с повышенной влажностью, что нашло отражение в их названии.

В пустынях мокрицы выполняют функцию отсутствующих там дождевых червей. Увеличивая порозность почвы, изменяя ее водно-воздушный режим и химический состав, способствуют переходу лессовых пустынных почв в сероземы, на которых поселяются кустарники. Мокрицы, таким образом, выступают в роли пионеров освоения пустынь.

Экологическое значение мокриц как биоиндикатора проявляется довольно широко (согласно ареалу обитания). В умеренной почвенно-климатической зоне России мокрицы, наряду с моллюсками, являются биоиндикаторами экологической обстановки в местах с достаточным увлажнением, где их большое количество и богатый видовой состав.

Многоножки – наземные животные ведущие скрытый образ жизни, большую часть времени прячась в почвенных норках или под опавшими листьями. Среди них есть очень мелкие виды, всего 1,5-2 мм длиной, а самые крупные – геофилы и сколопендры – достигают размеров 10-15 см и могут быть отнесены к макрофауне почв.

Наиболее многочисленны и разнообразны в почве диплоподы – двупарноногие многоножки. Это одна из важнейших групп почвенных организмов – активных разрушителей органического вещества почв и древесины. Являются индикаторами загрязнения почвы в хвойных и смешанных лесах, поскольку это связано с преимущественным преобладанием этих животных под листовенным или хвойным опадом деревьев. Губоногие многоножки хищники, питающиеся земляными червями, за которыми уходят глубоко в почву. В качестве биоиндикаторов используются на выровненных участках рельефа территории. Хорошо переносят недостаток влаги в почве, что является преимуществом при проведении экологического обследования в засушливый период времени года или на

территории, почва которой испытывает постоянный (периодический) дефицит влаги.

Пауки – исключительно наземные беспозвоночные. В России известно около 1000 видов пауков, основные представители которых обретаются в лесах – под покровом деревьев. Эти виды используются в качестве биоиндикаторов загрязнения почв на ровных участках местности с преобладанием травянистой растительности. Кроме того, наблюдения доказывают, что в засушливых районах, в местах с изреженным травяным покровом пауки нередко являются единственными беспозвоночными индикаторами техногенного загрязнения.

Южнорусский тарантул распространен в пустынной, степной и лесостепной зонах. Это крупный паук длиной до 3,5 см обитает в местах с высоким стоянием грунтовых вод. Поэтому в пустынях норы тарантула служат индикаторами на воду, а количество расположенных рядом с водоемом нор тарантула служит показателем чистоты воды в водоеме.

Почвенные насекомые – наземные членистоногие, имеющих тело, расчлененное на голову, грудь и брюшко. Грудь несет 3 пары членистоногих конечностей – ног, число которых – характерный признак насекомых, что отражено в названии (Hexapoda – шестиногие). Почти 95% всех насекомых – во взрослом состоянии или в стадии личинок – живут в почвах. Многие насекомые используют почву для построения своих гнезд.

Насекомые оказывают разнообразное влияние на почву. Наибольшее значение имеют личинки и взрослые особи жесткокрылых и двукрылых: проволочники (личинки щелкунов), представители разных видов жуков, безногие личинки долгоносиков, длинноусых и мух. В почве живут также личинки некоторых бабочек и пилильщиков. Одни из них хищники, другие – сапробионты. Проволочники и личинки хрущей исключительно устойчивы к высоким концентрациям CO_2 , выделяемой корнями растений, которые они поражают.

Численность видов и количество насекомых на изучаемой площади естественно сильно варьирует от почвенно-климатических условий местообитания. Тем не менее, при равных условиях климата, почвы, различия в численности и видовом разнообразии почвенных животных, их жизненность указывают на присутствие ЗВ в почве. Данные о численности беспозвоночных почвенных животных приведены в таблице 4.8 и рисунке 4.9.

Таблица 4.8 - Внешние признаки групп биоиндикаторов качества почвы

Группы	Плотность популяции S, ед./ м ²	
	среднее (контрольная норма)	оптимальное
1 Моллюски	50	1000
2 Пауки	50	200
3 Мокрицы	50	200
4 Многоножки	100	2000
5 Жуки	100	600
6 Дождевые черви	80	800
Суммарное	430	3800

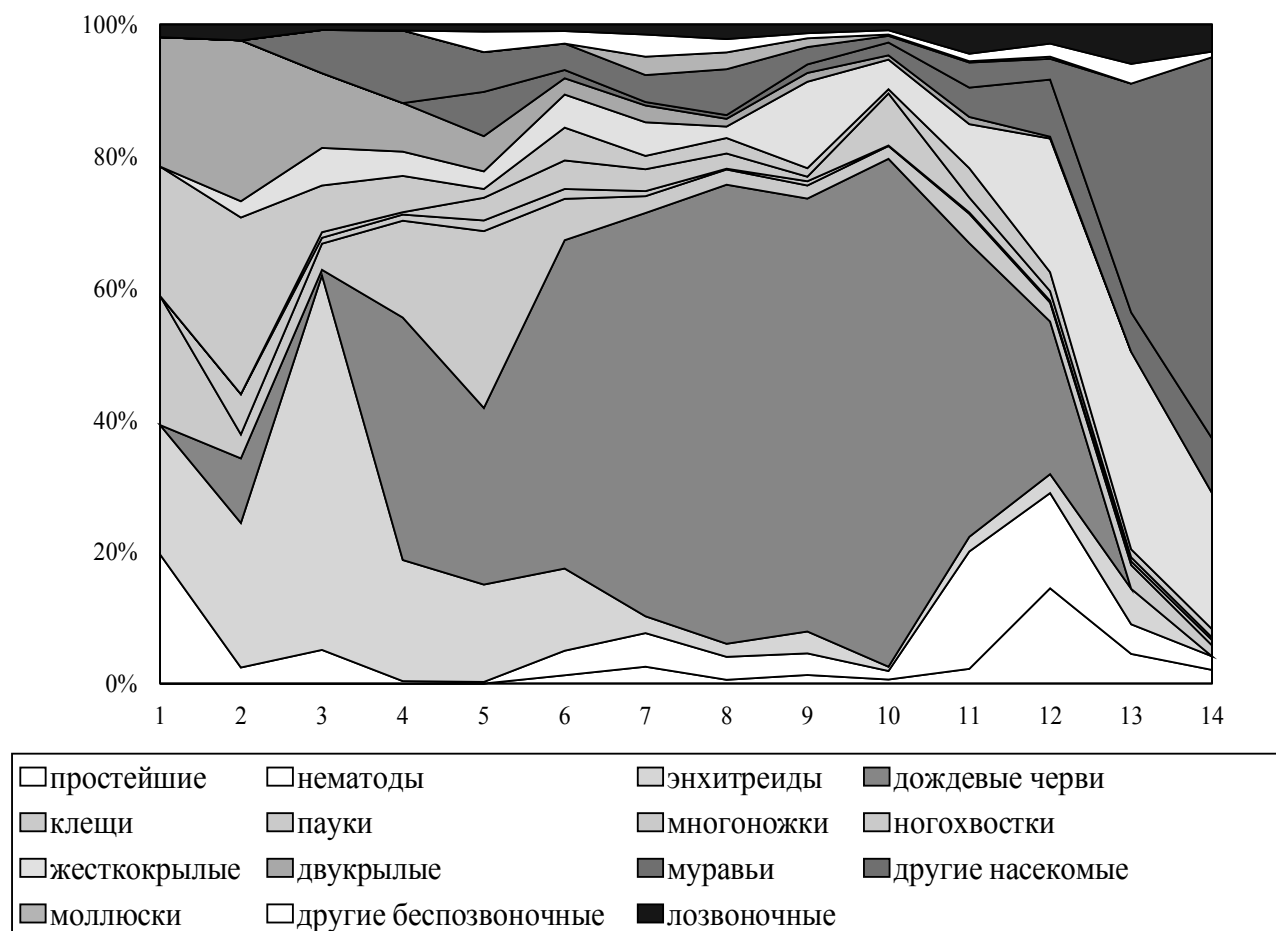


Рисунок 4.9 -Соотношение биомасс отдельных групп животных в наземных экосистемах (1 - полярные пустыни; 2 – арктические тундры; 3 – типичные тундры; 4 –лесотундры; 5 – хвойные леса; 6 – смешанные леса; 7 – лиственные леса; 8 – дубравы лесостепи; 9 – луга; 10 – луговые степи; 11 – типичные степи; 12 сухие степи; 13 – полупустыни; 14 – пустыни)

Атлас беспозвоночных почвенных животных – биоиндикаторов качества почвы приведены на рисунке 4.10.

Класс химического загрязнения почвы

Рисунок 4.10 – Атлас почвенных беспозвоночных животных и класс загрязнения почвы

4.4 Планшет военного эколога

Планшет военного эколога (ПВЭ) предназначен для проведения работ по биоиндикации качества ОС на военных объектах, в местах дислокации и действий войск (сил). В состав ПВЭ входят принадлежности для проведения биоиндикации качества ОС: палетка; сачок; малая саперная лопатка, измерительная рулетка; увеличительное стекло; компас; микрокалькулятор, лаборатор-

ный пинцет, набор полимерных пленок и пакетов, канцелярские принадлежности, а также методика биоиндикации ОС и атлас биоиндикаторов.

Принадлежности укладываются в полевую сумку (планшет), макет которого показан на рисунке 4.11.

Палетка-1 предназначена для измерения плотности популяции лишайников. Она представляет собой металлическую квадратной формы рамку с рукояткой. Внутренние размеры рамки 10 x 10 см². Рамка обтянута полимерной сеткой с толщиной нити 1 мм. Ячейки сетки имеют размеры 1 x 1 см². Общее число ячеек 100.

Рис.4.11 – Вариант комплекта принадлежностей для проведения визуальной биоиндикации окружающей природной среды

Сачок – 2 предназначен для сбора с прибрежного дна водоема пресноводных моллюсков. Он изготовлен из стальной проволоки, диаметром 6 мм, в форме квадрата с внутренним размером 10 x 10 см. Сетка сачка изготовлена из полимерного материала с размером ячеек 5x5 мм. Длина мешка сачка 20 см. Рукоятка сачка сборно-разборной конструкции, изготовлена из алюминиевой трубки диаметром 20 мм и длиной 110 см.

Измерительная рулетка - 3 предназначена для измерения размеров площадки биоиндикации. Лента рулетки имеет длину 150 см. Цена деления ленты 1 см.

Увеличительное стекло -4 (лупа) с 2 –х кратным увеличением предназначена для идентификации видов лишайников и пресноводных моллюсков. Оно имеет оправу, совмещенную с рукояткой – футляром.

Компас - 5 предназначен для ориентирования на местности при проведении экологической разведки местности методами биоиндикации.

Методика биоиндикации окружающей природной среды-6 включает описание приемов визуального определения состояния биоиндикаторов, вычисления показателей их жизненности и оценки экологической обстановки территории.

Атлас биоиндикаторов -7 предназначен для идентификации биоиндикаторов в ходе визуальной экологической разведки местности. Он содержит цветные изображения и краткое описание лишайников, пресноводных моллюсков, трав и беспозвоночных животных.

Микрокалькулятор и канцелярские принадлежности – 8 предназначены для первичной обработки экспериментальных данных.

Планшет -9 предназначен для хранения и транспортирования комплекта принадлежностей для биоиндикации качества ОС.

Малая саперная лопатка предназначена для проведения прикопок почвы при биоиндикации качества почвы. Лопаткой и набором полимерных пленок, пакетов и анатомических печаток ПВЭ укомплектовывается по месту его использования.

4.5 Подготовка к биодиагностике качества окружающей среды

Прежде чем приступить к биоиндикации и биотестированию качества ОС необходимо выполнить подготовительную работу. Во-первых, тщательно готовится задание на проведение биодиагностики ОС, в котором формулируются цели и задачи предстоящей экологической разведки территории. Во-вторых, исходя из специфики поставленных задач, проводится работа на картах (топографических, гидрогеологических и др.) с целью ознакомления с местами нахождения экологически опасных объектов и других источников загрязнения ОС, особенностями рельефа и ландшафта территории для выбора рациональной сети площадок биоиндикации. В - третьих, на основании анализа полученной информации разрабатывается программа и план график проведения биоиндикации ОС, назначаются исполнители работ. В – четвертых, цель, задачи и план график проведения работ доводится до каждого исполнителя и проводится их инструктаж.

В соответствии с разработанными документами в установленные сроки проводится рекогносцировка местности для прогноза ЗЭА и определения шага между площадками биоиндикации. Затем приступают к биоиндикация качества ОС. Исходя их поставленных задач и требований задания, биоиндикация проводится путем экологического профилирования местности или растровой экологической съемки.

Экологическим профилированием называется биоиндикация качества ОС вдоль определенного маршрута (профиля). Экологическое профилирование позволяет определить «срез» экологической обстановки по линейному маршруту. Исследования, проведенные по ряду параллельных профилей, дают представление об экологической обстановке на территории. Экологическое профилирование в первую очередь предназначено для выявления зон экологических аномалий (ЗЭА), под которыми понимают участки территории, где показатель жизненности биоиндикатора, по сравнению с контрольным участком, снижен более, чем на 50 %.

Экологической растровой съемкой называется биоиндикация ОС территорий предварительно разбитой на квадраты (растры). Обычно размеры раstra принимаются 1×1 км. Оценка экологической обстановки проводится отдельно для каждого раstra и затем обобщается для всей территории объекта. Растровый способ биодиагностики используется для оценки экологической обстановки на больших территориях.

Выбор шага (интервала между площадками биоиндикации на местности) осуществляется, как правило, по карте в ходе рекогносцировки местности. Для этого изучается рельеф и ландшафт местности, определяются ориентировочные линейные размеры возможных вихревых зон, образуемых неровностями рельефа, объектами жилых и других зданий и т.п.

Разработка план–графика работ. После того, как задание на выполнение работ поставлено и определена сеть площадок биоиндикации, можно оценить объем, продолжительность работ и составить план-график их проведения.

При этом следует учитывать следующее:

- при планировании сроков предусматривать определенный резерв времени (до 10 % от общего времени) на непредвиденные обстоятельства;
- доступность намеченных площадок биоиндикации, если до некоторых добраться не составляет проблем, то до других может потребоваться специальные транспортные средства (вертолет, вездеход, катер и др.);
- до 20% от времени отвести на обработку полученных данных и подготовку доклада.

Инструктаж исполнителей. После того как задание на выполнение работ согласовано и утверждено, непосредственно перед выходом в поле ответственному исполнителю работ следует провести инструктаж исполнителей. В ходе инструктажа кратко изложить цели и задачи работ, объяснить каждому особенности тех участков местности, где они будут проводить биоиндикацию, и проверить лично правильность нанесения на карты всех площадок биоиндикации. Далее следует приступить к полевым работам.

Рекомендуется в конце каждого рабочего дня собрать коллектив исполнителей и подвести итоги. Такие короткие совещания необходимы для контроля работы и своевременного выявления проблем, возникающих в ходе выполнения задания.

Форма задания на выполнение биоиндикации территории приведена на рисунке 4.11.

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель предприятия
(подпись, дата)

СОГЛАСОВАНО
Руководитель организации - Заказчика
(подпись, дата)

Задание

на проведение биодиагностики качества ОС на территории.....

Цель проведения работы.....

Задачи.....

Координаты обследуемого участка.....

Шаг между площадками биоиндикации.....

План-график биодиагностики окружающей среды

№ п/п	Номер профиля и номер точки измерения	ФИО исполнителя	Сроки проведения (по дням)	Отметка о выполнении

Ответственный исполнитель работ.....
(Должность, ФИО, подпись, дата)

Рисунок 4.11 - Форма бланка-задания на проведение биодиагностики окружающей среды.

Построение сети площадок биодиагностики проводится по топографической карте района дислокации военного объекта. Рекомендуемые масштабы карт приведены в таблице 4.9.

Классификация участков обследуемой территории по хозяйственному использованию			
Категория	Размах обследования	Использование территории	Рекомендуемый масштаб карты
I	на уровне землепользования	Приусадебные хозяйства, огороды, овощеводческие хозяйства; детские и лечебные учреждения; водоохранные и прибрежные полосы по берегам рыбохозяйственных водных объектов	1:2000 - 1:10000
II	на районном уровне	Сельхозугодья, зоны рекреаций, леса	1:10000 – 1:100000
III	на областном уровне	Бросовые земли, крупные промышленные объекты, городские зоны промышленной застройки	1:100000 – 1:500000

В качестве картографической основы используются имеющиеся для данного региона топографические или тематические карты, в первую очередь, почвенные.

Масштаб фотоплана и топографической карты должен быть крупнее или равен заданному масштабу съемки, а масштаб контурного плана землепользования - равен масштабу съемки. Масштаб воздушных (космических) снимков может быть крупнее, равен или несколько мельче масштаба карты.

На выбранной карте (схеме, снимке) обозначают район обследования, разделяют района на однородные участки, наносят источники загрязнения ОС,

При экологическом профилировании местности намечается маршрут и интервал между площадками биодиагностики. Если источник загрязнения ОС точечный, то целесообразно площадки размещать по 4-8 маршрутам от источника, намечая их более часто вблизи источника и с большими интервалами на удалении от него. В целом рекомендуется размещать площадки по окружности через 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 км от источника загрязнения ОС.

Если источник загрязнения ОС линейный, то намечают маршруты вдоль источника по линиям, удаленным от источника на 0,1; 0,2; 0,5 км. При этом число площадок биодиагностики по мере удаления от источника уменьшается.

В случае, когда на обследуемой территории нет ярко выраженных точечных источников загрязнения (или имеется много источников, влияние которых перекрывается), а также при площадном источнике загрязнения (свалки, полигоны и т.п.), то биодиагностика качества ОС проводится по растровой проводится путем растровой съемки. В этом случае рекомендуется наносить на карту обследуемой территории сетку с размерами ячеек от 1х1 до 5х5 км.

Прогноз ЗЭА на местности проводится путем выявления в ходе рекогносцировки местности участков, где при господствующем направлении ветра могут возникать местные вихревые потоки, способствующие повышению концентрации ЗВ в воздухе и интенсивному их оседанию на грунт и местные предме-

ты. Величина шага d_m между площадками биоиндикации определяется по формуле:

$$d_m = \sum L_i / n, \quad (4.17)$$

где L_i – длина i -ой вихревой зоны, определенной по топографической карте исследуемой территории, км;

n – число вихревых зон, определенных по господствующему направлению ветра в регионе (не менее 5).

Обычно величина шаг d_m варьирует от 250 до 1000 м.

Линейный размер вихревой зоны по направлению господствующего ветра определяется по эмпирической формуле:

$$L_{вз} = K_h (\Delta H + h) \delta, \quad (4.18)$$

где K_h – коэффициент вихревой зоны ($6 \leq K_h \leq 8$);

ΔH – перепад высот рельефа местности, м;

$h = \frac{\sum F_i \times h_i}{F_\delta}$ – высота местного предмета, м (лес, здание, сооружение);

F_i – площадь здания (в плане) m^2 ;

h_i – высота здания, м;

$\delta = \frac{F_d}{F_r}$ – коэффициент плотности застройки квартала;

F_d – суммарная площадь (в плане), занятая зданиями;

F_r – площадь (в плане) всего городского квартала.

Построение профилей (маршрутов) на местности заключается в следующем. Предварительно, лица, проводящие биоиндикацию, определяют длину пары своих шагов. Для этого с помощью рулетки размечают на местности дистанцию 10 м. Затем каждый испытуемый проходит указанную дистанцию походным шагом не менее 5 раз, считая, сколько пар шагов укладывается в 10 м дистанции. Среднее арифметическое из 5 измерений принимается за длину пары шагов.

Схема образования вихревых зон на антропогенном ландшафте приведена на рисунке 4.12

Рисунок 4.12- Схема образования вихревой зоны на местности перед препятствием L_1 и за препятствием L_2 : $\Delta H_1, \Delta H_2$ – перепад высот рельефа

4.6 Биоиндикация (лихеноиндикация) качества атмосферного воздуха (вставить методику)

После определения шага d_m для проведения биоиндикации в соответствии с поставленной задачей, исследуемая территория разбивается на профили по карте или схеме. На местности, ориентируясь по компасу, прокладывается маршрут, размечаются площадки биоиндикации атмосферного воздуха размером 25×25 м. На каждой площадке [4.35] осматривают деревья (камни) скалы и др. местные предметы, на которых растут лишайники. Измеряют палеткой плотность популяции лишайников. При этом плотность популяции измеряют

наиболее чувствительной группы лишайников в том месте, где плотность их популяции максимальная, при этом измерения проводят на стволе дерева, на высоте 1,0 –1,5 м от уровня земли. Рамка палетки, разделена на 100 квадратов, размером 1×1 см, что автоматически позволяет выражать плотность популяции лишайников в процентах от площади палетки. Фрагмент биоиндикации качества атмосферного воздуха показан на рисунке 4.13.

Рисунок 4.13 – Фрагмент определения плотности популяции лишайников:
1 – рамка палетки, 2 – сетка палетки, 3 –ручка палетки

Приложив палетку к месту обитания лишайников (диаметр ствола дерева должен превышать размер рамки палетки не менее, чем в 1,5 раза), подсчитывают отдельно число клеток палетки, полностью (N) и частично (m) покрытых данной группой лишайников. Средняя плотность популяции группы лишайников на площадке биоиндикации определяют по формуле:

$$\overline{Si} = \sum (N_i + 0,5 m_i) / n , \quad (4.19)$$

где N_i – число целых клеток палетки, покрытых лишайником;

m_i – число клеток палетки, частично покрытых лишайником;

n – число деревьев (камней), покрытых данной группой лишайников.

Вычисляется среднее значение показателя жизненности \overline{G} лишайников на площадке лишеноиндикации:

$$\overline{G} = \sum W_i S_i / n , \quad (4.20)$$

где W_i – весовой коэффициент групп лишайников: кустистых $W_k=1$;
листоватых $W_l=0,6$; накипных $W_n=0,2$.

Полученные значение показателя жизненности \overline{G} лишайников сравниваются с критериями оценки экологического состояния атмосферного воздуха, и дается оценка экологического неблагополучия территории. В качестве критерия принято критическое значение показателя жизненности биоценоза[4.34], составляющее 50 % от его максимального значения. Снижение жизненности более чем на 50 % для биоценоза катастрофичны.

Критерии оценки экологического состояния территории по данным лишеноиндикации, приведенные в таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Критерии оценки экологического состояния территории по жизненности лишайников

Тип лишайника	Класс загрязнения воздуха	Жизненность \overline{G} %	Экологическое состояние территории
Кустистые	чистый воздух	более 50	отличное
Кустистые		менее 50	благоприятное
Листоватые	слабо загрязнен	более 50	хорошее
Листоватые		менее 50	удовлетворительное

Накипные	средне загрязнен	более 50	напряженное
Накипные		менее 50	критическое
(Мох)	сильно загрязнен		кризисное
(Мхов нет)	очень сильно загрязнен		катастрофическое

Методика лишеноиндикации качества атмосферного воздуха приведена в приложении 1. Она прошла апробацию в войсках, а также в ряде городов Российской Федерации по просьбе региональных природоохранных органов.

Получены положительные отзывы, в которых отмечается целесообразность использовать указанную методику не только в Вооруженных Силах российской Федерации, но также и в природоохранных органах России.

Например, авторы из города Перми [4.36] отмечают, что Методики биоиндикации окружающей среды, разработанные Экологическим центром Министерства обороны Российской Федерации, позволяет решить задачу оценки экологической обстановки без привлечения специализированных лабораторий и существенных финансовых средств.

4.7 Биоиндикация качества поверхностных вод

(вставить методику)

Предварительно по карте (схеме) отмечаются места источников загрязнения водоема (сброса сточных вод, ливневой канализации др. источников техногенного загрязнения). Намечаются участки водоема, которые подлежат исследованию, а также контрольный участок. Последний должен находиться вне зоны сброса сточных вод и техногенных загрязнений. В прибрежной зоне исследуемого участка водоема разбиваются площадки биоиндикации размером 1 × 1 м. На реках площадки биоиндикации выбираются на противоположных прибрежных участках, что необходимо для более достоверного учета загрязнения реки по всему руслу данного участка. Интервал между площадками биоиндикации на водоеме d_b рассчитываются по формуле

$$D_b = L_y / (m-1), \quad (4.21)$$

где L_y – длина исследуемого участка водоема, м;
 m - число площадок биоиндикации.

Показатель жизненности пресноводных моллюсков G_m определяется по формуле (4.20). При этом значения весовых коэффициентов пресноводных моллюсков составляют: α -мезосапробных, $W = 0,4$; β -мезосапробных, $W = 0,6$; олигосапробных, $W = 1$.

Для биоиндикации качества поверхностных вод используется сачок, состоящий из корпуса, рукоятки и сетки-мешка. Корпус представляет собой рамку размером 150×50мм, изготовленную из металлической проволоки диаметром 6 мм. Рукоятка из дюралюминиевой трубки длиной 1000 мм и диаметром 18 мм. Сетка-мешок изготовлен из полимерной сетки с размерами ячеек 5×5 мм,

дина сетки-мешка 300 мм. Сетка – мешок крепится к корпусу. Сачок предназначен для сбора прибрежного ила водоема с глубины не более 700 мм.

Подстилка размером 500×500 мм, изготовлена из полимерной пленки, которая предназначена для размещения собранного ила и разбора пресноводных моллюсков. Для получения статистически достоверных данных число площадок для каждого исследуемого участка водоема должно быть не менее 10.

Методика биоиндикации качества поверхностных вод приведена в приложении 2. Процедура биоиндикации заключается в следующем. На площадке биоиндикации, обозначенной по углам вешками и подручных средств, плавными движениями вычерпывают сачком слой прибрежного ила на глубину 1,5-2 см. Каждый раз содержимое сачка высыпают на полимерную пленку, идентифицируют выловленных моллюсков, пользуясь атласом пресноводных моллюсков. Определяют группу сапробности моллюсков, подсчитывают количество моллюсков в каждой группе и вычисляют плотность популяции моллюсков относительно их общего количества. Вычисляют показатель жизненности G пресноводных моллюсков его с аналогичным показателем, полученным на контрольном участке водоема. Снижение показателя ΔG , % относительно нормы сравнивают с параметрами критериев оценки экологического состояния поверхностных вод, которые приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Критерии оценки экологического состояния поверхностных вод по показателю жизненности пресноводных моллюсков

Показатель	Параметры экологического состояния поверхностных вод				
	удовлетворительное	напряженное	критическое	кризисное	катастрофическое
ΔG , %	менее 20	21-30	31-40	41 -50	более 50

4.8 Биоиндикация качества почвы

(вставить методику)

Первым этапом биоиндикации почвы по состоянию трав и беспозвоночных животных является выбор густоты сети наблюдения. На основании опыта многолетних эколого-геохимических исследований рекомендуется густота сети наблюдения, приведенная в таблице 4.11[4.33].

Таблица 4.11 - Густота сети наблюдения при биоиндикации качества почвы

Масштаб работ	Расстояние в метрах между	
	профилями	точками измерения
1:25000	250-500	250-50
1:10000	100-200	100-20
1:5000	50-100	50-10
1:1500	20-50	25-5

Предварительно разбив на карте исследуемую местность на профили, ориентируясь по компасу, прокладывается маршрут, размечаются площадки, на которых проводится биоиндикация загрязнения почвенного покрова.

Фитоиндикация качества почвы по состоянию трав проводится в летний сезон. Предварительно для уточнения мест загрязнения почвы проводится рекогносцировочное обследование территории. В ходе неё выявляются участки местности (природной и селитебной территории), которые имеют внешние признаки загрязнения химическими веществами (нефтепродуктами, компонентами ракетных топлив, пестицидами, тяжелыми металлами и др.).

Выбирается также контрольный участок почвы. Он должен находиться на значительном удалении от источников загрязнения, желательно на водораздельных участках, в верхних частях склонов. По результатам рекогносцировки определяются границы участков возможного загрязнения, которые наносятся на карту вместе с контрольным участком и источником загрязнения (склады горюче-смазочных материалов, станции мойки и технического обслуживания транспортных средств, стрелковые и артиллерийские стрельбища, ливневые канализации, очистные сооружения жилых городков и др.).

На участках возможного загрязнения намечают площадки биоиндикации почвы. Многолетней практикой биоиндикации почвы установлено, что для получения достоверных данных на участке необходимо разбить площадки биоиндикации (биотестирования) размером 1×1 м, исходя из нормы:

- в лесистой местности в городе 1 площадк на 100 м^2 ;
- на лугах (степях) не менее 5 площадок на 1 га (10000 м^2);

Методика фитоиндикации почвы изложена в приложении 3. Процедура фитоиндикации заключается в описании видов трав, произрастающих на исследуемых и контрольных площадках биоиндикации. Для этого площадку обозначают вешками из подручных средств и, начиная с какого-нибудь угла площадки, не сходя с места:

- переписать все виды растений, находящиеся на площадке;
- опустившись на колени, дополнить список теми видами растений, которые становятся заметными лишь при более внимательном анализе травостоя;
- медленно перемещаясь вдоль одной стороны площадки, останавливаясь, время от времени и отмечая вновь показавшиеся виды растений;
- дойдя до второго угла, задержаться, а затем продолжить обследование по остальным сторонам площадки до начального пункта;
- обследовать площадку еще раз по диагонали и записать встречающиеся виды растений.

В ходе процедуры фитоиндикации необходимо записать все виды растений, встречающиеся на площадках. Неизвестные виды растений записываются условными значками или названиями, которые после дешифрируются по атласу трав - биоиндикаторов.

Полученное среднее значение жизненности трав на исследуемой территории $G_{\text{и}}$ сравниваются с данными, полученными на контрольном участке $G_{\text{к}}$.

Экологическое состояние оценивается по критериям, приведенным в таблице 4.12.

Таблица 4.12 -Критерии оценки экологического состояния почвенного покрова

Показатель	Параметры экологического состояния поверхностных вод				
	удовлетворительное	напряженное	критическое	кризисное	катастрофическое
$\Delta G, \%$	менее 20	21-30	31-40	41 -50	более 50

Биоиндикация качества почвы проводится по состоянию беспозвоночных почвенных животных методом «почвенных прикопок». Для этого на обследуемой территории намечают площадки биоиндикации размером 1×1м. по норме такой же, как для фитоиндикации. На площадке проводят 5 прикопок почвы на глубину обитания почвенных организмов 25-30 см. Прикопы размером 25×25×25см, располагают на площадке «конвертом» (четыре – по углам, один – в центре). Аналогичным образом поступают и на контрольном участке территории. В ходе биоиндикации делается описание почвы прикопов с целью визуального контроля изменения физико-механических свойств почвы (плотность, структура, наличие(отсутствие) гумусового (темного верхнего горизонта, наличие инородных включений, пятна нефтепродуктов и т.п.). Результаты наблюдения записываются в форме таблицы, приведенной в таблице 4.13:

Таблица 4.13 - Пример описания почвы прикопки

№ прикопа	Физико-механические свойства почвы
1	слабосуглинистая; слабогумусированная; гумусовый горизонт не выделяется; сильно засорена камнями (кирпич, гравий, куски цемента и проч.); отдельные включения песка и глины
2	тяжелосуглинистая с включением песка и глины; сильно засорена гравием, щебнем и битым кирпичом; слабогумусированная; гумусовый горизонт не обозначен, а распределен по профилю; дернина также не обозначена

Методика биоиндикации качества почвы приведена в приложении 3. Процедура биоиндикации вкратце заключается в следующем. Выкопав прикопку, осторожно, пользуясь анатомическим перчатками, разобрать пласт почвы руками, отобрать найденных беспозвоночных животных и разложить их на пленку. Сравнивая внешние признаки животных с рисунками в атласе идентифицировать их. Для сбора червей удобнее пользоваться пинцетом, собирая их в пакеты, затем разобрать их по видовой принадлежности, подсчитать их и занести в журнал. Форма записи приведена в таблице 4.14.

Таблица 4.14- Форма записи данных биоиндикации качества почвы

Номер прикопки	Видовой состав и количество беспозвоночных животных					
	Дождевые черви	Моллюски (слизни, улитки)	Многоножки (геофилы)	Паукообразные	Равноногие (мокрицы)	Насекомые
№1	34	3	2	1	5	4
№2	8	2	2	1	3	1
№3	3	3	0	0	1	2
№4	3	1	0	7	1	3
№5	4	0	0	2	1	2

Показатель жизненности беспозвоночных почвенных животных определяется по формуле:

$$G = S \cdot n_i / n_{\max}, \quad \%, \quad (4.22)$$

где G - жизненность почвенных беспозвоночных животных, %;

S – плотность популяции биоиндикатора, ед/прикоп.

n_i – количество беспозвоночных i -го вида в прикопе;

n_{\max} – общее количество беспозвоночных в прикопе;

Полученное среднее значение жизненности беспозвоночных животных на исследуемой территории $G_{\text{и}}$ сравниваются с данными, полученными на контрольном участке $G_{\text{к}}$. По величине снижения показателя жизненности ΔG относительно нормы, полученной на контрольном участке, оценивается экологическое состояние почвы по критериям таблицы 4.12.