

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Тверской государственный университет»

В.Д. ТУРОВЦЕВ, В.С. КРАСНОВ

# **БИОИНДИКАЦИЯ**

*Учебное пособие*

ТВЕРЬ 2005

УДК 574.21 (075.8)  
ББК Е081я73-1  
Т 88

**Рецензенты:**

**В.Д. Туровцев, В.С. Краснов**

**Т 88** Биоиндикация: Учеб. Пособие. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2004. – 260 с.

УСБВ 5-7609-0289-Х

Биоиндикация – часть прикладного раздела геоэкологии. Он включает различные области применения геоэкологической концепции, и в первую очередь биоиндикацию и биомониторинг. Представлены основные методы изучения и особенности индикации экосистем. Рассмотрены как ненарушенные (естественные) экосистемы, так и нарушенные (изменённые под воздействием различных антропогенных и природных факторов).

За основу при изложении и представлении материалов взято пособие В.Г. Каплина «Биоиндикация состояния экосистем», (Самара, 2001) с внесением в него некоторых пояснений, русскоязычных значений латинских терминов, региональных материалов, изменений и дополнений.

Предназначается для студентов факультета географии и геоэкологии и специалистов санитарно-гигиенической и противоэпидемиологической службы, участвующих в проведении работ по геоэкологическому мониторингу и оценке экологического состояния территорий.

Печатается по решению Научно-методического Совета Тверского государственного университета.

УДК 574.21 (075.8)  
ББК Е081я73-1

УСБВ 5-7609-0289-Х

© Тверской государственный  
университет, 2005

© Туровцев В.Д., Краснов В.С., 2004

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 7  |
| Часть I. Биоиндикация ненарушенных (естественных) экосистем.....  | 18 |
| Глава 1. Высшие растения и их сообщества как индикаторы экологически-секих условий.....                 | 18 |
| 1.1. Зональные особенности индикационных свойств.....   | 23 |
| 1.2. Методы выявления индикаторов.....  | 24 |
| 1.3. Индикаторы геологических условий.....  | 28 |
| 1.3.1. Индикаторы горных пород, поверхностных отложений и полезных ископаемых.....                      | 28 |
| 1.3.2. Индикаторы дизъюнктивных структур и тектонических движений.....                                  | 31 |
| 1.3.3. Индикаторы форм рельефа, геоморфологических процессов и четвертичных отложений.....              | 32 |
| 1.4. Индикаторы глубины залегания и минерализации грунтовых вод, снежного покрова, вечной мерзлоты..... | 39 |
| 1.5. Индикаторы типов почв.....   | 42 |
| 1.6. Индикаторы механического состава почв.....   | 43 |
| 1.7. Индикаторы богатства, увлажнения, кислотности и засоления почв.....                                | 44 |
| 1.8. Особенности индикации комплекса эдафических факторов.....  | 51 |
| 1.9. Индикаторы пастбищной дигрессии растительного покрова.....   | 55 |
| 1.10. Индикаторы залежей.....   | 59 |
| 1.11. Индикация почвенных разностей и экологических условий в агроценозах.....                          | 60 |
| 1.12. Биоиндикация рекреационной нагрузки.....  | 61 |
| 1.13. Индикация природных процессов.....  | 63 |

|  |     |
|--|-----|
| 1.14. Лесные сообщества как индикаторы.....  | 69  |
| 1.15. Растения – ориентиры.....  | 70  |
| Глава 2. Ландшафтная индикация экологических условий.....  | 73  |
| 2.1. Виды дистанционных фотосъёмки и их назначение.....  | 75  |
| 2.2. Дешифрирование аэрокосмических снимков.....   | 77  |
| 2.3. Ландшафтно-индикационное дешифрирование.....  | 79  |
| 2.4. Принципы составления ландшафтно-индикационных карт....  | 82  |
| 2.5. Ландшафтная индикация динамики природной среды и антропогенных изменений экологических условий..... | 82  |
| 2.6. Ландшафтно-индикационный подход к прогнозированию динамики экологических условий.....               | 88  |
| 2.7. Использование ландшафтной индикации при изучении сельскохозяйственных земель.....                   | 91  |
| 2.7.1. Особенности дешифрирования сельскохозяйственных объектов на аэро- и космических снимках.....      | 91  |
| Глава 3. Особенности превращений органического вещества в почве и их биоиндикация.....                   | 92  |
| 3.1. Влияние на почвенную фауну органических и минеральных удобрений.....                                | 99  |
| 3.2. Особенности комплексов беспозвоночных пахотных почв.....  | 105 |
| 3.3. Влияние на почвенную фауну орошения.....  | 106 |
| Глава 4. Беспозвоночные животные как индикаторы основных свойств почв.....                               | 107 |
| 4.1. Порозность, плотность и механический состав почв.....   | 109 |
| 4.2. Реакция и солевой режим почв.....   | 112 |
| 4.3. Богатство почв кальцием.....  | 113 |
| 4.4. Гидротермический режим почв.....  | 114 |

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 4.5.  | Мощность почвенного профиля и особенности горизонтальной структуры почвенного покрова..... | 115 |
| 4.6.  | Основные типы почв.....  | 116 |
| 4.7.  | Элементарные почвенные процессы.....   | 124 |
| 4.8.  | Условия под лесопосадками.....   | 131 |
| Часть II. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем (нарушенных, неестественных экосистем).....       |  | 132 |
| Глава 5. Основные вещества, загрязняющие окружающую среду, их источники и особенности биоиндикации..... |  | 144 |
| 5.1.  | Источники загрязняющих веществ, их состав и пути распространения.....                      | 144 |
| 5.2.  | Газообразные неорганические соединения и кислоты.....                                      | 148 |
| 5.3.  | Тяжёлые металлы.....   | 151 |
| 5.4.  | Радионуклиды.....  | 158 |
| 5.5.  | Полиароматические углеводороды и диоксины.....   | 163 |
| 5.6.  | Нефть и нефтепродукты.....   | 165 |
| 5.7.  | Химические средства защиты растений.....   | 169 |
| Глава 6. Лишайники и высшие растения как индикаторы загрязнений...                                      |  | 178 |
| 6.1   | Лишайники.....   | 179 |
| 6.2.  | Семенные растения.....   | 182 |
| 6.2.1.  | Микроскопические изменения.....  | 182 |
| 6.2.2.  | Макроскопические изменения.....  | 186 |
| Глава 7. Грибы и водоросли как индикаторы загрязнений.....  |  | 196 |
| 7.1.  | Состав, биологические особенности и биоиндикационное значение грибов.....                  | 196 |
| 7.1.1.  | Загрязнения почв тяжёлыми металлами.....   | 202 |
| 7.1.2.  | Водные грибы в целях биоиндикации.....   | 204 |
| 7.1.3.  | Использование грибов для биологической очистки почв и сточных вод.....                     | 205 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| 7.1.4.    | Массового появления грибных болезней растений...                                 | 206 |
| 7.2.      | Состав, биологические особенности и биоиндикационное значение водорослей.....    | 209 |
| Глава 8.  | Биоиндикация качества воды и степени загрязнения водоёмов.....                   | 217 |
| 8.1.      | Население пресных водоёмов.....  | 217 |
| 8.2.      | Экологическая оценка степени загрязнённости водоёмов...                          | 221 |
| 8.3.      | Инфузории как индикаторы сапробного состояния воды.....                          | 226 |
| 8.4.      | Оценка степени загрязнённости вод по показателям макрозообентоса.....            | 226 |
| Глава 9.  | Индикация загрязнений окружающей среды методами биологического тестирования..... | 230 |
| 9.1.      | Биотестирование загрязнений воздуха.....   | 232 |
| 9.2.      | Биотестирование загрязнений почв.....  | 239 |
| 9.3.      | Биотестирование загрязнений пресных водоёмов и сточных вод.....                  | 241 |
| Глава 10. | Биоиндикация степени нарушения экосистем.....                                    | 242 |
| 10.1.     | Особенности биоиндикации устойчивости агроценозов.....                           | 266 |
| Глава 11. | Биопатогенные полосы и биопатогенные зоны.....                                   | 270 |
|           | Библиографический список.....  | 284 |

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время биологическая индикация (биоиндикация) существует в рамках научной дисциплины геоэкология (Б.В. Виноградов, 1993). Геоэкология (контроль Земли или всех сред обитания живого: почвы, воды, воздуха), или ландшафтная экология, возникла в недрах географических и биологических дисциплин как результат неудовлетворённости их ограниченностью, а также требованием времени. В отличие от ландшафтоведения, где объектами исследования являются природные территориальные комплексы разного рода, геоэкология рассматривает геотипы биоцентрически, т. е. как экотипы, где значение имеют лишь те факторы внешней среды, которые определяют условия местообитания растений и животных. Примером элементарной единицы геоэкологии служит биогеоценоз (по определению В.Н.Сукачёва). В отличие от ауто- и тем более от синэкологии, объектом исследований геоэкологии служат локальные, зональные и глобальные экосистемы, аранжированные по структуре, рисунку, функции и динамике, т.е. единицы более крупных, надбиогеоценологических порядков. Создателем термина геоэкология был крупный немецкий учёный и одновременно основатель направления геоэкологического дешифрирования аэрофотоснимков К.Троль (1939), а затем концепцию геоэкологии развивали в Германии Й.Шмитхюзен, Э.Неф, Г.Хаазе, в США – К.Зауер, Дж.Джексон, в Канаде – Дж.Хиллс, в Швейцарии – Х.Кароль, в СССР – Б.В.Виноградов, В.Б.Сочаев, в Нидерландах – И.Зоневельд, в Чехословакии – М.Ружичка.

Выделяют три раздела геоэкологии:

- 1) функциональный – описывает взаимосвязи между различными характеристиками экосистем и завершается составлением балансовых моделей экосистем;
- 2) хорологический - описывает пространственные структуры экосистем разных морфологических классов и завершается составлением

морфологических моделей всей пирамиды экосистем разного иерархического уровня;

- 3) прикладной – включает различные области применения геоэкологической концепции, и в первую очередь биоиндикацию и биомониторинг.

*Биоиндикация* - это использование хорошо заметных и доступных для наблюдения биологических объектов с целью определения компонентов менее легко наблюдаемых (например, различных воздействий или загрязнителей). Первые (биологические объекты животного или растительного происхождения) называются *индикаторами*, вторые (факторы воздействия или различные загрязнители) – *индикатами*. Слово биоиндикация образовано от греческого *bios* – жизнь и латинского *indicare* – указывать. Под биологическими объектами понимаются любые биологические системы на различных уровнях организации живой материи (молекулы органических веществ, клетки, ткани, органы, организмы, популяции, виды, группировки, сообщества организмов), с включением при необходимости неживых компонентов (биогеоценозы, почвы, ландшафты). При этом в целях биоиндикации используются генетические, биохимические и физиологические нарушения хромосом, биомембран, органелл, обмена веществ (белков и аминокислот, углеводов, включая фотосинтез; липидов, минерального и энергетического обменов); активности ферментов и гормонов; морфологические, анатомические, биоритмические и поведенческие отклонения; флористические, фаунистические, популяционно-динамические, биогеоценотические и, наконец, ландшафтные изменения.

Для выяснения тесноты связи биоиндикаторов с отдельными объектами индикации (индикатами) используют такие показатели, как достоверность, распространённость и значимость индикатора. *Достоверность* (Д) и *распространённость* (Р) индикатора представляет собой выраженные в долях от единицы или в процентах отношения числа случаев нахождения



индикатора на объекте индикации (Т) к общему числу встреч индикатора (R) и индиката (S):  $D = T / R$  ;  $P = T / S$ .

*Значимость* индикатора (Z) устанавливают путём сопоставления показателей его достоверности и распространённости. Количественно она может быть оценена в долях от единицы путём произведения достоверности на распространённость в том же измерении и при необходимости выражена в процентах:  $Z = D \cdot P$ , или  $Z = T^2 / (R \cdot S)$ . *Абсолютные* индикаторы встречаются почти исключительно совместно с объектом индикации, их достоверность и распространённость превышают 90-95%, а значимость – 0,8. У *хороших* индикаторов эти показатели составляют соответственно 80-95%, 75-90% и 0,6-0,8; у *удовлетворительных* - 60-80%, 50-75% и 0,3-0,6%; у *сомнительных* - 50-60%, 20-50% и 0,1-0,3. В ряде случаев целесообразно обращать внимание и на *отрицательные* индикаторы, распространённые на объектах фона и не встречающиеся или очень редко встречающиеся на объектах индикации.

Понятие индикации в большинстве случаев относительное. Так, ботанические индикаторы, как правило, проявляют свои свойства в пределах определённых природно-территориальных комплексов. По степени устойчивости связи с индикатором они делятся на *панареальные* (сохраняют связь с индикатором на всей территории ареала), *зональные* (имеют индикационное значение в пределах географических зон и подзон), *региональные* (сохраняют своё значение в пределах одной или нескольких областей со сходными физико-географическими условиями), *локальные* (обнаруживают связь с индикатором в одном физико-географическом районе).

По характеру связи с индикатором индикаторы делятся на *прямые* - имеющие непосредственную связь с индикаторами, и *косвенные* - связанные с индикатором через промежуточное звено. Например, косвенными индикаторами дизъюнктивных тектонических нарушений земной коры являются приуроченные к ним полосы влаголюбивой мезо- и гидрофитной расти-

тельности, связанные с восходящим движением грунтовых вод по разрывам. Хорошо и непосредственно видимые индикаторы получили название *экзоиндикаторов*, а замаскированные и скрытые – *эндоиндикаторов*.

Индикационные признаки индикаторов выявляют методами *пассивного* и *активного* мониторинга. При пассивном мониторинге в популяциях, группировках, сообществах свободно живущих организмов (вирусов, бактерий, грибов, лишайников, растений, животных) исследуют их состав, количественные показатели, структуру, видимые или незаметные отклонения от нормы, повреждения, обнаруживающие положительные корреляционные связи с вполне определёнными индикаторами и являющиеся следствием их прямого или косвенного влияния. Широкое распространение получили картографический и дистанционный методы с использованием аэрофото- и космических снимков, перспективны биохимические и генетические методы биоиндикационных исследований. К пассивному мониторингу относятся также и экспериментальные вегетационные опыты, где оценивают ответные реакции культивируемых организмов на действие различных по интенсивности природных и антропогенных факторов. При активном мониторинге пытаются обнаружить антропогенные стрессовые воздействия на *тест-организмы* или *тест-объекты*, находящиеся в стандартизированных условиях. При этом рекомендуется подвергать действию изучаемых факторов одновременно несколько видов растений или других организмов (видовой подход), различающихся по устойчивости к стрессорам, устанавливать особенности воздействия стрессоров в зависимости от их дозы. В качестве биотестов используются бактерии (особенно кишечная палочка), водоросли (в частности, хлорелла), низшие грибы, инфузории, низшие ракообразные, беззубки, личинки хирономид, рыб, земноводных, семена редиса, табака.

Круг объектов индикации в последние годы расширяется. К ним относится индикация климата, геологического строения, горных пород, тек-

тонических движений, форм рельефа, геоморфологических процессов, четвертичных отложений, полезных ископаемых, грунтовых вод, типа, богатства, кислотности, засоления, увлажнения, механического состава, динамики почв, состояния и динамики растительности, пастбищной дигрессии, местообитаний животных, загрязнения воды, воздуха, почвы газообразными неорганическими соединениями, тяжёлыми металлами, радионуклидами, пестицидами, нефтепродуктами, мутагенных факторов, эрозийных процессов, состояния экосистем, ландшафтов, сельскохозяйственных земель, появления вредителей, болезней, ибопатогенных полос и зон и т.д.

Наибольшую ценность представляют биоиндикаторы, присутствующие на объекте индикации в большом количестве и с высокой достоверностью, отличающиеся однородными свойствами, не требующие больших затрат для их выявления и получения достаточно точных и воспроизводимых результатов, имеющие диапазоны погрешности по сравнению с другими методами не более 20%.

Биоиндикация прошла немалый путь развития. Первые наблюдения в этой области сделали ещё античные учёные: именно они обратили внимание на связь облика растений с условиями их произрастания. Живший в 327-287 гг. до н.э. Теофраст написал известную работу "Природа растений" в которой содержится немало советов о том, как по характеру растительности судить о свойствах земель. Аналогичные сведения можно встретить в трудах римлян Катона и Плиния Старшего.

Идею биоиндикации по растениям сформулировал ещё в первом веке до н. э. Колумелла: "Рачительному хозяину подобает по листве деревьев, по травам или уже поспевшим плодам иметь возможность здраво судить о свойствах почвы и знать, что может хорошо на ней расти". Это направление, получившее название ландшафтной биоиндикации, успешно используется в практических целях. В нашей стране основоположником биоин-

дикационного использования растений, оценки свойств почв и подстилающих горных пород по особенностям развития растений и составу растительного покрова бесспорно считают А.П.Карпинского. Его работу, посвящённую приуроченности растений к различным горным породам и опубликованную в 1841 г., до сих пор нередко используют.

Основой биоиндикации является теснейшая взаимосвязь и взаимообусловленность всех явлений природы. Она представляет собой частный случай приложения идей В.В.Докучаева о связи всех элементов условий среды с решением практических задач. В.В.Докучаевым (1883, 1893 г.) было развито представление о почве как об особом естественно-историческом образовании. По его определению, "почвой следует называть дневные или наружные горизонты горных пород, естественно изменённые совместным влиянием воды, воздуха и различного рода организмов". Особенно чётко проявляются взаимообусловленные связи почвенного и растительного покрова. В.В.Докучаевым (1898) был сформулирован "закон постоянства взаимоотношений между почвой и обитающими на ней растительными организмами как во времени, так и в пространстве". Глубокие связи между почвой, породой и растительностью изложены в трудах П.А.Костычева (1890). Отсюда и возникла возможность устанавливать по растительности компоненты, особенности почвы и ландшафта в целом. Примеры практического использования индикаторов почв приведены Ф.И.Рупрехтом (1866). В связи с этим одним из первых направлений в биоиндикации была *индикационная геоботаника*. Из теоретических, обобщающих работ по биоиндикации первой наиболее фундаментальной и выдающейся была сводка Ф.Клементса (Clement, 1920). Эта работа положена в основу учения о растительных индикаторах.

Значительный интерес представляют работы по использованию растительности как показателя климата (Коррен, 1901; Берг, 1939; Ильинский, 1939); типов леса (Погребняк, 1929, 1955; Сукачёв 1930; Каяндер, 1933;

Воробьёв, 1953; Сибирякова, Вернандер, 1957); уровня залегания грунтовых вод (Отоцкий, 1899; Meinzer, 1927; Востокова, 1953; Викторов, 1955, 1959; S`ukora, 1959). Идеи В.И.Вернадского (1926,1934), Б.Б.Полынова (1952), А.П.Виноградова (1952, 1954) дали обоснование возможности использования растений и растительных сообществ в целях индикации полезных ископаемых, направленности геохимических процессов.

Широко используются растительные индикаторы при изучении сельскохозяйственных угодий, оценке богатства, засоления, увлажнения, механического состава почв, стадий пастбищной дигрессии (Чаянов, 1909; Shantz, 1911, 1924; Келлер, 1927; Ларин, 1926, 1953; Фёдоров, 1930; Раменский 1938, 1950, 1956). Последовательный анализ экологических условий земель и их оценка по растительному покрову содержатся в трудах Л.Г.Раменского (1938, 1941), В.И. Ларина (1953).

Современные сведения о растительных индикаторах обобщены в обзорной статье А.Сэмпсона (Sampson, 1939) "Растительные индикаторы"; сводках С.В.Викторова, Е.А.Востоковой, Д.В.Вышивкина (1962) "Введение в индикационную геоботанику"; Б.В.Виноградова (1964) "Растительные индикаторы..."; С.В.Викторова, Г.Л.Ремезовой (1988) "Индикационная геоботаника". В последней работе особое внимание уделяется применению в биоиндикации дистанционных методов с использованием аэрофото- и космических снимков, послуживших основой для интенсивного развития нового направления – *ландшафтной индикации* (Викторов, Чикишев, 1990).

Почти одновременно с геоботаникой индикационное направление появилось и в гидробиологии (*гидробиологическая индикация*), где в качестве индикатора состояния и происхождения вод Атлантики использовался планктон (Cleve, 1900; Grane, 1902; Вислоух, 1915, Абрамова, 1956).

Практическим направлением в оформившейся с середины XX в. науки – почвенной зоологии стал зоологический метод диагностики почв

(*почвенная индикация*). Он основан на взаимосвязи и взаимообусловленности организмов и среды их обитания, особенно чётко проявляющихся в почве, представляющей не только среду обитания организмов, но и результат их совокупной деятельности. Основоположником этого направления в России является академик М.С.Гиляров. Принципы зоологического метода диагностики почв были им представлены VI Международному конгрессу по почвоведению в Париже в 1956 г. и в том же году доложены на X Международном энтомологическом конгрессе в Монреале. Исследования и идеи в этом направлении были обобщены М.С.Гиляровым (1965) в монографии "Зоологический метод диагностики почв" и в дальнейшем развиты В.Г.Мордковичем (1985).

На первом этапе развития биоиндикации преобладало использование живых объектов как индикаторов естественных компонентов биогеоценозов. Однако с ухудшением экологических условий окружающей среды и возникновением проблем её охраны всё большее значение приобретают биоиндикационные исследования как природных, так и главным образом антропогенных загрязнений воды, воздуха, почвы, растительного покрова, животного населения (т.е. нарушенных биоценозов). Примерно с 1970 г. количество работ по биологическому контролю состояния окружающей среды и экосистем резко и неуклонно увеличивается. Возрастающее внимание к проблеме охраны природы обусловило необходимость проведения взаимосогласованных мероприятий по вопросам биоиндикации. В большинстве стран она осуществляется преимущественно по линии национальных академий наук и программ ООН (ЮНЕП, ФАО и др.). Плодотворным было сотрудничество экологов стран СЭВ в рамках "Экологической кооперации", в особенности по вопросам биотестирования качества вод. Большую работу по биоиндикации проводит Союз немецких инженеров. В настоящее время успешно развивается сотрудничество по линии международных союзов: экологов, охраны природы и особенно биологиче-

ских наук (МБСН). На XXI Общей ассамблее МБСН в Оттаве (1982) была выработана программа "Биоиндикаторы". Основные принципы программы: стандартизация методов исследований; решение региональных и национальных проблем; создание школ специалистов по биоиндикации; расширение биоиндикационных исследований в мониторинге окружающей среды. Программа МБСН "Биоиндикаторы" подразделяет биологические системы, применение которых возможно для выявления вредных антропогенных веществ, на 6 подгрупп в соответствии с 6-ю дисциплинами.

1. *Микробиология*. Микроорганизмы быстро обнаруживают загрязнения как воды, так и почвы. Существуют микроорганизмы, особо чувствительные к некоторым веществам, другие принимают участие в распаде загрязнителей.

2. *Ботаника*. Для обнаружения специфических загрязнителей воздушного бассейна и слежения за динамикой этого загрязнения возможно применение чувствительных видов растений. К их числу относятся низшие растения, лишайники, грибы, многие высшие растения. Толерантные или устойчивые индикаторные виды, а также их сообщества используются для характеристики почвенных условий, определения концентрации тяжёлых металлов.

3. *Зоология*. Изучение отдельных видов (а также целых сообществ) животных может стать источником сведений, касающихся накопления химических веществ в их теле. Индикаторные виды могут быть использованы для определения токсичности продуктов питания людей.

4. *Клеточная биология и генетика*. Превосходными индикаторами являются клеточные и субклеточные (включая хромосомы) компоненты организма, адаптированные к определённым условиям. Уже имеются и ещё будут выявлены многочисленные тест-системы *in vivo* (в жизни) и *in vitro* (в пробирке) для кратковременного и долгосрочного слежения за изменениями природной среды.

5. *Сравнительная физиология.* Функциональные приспособления животных к изменениям окружающей среды могут быть исследованы на экологическом, биохимическом физиологическом и морфологическом уровнях и могут указывать на присутствие в ней загрязняющих веществ.

6. *Гидробиология.* Фауна и в особенности распределение видов, чувствительных к качеству воды, могут указывать на состояние водного бассейна. Необходимо подобрать соответствующие виды-индикаторы для конкретных токсикантов (тяжёлые металлы, пестициды и др.).

Преимущества живых индикаторов состоят в том, что они: суммируют все биологически важные данные об окружающей среде; отражают её состояние в целом; устраняют трудную задачу применения дорогостоящих и трудоёмких физических и химических методов для измерения биологических параметров; вскрывают скорость происходящих в природной среде изменений; указывают пути и места скопления в экологических системах различного рода загрязнений; позволяют судить о степени вредности тех или иных веществ для живой природы и человека; дают возможность контролировать действие многих, синтезируемых человеком соединений; помогают нормировать допустимую нагрузку на экосистемы.

Результаты выполнения программы по биоиндикаторам опубликованы в трудах международных и национальных симпозиумов, конгрессов, совещаний, коллоквиумов, съездов по биомониторингу, биоиндикации, экологии, почвенной зоологии и т.д.. Заслуживают внимания: сводки и монографии СЭВ (1983) "Методы биологического анализа вод"; Д.А.Криволицкого (1983) "Радиоэкология сообществ наземных животных"; Р.Шуберта (ред.) и соавт. (1988) "Биоиндикация загрязнений наземных экосистем"; В.Н.Карнаухова (1988) "Спектральный анализ клеток в экологии и охране окружающей среды: клеточный биомониторинг"; Н.К.Христофоровой (1989) "Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжёлыми металлами"; А.В.Дончевой, Л.К.Казаковой и соавт. (1992)



"Ландшафтная индикация загрязнений природной среды"; А.Д.Булохова (1996) "Экологическая оценка среды методами фитоиндикации"; Г.С.Розенберга (ред.) и соавт. (1994) "Биоиндикация, теория, методы, приложения"; О.Ю.Батуриной (1996) "Фитоиндикация"; В.Г.Каплина (2001) "Биоиндикация состояния экосистем" и др.

Таким образом, *развитие биоиндикации всегда определялось той или иной практической необходимостью*. Так, в начале XX в., когда переселенческим управлением, в особенности после столыпинской реформы 1906 г., было начато *освоение новых земель* в окраинных районах России, большое развитие получило исследование растительных индикаторов качества почвы (Чаянов, 1906). Новый подъём биоиндикационных исследований наблюдался в 1950-1960 гг., он был вызван необходимостью *поиска и освоения природных ресурсов* (Викторов, 1955, Виноградов, 1964).

Существенно изменился состав биоиндикационных исследований за последние десятилетия, что связано со сменой приоритетов. В это время сильно возросло антропогенное воздействие на экосистемы и *своевременное обнаружение нарушений и загрязнений природной среды* приобрело большее значение, чем открытие новых природных ресурсов. Поэтому *первое актуальное направление современной биоиндикации – это контроль антропогенных нарушений и загрязнений природной среды* (Вильямс, 1987). Кроме того, в это же время биоиндикация была вовлечена в теорию распознавания, дистанционную индикацию, математическое моделирование и т.п., и в их числе сформировалось *второе актуальное направление современной биоиндикации – аэрокосмический биомониторинг* (Виноградов, 1984).

## Часть I. Биоиндикация ненарушенных (естественных) экосистем.

### Глава 1. Высшие растения и их сообщества как индикаторы экологических условий

А.А. Корчагин в работе «Использование растительных сообществ как индикаторов среды» писал: "Каждый вид (растений) можно уподобить приборчику, который даёт характеристику различных факторов среды".

Растительный мир велик и многообразен. В настоящее время насчитывается около 500000 видов растений, в том числе 250000 цветковых. Только в Тверской области произрастает более 1100 видов. Невозможно представить себе жизнь на Земле без растительных организмов, так как именно они являются первичными накопителями органических веществ и энергии, благодаря чему играют главенствующую роль в природе. А кислород, освобождающийся в процессе фотосинтеза, без которого невозможно существование подавляющего большинства живых организмов? А запасы энергетического сырья – каменного угля, нефти, торфа, газа? А влияние на климат, почвы, водоёмы. Трудно перечислить грани жизни, в которых не участвовали бы растения.

Одно из удивительных свойств растений – способность "рассказывать". Они могут поведать о прошлом, рассказать о настоящем и даже заглянуть в будущее. У древних египтян существовала красивая легенда о происхождении мира: будто юный бог Солнца Осирис появился из лепестков лотоса и осветил окутанную мраком Землю. Обожествление этого удивительного цветка произошло не столько из-за его красоты и аромата, сколько из-за способности предсказывать богатый урожай, ведь зацвел этот прелестный цветок, когда начинал повышаться уровень воды в Ниле, чем больше разливалась река, тем обильнее цвели лотосы, а это сулило богатый урожай, так как плодородие земель зависело от обилия влаги. Таким образом, замечательные свойства растений – указывать, предсказывать, показывать – давно были замечены человеком. Катон Старший (111-11 вв.

до н.э.) писал: "Горькую землю узнают по чёрной, выродившейся траве, холодную - по криво растущей, влажную – по некрасивой".

А.Н. Радищев отмечал: "Где растёт дуб, клён, вяз, яблонник, буквица, клубника, там земля добра. Березняк показывает убогую глину, а соняк, можжевельник - молодило - сухую супесь; тростник же, мох, хвощ и осока – мокрую землю и болотную".

Человек, хорошо знающий особенности растений, легко может определить условия среды, с достаточной достоверностью судить о степени воздействия тех или иных факторов. Это направление получило название *фитоиндикация* (от греч, фитон - растение и лат. индикатор – указатель), а сами растения - *фитоиндикаторы*.

В словаре одно из значений термина «фитоиндикатор» определено как группа растений одного вида (или сообщество), по наличию, состоянию и поведению которых судят о естественных и антропогенных изменениях в среде, в том числе о присутствии и концентрации загрязнителей. То есть, с одной стороны, растения могут рассказать о природных условиях, например об отдельных признаках почвы (механическом составе, влажности, кислотности и т.д.), с другой стороны, они очень чутко реагируют на изменения окружающей среды и могут быть использованы в качестве надёжных индикаторов загрязнений воды, воздуха и почвы.

В настоящей главе предпринята попытка систематизировать знания и опыт для успешного ведения биоиндикации естественных состояний экосистем.

Использование популяций, отдельных видов, групп видов и растительных сообществ в целях индикации экологических условий – предмет изучения *индикационной геоботаники* – одного из первых направлений, получивших широкое развитие в биоиндикации. Это связано с тем, что растительность является ведущим и наиболее физиономичным компонентом биогеоценозов, которые характеризуются тесными связями с абиоти-

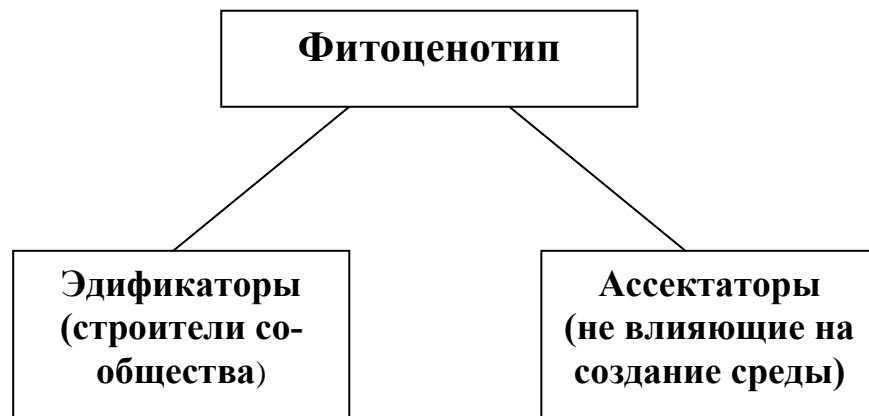
ческими факторами. Ареал вида шире области распространения сообщества, кроме того, вид обладает более широкой экологической амплитудой по сравнению с сообществом. Растительные сообщества длительно развиваются и формируются в определённых экологических условиях. Они являются более точными и информативными индикаторами этих условий по сравнению с отдельными их видами. *Эврибионтные (эврипотентные)* виды могут существовать при широкой, а *стенобионтные (стенопотентные)* – при узкой амплитуде факторов. Поэтому индикационные способности у стенобионтных видов выше по сравнению с эврибионтными видами.

Связь между индикатором и индикатом (объектом индикации) может сохраняться на всём пространстве ареала индикатора, что бывает крайне редко, или проявляться в какой-то определённой части ареала. Поэтому первые индикаторы называются *универсальными (панареальными или постоянными)*, а вторые – *локальными (переменными)*. Это связано, прежде всего со значительным изменением экологических условий в пределах ареалов для большинства видов и их различным положением в растительных сообществах. В одних условиях вид может занимать в сообществах второстепенное положение или быть редким, а в других – доминировать (преобладать) в одном из подчинённых ярусов или выступать в роли эдификатора («строителя»). Поэтому различают такие понятия, как *аутоэкологический ареал вида* (область его распространения) и *синэкологический ареал вида* (область распространения образуемых видом сообществ, где он является эдификатором, т.е. доминирующим, или соэдификатором), а также аутоэкологический оптимум при отсутствии влияния других видов) и синэкологический оптимум (в присутствии других видов).

Положение вида в сообществе в значительной мере зависит от его ценотической значимости – способности изменять среду и приспособляться к совместному произрастанию в фитоценозах. Группы видов различной ценотической значимости получили название *фитоценотивов*. Так

В.Н.Сукачѳв (1928) различал две основные группы фитоценоотипов: *эдификаторы* (строители сообщества) и *ассектаторы* (не влияющие на создание среды), а Л.Г. Раменский (1938) – три: группы: виоленты (силовики), пациенты (выносливцы) и эксплеренты (выполняющие) в зависимости от их жизненных стратегий (рис. 1).

**1. В.Н. Сукачев (1928) по ценообразующей роли видов, 2 группы:**



**2. Л.Г. Раменский (1938) по ценоотическому положению видов в фитоценозах, 3 группы:**



Рис. 1. Классификация фитоценоотических видов (фитоценоотипов).

Связи отдельных видов внутри биоценозов могут значительно изменяться. Это обусловлено изменением набора конкурентов и перестройкой отношений в растительном покрове в разных частях ареала. Но все местобитания вида обнаруживают известное экологическое сходство в разных

природных условиях, что основано на его видовых возможностях (Е.Г. Мяло, 2000).

При решении вопросов биоиндикации следует иметь в виду, что существование популяций растений во многих случаях определяется тем фактором, который находится в минимуме (правило минимума Ю. Либиха), хотя факторы действуют совместно и могут в той или иной мере замещать друг друга. Поэтому в разных природных зонах, областях и сходных экологических условиях могут находиться разные фитоценозы (*замещаемость* растительности) и одинаковые растительные сообщества могут существовать в разных климатических условиях, на разных почвах и т.д. (*компенсация* факторов по Виноградову, 1964).

*Прямыми индикаторами* называются такие, присутствие которых непосредственно определяется наличием данного объекта индикации (индиката) и зависит от него. *Косвенные индикаторы* не имеют прямой связи с объектом индикации, но приурочены к какому-либо промежуточному условию (посреднику), которое связано с объектом индикации.

К *индикационным признакам* относятся:

- *флористические* (различия в видовом составе);
- *физиолого-биохимические* (характеристики химического состава, обмена веществ, их аномалии, особенности состава пигментов, определяющих цвет растений);
- *эколого-физиологические*, в частности отношение к воде, засолению почв, характеру субстрата и т.д. (выявление ксерофитов, мезофитов, галофитов, петрофитов и др.);
- *морфологические* (размеры, особенности внешнего и внутреннего строения растений, в частности ветвления, пролиферации, искривлений и других отклонений, ширина годичных колец и др.);
- *эколого-морфологические* (особенности жизненных форм);

- *онтогенетические* (особенности фенологии, длительность развития);
- *ассоциированность* видов;
- *структура сообществ* (синузальная, вертикальная и горизонтальная - особенности сложения ярусов, микрогруппировок, микрофитоценозов);
- *эколого-динамические*, эколого-генетические ряды, сукцессии (взаимоотношения и динамика сообществ в пространстве и во времени) и др.

В настоящее время растения и растительные сообщества используются как индикаторы форм рельефа, современных геоморфологических процессов и четвертичных отложений горных пород, полезных ископаемых, геологического строения, тектонических процессов, поверхностных вод, особенностей снежного покрова, глубины залегания и минерализации грунтовых вод, многолетней мерзлоты, типов, богатства, кислотности, засоленности, увлажнения, механического состава почв, структуры почвенного профиля и динамики почвенных процессов, климата, природных и антропогенных процессов (Виноградов, 1964).

### 1.1. Зональные особенности индикационных свойств

В разных природных зонах возможности использования растительности как индикатора экологических условий существенно различаются.

В *пустынной и полупустынной зонах* крайне неблагоприятные условия (дефицит влаги, засоленность) обуславливают чуткую реакцию растительного покрова на мельчайшие изменения условий местообитания. Вследствие слабого развития почв, глубокого проникновения корневой системы растений имеет место тесная связь растительности с почвами, почвообразующими породами и гидрогеологическими условиями. Растительный покров в пустынной зоне обладает самой высокой индикационной способностью. Границы растительных сообществ здесь совпадают с гра-

ницами почвенных разностей, материнских почвообразующих пород, гидрогеологических условий, выступают их надёжными индикаторами.

В *степной зоне* условия существования более благоприятные, почвенный покров хорошо развитый и мощный, корневая система растений сосредоточена преимущественно в почвенном слое до глубины 1,5-2,0 м. Луговые и дерновинно-злаковые степи являются непосредственными индикаторами почвенных разностей, а также самого верхнего горизонта почвообразующих пород. Границы этих растительных сообществ совпадают с границами почв, но не всегда имеют точное совпадение с границами почвообразующих пород. Кустарниковые, каменистые и песчаные степи вследствие более глубокого проникновения корней непосредственно индицируют почвы и толщу почвообразующих пород до глубины 5-10 м, их границы совпадают. Индикаторная возможность растительности в степях осложняется практически полной их распаханностью.

В *лесной зоне* мощность почвенного профиля меньше, чем в степи, а корневая система растений сосредоточена в почве и почвообразующей породе. Мощность индицируемой толщи до 10 м. Однако индикационные связи здесь сложнее и менее чётко выраженные вследствие вырубков, пожаров, развития производных типов леса.

В *тундре* в крайне неблагоприятных климатических условиях почвенный покров развит слабо и растительность имеет непосредственную связь с почвообразующими породами. Индикационная роль растительности велика. Однако глубина проникновения корней в тундре ограничена слоем многолетней мерзлоты и мощность индицируемой толщи составляет 1-2 м от поверхности. Индикационные связи растительности хорошо выражены и легко распознаются.

## 1.2. Методы выявления индикаторов

Сбору материала по выявлению индикационного значения растительности в полевых условиях предшествуют анализ и обобщение литера-



турных сведений по этому вопросу. Если такие данные обнаружены, то на их основе перед выездом в поле составляют справочную таблицу, где указывают известные для района исследований индикаторы и индицируемые ими условия.

Основной полевой метод выявления индикаторов экологических условий включает: сопряжённое изучение состава, структуры и распределения растительных сообществ и оказывающих на них прямое или косвенное влияние объектов индикации; установление корреляционных связей между ними, показателей достоверности, распространённости, значимости индикаторов; оценку их индикационных свойств. Эти исследования проводятся на ключевых участках, геоботанических и ландшафтных профилях общепринятыми методами с описанием, наряду с растительными сообществами, других компонентов ландшафтов (литогенной основы; почв, их механического состава, увлажнения, засоления, богатства; глубины залегания и минерализации грунтовых вод и т.д.) и выявлением пространственных экологических рядов фитоценозов.

При изучении неоднородности растительности в связи с изменением экологических условий в настоящее время широкое распространение получил *катенный подход*, суть которого сводится к выделению на местности модельных ландшафтно-геоморфологических профилей, проходящих от самого высокого места в ландшафте к самому низкому. В связи с этим катена охватывает все основные условия существования растительности в ландшафте и характеризуется наибольшей экологической гетерогенностью. Катена (catena) в переводе с латинского означает цепь, она служит прибором, по которому выявляются и сравниваются сопряжённые характеристики растительности, почвенного покрова, других компонентов и экологических факторов природной среды. Исследования включают следующие этапы: 1) выбор катены; 2) топографическая съёмка геоморфологического профиля катены; 3) описание растительности и других компо-

нентов ландшафтов; 4) отбор проб и образцов для лабораторных анализов; 5) сопряжённый корреляционный анализ популяций растений и их сообществ с экологическими факторами; 6) выявление индикаторов.

Геоботанические описания растительности катен и ключевых участков служат основой для построения экологических шкал растений, характеризующих условия их произрастания. Методика составления таких шкал детально разработана Л.Г. Раменским (1938) и его учениками (И.А.Цаценкин, С.И. Дмитриева, Н.В. Беляева и др., 1974). С использованием экологических шкал разработаны методики экологической оценки пастбищ и сенокосов. Наибольшее распространение и практическое применение получили шкалы высотности (для горной растительности), увлажнения, богатства, засоления почв, пастбищной дигрессии, включающие соответственно 15, 120, 16, 14 и 10 ступеней. Для каждой ступени установлены индикаторные виды растений.

К важным методам индикационных исследований относится также выявление реакций растений, которые носят специфический характер: физиологических, эколого-физиологических, анатомических, морфологических, эколого-морфологических. Эти реакции возникают под влиянием индицируемых условий и на них всегда необходимо обращать внимание при описании растительных сообществ.

К одной из таких реакций относится резкое изменение жизненности (вегетативной мощности) растений, которая оценивается по их жизненному состоянию (5 баллов - состояние отличное, 4 – хорошее, 3 – удовлетворительное, 2 – плохое, 1 – полусухие, 0 баллов – сухие особи), размерам и биомассе генеративных особей. Показатели жизненности растений используются в гидроиндикационных исследованиях, при поиске полезных ископаемых.

Большое индикационное значение имеют наблюдения и описания значительных отклонений в морфологическом строении растений (гиган-

тизм, карликовость), изменение окраски и формы листьев и побегов, особенностей их роста, ветвления; искривление, изгибание, удлинение, укорочение, утолщение, пролиферация побегов; появление (или исчезновение опушения, наростов, наплывов), отклонения в экобиоморфах и жизненных формах в целом (появление мелкокустарниковой и древовидной формы у типичных кустарников, стелющиеся формы у высоких корневищных злаков и др.). Чем выше встречаемость или доля аномальных форм в популяции растений, тем теснее их индикационные связи со специфическими условиями обитания.

Важным элементом биоиндикационных исследований являются фенологические наблюдения. Под влиянием специфических экологических факторов сроки вегетации и соответственно фенофазы растений могут увеличиваться или, напротив, уменьшаться по сравнению с эталонными участками, где фактор не действует.

С помощью изучения интенсивности транспирации растений выявляют их связи с грунтовыми водами. Корневые системы растений-фреатофитов достигают уровня грунтовых вод и интенсивность их транспирации остаётся на высоком уровне на протяжении большей части вегетационного периода.

Изучение морфологии и распределения корневых систем растений в почвогрунтах позволяет установить горизонты неблагоприятные и оптимальные для их развития. Состав растений-индикаторов грунтовых вод в аридных зонах был уточнён путём параллельного изучения их корневых систем и почвенно-гидрогеологических условий.

У полиморфных видов с широкими ареалами необходимо обращать внимание на особенности и дифференциацию их экотипов, являющихся хорошими индикаторами экологических условий. Высоко индикационное значение также молодых и регрессирующих палеоэндемичных видов с уз-

кими ареалами. Для них, как правило, характерна хорошо выраженная приуроченность к специфическим местообитаниям.

Особое значение имеют дистанционный и картографический методы выявления индикаторов с использованием аэрокосмической информации, которые применимы для ландшафтной индикации экологических условий.

Во избежание ошибок большое значение имеет оценка возможностей экстраполяции полученных данных по индикации на территории, где сопряжённое изучение связей выявленных индикаторов и объектов индикации не проводилось. В этом отношении лучшим методом является оценка степени однородности природных условий исследуемой территории с изучением индикационных свойств растительных индикаторов в пределах их ареалов. Большинство индикаторов сохраняют одинаковое индикационное значение в пределах ландшафтов, ландшафтных районов, провинций, природных зон и подзон одной физико-географической области.

### 1.3. Индикаторы геологических условий

#### 1.3.1. Индикаторы горных пород, поверхностных отложений и полезных ископаемых

Наиболее тесные связи растительности с горными породами наблюдаются в тундровых и лесотундровых ландшафтах. В лесотундрах Апатитов к нифелиносодержащим породам приурочены ивняки и субальпийские разнотравные луга, а к другим породам – заросли можжевельника и злаковые луга. В среднегорьях Саянов на сильно метаморфизованных песчаниках преобладают лишайниковые тундры, на известняках – тундровые разнотравно-травянистые ассоциации, на выходах гранитов – моховые тундры.

В лесной зоне на Северном Урале к оливиновым породам приурочены сухие травяные сосняки, на метаморфических сланцах распространены сырые мшистые ельники и пихтачи. Гранитные массивы Кокчетавской области покрыты редкостойными лишайниковыми сосняками, а многочис-

ленные трещины в гранитах заняты травяными березняками. В лесах Общего Сырта на глинистых сланцах сосна, дуб, липа, осина приобретают уродливую, низкорослую форму.

В пустынных горах юга Средней Азии на выходах известняков обычны деревья и кустарники, на засоленных глинах и мергелях – полукустарнички, а на песчаниках и галечниках – полукустарники и ксерофитные травы. К постоянным индикаторам мела и известняков относятся степные и полупустынные кальцефилы (иссоп меловой, тимьян или чабрец меловой, наголоватка меловая, ежовник или биюргун меловой и др.), что получило отражение даже в их видовых названиях.

Большое значение имеет изучение индикационных связей растений с геолого-геоморфологическими условиями, литогенной основой ландшафта, материнскими почвообразующими породами.

В подзоне северных пустынь Средней Азии и Казахстана к индикаторам гипсоносных глин относятся сообщества ежовника или биюргуна солончакового, лебеды белой или кокпека, кермека полукустарникового, камфоросмы марсельской; переслаивающихся суглинков, супесей и песков – полыни серо-белой, полыни селитряной, ежовника или биюргуна безлиственного; ожелезненных песков и песчанников - саксаульчика горошкового, саксаульчика С. Лемана; песков и супесей – ковыля-волосатика; песков – полыни песчаной, колосняка кистистого, житняка ломкого; сильнозасоленных илистых отложений – сарсазана шишковатого; известняков – вьюнка кустарникового, ежовника или биюргуна канделябрного, ежовника или биюргуна усеченного.

В подзоне южных пустынь, в частности в Каракумах, к индикаторам современных подвижных песков относятся такие псаммофилы первого порядка, как жузгун или джузгун древовидный, селин Карелина, эremosпартон обвислый; древнеэоловых задернённых песков – сообщества саксаула белого или песчаного, осоки вздутой или рянга; древнедельтовых глини-

стых отложений Геджена – солянка почечконосная; северо-афганских рек – полынь бадхызская; предгорно-лёссовых отложений – мятлик луковичный, осока толстостолбиковая.

В Заволжье к сыртовым глинам неногена приурочены ассоциации ковыля К. Лессинга; пескам и супесям палеогена – ковыль перистый; мергелям и глинам верхнего мела – сообщества с участием ежовника или бюргуна мелового, клоповника К. Мейера; глинам и песчаникам нижнего мела – полынь малоцветковая.

Индикатор глинистых отложений – ежовник или бюргун солончаковый - даёт на глинах разного возраста заметно отличающиеся формы.

Постоянными или универсальными индикаторами месторождений полезных ископаемых служат виды, приуроченные исключительно к породам и почвам с определённой геохимической минерализацией и не встречающиеся в иных условиях. В настоящее время выявлены растения-индикаторы повышенного содержания в почвах и породах хрома, марганца, никеля, меди, цинка, селена, железа, кобальта, олова, свинца, серебра, золота и т.д. (Виноградов, 1964). Содержание этих элементов в золе растений-индикаторов увеличивается до 10-15%. В частности, индикатором повышенного обогащения почв цинком служат некоторые виды родов фиалки, ярутки; кобальтом – кротальярия ситниковая, смолёвка; медью – отдельные виды маков; селена – астрагал ложный. Покраснение и пожелтение листьев и стеблей, как правило, вызвано избытком молибдена, цинка, железа. Хлороз и обесцвечивание происходит под влиянием обогащения почв никелем, медью. Под влиянием магния, железа, цинка у растений может происходить изменение окраски венчиков. В Центральной Якутии ольшатниковые группировки из душекии кустарниковой с густым травяным покровом, приуроченные к выходам кимберлитовых пород, служат косвенным индикатором месторождений алмазов.

Значительный интерес представляет выявление индикаторов нефти и газа. В условиях повышенной бутиминозности отмечены гигантизм у видов рода сведа, солянки восточной, ежовника или биюргуна безлистного; вторичное цветение - у ромашки; вторичная вегетация – у житняка ломкого; появление наростов, искривлений – у видов семейства маревых; вытянутых (свечковидных) форм – у кокпека или лебеды белой, нанофитона ежового; шаровидных форм – у солероса европейского, видов рода петросимонии; угнетённость, карликовость – у сарсазана шишковатого, ежовника или биюргуна канделябрного. В Поволжье сопряжённость с нефтяными залежами обнаружена у каменистых степей, ассоциаций с участием ковыля К. Лессинга.

### 1.3.2. Индикаторы дизъюнктивных структур и тектонических движений

Дизъюнктивные тектонические нарушения отражаются в растительном покрове в виде аномальных прямолинейных границ и вытянутых, приуроченных к тектоническим разломам растительных группировок. Характер растительности в полосе тектонических разрывов в значительной мере обусловлен восходящими или нисходящими по ним грунтовыми водами и степенью их минерализации. С восходящим движением пресных или слабоминерализованных вод связаны индикаторные полосы мезо- или гидрофитной растительности. В Средней Азии в её состав входят травянистые влаголюбивые растения (тростник обыкновенный или южный, ситник морской, прибрежница солончаковая), глубококорневые растения родов гребенщик, дереза, селитрянка. С восходящим движением минерализованных грунтовых вод в аридных условиях вдоль зоны разрыва связано образование вытянутых полос засоленных почв с крайне разреженной галофитной растительностью или без неё. Нисходящее движение грунтовых вод вдоль тектонических разрывов наиболее отчётливо проявляется в условиях заболачивания, вечной мерзлоты в связи с улучшением дренажа верхнего слоя почво-грунтов. В Западной Сибири вдоль тектонических нарушений

среди обширных водораздельных болот протягиваются цепочки участков леса. В Якутии в условиях вечной мерзлоты вдоль разломов протягиваются цепочки атласов с лугово-болотной растительностью.

Обширные тектонические движения связаны с постепенным поднятием или опусканием участков земной коры. Индикатором таких изменений являются дизъюнктивные ареалы близких по происхождению видов и подвидов, указывающие на разъединение участков суши крупным опусканием, занятым водным бассейном, или в процессе общего подъёма гор и изменения климата в пределах ареала. Северотихоокеанское разъединение ареалов ряда растений указывает на существование в прошлом берингийского моста на месте Берингова пролива, соединявшего Чукотку с Аляской. Примеры разрывов ареалов ряда видов растений, обусловленных поднятием гор, известны для Тянь-Шаня, Памиро-Алая, Большого Кавказа, Гималаев.

Более чёткое представление о новейших региональных и локальных тектонических движениях даёт анализ динамики растительных сообществ. Поднятия усиливают эрозионное расчленение и дренаж местности, приводят к понижению и деградации вечной мерзлоты, улучшению теплового режима, лесорастительных условий, ограничивают процессы заболачивания, способствуя деградации болот. Поднятия в тундрах создают благоприятные условия для поселения лесной растительности; а в полупустынях – ускоряют процессы остепнения. Тектоническое прогибание, напротив, стимулирует заболачивание, уменьшает эрозионные процессы, способствует развитию процессов засоления, внедрению солончаковых растений, распространению осолоделых почв, лугово-солончаковых комплексов.

### 1.3.3. Индикаторы форм рельефа, геоморфологических процессов и четвертичных отложений

Растительность является хорошим индикатором изменений экологических условий под влиянием особенностей рельефа. Ветровая и солнечная



экспозиция, крутизна склона, высота над уровнем моря, относительные превышения рельефа влияют на перераспределение экологических условий, прежде всего соотношения тепла и влаги местообитаний, поверхностных и почвенных грунтовых вод, осадков, степени подвижности субстрата и т.д. С увеличением крутизны возрастают микроклиматические различия склонов противоположной экспозиции. Увлажнение почвы обратно пропорционально крутизне склонов. Группировки мезофитов, характерные в лесной зоне для водораздельных лугов, переходят в степной зоне в отрицательные формы и на северные склоны. Сходные по составу растительные сообщества распространены на плакорах в степной зоне, на южных склонах возвышенностей в лесостепной и на северных склонах – в полупустынной зонах. На юго-востоке Русской равнины при подъёме на каждые 100 м высоты количество осадков увеличивается на 8-9%, а среднемесячная и среднегодовая температура снижается на 1,5-2°C, что приводит к формированию высотной поясности растительности.

На преобладающей части суши почвообразующими породами являются рыхлые четвертичные отложения (наносы), образовавшиеся в течение последних 1-2 млн. лет в результате количественного и качественного изменения верхней толщи горных пород под воздействием атмосферы, гидросферы, биосферы и переотложения продуктов выветривания. В Европейской части России к основным почвообразующим породам относятся элювий и делювий коренных пород, ледниковые, лёссовидные, аллювиальные, органогенные отложения. *Элювий* представляет собой возникающие при выветривании и почвообразовании минеральные продукты, накапливающиеся на равнинных плато в месте образования. *Делювий* – это продукты эрозии, принесённые с водоразделов временными потоками дождевых и снеговых вод и отложенные на склонах. *Проллювий* – это продукты эрозии, вынесенные временными горными реками и потоками на прилежащие равнины и отложенные в виде конусов выноса. *Аллювиальными*

называют отложения древних и современных рек, занимающие значительные территории. В Европейской части России великие аллювиальные равнины образованы древними отложениями Волги, Дона, Кубани, имеющими несколько террас в виде обширных ступеней, вытянутых вдоль древних и современных русел рек. Наиболее молодыми, ещё растущими вследствие ежегодных паводков, являются поймы и пойменные террасы. Озёрные отложения представлены в основном тонкослоистыми ленточными глинами, образовавшимися в приледниковых озёрах. Морские отложения занимают наибольшие площади в Прикаспийской низменности. Их образование связано с сильным изменением границ Каспийского моря на протяжении четвертичного периода. Для северной половины территории России характерно широкое распространение почвообразующих пород, происхождение которых связано с ледниковой деятельностью или с деятельностью приледниковых и послеледниковых проточных и стоячих вод. Большая часть болотных и лесных почв России развивается на ледниковых и приледниковых отложениях (Ковда, 1973). *Моренные отложения* характеризуются несортированностью, содержанием крупных валунов в общем глинистом или суглинистом материале. Мощные ледниковые потоки и ледниковые реки откладывали слоистые галечниковые или песчаные наносы, получившие название *флювиогляциальных отложений*. Лёссы и лёссовидные суглинки древне-аллювиального, делювиально-пролювиального и флювиогляциального генезиса образуют гигантскую область почвообразующих пород на Русской равнине и равнинах Сибири. Среди органогенных почвообразующих пород наиболее распространены торфяные отложения.

Главная роль рельефа в почвообразовании заключается в перераспределении вещества и энергии, в частности тепла, воды, почвообразующих пород, на земной поверхности, образовании зон преимущественного сноса или выноса транзита и отложения (аккумуляции) вещества. Рельеф —

это форма поверхности раздела между атмосферой и литосферой, отдельными слоями горных пород, почвенными горизонтами. Её характер определяет особенности передвижения веществ по земной поверхности, а также в толще почво-грунтов. Через рельеф в почвообразовании проявляется участие земного тяготения, которое приводит к боковому передвижению веществ.

Индикатором наиболее мощных толщ элювиально-делювиальных отложений служит коренная растительность зонального типа. Смены растительных группировок отражают изменения мощности таких отложений до 3 м, однако ряд индикаторов служит показателем свойств покровных отложений до 7-10 м.

Большое значение имеет использование растительности в качестве индикатора форм рельефа и аллювиальных отложений в речных долинах. Условия существования растительности в поймах рек тесно связаны с количеством ежегодного наноса аллювия и его гранулометрическим составом. При отложении аллювия менее 1 мм в год распространены суходольные травянистые растения с примесью пойменных видов вейников, осок. При отложении аллювия 2-5 мм в год уже заметен отбор злаков аллювиальной группы и подавление неаллювиальных видов. На участках поймы со значительным отложением 0,5-2 см в год создаются условия для широкого внедрения злаков аллювиальной группы. При интенсивном отложении аллювия 2-4 см в год господствуют аллювиальные длинно-ползуче-корневищные (кострец безостный, двукисточник тростниковый и др.) и рыхлокустарниковые злаки (лисохвост луговой, тимофеевка луговая) – переменные индикаторы аллювиальности, распространённые не только в поймах. При избыточном отложении аллювия 5-10 см в год происходит изреживание корневищных злаков, которые уступают место сорнякам и пионерам зарастания аллювия (дурнишник обыкновенный, горец щавелистый, белокопытник ложный). При катастрофическом отложении аллювия

свыше 10 см остаются только изреженные заросли сорняков или высшая растительность совсем отсутствует. К прирусловым крупнозернистым песчаным и супесчаным аллювиальным отложениям приурочены вейник ложнотростниковый, кострец безостный, двукисточник тростниковый, пырей ползучий. Большинство луговых растений центральной поймы служат индикаторами умеренной наносности и характерны для среднезернистого пойменного аллювия. Осоки (пузырчатая, дернистая, водная) и ряд растений суходольных лугов (овсяница Регеля, мятлик луговой) – индикаторы глинистых и суглинистых отложений притеррасной поймы и возвышенных участков центральной поймы. Важным экологическим фактором является длительность затопления поймы речными водами. Длительные затопления водами паводка выдерживают: кострец безостный, пырей ползучий, осока водная, осока пузырчатая, манник большой. Среднепоёмные растения являются индикаторами умеренных сроков заливания. К короткопоёмным растениям относятся: вейник ложнотростниковый, осока чёрная, полевица тонкая и т.д. Стадии сукцессии растительности на побережьях озёр и морей свидетельствуют об относительном возрасте осушения дна водоёма. На побережье Каспийского моря западнее реки Урал к современным мелководьям приурочены заросли тростника; к периодически затапливаемым участкам – однолетние солянки и разреженные заросли тростника; к участкам, осушенным 30-40 лет назад, - солончаки с лебедой татарской, петросимонией супротиволистной, полынью поникающей; к полосе, где падение уровня моря началось 150 лет назад, - бугристые солончаки с галофитами: сарсазаном шишковатым, поташником каспийским, луговые солончаки с прибрежницей солончаковой, пески с колосняком кистистым. Выше этого уровня расположена равнина с зональной растительностью северных пустынь из ежовника или бьюргуна безлистного, полыни П. Лерхе.

На основной морене, сложенной валунными суглинками и глинами, в условиях Северо-Запада России распространены ельники – долгомошни-

ки, зеленомошники, осоковые с большим количеством травяных болот. Понижения с ленточными глинами озёрно-ледниковых отложений покрыты осоковыми болотами с ивой. На флювиогляциальных отложениях коренной ассоциацией являются ельники-черничники. К конечным моренам, обогащённым песчаным материалом, приурочены сосняки. На севере лесной зоны они представлены низко-бонитетными сосняками с лишайниковым напочвенным покровом, в средней части лесной зоны – высокобонитетными сосняками брусничными, на юге – сосняками травяными с липой.

Эоловые формы рельефа в значительной мере связаны со степенью подвижности песков и мощностью песчаных отложений. Так, в Каракумах индикаторами наиболее подвижных барханных песков являются псаммофилы первого порядка: селин Карелина, гелиотроп крупный, солянка палестинская, жузгун древовидный, эremosпартон обвислый. У слабо- и полужакоплененных незадернененных песков свои индикаторы– псаммофилы второго порядка: селин малый, гелиотроп аргузиевый, жузгун голова-медузы, солянка С.Рихтера, астрагал малопарный. Для задернененных песков индикаторами служат псаммофилы третьего порядка: саксаул белый или песчаный, осока вздутая или рянг.

Торфяные отложения по ботаническому составу и условиям формирования подразделяются на три основных типа: низинный, переходный и верховой. *Верховые болота* образуются в результате зарастания озёр и заболачивания водоразделов с близким залеганием водоупорных горизонтов, а *низинные* – чаще в поймах рек с близким залеганием или выходом грунтовых вод. *Верховые торфы* отличаются низкой зольностью (1-4%) и значительной мощностью (до 10 м и более). Индикаторами их служат сосна, олиготрофные сфагновые мхи рода сфагнум, долгие мхи, политрих обыкновенный, пушица, богульник, клюква. Среди *низинных торфов* выделяют три подтипа: лесной, *топяно-лесной* и *топяной*. Мощность лесного торфа

0,5-1 м, зольность 10-18%, в растительном покрове преобладают ольха, берёза, ель, пихта, осики, хвощи, тростник. В топяно-лесном подтипе мощность торфа 0,5-2 м, зольность 5-10%, в растительном покрове увеличивается роль ивы и осок. Индикаторами топяных торфов служат осики (волосисто-плодная, пузырчатая, омская), шейхцерия, эвтрофные зелёные, некоторые сфагновые мхи.

Нарушения почвенного покрова и деструкция растительности в настоящее время в значительной мере связаны с гравитационными, карсто-во-суффозионными, эрозионными процессами, вулканической деятельностью.

Под действием сил гравитации образуются оползни, сползания почвы, солифлюкции (закрытые сползания почвенно-грунтовых масс), осыпи, курумы (каменные потоки).

В лесной зоне активные оползни резко выделяются по нарушенности древостоя, а часто и полному отсутствию древесной растительности. В нижней части оползней, как правило, развита влаголюбивая растительность. Оползни развиваются на хорошо выраженных склонах с близким залеганием грунтовых вод при наличии водоупорного горизонта.

Карстовые формы рельефа образуются в условиях близко залегающих к поверхности карбонатных коренных пород, в которых под действием подземных вод первоначально образуются пустоты. Со временем их потоки проваливаются и формируются карстовые воронки. Для зарастающих карстовых воронок характерна влаголюбивая растительность без признаков заболачивания и засоления в связи с промывным типом водного режима.

Уничтожение естественной растительности в результате вырубки леса, вспашки почв, перевыпаса создают условия для усиления водной и ветровой эрозии почв. Усиливаются смыв и выдувание наиболее плодородного, богатого гумусом верхнего слоя почвы, растут рытвины, промоины, ов-

раги. При этом эрозионные процессы получают особенно широкое развитие в условиях расчленённого рельефа; чем больше расчленённость рельефа, тем выше эрозионная опасность земель. Наиболее устойчивы к эрозии корневищные и корнеотпрысковые растения (пырей ползучий, кострец безостный, бодяк полевой или розовый осот, люцерна серповидная). Средней эрозионной устойчивостью обладают стержнекорневые растения (клевер луговой, кошачья лапка двудомная). Умеренно устойчивы плотнoderновинные злаки (овсянница овечья, молиния голубая, полевица собачья). Слабую устойчивость к смыву имеют рыхлокустовые кистекоорневые злаки (трясунка средняя, душистый колосок обыкновенный, мятлик однолетний). Выявление растений-индикаторов интенсивности эрозионных процессов имеет большое значение для своевременного применения противоэрозионных мер. Так, для практического применения создана специальная таблица растительных индикаторов степени смывости почв в степной зоне Орловской области с градацией от не -, слабо-, средне-, сильно -, почти полностью смытых до намытых (Ткаченко, 1956).

При изучении вулканической деятельности растительность используется в качестве индикатора стадий выветривания и зарастания лав, а также прямого влияния на почвообразование периодически выпадающих на поверхность вулканических осадков.

#### 1.4. Индикаторы глубины залегания и минерализации грунтовых вод, снежного покрова, вечной мерзлоты

Среди высших растений наибольший интерес в целях гидроиндикации представляют *фреатофиты*, использующие грунтовые воды. Каждый вид фреатофита характеризуется оптимальной глубиной залегания грунтовых вод, при которой наблюдается его максимальное развитие. Корневые системы фреатофитов достигают капиллярной каймы и зеркала грунтовых вод.

Среди фреатофитов выделяют *гликофильные* и *галофильные* виды. Первые используют пресные и слабосоленоватые, а вторые – минерализованные воды. К постоянным гликофильным индикаторам относят древесные породы тугаев (тополь, ива, лох), кустарники (мимозка выполненная, дереза туркменская), травянистые многолетники (чий блестящий или настоящий, солодка голая, верблюжья колючка обыкновенная, дойник польский); к галофильным – солянка древовидная, сведа мелколиственная, соляноколосник или карабакар прикаспийский, поташник каспийский, сарсазан шишковидный). Так, Е.А. Востокова (1957) в специальной таблице приводит основные гидроиндикационные группы растений для пустынь и полупустынь в зависимости от солёности вод (от пресных до солёных) и глубины их залегания (от 0 до 15 м). В лесостепи и степи Северного Казахстана попеременными индикаторами линз верховодки, образующихся за счёт просачивания воды в низинах до водоупорного горизонта, служат березняки с вейником наземным, малиной-костяницей, осокой черноколосной, таволгой или лабазником обыкновенным, кровохлёбкой лекарственной. Под ними грунтовые воды залегают на глубине 3-5 м. Переменные индикаторы (верблюжья колючка, саксаул чёрный, ежовник или биюргун безлистный) на песках или ракушечниках используют залегающие близко к поверхности слабоминерализованные грунтовые воды. Однако на плотных грунтах эти растения не связаны с грунтовыми водами. В песчаных пустынях чёрный саксаул использует грунтовые воды на глубине 7-10 м. При глубине грунтовых вод около 4-7 м чёрный саксаул даёт насаждения максимальной сомкнутости и биомассы. С увеличением глубины залегания грунтовых вод до 10 м и более он теряет связь с грунтовыми водами и переходит на питание почвенной влагой, при этом понижаются размеры, жизненность и сомкнутость крон саксаула.

Постоянные гидроиндикаторы отличаются высокой транспирацией и равномерным её ходом, более интенсивной зелёной окраской, нормальной



вегетацией в течение всего лета. Одним из наиболее надёжных индикаторных признаков является величина проективного покрытия и биомассы гидроиндикаторов.

В лесотундре на северной границе леса индикатором среднегодовой мощности снежного покрова являются формы крон деревьев. У ели, берёзы в подснежной части живые ветви расположены густо. Выше идёт почти голый ствол, затем - надснежная часть кроны с более редкими ветвями. На Камчатке, в горах Сибири высота кедрового и ольхового стлаников в значительной мере определяется мощностью снежного покрова. Ветви этих кустарников, выступающие выше снежного покрова в зимнее время, отмерзают.

Многолетняя мерзлота широко распространена в тундре, лесотундре и таёжной зоне, где она оказывает существенное влияние на формирование растительности. В тундрах при наименьшей глубине уровня вечной мерзлоты в 10-20 см растительность отсутствует или представлена в основном накипными лишайниками. В моховых, осоковых и дерновинных тундрах в летний период мерзлота находится на глубине 30-100 см. Индикаторами глубин постоянной мерзлоты 1-2 м являются кустарниковые, кустарничковые, луговинные типы тундры. На глубины оттаивания свыше 2 м указывают кустарниковые и кустарничковые группировки с луговинным травяным покровом. Индикаторами глубокой постоянной мерзлоты (свыше 3-5 м) или её отсутствия служат ивняки, ельники, березняки. В пределах распространения вечной мерзлоты в лесотундровой и таёжной зонах хвойные породы выносят более близкое положение мерзлоты, чем лиственные. В северотаёжных районах Якутии участки с наименьшей глубиной мерзлоты заняты болотами и безлесными группировками. Небольшая глубина многолетней мерзлоты наблюдается в зеленомошных лиственничниках (20-25 см), затем идут лиственничники бруснично-моховые и брусничные (60-65 см), далее - лиственничники ольхово-лишайниковые (85-90 см), листвен-

ничники травяные, кустарниково-лишайниковые (90-95 см), лугово-степные ассоциации (115-120 см), участки, занятые ивой, чозенией, тополем, елью (глубже 3-5 м). Чем выше деревья и кустарники, тем дальше от поверхности уровень залегания мерзлоты.

### 1.5. Индикаторы типов почв

Растительные сообщества – один из лучших индикаторов типов и разновидностей почв. Диагностика разновидностей почв почвенными методами требует высокой квалификации исследователя, и использование в этом случае естественной растительности как индикатора трудно переоценить.

В зоне тундр с севера на юг сменяют друг друга три подзоны: арктической, мохово-лишайниковой и кустарниковой тундры. К ведущим абиотическим факторам в них относятся избыток влаги, недостаток тепла и развитие вечной мерзлоты. Среди почвообразовательных процессов преобладают болотный и подзолистый. Оподзоленные тундровые почвы формируются под мохово-лишайниковыми и кустарничковыми тундрами, а торфянисто-глеевые болотные почвы заняты осоковыми и моховыми группировками. Локальное распространение имеют дерновые почвы с луговой растительностью. В лесотундре получают распространение типичные подзолистые почвы на участках с древесно-кустарниковой растительностью при сохранении господства почв болотного ряда с гидрофильно-моховой растительностью.

К югу от лесотундры располагаются три лесные подзоны: хвойных, хвойно-лиственных и лиственных лесов. Две последние подзоны хорошо выражены в Европе и на Дальнем Востоке. В Сибири господствующее положение занимает подзона тайги (хвойных лесов). В хвойных лесах преобладают подзолистые и глеевые, в хвойно-лиственных – дерново-подзолистые, в широколиственных лесах Западной Европы – бурые лесные, Восточной Европы – серые лесные почвы. Хорошим индикатором

разновидностей почв в хвойных лесах служит травяно-кустарничковый и мохово-лишайниковый напочвенный ярус. Дерновые почвы встречаются под луговой травянистой растительностью. Примесь гидрофильных трав и мхов свидетельствует о степени заболоченности дерновых почв, а древесно-кустарниковой растительности – об их оподзоленности.

В лесостепной зоне Восточной Европы под участками: лиственных лесов развиваются серые лесные почвы; сосняков – серые лесные оподзоленные; лугово-степной растительности – тучные выщелоченные, типичные чернозёмы.

Для зоны степей и полупустынь характерно преобладание чернозёмов и каштановых почв. В Европейской части России северную часть степей занимают богато-разнотравно-типчаково-ковыльные степи на обыкновенных чернозёмах, за ними идут разнотравно-типчаково-ковыльные степи на южных чернозёмах, затем типчаково-ковыльные и полынно-типчаково-ковыльные сухие степи - на тёмнокаштановых почвах, полынно-ксерофитнозлаковая полупустынная - растительность на светлокаштановых почвах.

В северной пустыне зональны полынные группировки на серо-бурых пустынных почвах. Подзона южных пустынь характеризуется распространением на плакорах сероземных почв с эфемеройдным типом травянистой растительности и преобладанием осоково-мятликовых группировок. Для примитивных песчано-пустынных почв характерно преобладание кустарниковой растительности.

#### 1.6. Индикаторы механического состава почв

В зависимости от содержания физической глины по механическому составу почвы делятся на песчаные, супесчаные, суглинистые и глинистые. Тяжёлые глинистые почвы обладают значительной капиллярностью, высокой водоудерживающей способностью и низкой водопроницаемостью,

лёгкие песчаные грунты, напротив, отличаются низкой водоудерживающей способностью и значительной водопроницаемостью.

Индикатором почв среднего механического состава (суглинистых) служит, как правило, зональная растительность. В зоне широколиственных лесов почвы светлых лесов с преобладанием дубрав – легкосуглинистые, а тенистых (клён, липа, осина) – тяжёло-суглинистые и глинистые. Экологический ряд древесных пород от песчаных почво-грунтов к глинистым образуют: сосна – дуб – липа – берёза – осина. Наиболее многообразны псаммофиты в песчаных пустынях, где они являются хорошими индикаторами стадий зарастания песка, мощности и происхождения песчаных отложений.

Каменистые почвы содержат обломки крупнее 3-10 см свыше 10-20%. Индикаторами каменистых почв служат петрофиты. Одни из них образуют подушкообразные формы (виды родов акантолимона или игловидной луговой травы, колючелистника), другие, приуроченные к осыпям, имеют корневища, стелющиеся побеги, дернины (лисохвост ледниковый, наголоватка бесстебельная); некоторые приурочены к благоприятному водному режиму каменистых почв (виды родов курчавки или колючей гречи или непитательной травы, можжевельника туркменского).

#### 1.7. Индикаторы богатства, увлажнения, кислотности и засоления почв

Растительность отражает содержание в почве доступных растениям подвижных соединений основных элементов питания (кальция, азота, фосфора, калия, серы, магния) и микроэлементов (бора, марганца, меди и др.). Постоянными индикаторами богатства почвы являются эвтрофные растения, приуроченные к богатым почвам и достигающие на них наилучшего развития и максимального обилия. Переменными индикаторами богатства почв служат мезотрофные растения, распространённые на почвах среднего богатства. К отрицательным индикаторам богатства почв отно-

ются олиготрофные растения, приспособленные к существованию в условиях бедного минерального питания.

Шкала богатства почв, разработанная для лугов Л.Г.Раменским (1938), включает 16 ступеней.

Ступени 1-3. Виды, в значительном обилии встречающиеся только на очень бедных (олиготрофных) почвах подзолистого и сфагново-болотного типа, рН - 4-4,5. Индикаторы: осока малоцветковая, водяника или вероника чёрная, багульник болотный и др.

Ступени 4-6. Виды, преобладающие на бедных почвах, нередко супесчаных и песчаных, сильновыщелоченных, либо торфяных, рН – 5-5,5. Индикаторы: осоки – шаровидная и волосистоплодная, белоус торчащий, овсяница овечья и др.

Ступени 7-9. Виды, господствующие на небогатых (мезотрофных), слабокислых, подзолистых, дерново-подзолистых, подзолисто-глеевых и других почвах, рН – 5,5-6,5. Индикаторы: осока водная, трясунка средняя, вейник наземный, полевица тонкая.

Ступени 10-13. Виды, преобладающие на почвах повышенного богатства (серых лесных почвах, выщелоченных чернозёмах), рН – 6,0-7,5. Индикаторы: осоки - низкая и лисья, ежа сборная, овсяница луговая и др.

Ступени 14-16. Виды, приуроченные к богатым почвам (чернозёмам, каштановым почвам), рН – 7,0-7,5. Индикаторы: осоки - мохнатая и двурядная, кадения сомнительная, люцерна хмелевая, шалфей мутовчатый.

Индикаторами олиготрофных условий являются лишайники (кладония приальпийская, пельтигера пузырчатая), долгие мхи (политрихи – можжевельниковый и волосконосный), сфагновые мхи. На менее бедных почвах распространены мохообразные: политрихи – обыкновенный и стройный, плеврозий Шребера. О мезофитных условиях свидетельствуют мхи - гилокомий блестящий, ритидиладельф трёхгранный, а об эвтрофных – мний лесной, родобрий, коллиэргон сердцевидолистный.

По отношению к содержанию влаги в почве растения делятся на *гигрофиты*, *мезофиты* и *ксерофиты*. Гигрофиты являются индикаторами из-

быточно увлажнённых почв (калужница болотная, рогоз узколистный, шалфей поникающий, чистец болотный, хвощ речной, лютик ползучий и др.). Мезофиты предпочитают почвы умеренного увлажнения (герань луговая, подмаренник настоящий, майник двулистный, борщевик сибирский, чина весенняя, кульбаба осенняя и др.). Индикаторами сухих почв с недостаточным увлажнением служат ксерофиты (очиток едкий, астра ромашковая, тонконог сизый или келерия, шалфей дубравный и некоторые другие лесные ксерофиты). Промежуточное положение занимают ксеромезофиты - индикаторы свежих и сухих почв (зопник клубненосный, герань кроваво-красная и др.). Индикаторами сырых и влажных почв служат мезогидрофиты (хвощ лесной, плакун годичный, гравилат речной, кислица обыкновенная и др.).

Л.Г. Раменским (1938) выделены 120 ступеней увлажнения почв. В его шкале увлажнения значения ступеней следующие: 1-17 ступени – увлажнение пустынное, 18-30 – полупустынное, 31-39 – сухостепное, 40-46 – среднестепное, 47-52 – лугостепное, 53-60 – сухолуговое, 61-63 – свежелуговое, 64-67 – влажнолуговое, 68-76 – сыроватолуговое, 77-88 – сыролуговое, 89-93 – болотнолуговое, 94-103 – болотное, 104-109 – местообитания прибрежно-водной растительности, 110-120 – местообитания водной растительности. Детально разработаны растительные индикаторы относительных ступеней увлажнения почв лугов, пастбищных и сенокосных угодий для Европейской части России, Урала, Сибири, Алтая (табл. 1).

Большое значение в почвообразовательном процессе имеет кислотность почв. Для различных районов Европы и Европейской части России известны списки растений-индикаторов кислотности почв. Обобщив эти данные Б.В. Виноградов приводит примеры растений-индикаторов для смешанных лесов.

Индикаторы наиболее кислых почв – виды, имеющие оптимум развития на сильно кислых почвах (рН 3,5-4,5), распространённые также на

умереннокислых (рН 4,5-5,5) и отсутствующие или редкие на слабокислых или нейтральных почвах (ожика волосистая, осока малоцветковая, белоус торчащий, полевица тонкая, лерхенфельдия извилистая, багульник болотный, вереск обыкновенный, щавель малый или щавелёк и др.).

Растительные индикаторы относительных ступеней увлажнения почв центра и Юго-востока Европейской части России (Раменский, 1938, 1956)

| Увлажнение             | Ступени | Индикаторы  |
|------------------------|---------|---|
| Ничтожное              | 1-17    | Полынь серо-белая, ежовник или биюргун солончаковый, солянка деревцевидная или боялыч, рогач или эбелек туркестанский   |
| Крайне недостаточное   | 18-30   | Полынь приморская, рогач или эбелек песчаный, житняк пустынный, ковыль сарептский, колосняк ветвистый   |
| Недостаточное          | 31-39   | Полынь австрийская, осока узколистная или уральская, тонконог или келерия гребенчатый(ая)   |
| Умеренно недостаточное | 40-46   | Полынь сантонинная, тонконог или келерия сизый(ая), ковыль перистый, тимьян или чабрец Т. Маршалла, наголоватка паутинная   |
| Нейтральное            | 47-52   | Тимофеевка степная, таволга или лобазник обыкновенная(ый), или земляной орешек, жабрица порезниковая, люцерна серповидная, шалфей мутовчатый, зопник клубненосный |
| Умеренно влажное       | 53-63   | Осока низкая, свиной палец, коротконожка перистая, полынь горькая, василёк фригийский   |
| Средневлажное          | 64-76   | Осока пальчатая, лисохвост луговой, овсяница высокая, колосняк Пабоана, вейник тростниковидный  |
| Умеренно избыточное    | 77-88   | Осока черноколосная, бекмания обыкновенная, книдия сомнительная или жгун-корень, таволга или лобазник вязолистная (ый), герань болотная, астра солончаковая       |
| Избыточное             | 89-93   | Осока чёрная, хвощ болотный, пушица влагилищная, двукисточник тростниковый  |
| Сильно избыточное      | 94-103  | Осока пузырчатая, шейхцерия болотная, болотница или ситянг болотный, тростянка овсяницеvidная   |
| Обводнённое            | 104-109 | Шалфей поникающий, манник большой, калужница болотная, сусак зонтичный, камыш озёрный   |
| Водное                 | 109-120 | Кувшинка белоснежная, рдест пронзённолистный  |



Индикаторы среднекислых почв (рН 4,5-5,5) – ожика многоцветковая, вейник седеющий, осока пепельно-серая или сероватая, полевица собачья, погребок малый, щитолистник обыкновенный.

Индикаторы слабокислых почв (рН 5,5-6,5) – мезофиты с широкой экологической амплитудой (луговик дернистый, двухкосточник тростниковый, лютик едкий, погребок отклонённый, гравилат речной, подмаренник болотный, кошачья лапка двудомная).

Индикаторы нейтральных почв (рН 6,5-7,3) – осока повислая, трясушка средняя, лисохвост луговой, овсяница луговая, сныть обыкновенная.

Индикаторы умеренно щелочных почв (рН 7,3-8,0) – осока мохнатая, тимофеевка луговая, гвоздика пышная, люцерна хмелевая.

Индикаторы щелочных почв (рН свыше 7,5-8,0) – песколюб песчаный, очиток едкий, горчица полевая, мать-и-мачеха обыкновенная.

Показателем повышенной кислотности почв в посевах пшеницы и ячменя служит массовое развитие сорняков: ромашника непахучего, торницы полевой.

Более тесные экологические связи с кислотностью почв обнаруживают мхи и лишайники. В смешанных лесах на сильно кислых почвах распространены мхи - сфагн желтоватый, плеврозий Шрайбера; на слабокислых - сфагн позднейший, мний вздутый; на нейтральных – аулакомний болотный, дрепаноклад грубый; на слабощелочных – камптотеций желтеющий, фортелла извилистая.

Кальций относится к группе подвижных элементов, образующих легко- и труднорастворимые соли, энергично мигрирующие в природных водах. Он играет важную роль в обменных процессах в почве, улучшает её структуру, входит в состав основных элементов, необходимых для живых организмов. Большая часть кальция содержится в почве в виде карбонатов.

К постоянным индикаторам карбонатных почв относятся растения-кальциефилы. Они предпочитают почвы с содержанием карбоната кальция свыше 3%. В смешанных лесах к кальциефилам относятся: мордовник русский, астра ромашковая, башмачок настоящий или Венерин, ежовник или биюргун меловой, полынь солянковая и др. Большинство мхов приурочены к безизвестковым почвам. Абсолютными кальцефобами являются большинство сфагновых мхов.

Постоянными индикаторами почв, обогащённых азотом, являются облигатные нитрофилы. К ним относятся: амарант или щирица запрокинутая, крапива двудомная, гармала обыкновенная, паслён сладко-горький, лебеда розовая, марь гибридная, смородина чёрная. Наиболее надёжными из переменных индикаторов повышенного содержания азота в почве являются: борец клубочковый, пролесник многолетний, черёмуха птичья или обыкновенная и др.

К незасолённым относятся почвы, содержащие менее 0,3%; к слабозасолённым – 0,3-1,0%; к средне – 1,1-2,0%; к сильнозасолённым – 2,1-3,0%; к солончакам – более 3,0% водорастворимых солей. Постоянными индикаторами засоленных почв являются облигатные галофиты, имеющие оптимум развития при засолении почв свыше 0,6-1,0%. Они относятся чаще к семействам маревых, портулаковых, гребенщиковых и др. (солерос травянистый, хамилион бородавчатый, лебеда белая или кокпек, петросимония толстолистная, поташник каспийский, ежовник или биюргун солончаковый, сарсазан шишковатый). В группу индикаторов засоленных почв можно включить также виды родов сведы, прутняка, многие виды рода солянки, гребенщиков - щетинистоволосного и тонкоколосного, селитрянку сибирскую. В основу составления списка индикаторов засоления почв берётся определение средней амплитуды засоления корнеобитаемого слоя почвы для основных растений отдельного географического района. Наибольшее количество галофитов встречается в полупустынях и пустынях.

Так, Б.В. Виноградов (1964) выделяет среди них постоянные, переменные и отрицательные галоиндикаторы, содержащие плотный остаток в корнеобитаемом горизонте при максимальной величине засоления верхнего горизонта, % :

- для постоянных 0,3-6,1% и 7,4-45,8%;
- для переменных 0,1- 1,8% и 7,3-35,9%;
- для отрицательных 0,04-0,4%.

Л.Г. Раменский (1938,1956) выделяет 5 степеней засоления почв и связанных с ними растений-индикаторов:

Степень I. Слабозасолённые, солончаковатые сероземные, каштановые солонцовые почвы. Реакция почвенных растворов – слабощелочная (рН 7,5-8,3), в водной вытяжке из верхнего полуметрового слоя содержится 0,05% сульфатов и 0,01 - 0,03% хлоридов.

Степень II. Среднезасолённые почвы; обычно это луговые солончаковатые почвы (рН 7,5-8,3), сульфаты – 0,1-0,3%, хлориды – 0,05-0,1%.

Степень III. Сильнозасолённые почвы (солончаки) (рН до 9,1), сульфаты – до 0,05%, хлориды – до 0,3%.

Степень IV. Резко засоленные почвы (солончаки). Содержание водорастворимых солей в поверхностном слое почвы – несколько процентов.

Степень V. Злостные солончаки (шоры). Растительность сильно изреживается или полностью отсутствует.

Примеры индикаторов степеней засоления почв приведены в табл. 2.

Индикаторами хлоридного засоления почв являются: сарсазан шишковидный, солерос европейский, гребенщик многоветвистый; сульфатно-хлоридного: поташник каспийский, гребенщик щетинистоволосый, солянка узловатая; хлоридно-сульфаного: прибрежница солончаковая, селитрян-ка С. Шобера, соляноколосник или карабакар прикаспийский, саксаул чёрный, петросимония толстолистная; сульфатного – ежовник или биюргун канделябрный и безлистный, нанофитон ежовый.

Индикаторами солонцовых почв с преобладанием натрия над кальцием служат ксерогалофиты: полынь малоцветковая, камфоросма марсельская; солонцеватых – ксеромезофиты: солнечник русский, лихнис сибирский. Индикатором загипсованности почв служит гипсофит ежовник или биюргун гипсовый и т.д.

Таблица 2. Растительные индикаторы относительных степеней засоления почв на Юго-востоке Европейской части (Л.Г. Раменский, 1938,1956)

| Степень засоления            | И н д и к а т о р ы   |
|------------------------------|---|
| I. Слабозасоленные           | Полынь белоземельная, терескен, грудница татарская, солянка деревцевидная или боялыг  |
| II. Среднезасоленные         | Ежовник или биюргун солончаковый, полынь малоцветковая, ситник С.Жерара, солянка корявая или жёсткая, морковник обыкновенный        |
| III. Сильнозасоленные        | Полынь малоцветковая, хамилион бородавчатый, франкения жёстковолосая или сайгачья трава, солянка С. Комарова, горькуша солончаковая |
| IV. Резкозасоленные          | Хамилион черенковый, млечник приморский, сарсазан шишковидный, соляноколосник прикаспийский или карабаркар, солерос европейский     |
| V. Злостные солончаки (шоры) | Растительность сильно изрежена или полностью отсутствует  |

### 1.8. Особенности индикации комплекса эдафических факторов

К эдафическим абиотическим факторам существования относятся особенности почвогрунтов, из которых главными являются увлажнение и богатство почв. Отношение фитоценозов к комплексу эдафических факторов исследуют с помощью метода ординации – размещения изучаемых растительных сообществ в двумерной или многомерной системе координат. Каждая из осей системы соответствует изменению одного из эдафических факторов (высота над уровнем моря, рН, засоленность, увлажнение, богатство почв и т.д.). Этот метод нашел особенно широкое применение

при изучении типов леса. Классическим примером этого подхода является схема эдафифитоценологических типов еловых лесов В.Н. Сукачева (1928, 1972), представляющих собой ординацию типов еловых лесов, проведенную с учетом увлажнения в сочетании с обеспечением растений элементами минерального питания (рис. 2). От ельника кисличника, приуроченного к умеренно влажным, достаточно богатым почвам, влево отходит ряд возрастающего увлажнения с застойными, бедными кислородом водами в сочетании с ухудшением обеспеченности растений элементами минерального питания: ельник-кисличник, ельник-черничник, ельник-долгомошник (с моховым покровом из политриха обыкновенного – ельник-сфагновый (ряд В)). Вниз от центра (ельник-кисличник) происходит увеличение увлажнения за счет проточных, богатых кислородом вод, что сочетается с лучшим обеспечением растений элементами минерального питания и ведет к смене ельников-кисличников ельниками травяными (ряд D). От центра кверху снижается обеспеченность водой и элементами минерального питания и ельник-кисличник сменяется ельником-брусничником (ряд А). От центра вправо в связи с увеличением плодородия почв происходит смена ельника – кисличника ельником – липовым, а затем ельником – дубовым (ряд С). Аналогичная схема ординации разработана В.Н. Сукачевым и для сосновых лесов.

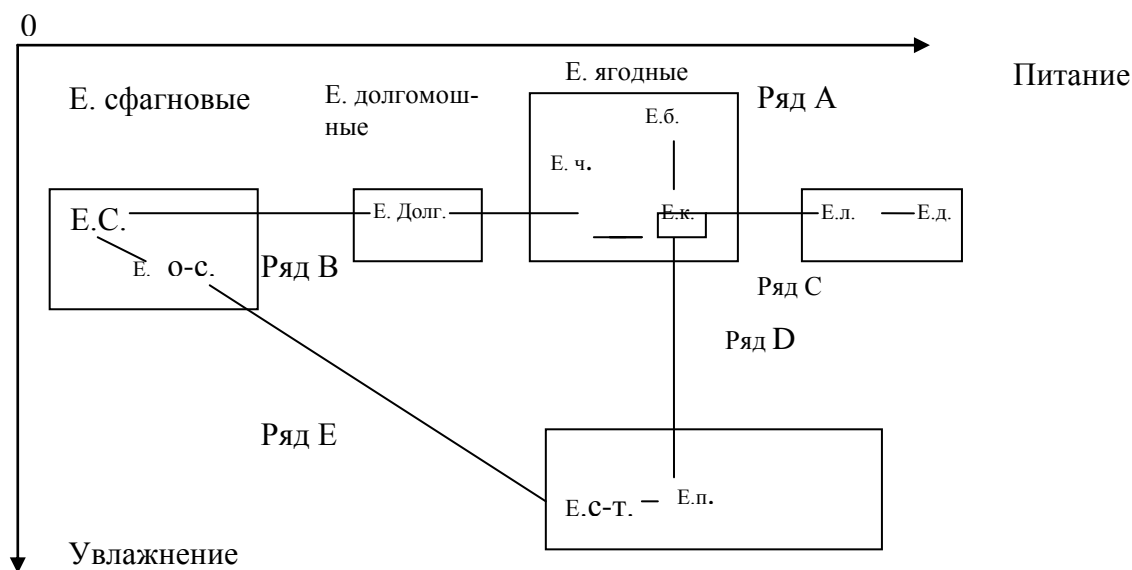


Рис. 2.(по В.Н. Сукачев, 1928 с изменениями)

Схема эдафо-фитоценологических рядов типов еловых лесов.

Е.б. – ельник-брусничник; Е.д. – ельник дубовый; Е.долг. – ельник-долгомошник; Е.к. – ельник-кисличник; Е.л. – ельник липовый; Е.о-с. – ельник осково-сфагновый; Е.п. ельник приручьевый; Е.с. – ельник сфагновый; Е. с-т. – ельник сфагново-травяной; Е.ч. – ельник-черничник.

П.С. Погребняк (1986) предложил проводить анализ связей лесных сообществ с почвенными условиями с помощью двухфакторной эдафической сетки, которая, представляет собой координатную сетку. Для этого он изучал экологические ряды фитоценозов в зависимости от относительной высоты расположения (вершина бугра, склон, подножье и т.д.), механического состава, увлажнения (Н), богатства (Т) почв и выявлял индикаторные группы растений по отношению к определенным значениям указанных эдафических факторов (рис. 3). В борovém (сосновом) ряду лесных сообществ Киевской области от вершины бугра к его подножью были выявлены следующие смены: сухой лишайниковый бор (вершина) – свежий бор зеленомошник-брусничник – влажный бор зеленомошник-черничник – сырой бор-долгомошник – мокрый бор сфагновый (подножье).

|              |      |        |                     |         |
|--------------|------|--------|---------------------|---------|
| Крайне сухие |      |        | ┌───┐               | ───┐    |
| Сухие        |      |        |                     |         |
| Свежие       |      |        |                     |         |
| Влажные      |      |        |                     |         |
| Сырые        |      |        |                     |         |
| Болота       |      |        |                     |         |
| Н            | Боры | Субори | Сложные су-<br>бори | Дубравы |

Рис. 3 Схема ординации лесных индикаторов в зависимости от увлажненности (Н) и богатства (Т) почв.

1 – тимьян или чабрец ползучий, или богородская трава - олиготрофный ксерофит; 2 – черника-брусника – олиготрофный мезофит; 3 – черника-голубика – олиготрофный гидрофит; 4 – майник даулистный – мезофит; 5 - перловник пестрый – эвтрофный ксерофит; 6 – копытень европейский – мезотрофный мезофит; 7 – кочедыжник женский - эвтрофный гигрофит. (По Погребняк, 1955 с изменениями)

В зависимости от механического состава почв на песках преобладали одноярусные сосняки с примесью березы; на глинистых песках – двухъярусные сосново-дубово-березовые насаждения; на супесях – трех-, четырехъярусные сообщества с сосной, березой, дубом, липой, кленом, грабом,

кустарниками; на суглинках и глинах – дубравы. К олиготрофам индикаторам бедных питательными веществами почв относились сосна обыкновенная, береза повислая или бородавчатая, черника-брусника, черника, земляника обыкновенная или лесная, плеврозий В. Шребера; мезатрофам (почвы среденего богатства) – дуб черешчатый, береза белая или пушистая, тополь дрожащий или осина, майник двулистный, живучка ползучая, ожика волосистая, ландыш майский, золотарник обыкновенный или золотая розга: к мегатрофам (богатые питательными веществами почвы) – лещина обыкновенная или орешник, липа сердцевидная или мелколистная, клен планатовидный, граб обыкновенный, звездчатка жестколистная, копытень европейский, фиалка удивительная, осока волосистая. Ксеромезофиты, связанные со сравнительно засушливыми условиями, были представлены земляникой обыкновенной или лесной, ожикой бледноватой, мезофиты (средние условия увлажнения) – черникой-брусникой, плеврозием В. Шребера, вейником наземным, мезогигрофиты (увлажнение избыточное) – черникой, майником двулистным, ожикой волокнистой, осокой пальчатой. На одной из осей сетки в порядке убывания или нарастания отмечались местообитания по увлажнению (гигротопы) на другой – по богатству почвы (трофотопы). На самой сетке в зависимости от этих факторов отмечалось положение доминирующих видов растительного сообщества, что способствовало более точному выявлению отношения к этим факторам сообщества в целом.

### 1.9. Индикаторы пастбищной дигрессии растительного покрова

Состояние растительности на пастбищах используется в качестве индикатора пастбищной нагрузки и стадий дигрессии растительности. Вследствие периодического стравливания растений почва оголяется, сильнее прогревается и иссушается, уплотняется копытами пасущегося скота. При близких грунтовых водах уплотнение поверхностных горизонтов усиливает поднятие грунтовых вод к поверхности и почва при пастбищном



использовании становится более влажной. Выпас действует отрицательно прежде всего на дернину, моховой и лишайниковый покров. В мохово-лишайниковых тундрах при выпасе выпадают вначале медленно растущие лишайники и тундры становятся чисто моховыми. В результате выбивания моховых ассоциаций развиваются злаково-дерновинные группировки, осоки, гигрофильное разнотравье.

Под влиянием выпаса в лесу изменяется состав напочвенного покрова, ягодниковые полукустарнички и мхи замещаются полуболотной растительностью, образуя сбоевые варианты травяного покрова.

На лугах формируются вторичные группировки, в которых в результате выпаса уменьшается обилие мезофильных видов и увеличивается доля пастбищных ксерофитов (типчак) и выгонных растений (спорыш, рогач, мятлик). На сырых лугах при выпасе образуются крупные кочки из осок.

В степи при усиленном выпасе из травостоя выпадает разнотравье и уменьшается обилие высоких плотнокустовых злаков – ковыля опушённо-лиственного, ковыля узколистного или тырсы, затем ковыля К. Лессинга и, наконец, ковыля волосовидного. Их место занимают мелкодерновинные злаки (овсяница валлиская или типчак, тонконог гребенчатый или келерия). Они сменяются полукустарничками и многолетними бурьянами (полынью пучковатой, полынью австрийской, тимьяном или чабрецом Т. Маршала, ракитником австрийским). При максимальном сбое остаются лишь пастбищные растения (мятлик луковичный, удачник обыкновенный, рогач или эбелек песчаный, лебеда татарская, бассия очитковидная). В первую очередь стравливаются растения хорошей поедаемости. Через 3-4 года такие растения, стравленные в степи 4-5 раз за лето, а в лесной зоне 6-8 раз, погибают. Из года в год усиливается значение непоедаемых и плохо подаемых растений. В дальнейшем на пастбище из многолетников остаются растения совсем непоедаемые (молочай и др.); поедаемые хорошо, но быстро осеменяющиеся весной (мятлик луковичный); со стелющимися

приземными листьями и побегами (одуванчики, подорожники, полынь австрийская). Появляется большое количество низкорослых однолетних растений (спорыш, устели-поле и др.).

Влияние выпаса на растительность зависит от нагрузки скота на пастбище, длительности его воздействия, сезона использования, вида пасущихся животных, характера почв, биологических и хозяйственных свойств растений.

Л.Г. Раменский (1938, 1941, 1956) выделяет 10 ступеней пастбищной дигрессии растительности:

Ступени 1-2. Влияние выпаса отсутствует или очень слабое. Видовое разнообразие растений значительное, на лугах высока доля разнотравья. Индикаторные виды – чина луговая, герань.

Ступени 3-4. Слабое влияние выпаса, сходное с влиянием раннего и нормального сенокосения. На лугах доля разнотравья уменьшается, а роль злаков, особенно верховых, возрастает. Индикаторы: лютики, черемица, жеруха.

Ступень 5. Умеренное (среднее) влияние выпаса. На лугах и в степи верховые злаки сменяются низовыми, в степи и полупустыне роль злаков уменьшается, возрастает роль полыней и солянок, повышается роль эфемеров и однолетников; появляются и затем начинают разрастаться пастбищные сорняки. На умеренно выпасаемых лугах наблюдается господство злаков сенокосного типа (костер, пырей, тимофеевка, овсяница луговая), луг становится ценным сенокосным угодьем.

Ступени 6-7. Сильное влияние выпаса (пастбищная стадия). На лугах господствуют низовые злаки, местами низкорослые бобовые (клевер белый), много низкорослых многолетников из разнотравья (одуванчики, кульбаба осенняя, лапчатка гусиная). В полупустыне и степи господствуют полыни, велика роль эфемеров и однолетников. Сильно выпасаемые луга имеют типично пастбищный травостой с высокой способностью

отрастания, образованный в основной низовыми злаковыми (мятником луговым, овсяницей красной, полевицей ползучей) с примесью клевера лугового, ползучего, лядвенца, одуванчика, кульбабы, тысячелистника.

Ступень 8. Полусбой. Низовые злаки на лугах и в степях, полыни в полупустыне наполовину и больше вытеснены сорными многолетними и однолетними растениями, большое количество непоедаемых и колючих пастбищных сорняков.

Ступень 9. Сбой. Растительный покров сильно изрежен, образован преимущественно однолетниками с высокой отставностью (спорыш).

Ступень 10. Абсолютный сбой. Почва оглеена. Произрастают лишь единичные растения.

Шкала пастбищной дигрессии применима почти для всех типов кормовых угодий, кроме заболоченных. Примеры изменения растительности под влиянием выпаса в разных природных зонах приведены в табл. 3.

Таблица 3. Изменение естественной растительности на лугах и в степях под влиянием выпаса (Бориневич, Конюшков, Ларин и др., 1963)

| Стадия выпаса     | Разнотравно-злаковый луг высокой поймы<br>р. Оки  | Разнотравно-злаковая степь на черноземах Северного Кавказа   | Дерновинно-злаковая степь на песчаных почвах степной зоны европейской части России             |
|-------------------|---|--|--|
| Выпас отсутствует | Тимофеевка луговая, ежа сборная, погребок большой, василек Якоба, будра плющевидная и др. | Ковыли (красноватый, узколистный волосатик), типчак, тонконог, мятлик узколистный, клевер береговой, горицвет волжский, таволга степная, люцерна румынская, вика узколистная и др. | Дерновинные злаки: типчак Беккера, тонконог сизый, ковыль Иоанна, примесь полыни и разнотравья |
| Слабый            | Тимофеевка луговая, полевица белая, герань луговая, василек малый, бедренец камнеломка    | Ковыли, типчак; корневищных злаков и разнотравья мало  | —  |
| Умеренный         | Овсяница красная, тмин обыкновенный, костер   | Типчак   | Корнеотпрысковые: молочай Сегье, двулетники  |

|                                  |  |  |   |
|----------------------------------|--|--|---|
|                                  | безостный, лихохвост луговой, полевица белая, люцерна желтая                   |  | (смолевка шелкоцветная, василек и др.) и еще много злаков   |
| Сильный                          | Мятлик луговой, одуванчик обыкновенный, тысячелистник тысячный, люцерна желтая | Мятлик луковичный, много осоки ранней, полыни австрийской, молочая Сегье | Корневищные: пырей пушистоцветковый, вейник обыкновенный, волоснец гигантский, реже осока песчаная, дигитария, ракитник и др. |
| Чрезмерный                       | Спорыш (птичья гречишка), немного предыдущих                                   | Спорыш, устели поле  | Сыпучие голые пески, отдельные заросли предыдущих растений, разбросанные кусты ив   |
| Вблизи скотных дворов и колодцев | –  | Лебеда татарская, спорыш, гулявники                                      | –   |

### 1.10. Индикаторы залежей

Растительность залежей служит индикатором расположения пахотных земель в прошлом и относительного возраста залежей. В степной зоне на первой наиболее короткой (до 3 – 5 лет) бурьянной стадии зарастания залежей вначале господствуют сорные однолетние и многолетние растения (марь белая, лактук или молокан дикий или компасный, осот, мордовник, икотник и др.) Затем 2-3 года в бурьянной залежи преобладают многолетники (бодяк полевой или розовый осот, осот полевой или желтый, донник лекарственный, чертополох поникший, полынь австрийская). На 3 – 5<sup>й</sup> год сорные малолетники сменяются корневищными многолетниками (пыреем ползучим, кострцом безостным, мятликом луговым).

Вторая корневищная стадия длится 7-10 лет и характеризуется преобладанием корневищных злаков и полыней. К ее концу корневищные злаки и полыни начинают изреживаются, появляются дерновинные злаки.

Третья стадия характеризуется поселением сначала рыхлокустовых (тонконог гребенчатый или келерия, кострец береговой), а затем плотноку-

стовых злаков (овсяница овечья, овсяница валлийская или типчак). В конце этой стадии (на 14 – 15<sup>й</sup> год) появляются плотнокустовые ковыли (ковыль волосовидный, ковыль К.Лессинга). Восстановление естественной растительности на залежах затягивается при чрезмерном выпасе домашних животных.

#### 1.11. Индикация почвенных разностей и экологических условий в агроценозах

Наибольшие индикационные возможности имеют выращиваемые на больших площадях непропашные полевые культуры (зерновые, злаковые, многолетние кормовые и др.). Для выявления индикационных связей культуры с условиями обитания наилучшие результаты дает картирование растительности агроценоза на трансектах или модельных ключевых участках в масштабе 1 : 200. Для этого исследуемый участок вначале разбивается на квадраты 5×5 или 10×10 м с помощью метровой сажени, мерной ленты и кольев. Затем на план по квадратам наносятся и описываются все наиболее однородные участки растительности агроценоза, указываются высота, фенологическое и жизненное состояние, проективное покрытие, численность (густота стояния), распределение и т.д. культуры и сорных растений по жизненным формам и видам. Картирование агроценозов зерновых культур лучше проводить в фазах цветения, молочной и молочно-восковой спелости. Сходные однородные участки агроценоза (микроагроценозы) объединяют в микроассоциации. Для каждого выявленного типа микроагрофитоценоза (микроассоциации) параллельно определяют содержание влаги в почве, ее механический состав, содержание гумуса, питательных элементов, солей. На следующем этапе определяют корреляционные связи между особенностями растительности агроценоза и эдафическими факторами. Полученные данные отражают в виде карты-схемы горизонтальной структуры агроценоза и индикационной таблицы, где показывают индикацион-

ные связи между наиболее физиономичными характеристиками агроценоза и эдафическими условиями, с которыми они связаны прямо или косвенно.

#### 1.12. Биоиндикация рекреационной нагрузки

Рекреациями называют места отдыха человека. Для отдыха его в наибольшей степени привлекают леса и водоемы. Если во время своей трудовой деятельности человек весьма активно и чаще всего негативно влияет на окружающую среду, то и во время отдыха он часто оказывает на нее отрицательное воздействие. Особенно возрастает нагрузка на экосистемы при неорганизованном культурном отдыхе. Рекреационная нагрузка тем выше, чем больше плотность населения и чем меньше естественных экосистем, привлекательных для отдыха. В последние годы в России рекреационная нагрузка сильно возрастает в связи с широким распространением личного автотранспорта. Нашествие горожан на леса и реки принимает угрожающие размеры.

Основной схемой учета рекреационной нагрузки на лесные экосистемы является регистрация последовательных этапов разрушения растительности от совершенно здорового древостоя с подростом и подлеском до полной гибели древесного яруса и отсутствия напочвенного покрова. Стадии дигрессии лучше и быстрее всего оцениваются в поле путем определения процента деградированных участков или площади, занимаемой дорогами и тропами (дорожно-тропиночной сетью). Выделяют 5 основных стадий дигрессии лесных экосистем в результате рекреационной нагрузки (Шелоханова, 1994):

- 1<sup>ая</sup>. Дорожно-тропиночная сеть слабо выражена, значительных изменений растительности не происходит.
- 2<sup>ая</sup>. Дорожно-тропиночная сеть занимает 5-10 %.
- 3<sup>ая</sup>. Дорожно-тропиночная сеть занимает 20-30 %.

4<sup>ая</sup>. Дорожно-тропиночная сеть занимает около 50 %, происходит исчезновение лесных видов, уменьшение их проективного покрытия, идет внедрение луговых и сорных видов.

5<sup>ая</sup>. Дорожно-тропиночная сеть занимает 90 %, преобладает луговая и сорная растительность.

Важнейшим признаком при оценке стадии рекреации является соотношение лесных, луговых и сорных видов. В сосняках существуют три типа деградации растительных группировок: с преобладанием спорыша (птичьей гречишки) в сухих местообитаниях; с преобладанием подорожника большого во влажных местообитаниях; с образованием олуговелых сообществ при доминировании овсяницы овечьей (Шелоухова, 1994).

*В дубравах* широколиственных лесов выявлены пять этапов рекреационной дигрессии растительного покрова (Карпинослова, 1967):

1. Коренные ненарушенные дубравы. Во втором древесном ярусе обычны липа, клен остролистный. В подлеске преобладает лещина. Травяной ярус разреженный, образован неморальными растениями, характерно разнообразие эфемеройдов.

2. Малонарушенные дубравы. Липа и клен отсутствуют, кустарниковый ярус из лещины хорошо развит, в травяном ярусе преобладают или зеленчук, или медуница, число видов эфемеройдов резко сокращается.

3. Дубравы нарушенные, подлесок из лещины разреживается. Из травяного яруса выпадают наиболее теневыносливые растения – копытень, вороний глаз; разрастаются благоприятно реагирующие на улучшение обеспеченности светом осока волосистая и сныть, начинают внедряться луговые виды (дубравы осоковая и осоково-снытевая).

4. Дубравы сильно нарушенные. В древесном ярусе особых изменений нет, подлесок из лещины сильно разрежен. Травяной ярус густой, высокий, образованный в основном луговыми травами (олуговевшая дубрава).

5. Дубравы деградированные. Древесный ярус разрежен, дуб растет плохо, суховершинит, подлесок отсутствует. В травяном покрове неморальных видов нет, преобладают луговые и сорные растения: луговик дернистый (щучковая дубрава на влажных почвах), мятлик однолетний, клевер ползучий (олуговевшая выбитая дубрава). Число видов травянистых растений возрастает от 29-34 в зеленчуковой и медуницевой дубравах до 66 в олуговевшей дубраве, затем резко снижается до 25 видов в олуговевшей выбитой дубраве.

В еловых лесах с увеличением рекреационной нагрузки постепенно деградирует моховой покров и возрастает участие в травяном покрове луговых и сорных видов.

### 1.13. Индикация природных процессов

В основе индикации природных процессов лежит изучение смен растительных сообществ, под которыми понимают происходящее во времени на конкретной территории замещение одних растительных сообществ другими. Любая смена происходит в результате того или иного изменения условий существования. Механизм смен различается в зависимости от причин, вызывающих изменение условий. Если такой причиной оказывается жизнедеятельность самого сообщества, такие смены называют сукцессионными сменами, или *сукцессиями*. Если условия изменились в результате воздействия факторов, внешних по отношению к данному сообществу, говорят об *экзогенных сменах*.

Следует отличать экзогенные смены от *экзогенных нарушений*. К экзогенному нарушению относится действие внешнего фактора в течение короткого времени, приводящее к изменению сообщества с его последующим остановлением в результате сукцессионной смены. К типичным экзогенным нарушениям относятся вырубки леса, пожары.

Сукцессии делятся на *экогенетические* и *демутационные*. Экогенетической сукцессией называют смену сообществ в результате необратимо-



го изменения ими своего местообитания. Это изменение приводит к тому, что местообитание со временем становится более пригодным не для данного, а для другого сообщества, которое и занимает его, вытесняя предыдущее сообщество. К демулационной сукцессии относят восстановление измененного сообщества в результате сравнительно быстрой последовательной смены нескольких сообществ, образующих стадии этой сукцессии. Сущность демулационной сукцессии состоит в постепенном восстановлении ценотической среды сообщества, разрушенной внешним воздействием.

Существенные различия имеют экогенетические сукцессии, протекающие на сухих субстратах, средних по увлажнению и переувлажнённых, называемых соответственно *ксерархными*, *мезархными* и *гидрархными* сменами. В зависимости от механического состава исходного субстрата ксерархные смены делят на *литосерии* (на сухих каменистых субстратах), *псаммосерии* (на сухих песках), *ксерогеосерии* (на сухом мелкозёме). Мезархные смены включают элювиальные, *делювиальные*, *аллювиальные* мезосерии (на элювиальных, делювиальных и аллювиальных отложениях) и гигролитосерии (на влажных каменистых субстратах). К гидрархным сменам относятся *эвтрофная*, *мезотрофная*, *олиготрофная* гидросерии (собственно на богатых, средних и бедных минеральными питательными веществами субстратах) и *галосерии* (в аридных областях и условиях выпотного водного режима). В лесной зоне продолжительность гидрархных и ксерархных смен составляет около 1000, мезархных – 200-300, а демулационных – 100-200 лет (Разумовский, 1981).

Среди экзогенных смен и нарушений различают *антропогенные* (в результате вырубки лесов, воздействия огня, осушения, орошения, создания водохранилищ, применения удобрений, выпаса скота, созда-

ния рекреаций, техногенных воздействий), *зоогенные, климатогенные, и эдафогенные* смены (Работнов, 1978).

На вырубках в хвойных лесах восстановление коренной растительности протекает в течение 150-200 лет и включает следующие стадии демуляции: травяную, преобладание мелколиственных деревьев или сосны, внедрение ели, еловый лес.

С участием человека значительно возросло значение в динамике растительных сообществ воздействия огня. Различают три типа лесных пожаров: 1. Низовые. Огонь захватывает большие площади, уничтожая или сильно повреждая растения нижних ярусов (лишайники, мхи, кустарнички, травы, подрост), выгорает валеж и подстилка, повреждаются неглубоко расположенные корни растений; 2. Верховые пожары. Огнем захватываются деревья, происходит уничтожение подроста, кустарников, трав, кустарничков, мхов, лишайников, валежа, подстилки, что ведет к полной или частичной гибели древостоя; 3. Подземные или торфяные, связанные с возгоранием торфа на торфяных болотах.

Осушение ведет к резкому улучшению роста древесных растений и покрытию лесом безлесных болот. Общее направление изменений растительности – мезотрофизация и эвтрофизация. В лесной зоне при осушении болот береза быстро образует достаточно сомкнутые насаждения. Под пологом березы поселяются хвойные.

Неправильное орошение сопровождается заболачиванием или засолением в связи с подъемом уровня грунтовых вод. В степных, полупустынных и пустынных фитоценозах улучшение обеспечения растений водой приводит к мезофитизации растительности, её олуговению.

Образование водохранилищ вызывает следующие изменения: 1) превращение в прошлом сухопутных местообитаний в водоёмы; 2) периодическое заливание водой территорий, находившихся ранее вне действия полых вод; 3) увеличение длительности заливания части пой-

менных земель; 4) подтопление значительных территорий, прилежащих к водохранилищу в результате постепенного подъёма уровня грунтовых вод; 5) прекращение и сокращение длительности заливания поймы, расположенной ниже плотины.

При близком залегании грунтовых вод подтопление вызывает заболачивание и засоление земель, а при более глубоком - улучшение водообеспеченности растений. В пойме, расположенной ниже плотины, в связи с уменьшением длительности или прекращением заливания полыми водами, происходит осуходоливание растительности, осолонцевание и засоление почв, падение продуктивности лугов.

При внесении удобрений на луга и в лесные угодья повышается их продуктивность и изменяется структура травостоя. На сенокосах при внесении удобрений увеличивается высота растений и происходит более равномерное распределение массы растений по вертикали. На луговых пастбищах при частом стравливании под влиянием удобрений у низовых злаков значительно возрастает число побегов на единицу площади. На лугах, где выражен моховой покров, мхи постепенно исчезают, что связано с увеличением их затенения. Под влиянием фосфора и калия увеличивается участие в травостое бобовых. Наиболее отчётливая реакция на внесение азота наблюдается у злаков в связи с интенсивным развитием придаточных корней в верхнем горизонте почвы.

Климат на большей части суши земного шара испытывает практически непрерывные изменения, способствующие климатогенным сменам растительности. Подобные смены хорошо изучены благодаря широкому использованию споро-пыльцевого анализа, исследованию ископаемых микроостатков и отпечатков растений, условий торфонакопления, применению радиоуглеродного метода. Было установлено, что последнее Валдайское оледенение в Европе и ледниковый период в целом окончились около II тыс. лет назад. В конце ледникового периода по перефирии отсту-

пающего ледника растительность на большей части территорий Европейской части России была представлена комплексом тундровых лесных и степных ценозов. В это время степи особенно далеко продвинулись в северном направлении. В дальнейшем потепления в климате сменились похолоданиями. 10 300-10 500 лет назад климат стал более тёплым и менее континентальным, 10 000-9500 лет назад наступило похолодание (бореальный период). Затем наступил атлантический период, климат значительно потеплел, границы лесной и тундровой зоны сдвинулись на 200-400 км к северу, в Европе значительное распространение получили широколиственные леса. Суббореальный период, начавшийся около 4500-5000 лет назад, отличался более холодным климатом, что обусловило надвигание тундры на лес. В следующий субатлантический период, начавшийся 2500 лет назад, произошло некоторое потепление, наибольшее значение имели темнохвойные леса. Однако около 1000 лет назад площадь еловых лесов сократилась, и стали преобладать березовые и сосновые леса, травяная растительность, вероятно, в результате увеличения интенсивности воздействия человека.

Хорошим индикатором изменений климата в последние 200-500 лет является изучение годовичных колец на спилах долгоживущих древесных растений. В благоприятные по гидротермическим условиям годы ширина годовичных колец увеличивается, а в годы засух - резко уменьшается. По дендрометрическим изменениям годовичного прироста древесины у большого числа хвойных деревьев, главным образом секвойи, были получены кривые изменения осадков в США за последние 2000 лет.

К ценным индикаторным признакам изменений климата в последние десятилетия относится также анализ многолетних фенологических наблюдений. В частности, смещение фенологических дат большого числа растений с каждым новым десятилетием ближе к началу года свидетельствует о

потеплении климата в северном полушарии, начавшемся с середины прошлого века.

*Эдафогенные* смены вызваны изменениями эдафических условий (особенностей почвогрунтов). Они могут происходить в течение длительного времени на значительных территориях или на протяжении относительно короткого периода на небольшой территории. Длительные (вековые) смены связаны с процессами, изменяющими форму поверхности (горообразование, тектонические движения, формирование гидрографической сети, понижение базиса эрозии); многие исследователи называют их *геоморфогенными*. Локальные эдафогенные смены могут быть вызваны повышением и понижением уровня грунтовых вод, засолением и рассолением почв, оползнями, обвалами и т.д.). С.М. Разумовский (1981) выделяет особую группу преобразований климатогенные и эдафогенные смены, связанные с возникновением новых, не существовавших единиц растительного покрова под действием меняющихся абиотических факторов.

Лучшим методом изучения большинства пространственно-временных смен растительности является их изучение и прослеживание на одном и том же участке, что во многих случаях невозможно в связи с большой длительностью смен и незначительной продолжительностью периода их исследования. В связи с тем, что ведущий фактор, способствует сменам растительности, как правило, на значительной неоднородной территории, его действие на разных участках этой территории может существенно различаться и проявляться не одновременно. На них чаще наблюдаются разные стадии смены, образующие пространственные эколого-генетические ряды сообществ, которые наиболее полно отражают направленность связанных с ними природных процессов. В целях индикации вначале выделяют и описывают на ключевых участках, профилях пространственные ряды сообществ по ведущему природному фактору (увлажнению, характеру субстрата и т.д.). Затем проводят их анализ, устанавливают экогенетические

ряды сообществ и оценивают индикационные связи выявленных рядов с экологическими факторами, особенностями и направленностью действия. При этом различают три основных типа индикации природных процессов: *прогнозную, стадийно-синхронную и ретроиндикационную*.

Под прогнозной индикацией чаще понимают пространственно-временную индикацию - предсказание наступления процесса на определенной территории до его начала. В качестве индикатора используют совокупность всех физиономических компонентов ландшафта, включая растительность, анализируя литературные источники, данные полевых исследований, ландшафтные и топографические карты, материалы аэрофото- и космофотосъемки. Примером прогнозной индикации является прогноз изменения природных условий под влиянием проектируемого крупного водохранилища, тектонических движений и т.д.

К стадийно-синхронной индикации относится индикация процесса в ходе его развития, с определением стадий процесса, их пространственного распределения. Индикатором в данном случае выступают эколого-генетические ряды, экогенетические и демулационные сукцессии растительности. В качестве примеров стадийно-синхронной индикации можно указать изменения растительности и природных условий при подъеме уровня грунтовых вод, засолении почв, зарастании песков и т.д.

Ретроиндикация - это индикация уже закончившегося процесса по его следам. Примером такой индикации служит выяснение путей формирования климаксовых растительных сообществ – заключительных стадий экогенетических эндогенных смен, наиболее стабильных в неизменных физико-географических условиях.

#### 1.14. Лесные сообщества как индикаторы

О свойствах почвы могут рассказать не только отдельные виды, но и целые сообщества. Метод определения структуры и состава почвы по растительности носит название «*фитоценотическая индикация*».

В Тверской области более 54% площади занято лесами. Основными типами являются сосняки и ельники, которые могут выполнять индикаторную функцию. Так, сосновый лишайниковый лес свидетельствует о песчаной почве, причём отложения песка могут достигать 10 м. Сосняк-брусничник с примесью зелёных мхов свидетельствует, что песчаные почвы покрыты некоторым количеством перегноя и торфа. Сосняк-черничник также указывает на песчаные субстраты, но обильно увлажнённые, обычно встречается в понижениях.

Ельники говорят об относительно бедных, подзолистых почвах, причём ельник сфагновый формируется на бедных почвах при плохой аэрации, ельник-кисличник, наоборот, показатель хорошего дренажа, хорошей аэрации почвы, богатства минеральными солями. Еловый лес с примесью чёрной ольхи растёт при обильном проточном увлажнении и хорошей аэрации.

Изучая лес, стоит присмотреться, из каких ярусов он сложен, это помогает ответить на вопрос о толщине почвенного слоя. Если в лесу только моховой покров, значит, здесь гумусовый слой; травянистый покров свидетельствует о слое почвы в 20-40 см, кустарники - 50-70 см, а присутствие в первом ярусе широколиственных пород - дуба, клёна, вяза - говорит, что толщина плодородного слоя может достигать двух метров.

#### 1.15. Растения-ориентиры

Многие растения способны реагировать на изменения погоды и поэтому могут быть использованы для её прогнозирования. В нашей стране насчитывается приблизительно 400 видов, которые как барометр помогают определить наступление ненастной погоды. У одних растений за несколько часов до дождя можно наблюдать появление капелек воды на листьях. При приближении дождя (иногда за сутки) влажность воздуха повышается, транспирация ослабляется, что приводит к выделению воды через специальные клетки-гидратоды - в виде капель. Гуттация (от лат. "гутта" - капля)

свойственна дербеннику иволистному, ежеголовникам, стрелолисту обыкновенному. У клёна остролистного за 3-4 дня до дождя с черешков листьев начинает капать вода, так же реагируют черёмуха обыкновенная, каштан конский, многие виды ив. Другие растения при приближающемся ненастье складывают лепестки венчиков и листья. Например, у кислицы обыкновенной на ночь в холодную погоду и перед дождем листочки сворачиваются, а цветы закрываются. У клеверов ползучего и лугового листья также складываются, соцветия становятся более плотными и поникают, при этом верхушечные листья приближаются к цветкам, образуя подобие зонтика. Многие виды семейства сложноцветных перед дождём закрывают корзинки: колючник обыкновенный, одуванчик лекарственный, чертополох курчавый, ястребика волосистая, осот огородный. На приближение дождя указывают закрытые цветки ветреницы дубравной, вьюнка полевого, повоая заборного, звездчатки средней, чистотела большого и т.д. Некоторые растения незадолго до дождя начинают распространять сильный аромат: донник белый, дрёма белая, сирень обыкновенная. Хорошим барометром может служить аистник цикутный или грабельки. В сухую погоду "носик" плода спирально закручен, к дождю он раскручивается. У белокрыльника болотного к непогоде лепестковидный белый чехол отгибается от початка под углом 90°.

Некоторые растения могут быть использованы как компасы и указывать стороны горизонта. Например, листья латука дикого, растущего на открытом месте, в полуденные часы широкой стороной повёрнуты на восток и запад, а ребром - на юг и север. У пижмы обыкновенной, растущей в засушливых незатенённых местах, также можно наблюдать компасное расположение листьев.

Наблюдения за растениями давно показали, что открываются и закрываются цветки приблизительно в одно и то же время. Цветочные



часы более-менее достоверно могут указывать на время суток (табл. 4).

Таблица 4 Цветочные часы

| Название растений   | Время распускания цветков |
|---|---------------------------|
| Козлобородник луговой                                     | 3-5 ч                     |
| Мак-самосейка, шиповник обыкновенный, кульбаба осенняя    | 4-5 ч                     |
| Осот огородный  | 5 ч                       |
| Одуванчик лекарственный, скерда кровельная                | 5-6 ч                     |
| Гвоздика полевая  | 6 ч                       |
| Осот полевой, ястребинка волосистая, ястребинка зонтичная | 6-7 ч                     |
| Кувшинка белая, лютик едкий, цикорий обыкновенный         | 7-8 ч                     |
| Бодяк полевой, колокольчик крапиволистный                 | 8-9 ч                     |
| Звездчатка средняя (мокрица), календула, смолка липкая    | 9 ч                       |
| Мать-и-мачеха, кислица обыкновенная, выюнок полевой       | 9-10 ч                    |
| Дрёма белая   | 19-21 ч                   |
| Душистый табак  | 20-21 ч                   |
| Ослинник двулетний  | 21 ч                      |
|   | Закрытие цветков          |
| Козлобородник луговой                                     | 10-11 ч                   |
| Ослинник двулетний  | 12-13 ч                   |
| Бодяк полевой   | 13-14 ч                   |
| Мак-самосейка, одуванчик лекарственный                    | 14-15 ч                   |
| Цикорий обыкновенный, шиповник обыкновенный               | 14-16 ч                   |
| Ястребинка волосистая, мокрица                            | 15-16 ч                   |
| Скерда кровельная   | 16-17 ч                   |
| Ястребинка зонтичная                                      | 17 ч                      |
| Кислица обыкновенная                                      | 17 -18 ч                  |
| Шиповник обыкновенный                                     | 18-20 ч                   |
| Смолка липкая   | 20-21 ч                   |
| Дрема белая, душистый табак                               | 2-3 ч.                    |

Таким образом, растения могут служить индикаторами различных условий среды - влажности, питательности почвы, кислотности и др., также указывать на положение в пространстве и во времени.

## Глава 2. Ландшафтная индикация экологических условий

С индикационной геоботаникой тесно связано сравнительно молодое прикладное направление ландшафтоведения - *индикационное ландшафтоведение*.

При ландшафтно-индикационных исследованиях используют внешние черты ландшафтов, доступные визуальному наблюдению, аэро- и космофотографированию, в качестве ориентировочных показателей различных явлений и процессов, непосредственное наблюдение которых затруднено (Викторов, Чикишев, 1990). Ландшафтная индикация определяет прежде всего геологические, гидрогеологические, гидрологические, почвенные и климатические условия, а также последствия деятельности человека по внешнему облику ландшафта, его отдельным компонентам. В качестве индикаторов используются ландшафты, урочища, фации, их наиболее физиономичные компоненты (рельеф, растительность, почвы, водоемы и т.д.), устойчивые сочетания компонентов, антропогенные элементы структуры местности.

*Ландшафт* (вид местности) – это участок земной поверхности, характеризующийся сравнительно однородной литогенной основой, закономерным сочетанием мезоформ рельефа, преобладанием одного типа почв, растительности, животного населения. Под литогенной основой понимается почвообразующая порода, измененная под влиянием экзогенных и эндогенных факторов. Элементарной самой мелкой единицей ландшафта является *фация*, соответствующая в естественных условиях по объему биогеоценозу или фитоценозу с однородным покровом определенной части ландшафта. Закономерные сочетания вполне определенных фаций образуют *урочища*, а закономерные сочетания урочищ – ландшафты. Урочище,

как правило, занимает одну мезоформу рельефа (овраг, склон, водораздельное пространство и т.п.). Ландшафты – это сравнительно крупные по размерам природно-территориальные комплексы. Площадь одного ландшафта, как правило, составляет сотни квадратных километров, и более. При выделении ландшафтов прежде всего учитывается рельеф, растительность, почвы, их закономерные сочетания, почвообразующие породы, глубина залегания грунтовых вод, динамические процессы, антропогенные элементы (пашни, хорошо развитая эрозионная сеть и т.д.).

Одна из важных задач ландшафтоведения – изучение пространственно-динамической структуры ландшафтов с помощью наземных и дистанционных методов. К наземным методам относятся описания и исследования фаций, урочищ, ландшафтов и их компонентов на ландшафтных профилях, ключевых участках с последующим составлением ландшафтных карт, основой для которых являются топографические карты масштаба 1:100 000, 1 : 50 000 и т.д. Среди дистанционных методов преобладают аэрофотосъемка и космическая съемка поверхности Земли. В качестве основы для ландшафтных карт используются аэрофото- и космофотоснимки, посредством их дешифрирования, последующего описания и уточнения выделенных ландшафтных контуров и структур в полевых условиях наземными методами.

Космофото- и аэрофотоснимки фиксируют лишь внешний, доступный фотографированию ярус ландшафта, и в первую очередь распределение форм рельефа и сопряженной с ними растительности. Растительность в этой мозаике часто имеет доминирующее значение. В целом территории по их физиономичности делят на *орофизиономичные* (ведущий компонент – рельеф, растительный покров разреженный и на снимках малозаметный), *фитофизиономичные* (наиболее заметна растительность, рельеф выровненный), *педофизиономичные* (хорошо видны пятна обнаженной почвы, солончаки), *аквафизиономичные* (хорошо видны водоемы, болота) и *ан-*

*тропофизиономические* (легко обнаруживаются пашни, лесополосы, вырубки и т.д.). Чаще ландшафты *орофитофизиономические* (легко дешифрируются растительность и расчлененный рельеф).

На основе ландшафтных карт, космо- и аэрофотоснимков, выявленных индикационных связей и индикаторов составляются различные ландшафтно-индикационные карты (засоления, гидрогеологических условий, эрозионной сети, пастбищной нагрузки и т.д.).

## 2.1. Виды дистанционных фотосъемок и их назначение

В целях ландшафтного, ландшафтно-индикационного и экологического картографирования широкое применение получили материалы аэрофотосъемки и космической съемки (Харин, 1975; Викторов, Чикишев, 1990; Каленов, 1999 и др.).

Аэрофотосъемка проводится чаще на высоте 800-1000 м и с перекрытием изображений до  $2/3$  для получения стереоскопического эффекта при дешифрировании фотоснимков. Различают аэрофотоснимки крупного (1: 1000), среднего (1: 10 000) и мелкого (1 : 100 000) масштабов. Космическую съемку проводят на высоте 10 000 - 100 000 км с межпланетных автоматических станций типа «Зонд», 500 - 1500 км – природных и метеорологических спутников; 200 - 400 км – с пилотируемых космических кораблей, долговременных орбитальных станций, спутников; менее 200 км – с экспериментальных спутников. При этом получают космические снимки крупного (1:100 000), среднего (1: 100 000) и мелкого (1: 10000 000) масштабов. Наиболее распространены среднемасштабные аэроснимки (1: 10 000 – 1: 25 000) и среднемасштабные космические снимки (1: 50 000 – 1: 100 000).

При изучении природной среды чаще используются интегральные *черно-белые* аэрофото- и космоснимки, полученные в широком диапазоне электромагнитного спектра (400 -740 нм); *зональные черно-белые* аэрофото- и космофотоснимки , полученные в краевой зоне спектра (600-740 нм)

с использованием фильтров; *цветные составные* изображения, полученные путем синтеза изображений нескольких одинаковых черно-белых многозональных негативов с использованием цветных светофильтров. Сравнительно широко применяются также *спектрзональные* снимки, полученные в условных цветах в зоне спектра 500-800 нм с использованием пленок, имеющих три разных светочувствительных слоя, дающих голубое, желтое и пурпурное изображения; а также зональные черно-белые снимки, полученные в зонах 500-600 нм (голубая, зеленая и желтая части спектра) и 700-800 нм (красная и инфракрасная части спектра). Цветные снимки с натуральной цветопередачей, получаемые с помощью многослойных светочувствительных пленок, находят ограниченное применение, так как с больших высот полета они не обеспечивают хорошей цветопередачи в связи с влиянием атмосферной дымки. Аэро- и космофотоснимки без потери качества можно увеличивать в 10 раз.

Значительной помехой при выполнении космических съемок является наличие облачности. Снимки, на которых облаками покрыто более 20-30 % площади, практически нельзя использовать для распознавания структуры ландшафта и его компонентов.

Для дешифрирования снимков используются изображения на пленке в виде диапозитивов, которые просматривают с помощью специальных проекторов, а также контактные отпечатки на бумаге. Нетрансформированные аэро- и космические снимки используются для монтажа фотосхем, а трансформированные с устранением имеющихся искажений – для *фотопланов* исследуемой территории. Полиграфически воспроизведенный фотоплан с координатной сеткой, а часто с горизонталями рельефа представляет собой *фотокарту*.

С помощью материалов аэрокосмических съемок успешно решаются такие задачи, как составление ландшафтных, экологических, почвенных, геоботанических, геоморфологических и других тематических карт; ин-

вентаризация природных условий, создание банка экологических данных, содержащего наиболее полные сведения о природных условиях; анализ и мониторинг состояния и динамики ландшафтов, экосистем и их компонентов на больших территориях; анализ состояния и динамики среды в результате антропогенных воздействий; прогнозирование состояния и динамики экосистем и их компонентов под влиянием естественных и антропогенных факторов; выявление индикационных связей между наиболее физиономичными и труднонаблюдаемыми компонентами ландшафта, составление ландшафтно-индикационных карт.

В сельском хозяйстве аэрофото- и космоснимки применяются при составлении земельных кадастров, землеустроительных, почвенных, геоботанических планов и карт; проектировании мелиоративных систем и противоэрозионных мероприятий; наблюдениях за состоянием, развитием и засоренностью посевов сельскохозяйственных культур, пастбищ и сенокосов; их влагообеспеченностью и продуктивностью; функционированием мелиоративных систем, динамикой эрозионных процессов; выявлением очагов распространения вредителей и болезней растений, последствий стихийных бедствий.

## 2.2. Дешифрирование аэрокосмических снимков

Использование аэро- и космической фотоиндикации включает ее дешифрирование (распознавание изучаемых природных образований или их индикаторов по тону, цвету, структуре рисунка фотоизображения, его размерам и сочетаниям с другими рисунками). Эти внешние характеристики присущи только фотофизиономичным компонентам ландшафта, имеющим непосредственное отражение на фотопленке и снимке благодаря различным спектральным яркостям, связанным со спектральными отражательными способностями объектов на поверхности Земли. В связи с этим только незначительное число природных компонентов может быть отдешифрировано по прямым признакам (формы рельефа, растительность, водо-

емы, поверхностные отложения и др.). С увеличением высоты фотографирования уменьшается роль зонального растительного покрова в формировании рисунка фотоизображения и увеличивается значение мезо- и макроформ рельефа. Для лучшего отображения и дешифрирования тех или иных объектов и применяются указанные выше различные виды аэрофото- и космосъемок, выполненные в разные сезоны года (весной, летом, осенью, зимой). Например, для ландшафтных исследований в лесной зоне предпочтительно использование фотоснимков, полученных летом в зоне спектра 600-700 нм. Литологические разности коренных и четвертичных отложений лучше отражаются в зоне спектра 520-560 нм. Для дешифрирования растительного покрова достоверные результаты получаются при использовании спектрональных космических снимков, а также черно-белых, выполненных в зоне спектра 660-720 или 600-700 нм. При изучении и картографировании почвенного покрова лучшими признаны фотоснимки, полученные в зонах спектра 460-580 и 600-700 нм, и спектрональные снимки весеннего и осеннего сроков. Зона спектра 700-890 нм наиболее информативна для дешифрирования гидрографии, увлажненности; 460-580 нм – подводной растительности, солончаков и засоленных почв, 520-560 нм – для определения механического состава почв и т.д. (Востокова, Суцены и др., 1988). Иными словами, дешифрирование снимков – это целенаправленное изучение фотоизображения с целью прямого или косвенного опознания отображенных на них изучаемых объектов, определения их качественных и количественных характеристик.

Наибольшее распространение получил ландшафтный метод дешифрирования аэроснимков, основывающийся на изучении по фотоизображению общих закономерностей ландшафта и индикационных связей между отдельными природными элементами. Для дешифрирования характерно сочетание полевых и камеральных работ. Камеральное дешифрирование заключается в определении объектов по их дешифровочным признакам.

При полевом дешифрировании опознание объектов производится на местности путем описания и сравнения объекта в натуре с его изображением на снимке. Полевое дешифрирование производят также для создания дешифровочных эталонов на ключевые участки, которые потом используют при камеральном дешифрировании. Они обычно состоят из набора стереограмм различного формата, содержащих изображение заранее подобранных типичных объектов дешифрирования, и отдельного описания (ключа) к пользованию ими. Переходя от общего к частному и выбирая из двух взаимоисключающих описаний одно, дешифровщик находит требуемую стереограмму.

В зависимости от технических средств и приемов различают визуальное, измерительное и автоматизированное дешифрирование. До настоящего времени наибольшее распространение имеет визуальное дешифрирование. Для лучшего рассматривания снимков применяют следующие приборы: увеличительные лупы с 2-, 4-, и 10-кратным увеличением, зеркальные и призмные стереоскопы, стереоскопы с переменным увеличением, стереопантомер, интерпретоскоп. Наиболее универсальный стереоскопический прибор для дешифрирования космических снимков – интерпретоскоп.

### 2.3. Ландшафтно-индикационное дешифрирование.

Для эффективного применения ландшафтно-индикационного метода дешифрирования, правильной и достоверной интерпретации снимков необходимо установление фотофизиономических индикаторов изучаемых объектов на основе знания внутриландшафтных взаимосвязей. Внутриландшафтные связи выделяют на основе анализа сопряженных фактических данных по компонентам ландшафта, его структуре путем изучения литературных, фондовых и картографических источников или по полевым исследованиям на эталонных участках. Затем устанавливают достоверные фотофизиономические индикаторы изучаемых объектов и прямые дешифро-



вочные признаки выявленных индикаторов. Дешифрирование аэрокосмической информации идет по схеме: фотоизображение – опознаваемый индикатор – индицируемый объект (индикат). Среди индикаторов выделяют частные, представленные отдельными элементами компонентов ландшафтов, и комплексные, образованные устойчивыми сочетаниями частных индикаторов. Среди частных индикаторов различают геоморфологические (формы нано-, микро-, мезо- и макрорельефа; морфоструктуры; особенности рельефа, обусловленные тектоническими процессами), почвенные, геоботанические (растительные сообщества, их комплексы, комбинации, мозаики, экологические и эколого-ценотические ряды, сезонные аспекты растительного покрова), ботанические (виды, специфические и аномальные формы роста растений), гидрологические (внешние особенности гидросети), тектонические, геологические, флювиальные (древняя речная сеть), литологические (обнажения почвообразующих пород), антропогенные. Большое индикационное значение имеет анализ рисунков фотоизображений на снимках, образованных различными компонентами ландшафта, особенно растительными сообществами.

*Фитоценотические рисунки* – это мозаики, образованные на земной поверхности растительными сообществами. Подобные узоры часто связаны с условиями, скрытыми от непосредственного наблюдения, и несут самостоятельную индикационную информацию (Виктров, 1994).

При анализе рисунков учитывают следующие их особенности: 1) состав рисунка; 2) форма контуров; 3) ориентировка контуров; 4) метрические особенности взаиморасположения; 5) пространственные взаиморасположения контуров. Фитоценотический рисунок представляет собой географическое образование, создаваемое комплексом физико-географических факторов. Факторами формирования рисунка выступают геологические условия, климатические особенности, рельеф поверхности, почвенные условия, деятельность животных и человека, воздействие самого расти-

тельного покрова. В большинстве случаев ведущий фактор формирования рисунка – геолого-геоморфологические условия. Рисунки, как правило, полигенетичны. Их разные геометрические особенности имеют различный возраст и генезис. В частности, линейное взаиморасположение контуров может быть связано с тектоническими нарушениями, а их округлая форма – с суффозионно-карстовыми процессами. Геометрические особенности рисунка представляют собой очень чуткое и концентрированное отражение генезиса территории.

Анализ фитоценотического рисунка имеет большое значение при индикации литологических особенностей, геологических условий, разрывных нарушений, тектонических структур, грунтовых вод, природных процессов. Использование соседства фитоценозов и рисунков даёт хорошие результаты при индикации природных процессов, миграционных потоков. Подобные закономерные сочетания и соседства часто соответствуют областям сноса, транзита и аккумуляции.

Степень однородности рисунков отражает единообразие условий формирования. Диффузные, полосчатые, полигональные, извиристо-полосчатые рисунки отражают главнейшие факторы и древние процессы формирования ландшафтной структуры формирования рисунка. Рисунки с господством округлых и серповидных форм отражают современные процессы формирования ландшафта. Многонаправленные и динаправленные рисунки отражают преобладающую ориентировку ландшафтных контуров. Многодоминантные и бидоминантные рисунки обусловлены количеством доминирующих составляющих в ландшафте. Фоновые и бесфоновые рисунки связаны со стадиями формирования структуры ландшафта. Например, полосчатые рисунки формируются при близком залегании к поверхности слоистых осадочных пород (глин, песчаников, мергелей и т.д.). Особенно широко они распространены на территориях с небольшой мощностью четвертичных отложений.

Большое значение приобретает индикационная интерпретация как элементов горизонтальной структуры растительных сообществ (микроразнообразия, микрофитоценозов, слагаемых ими мозаик), так и микрофациальной и фациальной структуры ландшафта. Элементы нано- и микроструктуры ландшафта являются хорошими индикаторами ранних стадий развития различных процессов.

#### 2.4. Принципы составления ландшафтно-индикационных карт

Ландшафтно-индикационные карты составляются на основе ландшафтных карт. На них наиболее полно показывается взаимосвязи между отдельными компонентами ландшафта, соседними ландшафтами. Индикационные ландшафтные взаимосвязи представляют в виде ландшафтно-индикационных таблиц, которые являются основой для построения легенд ландшафтно-индикационных карт. В таких таблицах прослеживается взаимосвязь между отдельными компонентами ландшафта и приводится описание индикаторов, их основных дешифровочных признаков, объектов индикаций (индикаторов) (табл. 5).

#### 2.5. Ландшафтная индикация динамики природной среды и антропогенных изменений экологических условий

С помощью ландшафтной индикации могут быть изучены и отражены на картах по аэрофото- и космическим снимкам основные *природные экзогенные процессы*; заболачивание, подтопление, засоление, опустынивание (обусловлены деятельностью подземных и поверхностных, атмосферных осадков); плоскостная эрозия, линейная эрозия с образованием водороев и промоин, овражная эрозия с образованием оврагов (деятельность поверхностных вод); карстовые явления и суффозия (деятельность подземных и поверхностных вод), оползневые процессы (деятельность гравитационных

сил, подземных вод), ветровая эрозия, эоловые процессы (деятельность ветра), зарастание и заторфовывание водоёмов (биогенная деятельность).

Ландшафтно-индикационное дешифрирование аэро- и, космической информации также позволяет наиболее эффективно и на значительной площади установить и отразить на картах виды, характер, степень и силу антропогенных воздействий, проявляющихся на исследуемой территории. Развитие природно-антропогенных и антропогенных процессов определяется совокупностью факторов, возникших под влиянием деятельности человека и природных экзогенных процессов. В большинстве случаев они отличаются от природных процессов большей интенсивностью, быстротой развития, более разнообразным характером и ограниченной площадью своего проявления.

Ландшафтно-индикационная таблица для изучения и картографирования земельных ресурсов (на примере западных районов Нечерноземной зоны (по: Востокова, Суцения, Шевченко, 1988))

| I<br>Ландшафты  | Физиономичные компоненты ландшафта (индикаторы)  |   | Труднонаблюдаемые компоненты ландшафта (объекты индикации)  |   |  |                               | Основные дешифровочные признаки индикаторов   |
|---|--|---|---|---|--|-------------------------------|---|
|   | Рельеф   | Растительность  | Почвы   | Литология поверхностных отложений       | Гидрогеологические условия   | Характер эрозионной опасности |   |
| 1   | 2  | 3   | 4   | 5                                       | 6  | 7                             | 8   |
| е моренные суглинистые равнины на палеозойском фундаменте (известняки, доломиты с прослоями глин, песков, песчаников и гипса) | Возвышенная холмистая равнина с глубоко врезаемыми долинами с озовыми грядами и камовыми холмами | Мелколиственные и еловомелколиственные леса. Злаково-разно-травные луга чередуются с небольшими участками пашен | Дерново-слабосредне-подзолистые. Дерновоподзолисто-глеевые и торфянисто-подзолисто-глеевые - в понижениях между холмами | Суглинки, супеси, опесчаненные суглинки | Грунтовые воды спорадического распространения. Глубина залегания 1-2,5; 3-5 м, местами более 5 м. Местами верховодка в прослоях и линзах песков и супесей среди валунных суглинков моренных отложений на глубине 0-0,5; 0,5- | Эрозионно-опасные             | Формирует фотоизображение в виде пятен лесной растительности, чередующихся с беспорядочно расположенными пятнами сельскохозяйственных угодий, лугов, полей в виде контрастных сочетаний примерно в равных пропорциях темно-серых и серых пятен неправильной формы с мелкозернистой структурой или бесструктурных серых и светло-серых участков неправиль- |

|  |   |   |   |                                  |  |                   |   |
|--|---|---|---|----------------------------------|--|-------------------|---|
|  |   |   |   |                                  | 1,0м   |                   | ной или прямоугольной формы различных размеров и темных полос вдоль рек   |
|  | Холмистая расчлененная равнина с отдельными крупными грядами конечных морен | Пашни с остатками мелколиственных, мелколиственно-еловых, ольховых лесов и разнотравно-злаковых лугов                     | Дерново-средне- и сильноподзолистые, часто глеевые          | Средние, легкие суглинки, супеси |  |                   | Формируют фотоизображение в виде контрастных рисунков прямоугольной и неправильной формы светлого тона с включением более темных по тону пятен неправильной формы, бесструктурных, иногда с неясномелкозернистой структурой |
|  | Пологоволнистая слабо расчлененная равнина                                  | Пашни с участками мелколиственных лесов, мелколиственно-еловых, ольховых, часто заболоченных и злаково-разнотравных лугов | Дерново-подзолистые, глееватые, дерново-подзолистые-глеевые | Средние и легкие суглинки        |  | Слабозерноопасные | Формируют фотоизображение в виде контрастного светлого рисунка из пятен различной формы (правильной и неправильной) и размеров, чередующихся с небольшими темными пятнами неправильной формы и серыми полосами вдоль рек    |
| Водно-ледниковые равнины на палеозойском | Плоская слабоволнистая зандровая равнина с морен-                           | Елово-мелколиственные, сосново-мелколиственные леса.  | Дерново-средне- и слабоподзолистые, часто глееватые         | Пески, супеси, торф              | Грунтовые воды в песках с гравием и галькой, с прослоями супесей и | Неэрозивноопасные | Формирует фотоизображение в виде крупных темно-серых и серых пятен неправильной формы с мелкозернистой  |

|            |   |   |           |  |   |  |  |
|------------|---|---|-----------|--|---|--|--|
| фундаменте | ными и камовыми холмами и озовыми грядами | Массивы верховых сфагновых и сфагновых с сосной болот. Небольшие участки разнотравно-злаковых лугов и пашен | и глеевые |  | глин флювиогляциальных отложений, залегающие на глубине от 0,5 до 5,0 м, изредка глубже 5,0 м |  | структурой или бесструктурных с вкраплением вытянутых более светлых по тону прямоугольников (лесосеки) и различных по форме (овальных, вытянутых, округлых) и размерам светло-серых и белесых пятен, а также небольших участков светлых по тону правильной или неправильной формы, контрастирующих на общем фоне. Чередование и скопление пятен неравномерно |
|------------|---|---|-----------|--|---|--|--|

К основным *антропогенным процессам*, дешифрируемыми на снимках относятся: проседание земной поверхности (горные выработки), осушение болот, заболоченных земель (проведение осушительных мероприятий); осушение и переосушение (понижение уровня грунтовых вод при горных разработках); поверхностное переувлажнение (выпас скота), заболачивание почв (сенокошение); переувлажнение (рубка леса, лесные пожары); ветровая эрозия (проведение строительных работ, распашка земель); водная эрозия (уничтожение естественной растительности, распашка уклонов); заболачивание, засоление (чрезмерное орошение); опустынивание (уничтожение растительного покрова, перераспределение поверхностного стока) и т.д.

Различают три степени антропогенных воздействий, прямо или косвенно влияющих на природную среду. *Слабое однократное* или непостоянно действующее воздействие не вызывает перестройки ландшафтной структуры, оно характерно для территорий с экстенсивным ведением хозяйства. *Средние или сильные однократные* антропогенные воздействия дают толчок для ускорения природных процессов, что приводит к перестройке структуры ландшафта. *Сильное многократное или постоянно действующее* антропогенное воздействие приводит к формированию новых антропогенных ландшафтов. Примером слабого антропогенного воздействия могут служить пастбища при строгом соблюдении норм выпаса, среднего - вырубка леса, распашка земель, сильного - строительство городов, водохранилищ, горнопромышленные комплексы.

В Западной Европе выделяют несколько степеней окультуренности ландшафтов: 1. *Неокультуренные ландшафты*. Антропогенные воздействия отсутствуют. Скальные, болотистые, тундровые области, высокогорья. 2. *Слабоокультуренные ландшафты*. Леса с незначительным уходом, слабым выпасом, развитием низинных и верховых болот. 3. *Среднеокультуренные ландшафты*. Используемые луга, пастбища, вырубки и раскорчёв-



ки леса, реже распашка земель. 4. *Типичные окультуренные агроландшафты* с интенсивно используемыми пастбищами, регулярной вспашкой, применением удобрений, пестицидов. 5. *Сильноокультуренные ландшафты* с применением глубокой вспашки, почти полным уничтожением естественной растительности.

Доля чуждых, ранее отсутствовавших элементов (неофитов) во флоре ландшафтов первой степени составляет 0, второй - менее 5, третьей - 5-12, четвёртой - 13-17, пятой - 18-22%.

Основными методами выявления и исследования экзогенных природных и антропогенных процессов с помощью аэрокосмической информации являются изучение в полевых условиях и дешифрирование на снимках пространственно-экологических рядов, территориальных комплексов и их индикаторов с последующей экстраполяцией стадий изучаемого процесса во времени на основании смены стадий развития процесса в пространстве, либо на основе дешифрирования и сравнения аэрофото- и космоснимков, полученных при фотосъёмке одной территории через значительные промежутки времени.

#### 2.6. Ландшафтно-индикационный подход к прогнозированию динамики экологических условий

При прогнозировании экологических условий различают *пространственный* и *пространственно-временной* географические прогнозы. К первому можно отнести прогноз нахождения того или иного объекта на территории, не обследованной конкретно, а лишь на основе экстраполяционных построений. Ко второму - прогноз пока ещё не существующих изменений экологических условий, но возможных при естественном ходе развития природной среды или осуществления тех или иных мероприятий (Востоква, Сущеня, Шевченко, 1988).

В соответствии с двумя указанными видами прогнозов динамики природной среды составляют два типа прогнозных карт:

1) карты, отражающие распределение в пространстве какого-либо индикатора природных процессов, на основании чего можно прогнозировать наличие этих процессов, стадии и скорости их развития на всей площади исследования;

2) карты, отражающие возможное состояние природной среды в будущем при тех или иных условиях антропогенного воздействия или естественного развития ландшафтов.

В настоящее время наибольшее распространение получили пространственно-временные прогнозы динамики природной среды под воздействием антропогенных факторов. Они начали особенно широко разрабатываться в связи с планированием строительства крупных гидротехнических сооружений, мелиорацией земель, перераспределением стока крупных рек.

Составление пространственно-временных прогнозов проводится в несколько этапов, каждый из которых завершается разработкой специальных карт.

На первом этапе изучается современное состояние территории и использование её природных ресурсов на основе аэрокосмической информации, топографических карт, полевых исследований наземными методами с составлением ландшафтной карты и других карт современного состояния природной среды, в том числе современного использования земель.

Цель второго этапа - изучение динамики природной среды и её естественных тенденций на основе анализа разновременных аэрокосмических снимков одной территории, ранее составленных ландшафтной и тематических карт, многолетних наблюдений за динамикой природных процессов

на ключевых участках. В итоге этого этапа получают карты динамики природной среды.

На третьем этапе изучают проектные материалы, устанавливают возможные или планируемые антропогенные воздействия, составляют карты размещения планируемых мероприятий.

На четвёртом этапе исследуют особенности устойчивости природных территориальных комплексов к антропогенным воздействиям, возможной реакции комплексов на воздействия с использованием литературных сведений, фондовых материалов по свойствам отдельных компонентов среды, их взаимосвязям, динамике, возможным реакциям; разновременной аэрокосмической информации. Результатом этого этапа является составление карты устойчивости территориальных комплексов, схем ландшафтных взаимосвязей, предварительных прогнозных карт.

На заключительном пятом этапе на основе данных, полученных на предыдущих этапах, разрабатываются как карты прогноза динамики природной среды, так и карта оптимального варианта планируемых воздействий. В большинстве случаев основой прогнозных карт являются ландшафтно-индикационные карты, на которых объектами индикации являются литология и засоление поверхностных отложений, гидрогеологические условия (глубина залегания и степень минерализации грунтовых вод), почвы, тектонические движения и др.

При разработке прогнозных карт большое значение имеет комплексная оценка экологических условий территории, системный подход к их построению, учёт региональных особенностей, существующих и планируемых хозяйственных мероприятий, устойчивости территории к фактору воздействия.

В легенде карты прогноза динамики природной среды указываются современные состояния ландшафтов, степени их изменения, прогнозируемые состояния основных компонентов, производных природно-

территориальных комплексов, появление которых предполагается в результате изменения условий.

## 2.7. Использование ландшафтной индикации при изучении сельскохозяйственных земель

Ландшафты, в значительной степени изменённые регулярной сельскохозяйственной деятельностью человека, получили название агроландшафтов (Николаев, 1987). Они являются результатом взаимодействия человека с освоенной им природой и состоят из двух связанных блоков: природного и сельскохозяйственного. Ведущее место в изучении структуры и динамики сельскохозяйственных угодий на больших территориях, как и природных ландшафтов, занимает ландшафтно-индикационный подход с использованием аэрокосмической информации, в частности аэрофото- и космофотоснимков. Однако дешифрирование природного блока агроландшафтной системы является более трудной задачей по сравнению с распознаванием характеристик сельскохозяйственного блока, так как природные свойства системы, как правило, маскируются результатами сельскохозяйственной деятельности особенно на пахотных землях, где естественная растительность почти не сохранилась. Кроме снимков для дешифрирования используются также данные наземных наблюдений.

### 2.7.1. Особенности дешифрирования сельскохозяйственных объектов на аэро- и космических снимках

К основным свойствам таких сельскохозяйственных объектов, как посевы сельскохозяйственных культур, относятся монодоминантность, быстрая сезонная физиономическая изменчивость, сравнительно небольшой размер полей чаще прямоугольной формы, гомогенная структура изображения с чёткими границами.

При сельскохозяйственном дешифрировании широко применяется съёмка в видимом и ближнем инфракрасном (750-1300 нм) диапазонах. Снимки в тепловом инфракрасном диапазоне обладают высокой информативной ёмкостью при изучении влажности почв, оценке-эффективности водных мелиорации, выявлении культурных растений и лесов, поражённых вредителями и болезнями.

Наибольшая дифференциация основных типов пустынных пастбищ наблюдается на фотоизображениях, полученных при съёмках ближней ультрафиолетовой (320- 380 нм) и дальней инфракрасной (8000-14000 нм) зонах спектра. Съёмка в дальней инфракрасной зоне спектра даёт возможность фиксировать температурные различия между наземными объектами, в том числе в ночное время.

По аэрокосмическим снимкам возможно определение эрозионности и засоленности пахотных земель. На черно-белых снимках они выражаются в высветлении тона, на цветных - в уменьшении насыщенности цвета. Водная эрозия на пашне на весенних снимках часто выражается в полосчатом, струйчатом рисунке изображения.

### Глава 3. Особенности превращений органического вещества в почве и их биоиндикация

Главными продуцентами органического вещества на земле являются *высшие растения*. По ориентировочным подсчетам растения ежегодно образуют  $5,3 \times 10^{17}$  ккал потенциальной энергии. Луга, степи аккумулируют 0,5-3 (около 4), леса и культурные поля – 3-10 г/м<sup>2</sup> углерода в день (5-7 т/га в год). Большая часть растительного органического вещества сосредоточена на поверхности почвы. Органическое вещество корней составляет от 20-30 до 90% общей фитомассы и сосредоточено в верхнем 30 - 50-сантиметровом слое почвы. В среднем около 40 % надземной и подземной биомассы растений поступает в почву в виде опада и отпада. Большая часть отмершей биомассы растений накапливается на поверхно-

сти почвы и поступает в детритные пищевые цепи. В превращении органических веществ и гумусообразовании в почве принимают участие многоклеточные животные и микроорганизмы (бактерии, грибы, простейшие и др.).

Главная функция *животных* в почвообразовании – потребление, первичное и вторичное разрушение органического вещества. Животных-сапрофагов, потребляющих отмершее органическое вещество и развивающиеся на нём микроорганизмы разделяют на три группы. К первой из них относят *первичных разрушителей*, питающихся отмершими и сохранившими структуру частями растений, к второй – детритофагов, потребляющих сильно разрушенные остатки растений и животных, утративших структуру, а также связанных с ними отмерших и живых микроорганизмов (Стриганова, 1980). В третью группу включают *микрофитофагов* – специализированных потребителей почвенных микроорганизмов. Первичные разрушители осуществляют разложение растительных тканей и частично разложение клеточных стенок, которое продолжается детритофагами. Микрофитофаги регулируют групповой состав сапротрофной микрофлоры. В целом животные ускоряют разрушение растительных остатков посредством механического воздействия, подготавливают их для гумусообразования, регулируют численность и состав микроорганизмов.

Главнейшая функция *микроорганизмов* – синтез физиологически активных соединений (ферментов, витаминов, аминокислот и др.): гумусообразование, разрушение гумуса, доведение процессов разложения растительного и животного органического вещества до полной минерализации. При этом грибы разлагают две трети, а бактерии – одну треть органического вещества. В местах концентрации грибного мицелия подавляется развитие бактерий, простейших, происходит задержка последних стадий разложения остатков. Выедание животными грибов ускоряет микробиологические процессы и стимулирует процесс минерализации. Азот осво-

бождается из органических соединений благодаря деятельности денитрифицирующих бактерий и накапливается из атмосферы азотфиксирующими бактериями, некоторыми водорослями. Фиксировать атмосферный азот способны свободно живущие бактерии родов *азотобактэр*, *костридиум*, *клубеньковые бактерии* рода *ризобиум*, *сине-зеленые водоросли* родов *анабэна*, *носток*, *цилиндроспермум*, *пурпурные бактерии* *роэлоспириллум*, *некоторые бактерии* семейства псевдомонодацэ, актиномицеты. Большинство микроорганизмов, участвующих в образовании гумуса, заселяют в основном верхнюю корнеобитаемую толщу почвы, концентрируясь в наружном 10 - 20-сантиметровом слое, где их биомасса составляет 0,5-2,5% массы гумуса. Почвенные водоросли обогащают почву органическим веществом.

Таким образом, растения преимущественно синтезируют органическое вещество, животные выполняют первичное механическое и биохимическое разрушение органики, подготовку ее для гумусообразования, микроорганизмы завершают разложение органического вещества, синтезируют гумус и разрушают его.

*Гумус* – органическое вещество почвы специфической природы, сложный продукт биохимических реакций, протекающих в почве. Его основу составляют *гуминовые кислоты* и *фульвокислоты* – гетерогенные и полидисперсные высокомолекулярные ароматические соединения типа фенолов, аминокислот, пептидов, содержащие азот и образующиеся при микробном разложении растительных и животных остатков. В гуминовых кислотах по весу на долю углерода приходится 50-62%, водорода - 3-7%, кислорода - 31-40%, азота - 2-6%, а в фульвокислотах – соответственно: 40-52%, 4-6%, 40-48% и 2-6%. Отношение углерод/азот в гуминовых кислотах составляет 8/31, в фульвокислотах - 7/26. Содержание гумуса в обыкновенных черноземах 7-8%, в мощных черноземах - 9-10%. Происхождение гумуса до конца не выяснено. Одна из гипотез предполагает

образование гуминовых кислот и фульвокислот из лигнина – особо прочного ароматического углеводорода с бензольной основой, входящего в состав стенок клеток древесины. В составе древесины на долю белков и аминокислот приходится 0,5-2% гемицеллюлозы, пектиновых веществ – 15-35%, целлюлозы (клетчатки) – 15-30%, лигнина – 10-30%. Многие исследователи считают лигнин основным компонентом почвенного гумуса. Разные исследователи рассматривают фульвокислоты как начальную форму образования гуминовых кислот (как продукт их деструкции), или высказывают гипотезу об одновременности их образования. Различают четыре типа гумуса:

1. Кальциевый мюль («сладкий» гумус) – гумус черноземов, каштановых и других почв, сформировавшихся под травянистой растительностью на породах, обогащенных известью, в условиях повышенной биологической активности. Реакция почвенных растворов нейтральная. Соотношение углерод/азот около 10.

2. Лесной мюль – гумус серых и бурых лесных почв под лиственными лесами и пашней на их месте, рН около 5,5, углерод/азот – 10/20.

3. Модер – переходный от мюля в мору гумус дерново-подзолистых почв под смешанными лесами. Мощность подстилки увеличивается до 2-3 см, степень гумификации средняя, преобладают бурые гуминовые кислоты, рН 4,5, углерод/азот – 15/25.

4. Мор – сырой или грубый гумус подзолистых почв под хвойными лесами, формируется в условиях низкой биологической активности, преобладает грибной тип разложения, накапливается мощная подстилка, рН 2-3, углерод/азот – 30/40.

Участие беспозвоночных животных в гумусообразовании в значительной мере определяется их симбиотическими отношениями с микроорганизмами. По этому признаку беспозвоночные делятся на две большие группы.



У беспозвоночных первой группы складываются главным образом симбиотические отношения с микроорганизмами, участвующими в круговороте азота (аммонификаторами, фиксаторами азота, частично нитрификаторами). Они освобождают азот из более сложных соединений вплоть до образования его подвижных форм и называются *нитролиберантами* (Козловская, 1976, 1985). В кишечнике многих беспозвоночных число бактерий аммонификаторов, олиготрофилов значительно выше, чем в почве. Все животные этой группы – сапрофаги, утилизирующие лишь клеточное содержимое из растительных клеток, при этом клеточные стенки не перевариваются. В их кишечнике растительные остатки сильно измельчаются. Нитролиберанты делятся на две подгруппы: *гумусообразователей и прогумусообразователей*. Гумусообразователи включают: *дождевых червей, энхитреид, ногохвосток, некоторых панцирных клещей-сапрофагов*. В их экскриментах наблюдается увеличение содержания гуминовых кислот, вызванное активизацией жизнедеятельности организмов. Образование гумусовых веществ в кишечнике сапрофагов происходит, по-видимому, в результате взаимодействия продуктов распада лигнина и азотосодержащих соединений (Кононова, 1963). К прогумусообразователям относятся *личинки двукрылых-сапрофагов*. Содержание гумусовых веществ в их экскриментах незначительное, среди них преобладают фульвокислоты, названные М.Н. Кононовой (1944) прогумусовыми. Одним из продуктов обмена гумификаторов является аммиак, который соединяется с лигнином.

Вторая группа животных участвует в разложении безазотистых органических веществ, освобождая углерод из более сложных соединений. Они получили название *карболиберантов*. Основу их пищи составляют углеводы - крахмал, пектин, гемицеллюлоза, содержащиеся в растительных остатках. В пищеварительном тракте карболиберантов высока активность карбогидраз. В их кишечнике и экскриментах большое число крах-

мало-, пектино- и целлюлозоразрушающих микроорганизмов, незначительно представлены олигонитрофилы и аммонификаторы. У термитов с помощью симбиотических микроорганизмов разлагается даже лигнин. Карболиберанты, в кишечнике которых разлагается 30-80% клетчатки, содержащейся в пище, получили название *минерализаторов*. При разрушении клетчатки, составляющей основу стенок растительных клеток, их содержимое быстро разлагается до легкоминерализуемых соединений. Большинство минерализаторов – первичные разрушители растительных остатков. К ним относятся двупарноногие многоножки, в частности, *кив-сяки, мокрицы, тараканы, термиты, личинки и имаго многих жуков, хищные членистоногие*.

Среди микрофитофагов грибным мицелием, почвенными водорослями питаются более одной трети *нематод*. *Панцирные клещи* участвуют в разрушении грибов и остатков высших растений. С грибным мицелием трофически связаны многие *ногохвостки*. При отсутствии микрофагов происходит накопление низкомолекулярных органических продуктов разложения, подавляется развитие бактерий, простейших (в значительной мере в связи с выделением антибиотиков многими грибами и актиномицетами), наблюдается задержка последних стадий разложения и минерализации органических соединений. Выедание грибов ускоряет микробные процессы и минерализацию органических соединений. Основная роль корненожек среди простейших (*голые и раковинные амебы*) сводится к регуляции численности бактерий.

Разлагающиеся растительные остатки, поступающие на поверхность почвы, со временем образуют подстилку, состоящую из трех слоев: *верхнего* ( $A_v$ ) – с преобладанием свежеепопавшего опада и остатков, сохранивших структуру; *среднего* ( $A_c$ ) – ферментативного, переплетенного гифами грибов, с преобладанием уплотненного измельченного опада и *нижнего* ( $A_n$ ) – гумусового, с преобладанием детрита, перемешанного с минераль-

ными частицами. Эти слои, по сути, отражают основные этапы разложения растительных остатков, с которыми тесно связаны сукцессии беспозвоночных-сапрофагов по мере деструкции опада (Стриганова, 1980). Смены комплексов обитателей подстилки проявляются прежде всего в изменении их численности, состава жизненных форм, доминирующих систематических и трофических групп и видов.

Среди беспозвоночных основу населения верхнего слоя подстилки в лесных экосистемах составляют первичные разрушители опада (*диплоды*, *мокрицы*, *дождевые черви рода лумбрикус*, *личинки тинулид*, *бибионид*, *клещи семейства фтиракарида*), потребители белков, легкорастворимых углеводов, численность которых значительно колеблется по сезонам. По жизненным формам среди них преобладают *поверхностные и поверхностно-верхнеподстилочные формы*, в частности *ногохвостки родов оршеселла*, *энтомобрия*, *крупные пигментированные виды родов изотома*, *сминтуруида*, *крупные сильно склерозированные панцирные клещи родов эузетэс*, *карабодес*, *галумна* и др., приспособленные к передвижению по открытой поверхности.

В ферментативном слое наблюдается наибольшая численность членистоногих, обычны дождевые черви *родов лумбрикус*, *эзения*, *энхитреиды*, *нематоды*, *мелкие личинки насекомых*, *ногохвостки типа исотомы* замечательной, *панцирные клещи родов фтиракарус*, *хамобатэс*, приспособленные к жизни в подстилке и относящиеся к *типичным подстилочным и нижнеподстилочным формам*. В этом слое опад теряет 36-57% своей первоначальной массы.

В гумусовом слое численность членистоногих несколько снижается, среди них преобладают мелкие, слабо пигментированные, малоподвижные почвенные формы с короткими конечностями, в различной степени редуцированными органами зрения, в частности *ногохвостки родов мезафорура*, *онихиурус*, *панцирные клещи родов опти*, *суктобелла*, *эулохмания*

*и др., гамазовые клещи рода родакарус, обычные дождевые черви рода никодрилус.*

Учеты и изучение почвенных микроорганизмов и беспозвоночных животных-сапрофагов позволяют сравнительно точно индцировать состояние и динамику превращения в почвах органического вещества, накопление и содержание гумуса, особенности минерализации органических веществ. Значение этих обитателей почв как биоиндикаторов особенно возрастает для пахотных почв, где генетические горизонты плохо выражены, а подстилка практически отсутствует.

### 3.1. Влияние на почвенную фауну органических и минеральных удобрений

В качестве вносимых в почву органических удобрений используют *растительные остатки* (солому злаков, зеленую массу бобовых, ботву картофеля и т.д.), *навоз и компосты* (торфо-навозные, земляно-навозные, листовые).

Измельченную солому вносят в почву из расчета 20-100, чаще 50 ц/га. В 50 ц соломы содержится в среднем 20-35 кг азота, 5-12 кг  $P_2O_5$ , 60-90 кг  $K_2O$ , 10-15 кг  $CaO$ , 4-6 кг  $MgO$ , 5-6 кг S. Этого достаточно для получения урожая более 20 ц/га. Измельченную солому оставляют на поверхности поля, вносят в верхний слой почвы мульчированием, заделывают в почву дискованием, лущением или запахивают. Заделывать солому в почву предпочтительно сразу после уборки урожая или осенью. При этом солома ячменя и овса разлагается легче соломы пшеницы и ржи, яровых зерновых – быстрее озимых. В разложении соломы в почве принимают участие микроорганизмы (бактерии, грибы, простейшие) и многоклеточные животные. В процессе разложения соломы микроорганизмами в первую очередь разлагаются простые сахара, гемицеллюлоза, белки, развивается многочисленная группа *неспорообразующих бактерий* рода *псевдомонас*, *мукововые*, *пикнидиальные грибы*. Позднее в разложении соломы прини-

мают участие грибы рода *аспергиллус*, бактерии рода *бациллус*, разлагающие пектиновые вещества. Далее начинается разложение клетчатки целлюлозоразрушающими бактериями, грибами родов *пенициллиум*, *аспергиллус*, *триходерма*. Расщепление лигнина, на основе которого образуются гумусовые вещества, идет крайне медленно и осуществляется в основном грибами (Верниченко, Мишустин, 1980). Внесение соломы в почву стимулирует развитие микроорганизмов. Однако при разложении соломы, содержащегося в ней азота по отношению к углероду (углерод/азот около 60/70) недостаточно для нормального развития целлюлозоразрушающих бактерий, и они начинают усваивать минеральный азот почвы, что приводит к снижению его содержания. В этом заключается одно из отрицательных влияний соломы на почву в год ее внесения. При недостатке минерального азота в почве развитие бактерий угнетается, и разложение соломы приостанавливается. Развитие бактерий беспрепятственно протекает при отношении C/N в органическом веществе около 20/30. Другим депрессивным действием соломы на начальных этапах ее разложения в почве является образование различных веществ фенольной природы и этилена – токсичных для сельскохозяйственных культур. В первый год после внесения в почву соломы урожайность большинства сельскохозяйственных культур снижается и начинает повышаться лишь на 2-й и 3-й год. Зеленая масса бобовых, отличающаяся высоким содержанием белков, малым – лигнина, отношением C/N около 20/30 разлагается микроорганизмами значительно быстрее, чем солома злаков.

Хорошим показателем стадий разложения, гумификации и минерализации растительных остатков в почве являются многоклеточные животные, в частности *мелкие членистоногие*. Заселение остатков бобовых микроорганизмами начинается уже через 10, а соломы – через 15-20 дней после внесения. На первом этапе среди них преобладают *клещи*, сменяемые потом *ногохвостками* и *панцирными клещами*, принимающими участие в гу-

мусообразовании. При внесении растительных остатков в почву в конце августа максимум численности микроартропод в опытах с клевером наблюдается в конце апреля, картофельной ботвой – в конце апреля и в июле, соломой пшеницы – во второй половине августа следующего года, что наиболее полно отражает сезонную динамику разложения остатков растений в пахотной почве (Чернова, Прохорова и др., 1973). Это указывает на то, что при осеннем внесении в почву растительных остатков как органического удобрения остатки бобовых окажут положительное влияние на развитие яровых, а остатки соломы – лишь озимых культур следующего года. Влияние таких гумусообразователей, как дождевые черви, на скорость гумификации и минерализации внесенных в почву растительных остатков слабо изученно. В вегетационном опыте внесение соломы ячменя непосредственно перед посевом яровой пшеницы, несмотря на наличие дождевых червей, в год действия оказывает депрессивное влияние на ее развитие. Однако и в этом случае дождевые черви в значительной мере смягчали сравнительно экстремальные условия развития культуры, создаваемые свежеснесённой соломой. В вариантах с соломой и червями урожайность пшеницы снижалась на 2,3-39,5% по сравнению с контролем без червей и соломы. По совокупности показателей развития и урожайности яровой пшеницы в год действия оптимальным оказался вариант с внесением 5 червей на сосуд ( $175 \text{ экз/м}^2$ ) без соломы, где урожайность зерна увеличилась на 51,2%, а в первый год последствия – с внесением 5 червей ( $175 \text{ экз/м}^2$ ) и 40-60 г/сосуд (140-270 ц/га) соломы с увеличением урожайности зерна в 2,6 раза по сравнению с контролем и в 1,6-1,8 раза, по сравнению сгодом действия (Каплин, Сидорчук, 2001).

Для приготовления торфо-навозных компостов используют низинный торф и навоз в соотношении 1:1 или 1:2, которые укладывают в бурт послойно, при толщине слоев до 5 см. При изготовлении листовых компостов листву (чаще древесных растений) плотно утрамбовывают и поливают во-

дой. Компосты из земли и навоза готовят площадным способом. Для этого навоз в расчете до 600 т на 1 га смешивают с минеральными удобрениями и запахивают в почву на глубину до 15 см на площадке 0,5 га, затем через каждые 10-15 дней проводят культивацию почвы и периодически площадку поливают навозной жижей. Через 2 месяца компост считается готовым к употреблению. Его сгребают бульдозером в бурты. Навоз лучше вносить осенью под основную обработку почвы в перепревшем виде.

Беспозвоночные животные, в частности микроартроподы, являются одним из лучших индикаторов степени созревания компостов и навоза и оптимальных сроков их внесения в почву.

С этой целью в компостах и разлагающемся навозе проводят наблюдения за динамикой численности и состава беспозвоночных. Учет дождевых червей и других представителей мезофауны проводят общепринятым методом ручной разборки проб размером 25x25x10 см в 10-25кратной повторности в начале разложения компоста, дважды на средних этапах и ко времени созревания компоста (Чернова, 1966). Для учета энхитреид пробы в 1 дм<sup>3</sup> помещают в заполненные водой воронки диаметром около 10 см с резиновой трубкой и зажимом, где их выдерживают в течение 3-4 часов при нагревании сверху электрической лампочкой мощностью 60 ватт. Затем зажим постепенно открывают и сливают червей с водой в пробирку или чашку Петри. Аналогично учитывают и нематод, но пробы навоза или компоста выдерживают в воронке 1-2 суток без нагревания. Мелких членистоногих (клещей, ногохвосток) учитывают методом их автоматической выгонки в термоэлектрорах Тульгрена при нагревании сверху образцов размером 125 см<sup>3</sup> (5x5x5) в 5-20-кратной повторности электрической лампой мощностью 25 ватт в течение трех суток.

В процессе разложения свежего навоза и созревания компостов в почве и буртах постепенно сменяют друг друга «навозные», «компостные», и

«почвенные» группы беспозвоночных и в частности микроартопод (Чернова, 1966, 1977).

«Навозная» группа беспозвоночных отличается наибольшей лабильностью состава и численности и включает первичное население навозных буртов, заселяющее навоз и компосты: типичных обитателей поверхности и верхних слоев подстилки, имеющих длинные и хорошо развитые ноги и придатки головы и брюшка, сравнительно крупные размеры интенсивно пигментированного тела с хорошо развитыми органами зрения (ногохвостки), а также форезирующие виды (их разные жизненные формы).

В составе «компостной» группы преобладают менее подвижные типичные подстилочные формы микроартопод с высокой долей панцирных клещей. Доля форезирующих видов (из разных жизненных форм) снижается.

Состав «почвенной» группы в значительной мере сходен для всех видов органических субстратов с преобладанием непигментированных, мелких, малоподвижных с укороченными конечностями, редуцированными органами зрения типично почвенных микроартопод. В спелых компостах население беспозвоночных приближается по видовому составу и численности к группировке беспозвоночных почвы, богатой органическим веществом. Внесение такого компоста наиболее благоприятно, так как при этом не происходит нарушения состава и активности сложившегося в пахотной почве комплекса беспозвоночных – почвообразователей и повышается общая численность почвенных животных. Максимум развития в навозе, растительных остатках, компостах группировки беспозвоночных-сапробионотов, способных к обитанию в пахотной почве, приходится на период высокой активности остатков навоза и компостов как органического удобрения. Для обогащения почвы наиболее благоприятно внесение компостов и навоза на стадии, когда комплекс почвенных видов



уже сформировался, на еще не началось падение общей численности беспозвоночных (Чернова, 1966).

В Германии профессор Лессинг разработан метод скоростной естественной гумификации навоза. При этом бурты закладываются на специальных площадках со старым, заселенным беспозвоночными навозом и наращиваются послойно с перерывами в несколько дней, за которые животные из низлежащего слоя успевают освоить и частично переработать верхние слои. Новые порции навоза быстро заселяются уже сформировавшимся комплексом беспозвоночных животных.

Внесённый в почву навоз (40 т/га) с участием дождевых червей разлагается в 1,3-2,5 раза быстрее, чем без них (Валиахмедов, Тимиров, 1987).

Минеральные удобрения представляют собой продукты химической переработки минерального сырья. Они делятся на калийные, азотные, фосфорные, полные, простые и сложные. Минеральные удобрения благоприятно влияют на развитие микроартропод. В дерново-подзолистых почвах наибольшее увеличение численности ногохвосток наблюдается на участках с внесением азотных; панцирных клещей – фосфорных; гамазовых – калийных удобрений. При внесении азотных удобрений ( $N_{35}$ ) численность ногохвосток увеличилась в 4,4, панцирных клещей – в 14,0, гамазовых клещей – в 4,2; фосфорных ( $P_{50}$ ) – соответственно в 3,0, 19,0 и 7,5; калийных ( $K_{80}$ ) – в 4,0, 10,0 и 13,0; полных удобрений в указанных дозах – в 2,7, 6,7 и 12,0 раз по сравнению с контролем (Фирсова, 1983). Внесение полных минеральных удобрений в разных дозах:  $N_{60} P_{60} K_{60}$ ,  $N_{120} P_{120} K_{150}$  и  $N_{180} P_{180} K_{210}$  показало, что общая численность почвенных микроартропод достигала максимума при двойной дозе удобрений (Блинников, 1983).

Добавки к минеральным удобрениям лизина улучшают условия существования большинства групп микроартропод. При внесении в пахотные почвы смеси минеральных удобрений с концентратом лизина числен-

ность клещей и ногохвосток через три месяца возрастала в 1,5-2,5 раза по сравнению с действием только удобрений.

Влияние минеральных удобрений на почвенную мезофауну слабо изучено. Имеются данные об их отрицательном воздействии на дождевых червей.

### 3.2. Особенности комплексов беспозвоночных пахотных почв

Для комплексов беспозвоночных пахотных почв характерно обеднение их видового состава, набора жизненных форм, общей численности, уменьшение доли типичных насекомых – фитофагов - при сохранении видов, способных наряду с фитофагией и к сапрофагии по сравнению с естественными угодьями (Гиляров, 1965). По численности среди сапрофагов преобладают поверхностные формы и почвенные обитатели минеральных горизонтов почвы. Слабее представлены типичные подстилочные формы ферментативного слоя. Из специализированных почвенных вредителей выживают в основном виды с коротким циклом развития (не более одного года) и хорошо приспособленной к расселению имагинальной фазой. Численность ногохвосток на полях снижается до 16-20, составляя в естественных условиях до 40-100 тыс. экз/м<sup>2</sup>. Гораздо сильнее сказывается пахотный режим на панцирных клещах – их численность и видовое разнообразие резко падают. Виды орибатид, связанные с подстилкой, практически отсутствуют. К пахотному режиму хорошо приспособились лишь специализированные обитатели минеральных горизонтов почвы и скважники. Комплекс верхнеподстилочных форм представлен слабо. Поля с плоскорезной обработкой почвы отличаются более высоким видовым разнообразием и обилием почвенных микро- и мезоартропод по сравнению с отвальной вспашкой. На них чаще встречаются виды, характерные для естественных условий. Доля мезофилов выше при безотвальной, а ксерофилов – при отвальной вспашке. На участках бесплужной обработки почвы в 1,5 раза увеличивается численность дождевых червей. Динамическая плотность

напочвенных жужелиц при поверхностной обработке почвы на глубину 6-8 см в 1,5 раза выше, чем при вспашке на 20-22 см. При этом среди них в первом варианте преобладают поверхностно-подстилочные, а во втором - подстиленно-почвенные хищные формы. Отрицательным моментом поверхностной обработки почвы является увеличение ряда насекомых-вредителей (проволочников, гусениц подгрызающих совок и др.).

### 3.3. Влияние на почвенную фауну орошения

В условиях орошаемого земледелия происходят значительные изменения в почвенной фауне. Снижается доля ксерофильных видов беспозвоночных при возрастании участия более влаголюбивых мезофильных форм. Этот процесс становится хорошо заметным на орошаемых угодьях в течение 3-5 лет, а на примыкающих богарных участках – через 7-8 лет. Численность почвенных мезоартропод на орошаемых площадях увеличивается в 2-3 раза, а число видов, как правило, снижается в 2 раза, из них количество доминирующих видов снижается с 3-6 на неорошаемых участках до 1-2 на орошаемых. Численность почвенных микроартропод может увеличиваться при орошении в 5-6 раз. У многих насекомых при орошении наблюдаются: удлинение сроков развития, возрастание плодовитости, выживаемости, продолжительности жизни имаго, уменьшение количества потребляемой пищи. В условиях засоления появляются галофильные виды.

До начала обводнения в южных степях Украины в 1960 г. в комплексах почвенной мезофауны пахотных угодий преобладали ксерофильные личинки чёрнотелок (ложнопроволочники), на долю которых приходилось около 70% учтенных обитателей почвы, в то время как участие в комплексах педобионтов мезофильных проволочников не превышало 5%. При орошении доля проволочников увеличилась к 1975 г. до 82%, 1984 г. – 90%, а доля личинок чёрнотелок снизилась соответственно до 5 и 1%. Произошло значительное увеличение численности проволочников и на соседних богарных участках (до 60-67%) (Долин и др., 1987). В целом в поч-

венной мезофауне орошаемых земель стали преобладать виды, характерные для лесостепной зоны.

#### Глава 4. Беспозвоночные животные как индикаторы основных свойств почв.

Почва представляет собой сложную трехфазную полидисперсную систему. В почве и промежутках между твердыми частичками разных размеров и их агрегатами находятся полости, заполненные воздухом водой. Это определяет биологические особенности и значительное разнообразие обитающих в почве беспозвоночных, которые делятся на три основные группы: *физиологически водные животные, микрофауна и мезофауна* (Гилларов, 1965).

К почвенным физиологически водным беспозвоночным относятся преимущественно простейшие (голые и раковинные амёбы, жгутиконосцы, инфузории), а также такие многоклеточные беспозвоночные, как нематоды, коловратки и тихоходки. Размеры тела простейших составляют 50-150 мк, почвенных нематод, коловраток, тихоходок – чаще менее 1 мм. Они населяют крохотные водоемы, образующиеся в скоплениях почвенной влаги, активно передвигаются в каплях воды. Их развитие протекает преимущественно в благоприятный период за счет капиллярной и свободной воды. В сухих почвах в более сухое время года они, частично сохраняя активность, прилипают к почвенным частицам с помощью пленочной влаги, где и удерживаются силами поверхностного натяжения пленки воды. Питаются физиологически водные почвенные животные бактериями, водорослями, мхами, разлагающимися остатками растений и животных, растворенными в воде органическими веществами, имеются хищные формы.

К почвенной микрофауне относятся преимущественно мелкие членистоногие, или микроартроподы (клещи, ногохвостки, мелкие насекомые) с размером тела от 0,2-0,3 до 2-4 мм. Они не имеют роющих приспособлений и живут в полостях и ходах между частицами почвы, где передвигают-

ся по твердому субстрату. От соприкосновения с капельной влагой почвенные микроартроподы защищены несмачиваемыми покровами. В случае заполнения промежутков между твердыми частицами капельной влагой эти животные оказываются в пузырьке воздуха. Микроартроподы в почве трофически связаны преимущественно с разлагающимися растительными остатками и развивающейся на них микрофлорой.

В состав почвенной мезофауны включают сравнительно крупных членистоногих (дождевые черви, мокрицы, многоножки, личинки и имаго большинства насекомых) размером от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Для этих животных вся почва выступает как среда обитания, в котором многие из них, имея роющие приспособления, активно прокладывают ходы. Представители почвенной мезофауны отличаются большим разнообразием жизненных форм и режимов питания. Среди них обычны сапрофаги, фитофаги, хищники.

Сравнительно крупные почвенные беспозвоночные больше зависят от всей совокупности условий обитания в почве, чем микроартроподы или простейшие, и чаще используются как показатели ее основных свойств. Среди мезоартропод в этом отношении наибольший интерес представляют питающиеся в почве беспозвоночные, не связанные с отдельными видами растений, а реагирующие на условия обитания в целом. Микроартроподы обитают в почвах чаще в ходах и пустотах и обнаруживают связи с их порозностью. Являясь, как правило, сапрофагами, они отражают также особенности накопления и разложения в почве органических веществ. Физиологически водные беспозвоночные обнаруживают наиболее тесные индикаторные связи с физическим и химическим состоянием, химическим составом почвенной влаги, ее динамикой, формами и миграциями в почве растворённых неорганических и органических веществ, гидротермическими условиями и типом водного режима почв, динамикой их влажности и температуры.

#### 4.1. Порозность, плотность и механический состав почв

*Прозностью*, или *скважинностью*, почв называют объем пустот между элементарными частицами, структурными единицами и агрегатами, занятый воздухом или водой и выраженный в процентах от общего объема почвы. Порозность (P) определяют по формуле:  $P=(I - d/d_1) \times 100\%$ , где d – удельный вес;  $d_1$  – объемный вес почвы. Удельный вес почвы устанавливают путем деления веса образца почвы на объем вытесненной им воды при помещении в мерный стакан, а объемный вес почвы – посредством деления веса почвенного образца на его объем с ненарушенной структурой. Величина порозности почв зависит от их механического состава, структурности и микроагрегатности, содержания корней, органических веществ, живых организмов, обработки и мелиорации почвы. Порозность менее 30-40% считается агрономически неблагоприятной.

Выделяют два типа порозности: *капиллярную* и *некапиллярную*. Капиллярная порозность – это совокупность тончайших пор, обеспечивающих удержание в почве устойчивого запаса доступной для растений влаги. Высота (h) капиллярного поднятия почвенных растворов определяется силами поверхностного натяжения ( $h=0,3/D$  см, где D – диаметр пор, равный 0,3-0,7 диаметра частиц грунта). Практически диаметр капиллярных пор составляет менее 1 мм. Некапиллярная порозность – это ходы и полости крупного диаметра (более 1-3 мм), обеспечивающие водонепроницаемость, но не обладающие водоудерживающей способностью. Чем тяжелее почвы, тем выше их порозность и тем большую долю в ней составляет капиллярная порозность. В частности, общая порозность песчаных почв составляет 30-35%, супесчаных - 35-45, суглинистых – 40-47, глин – 45-55, пахотного слоя чернозема 55-60%, где на долю капиллярной порозности приходится соответственно 25-35, 45-55, 65-85, 90-97, 40-45 % общей порозности. От порозности зависит снабжение глубоких слоев почвы кислородом, их влажность.

Лучшими индикаторами порозности почв являются мелкие членистоногие, в частности почвенные клещи и ногохвостки. Средняя длина их тела составляет около 0,8 диаметра пор заселяемых ими почвенных горизонтов. При размерах тела микроартропод 0,2-4 мм необходимый для их жизни размер почвенных пор должен быть не менее 0,25-5 мм. Следовательно, мелкие членистоногие могут выступать индикаторами капиллярной и отчасти некапиллярной порозности. С этой целью проводят учеты почвенных клещей и ногохвосток широко распространенным способом их автоматической выгонки в термоэлектрорах Тульгрена. Пробы почвы объемом 100-200 см<sup>3</sup> по горизонтам в 3-5-краткой повторности помещают на сито с диаметром ячеек 1-3 мм. Сито помещают в аппарат несколько большего диаметра. Сверху аппарат закрывают крышкой с вмонтированным в нее электрическим патроном и лампочкой мощностью 25-40 ватт. Под нижнее горлышко аппарата подставляют сосуд с водопроводной водой. Лампочку с помощью провода и вилки подключают к электросети. Проба почвы в процессе нагревания лампочкой начинает подсыхать сверху, и микроартроподы передвигаются вниз. Проваливаясь сквозь ячейки сита, они попадают в сосуд с водой. Время экстракции образцов в аппарате в зависимости от влажности почвы длится от одних до трех суток. Содержимое сосуда с водой и членистоногими переливают в чашки Петри и просматривают под бинокулярным микроскопом. Выявленных животных подсчитывают и измеряют по жизненным формам, систематическим группам и видам. Затем устанавливают количественные соотношения животных разных жизненных форм и размерных групп, а также размеров почвенных пор, необходимых для их существования. Численность почвенных микроартропод положительно коррелирует с общей порозностью почв, при этом по мере увеличения глубины взятия почвенного образца индикационное значение микроартропод возрастает. В более глубокие и плотные слои с

меньшими размерами полостей проникают более мелкие виды ногохвосток и клещей.

По механическому составу почвы делятся на *рыхлопесчаные* (с содержанием физической глины менее 5 %), *песчаные* (5-10%), *супесчаные* (10-20%), *легкосуглинистые* (20-30%), *среднесуглинистые* (30-45%), *тяжелосуглинистые* (45-60%), *легкоглинистые* (60-75%), *среднеглинистые* (75-85%), *тяжелоглинистые* (физической глины более 85%). Хорошим индикатором плотности и механического состава почв являются роющие представители почвенной мезофауны. Личинки пластинчатоусых жуков, живущие в песчаных почвах, имеют на головной капсуле шипики, ямки, бороздки, облегчающие рытье, задний конец тела у них с множеством тонких щетинок. У личинок, живущих в плотных тяжелых почвах, головная капсула сравнительно гладкая, а опорные шипики сильнее развиты на брюшной стороне последнего сегмента. У живущих в почвах тяжелого механического состава личинок чернотелок наблюдается развитие опорных каудальных шипиков; личинки, живущие в песчаных почвах, отличаются волосистыми покровами. У обитателей песчаных почв, использующих естественную скважинность субстрата, тело длинное, часто с ложной сегментацией (личинки щелкунов рода кардиофорус, лжектырей). Легкие почвы лучше дренируются и прогреваются, в связи с этим по пескам и супесям на север проникают многие южные виды. В частности личинки ночного хруща на юге обитают на тяжелых почвах, а на севере – на песках. Однако мраморный и белый хрущи развиваются только на легких песчаных почвах. На песчаных почвах преобладают жужелицы, имеющие тело с металлическим отливом, на глинистых почвах – с матовыми покровами. В среднем легкие почвы беднее по числу видов, но имеют большую плотность населения, чем тяжелые.



## 4.2. Реакция и солевой режим почв

Степень засоленности почвы определяют по содержанию в ней водорастворимых солей, или плотного остатка (%). Этот показатель составляет в *слабозасоленных почвах* 0,3-1,0%, *среднезасоленных* – 1,1 -2,0, *сильнозасоленных* – 2,1-3,0, *солончаках* – более 3%. Реакция почвенного раствора зависит от концентрации ионов водорода, а также от состава солей. Соли сильных оснований (NaOH, KOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, Mg(OH)<sub>2</sub> и сольных кислот (HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) поддерживают в почвенных растворах нейтральную реакцию (pH – 6,3-7,0); соли сильных кислот и слабых оснований (Al(OH)<sub>3</sub>, FeOH) сообщают раствору кислую реакцию (pH – 2-4); соли сильных оснований и слабых кислот (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, гуминовые кислоты) вызывают щелочную реакцию среды (pH – 8,5-13).

Степень кислотности почвы обратно пропорциональна содержанию в ней кальция, а поэтому связь встречаемости и численности почвенных животных с величиной pH чаще бывает не прямой, а косвенной. В частности в лесной зоне дождевые черви встречаются в почве при значениях pH от 3 до 8 и их численность нарастает от кислых почв к щелочным. При pH, равном 3, она в среднем составляет 1,2; 4-6,2; 5-15,0; 6-25,0; 7-40,0; 8-55,0 экз/м<sup>2</sup>.

При этом среди доминирующих видов дендробэна прожорливая встречается при pH от 3 до 7, аллобофора темная – 3-8, дождевой червь гладкий – 5-8, эзения отвратительная или зловонная – 6-8, дождевой червь каштановый – 7-8. При pH, равном 3-4, содержание кальция в теле червей в 7-8 раз ниже, чем при pH, равном 7-8 (Атлавините, 1960).

Личинки шелкоунов полосатого и темного выбирают слабокислые почвы (pH – 4-5,5), а хруща мраморного – щелочные (pH - 7-8). Показателями высокой засоленности почв являются мелкие личинки жуков-пилоусов, коротконадкрыльные жуки рода бледиус, личинки некоторых скакунов, роющие на солончаках норки. Для гипсовых пустынных почв

характерны мокрицы рода полуторачашечная, солонцов степной зоны – личинки чернотелок рода белопус. К засоленным почвам приурочены ногохвостки анурида Туллберга равноразрезанная спереди Скотта. Солончаки явно избегают дождевые черви, панцирные клещи.

#### 4.3. Богатство почв кальцием

К кальцефильным почвенным и подстилочным животным относятся диплоподы, мокрицы, дождевые черви, моллюски. В переднем отделе пищеварительного тракта дождевых червей расположены известковые железы. Выделяя известь, черви придают высокую водопрочность своим копролитам, улучшая структуру почвы.

Среди двупарноногих многоножек (диплопод) наиболее кальцефильной группой являются кивсяки, многочисленные в богатых кальцием черноземах и серых лесных почвах лесостепной зоны. В их покровах содержится значительное количество извести. В почвах, бедных известью, кивсяки практически отсутствуют.

На мелах и известняках обычны имеющие сильно развитый, пропитанный СаО панцирь мокрицы рода армадиллидум, с низким содержанием извести – тонкопанцирные мокрицы рода лигидиум.

В местностях с высоким увлажнением и малым содержанием извести в почве (смешанные и хвойные леса с дерново-подзолистыми и подзолистыми почвами) доминируют моллюски с редуцированной раковиной (голые слизни). В сухих местностях с почвами, богатыми известью, преобладают раковинные моллюски – улитки. Однако они являются хорошими индикаторами богатства почв кальцием в естественных условиях, в агроценозах с обрабатываемыми почвами они практически исчезают.

Численность дождевых червей, мокриц, диплопод моллюсков резко повышается при известковании почв.

#### 4.4. Гидротермический режим почв

Почвенные обитатели – чуткие показатели среднегодового режима влажности, складывающегося в почве. По обитанию в почве с различным увлажнением они делятся на *гигрофилов*, *мезофилов*, *мезоксерофилов* и *ксерофилов*. У почвенных мезоартропод – гигрофилов и мезофилов – слабо выражены специальные морфологические приспособления к защите от высыхания. Для них характерны значительные вертикальные и горизонтальные миграции, обеспечивающие пребывание педобионтов в условиях повышенного увлажнения. Они быстро теряют влагу в сухом субстрате и погибают, имея тонкие, проницаемые покровы тела (Каплин, 1986). У мезоксерофилов и особенно ксерофилов наблюдается широкое развитие морфологических приспособлений, предотвращающих быструю потерю влаги и выражающихся в уменьшении проницаемости эпикутикулы, повышении концентрации гемолимфы, строении органов дыхания, снижающих испарение. У них сравнительно слабо выражены вертикальные миграции по почвенному профилю, они нормально развиваются и почти не теряют влагу в сухом субстрате, могут жить без пищи до 1 месяца и более. К типичным ксерофилам относятся личинки муравьиных львов, лжектырей, чернотелок, а мезофилам – личинки хрущей, жужелиц, стафилиниды.

В Европейской части России личинки майского жука отсутствуют на участках с высоким стоянием грунтовых вод.

В Восточной Сибири встречаемость в почве личинок хруща майского западного свидетельствует о том, что вечная мерзлота залегает не ближе 2,2 – 3,0 м от поверхности почвы и зимой в почве не происходит смыкания промерзающего слоя с вечной мерзлотой.

Мокрицы филосция обросшая – мокрица мальнекая – мокрица шероховатая – армадиллидум обыкновенный образуют индикационный ряд от показателей высокой влажности до сухого местообитания.

#### 4.5. Мощность почвенного профиля и особенности горизонтальной структуры почвенного покрова

Почвенные беспозвоночные обнаруживают тесные связи с вертикальным распределением в почве гумуса, корневых систем и составом доминирующих жизненных форм растений. Наиболее устойчивые и богатые комплексы обитателей почвы формируются под естественной древесно-кустарниковой растительностью. Менее устойчивы и разнообразны они под многолетними травами и особенно однолетниками.

Основная масса корней и беспозвоночных сосредоточена в гумусовом горизонте. Нижняя граница гумусового горизонта совпадает с границей ухода вглубь большинства беспозвоночных, особенно сапрофагов, а у фитофагов она чаще совпадает с границей распространения корней. Это особенно четко проявляется у сравнительно крупных почвенных беспозвоночных, обладающих роющими приспособлениями и питающихся органическими остатками, корнями. Хорошими индикаторами содержания и распределения в почве гумуса являются состав, численность и вертикальное распределение мелких почвенных членистоногих, в частности клещей и ногохвосток.

Среди сапрофагов в песчаных пустынях Азии показателем длительного накопления и разложения опада, находящегося в погребённом состоянии, являются щетинохвостки рода *пустынная*, относящиеся к жизненной форме почвенных животных и питающиеся заключенным в почве надземным опадом. В Каракумах *пустынная благовонная щетинохвостка* встречается в почве на глубине до 30-40 см при содержании засыпанного песком опада более  $0,5-1 \text{ кг/м}^3$ . В осенний период при запасах опада в почве  $1-4 \text{ кг/м}^3$  численность её составляет  $1-10 \text{ экз/м}^2$ ,  $4-10 \text{ кг/м}^3$  –  $10-100 \text{ экз/м}^2$ .

Почвообитающие беспозвоночные отчетливо реагируют также на горизонтальную структуру почв и являются лучшими индикаторами почвен-

ных разностей. В качестве индикаторных признаков используют различия комплексов педобионтов по численности, биомассе, составу доминирующих групп, соотношению трофических групп, их вертикальному распределению. По характеру горизонтального распределения почвенных микро- и мезоартропод можно судить о степени однородности почвенного покрова в различных экологических условиях. Большие различия выявлены в составе, вертикальном распределении и сезонной динамике численности почвенных беспозвоночных животных под кронами кустарников в песчаной пустыне и в межкроновых пространствах.

#### 4.6. Основные типы почв

Сравнение комплексов беспозвоночных животных различных зональных почвенных типов под зональными типами растительности показывает, что между характером почвенного профиля и составом населяющих почву беспозвоночных имеются хорошо выраженные корреляции. В настоящее время в целях индикации зональных типов почв используют главным образом таких физиологически водных беспозвоночных, как нематоды представителей микро- и мезофауны, энхитреид, занимающих промежуточное положение между последними двумя группами.

При этом нематод учитывают с помощью воронок Бермана с резиновой трубкой и зажимом Мора (Гиляров, 1975). В воронку, укрепленную в штативе и заполненную водой, на сите из мелкой сетки помещают пробу почвы или подстилке массой до 10 г так, чтобы образец полностью погрузился в воду. Нематоды проникают через ячейки сита и скапливаются в резиновой трубке выше зажима. Через сутки или двое зажим осторожно открывают и сливают в емкость нижнюю часть раствора с нематодами, которых просматривают и подсчитывают в чашках Петри с делениями под стереоскопическим микроскопом. Пробы почвы берут по горизонтам через 5 см до глубины 15-20 см в 5-кратной повторности. Энхитреид учитывают сходным образом, но над воронкой с пробкой включают электрическую

лампочку мощностью 60 ватт. Через 5-6 часов зажим постепенно открывают и сливают этих кольчатых червей с водой в чашку Петри, где их подсчитывают.

Учет микрофауны проводят с помощью термоэлектродов Тульгрена (Гиляров, 1975).

Наиболее универсальным и технически простым, хотя и трудоемким методом учета почвенной мезофауны остается метод раскопок почвенных проб по слоям через 5-10 см или генетическим горизонтам и разборкой их вручную на месте взятия. При наличии подстилки вначале просматривают ее. Раскопки проводят до глубины встречаемости животных (Гиляров, 1941). Оптимальный размер проб 40x40 или 50x50 см. При высокой численности животных размер проб можно уменьшить до 25x25 см. Минимальное количество проб за один учет 8-12.

В субарктическом и умеренном поясах Евразии с севера на юг в соответствии с закономерностями природной зональности происходит смена арктических почв тундровыми, затем подзолистыми, дерново-подзолистыми, бурыми и серыми лесными, черноземами, каштановыми, бурыми полупустынными, серо-бурыми и песчаными пустынными почвами (Афанасьева, Василенко и др., 1979).

*Арктические почвы* распространены на островах Северного Ледовитого океана (кроме о. Колгуев) и на узкой полосе вдоль азиатского побережья материка. На поверхности почвы преобладают мхи, лишайники, злаки, куртины ив или растительность отсутствует. Мощность мохово-лишайникового покрова 2-3 см, гумусового горизонта 4-10 см, который постепенно переходит в почвообразующую породу. Почва оттаивает не глубже 40 см. Основная часть почвенных животных концентрируется непосредственно под моховой дерниной. Их биомасса чаще всего не превышает 10 кг/га. По биомассе преобладают *дождевые черви: дендробаена*

*прожорливая, эзения северная; типулиды типулораковиннолобная, ногохвостки* (Чернов, 1975; Гиляров, Чернов, 1975).

*Тундровые глеевые почвы* распространены от Кольского полуострова до Берингова пролива, приурочены к зоне тундр и тянутся широкой полосой вдоль побережья Северного Ледовитого океана, ограничены на юге таежными лесами. Растительный покров представлен на севере мхами, лишайниками, осоко-злаковыми ассоциациями, южнее появляются кустарники, а затем в лесотундре – древесные породы. Почва оттаивает на глубину 50-150 см. Под подстилкой мощностью 3-5 см залегает грубогумусовый или перегнойный горизонт, сменяющийся иллювиальным горизонтом различной степени оглеенности. Биомасса почвенных животных возрастает до 90 кг/га. Среди них преобладают *энхитреиды, дождевые черви, нематоды, ногохвостки, личинки типулид*.

Для северной части таежной подзоны характерны *глеево-подзолистые, средне-подзолистые* и южной с преобладанием смешанных хвойно-лиственных лесов – *дерново-подзолистые* почвы. В подзолистых и глеево-подзолистых почвах под оторфованной лесной подстилкой из мхов, лесного опада и разнотравья залегают грубогумусовая прослойка  $A_0A_1$ , оподзоленный гумусовый горизонт  $A_1A_2$ , либо подзолистый горизонт  $A_2$ . В подзолистых почвах горизонт  $A_2$  белесый, светло-серый, а в глеево-подзолистых почвах он оглеен, имеет сизовато-светло-серый цвет. В дерново-подзолистых почвах под оторфованной подстилкой залегает гумусовый горизонт  $A_1$ , сменяющимся подзолистым горизонтом  $A_2$ . Биомасса почвенных животных в северной тайге составляет 100-150, южной – 160-300 кг/га. Среди них преобладают: *дождевые черви, энхитреиды, нематоды, панцирные клещи*. При сильном развитии мохового покрова высокой численности достигают *ногохвостки*.

*Серые лесные почвы* наиболее характерны для подзоны лиственных лесов. В Европейской части России это преимущественно дубовые леса с

примесью липы, клена остролистного, ясеня, вяза. В Западной Сибири дубравы сменяются берёзовыми лесами с примесью сосны. Лесная подстилка мощностью 2-5 см, гумусовый горизонт мощностью 10-55 см, серый или тёмно-серый; гумусово-эллювиальный горизонт  $A_1A_2$  мощностью до 15 см, серовато-белесый или серовато-буроватый; переходный горизонт  $A_2B$  буровато-серый, коричнево-серый или тёмно-серой окраски с ореховатой или крупнозернистой структурой; иллювиальный горизонт В темно-бурый или темно-коричневый.

Биомасса почвенных животных достигает максимальных значений в дубравах на серых лесных почвах (600-1500 кг/га). Среди них преобладают *дождевые черви* (64-90 %), *моллюски*, *панцирные клещи*, *нематоды*, *диплоподы*.

Южнее подзоны лиственных лесов расположены лесостепи с *черноземами оподзоленными, выщелоченными и типичными*, собственно степи с *черноземами обыкновенными и южными* и сухие степи с *темно-каштановыми, каштановыми, и светло-каштановыми* почвами. Под обширными участками лиственных лесов в лесостепи развиваются *серые лесные* почвы. На естественных участках растительности в лесостепи Европейской части России наблюдается чередование участков луговых степей, остепнённых лугов и дубрав с липой, ясенем, кленом, в Западной Сибири последние замещаются берёзовыми колками с примесью осины, ивы. Естественная растительность степной зоны представлена богато-разнотравно-типчаково-ковыльными, разнотравно-типчаково-ковыльными, типчаково-ковыльными, полынно-типчаково-ковыльными степями. Мощность гумусового горизонта в черноземных почвах колеблется от 40 до 120 см и более, его окраска от темно-черной до почти черной, структура зернистая. Мощность гумусового горизонта в каштановых почвах от 25 до 45 см, нижняя его часть имеет более яркую коричневую окраску, на глубине 100-120 см появляются скопления гипса и несколько глубже – легкорас-



творимые соли. Наибольшая мощность гумусового горизонта характерна для типичных черноземов. В оподзоленных и выщелоченных черноземах между гумусовым и иллювиальным карбонатным горизонтами лежит прослойка с практически отсутствием карбонатов, неврипающая под действием 5-10%-ного раствора соляной кислоты. В оподзоленных черноземах мощность неврипающей прослойки составляет 50-70 см, а в выщелоченных – 20-40 см. В типичных черноземах вскипание наблюдается непосредственно под гумусовым горизонтом, в обыкновенных черноземах – в нижней части гумусового горизонта на глубине 40-60 см, а в южных черноземах вскипание обнаруживается ближе к поверхности почвы на глубине 20-30 см.

В дубравах лесостепи живая биомасса почвенных животных составляет 500-800, лугостепных группировках – 160-350, степях – 100-200 кг/га. В дубравах по биомассе преобладают *дождевые черви* (80-90%), *энхитреиды*, *мокрицы*, *двупарноногие многоножки*, *панцирные клещи*, в луговой степи – *дождевые черви* (50-60%), *двупарноногие многоножки*, *личинки хрущей*, *ногохвостки* (Чернов, 1975, Гиляров, Чернов, 1975).

Бурые полупустынные почвы распространены главным образом в Казахстане, а также в Астраханской области, Калмыкии, Туве, Юго-Восточном Алтае; серо-бурые и песчаные пустынные – в Казахстане и Средней Азии; сероземные почвы – в предгорных эфемерово-лессовых пустынях и полупустынях Кавказа, Средней Азии, Казахстана. Для бурых полупустынных почв характерны полынные, типчаково-полынные, полынно-биюргуновые и биюргуново-кокпековые растительные ассоциации с эфемерами и эфемероидами. Типичные серо-бурые пустынные почвы свойственны глинистым пустыням с преобладанием полынно-солянковой растительности и эфемеров. Песчаные пустынные почвы занимают наибольшие площади в Каракумах, Кызылкумах, Муюнкумах. В бурых полу-

пустынных почвах верхний горизонт (корочка) – светло-серый, а в серо-бурых пустынных почвах – палево-серый.

Живая биомасса почвенных животных в полупустынях с бурыми почвами снижается до 20-30, а в южных песчаных пустынях – до 1-10 кг/га. В песчаных пустынях южной подзоны по биомассе среди них преобладают *личинки жуков чернотелок, хрущей, галлиц*, а в урочищах с несформированным почвенным покровом – также *тараканы и акаридиевые клещи* (Каплин, 1978). В период наибольшего развития на биомассу личинок чернотелок приходится до 60, хрущей – 40-50, а личинок галлиц – 20% общей массы почвенных животных. В серо-бурых пустынных почвах по биомассе также доминируют *личинки жуков-чернотелок, мокрицы рода полуторчашечных*.

В целом среди микроартропод в тундрах резко доминируют *ногохвостки*, в таежных лесах – *панцирные клещи*, а при очень сильном развитии мохового покрова – *ногохвостки*, в смешанных, широколиственных лесах и степях преобладают *панцирные клещи*, а в широколиственных лесах местами – также *тироглифойдные клещи*, а в степях – *симфилы*.

Важной индикаторной группой являются дождевые черви. В тундровых почвах они встречаются от западных тундр до Чукотского полуострова. Здесь наиболее распространены два питающихся на поверхности почв вида: поверхностно обитающий дендробэна прожорливая и почвенно-подстилочный ээния северная. При этом дендробэна прожорливая встречается в Европейском, а ээния северная – в Азиатском секторе. На контакте этих секторов в тундровых почвах встречаются оба указанных вида. Дождевые черви в тундре населяют преимущественно сухие дренированные лёгкие почвы. Численность дождевых червей в зональных почвах в тундре составляет около 10 экз/м<sup>2</sup> (Перель, 1979).

Видовой состав дождевых червей в таежных зональных местообитаниях, как и в тундре, беден, они имеют очень низкую численность. В евро-

пейской тайге фоновым видом остается дендробэна прожорливая, в сибирских таежных лесах – ээния северная. Численность дождевых червей в европейских ельниках-черничниках и брусничниках составляет 1,8-8,8, в дерново-подзолистых почвах южной тайги она увеличивается до 12-82 экз/м<sup>2</sup>. Из собственно почвенных видов обычен только октолазиум белый, способный переносить сильное переувлажнение грунтовыми водами.

В зональных местообитаниях в смешанных широколиственных лесах, протянувшихся от Северо-Германской низменности и южной части Скандинавского полуострова до Урала, дождевые черви представляют наиболее массовую группу среди почвообитающих беспозвоночных. В лесах на хорошо дренированных почвах доминируют по численности собственно-почвенные виды (никодрилус темный, никодрилус розовый, октолазиум белый). Среди дождевых червей, питающихся на поверхности почвы, отмечены подстилочные (дендродэна прожорливая), почвенно-подстилочные (дождевой червь красноватый), формы и норники дождевой червь земляной. С ухудшением дренажа и развитием глеевого процесса численность собственно почвенных видов снижается и начинают преобладать формы, питающиеся на поверхности, но из их числа выпадают норники, плохо переносящие полупроточное переувлажнение. Общая численность дождевых червей в лесных ассоциациях составляет от 12 до 375 экз/м<sup>2</sup>.

В широколиственных лесах с преобладанием дубрав на серых лесных почвах доминирует собственно-почвенный среднеярусный вид никодрилиус темный, заметно возрастает численность кальциефильного собственно почвенного верхнеярусного вида – октолазиума белого и неморального подстилочного вида – дождевого червя каштанового. В дубравах, липняках и осинниках лесостепной зоны преобладают почвенно-подстилочный вид ээния северная и собственно-почвенные виды никодрилиус розовый, октолазиум белый. Общая численность дождевых червей

в широколиственных лесах Тульской и Орловской областей составляет 189-346, в дубняках Чувашии – около 170, а в лесных формациях лесостепной зоны – 28-60, реже 102-266 экз/м<sup>2</sup>.

В луговых степях лесостепной зоны и разнотравно-типчаково-ковыльных степях Днепропетровской, Луганской и Полтавской областей в черноземных почвах доминирует один собственно почвенный вид – никодрикус розовый. Общая численность дождевых червей в луговых степях снижается до 12-80, а в разнотравно-типчаково-ковыльных степях – до 5-12 экз/м<sup>2</sup>. В разнотравно-типчаково-ковыльных и типчаково-ковыльных степях Заволжья, Казахстана, Западной Сибири, Бурятии дождевые черви не найдены.

От тундр до широколиственных лесов в животном населении зональных почв господствуют сапрофаги, на долю которых приходится от 80 до 99% общей зоомассы. В лесной зоне основу комплекса сапрофагов составляют дождевые черви, энхитреиды, нематоды. В тундрах к ним добавляются личинки типулид. В широколиственных лесах и лесостепи кроме дождевых червей и энхитреид существенную роль играют кивсяки, местами мокрицы. Типичные фитофаги среди почвенных беспозвоночных зональных лесных почв представлены в основном личинками щелкунов, долгоносиков, листоедов. К югу от лесостепи доля сапрофагов в животном населении заметно снижется, а фитофагов – возрастает. В лугово-степных группировках лесостепи доля сапрофагов составляет немногим более 50% зоомассы (Гиляров, Чернов, 1975).

Среди личинок щелкунов в разных природных зонах к обитанию на сельскохозяйственных землях приспособились личинки щелкунов рода агриотэс (Гиляров, 1965). В подзолистых почвах таёжной подзоны среди них преобладают личинки тёмного щелкуна, в дерново-подзолистых – полосатого и темного, в серых лесных почвах – полосатого и посевного, в чернозёмах юга лесостепной и степной зон – посевного и степного.

#### 4.7. Элементарные почвенные процессы

*Элементарный почвенный процесс* – один из доминирующих факторов почвообразования, определяющих основные свойства почвы. Элементарные почвенные процессы (ЭПП) служат «передаточным механизмом» от факторов почвообразования к свойствам почвы (Герасимов, Глазовская, 1960). Интенсивность протекания и смена современных ЭПП в сезонной и многолетней динамике биогеоценозов определяют серию состояний почвы как этапов ее текущего функционирования. Животные – самое небольшое по массе звено почвенной биоты – особенно чувствительны к изменениям среды, что позволяет использовать их в индикационных целях. Почвообитающие беспозвоночные чутко реагируют на все изменения почвенных процессов сдвигом численности отдельных групп или сменой видового состава животных. В большинстве случаев текущее состояние почвы определяет одновременное протекание нескольких ЭПП разной интенсивности, из которых часто доминирует один. Выявление индикационных связей животных не с типами почв, а с элементарными почвенными процессами, комбинации которых создают почвенные типы, позволяет характеризовать динамическое состояние почвы, особенности ее функционирования. С этой целью в различных природных регионах в условиях наилучшей выраженности основных ЭПП выявляют индикаторные группы видов обитателей почвы, сходно реагирующих на экологические параметры среды, определяющие те или иные ЭПП (Мордкович, 1985).

Выделяют следующие основные элементарные почвенные процессы:

Подзолообразовательный, бурозёмно-лесной, серозёмно-лесной, дерново-луговой и дерново-степной, оглеение, торфонакопление, осолонцевание, осолоднение, солончаковый, карбонатизация, оглинение и др.

*Дерново-луговой и дерново-степной* почвенные процессы протекают под покровом травянистой растительности, сельскохозяйственных растений в лесостепи и степи и способствуют образованию чернозёмов. Средне-

годовое количество осадков 250-600 мм. В лесостепи осадки и испаряемость в среднем уравниваются и условия увлажнения оптимальные, в степях создается некоторый дефицит влаги. Почвообразующие породы, как правило, содержат карбонаты и представлены лесами, лёссовидными суглинками, реже глинами. Ежегодно степная растительность дает 100-200 ц/га опада, при этом 40-60% опада составляют корни. С опадом в почву поступает в сухих степях 200-250, в луговых и разнотравно-злаковых 600-1400 кг/га азота и зольных элементов в год. Разложение опада происходит в оптимальных условиях увлажнения при нейтральной или слабощелочной реакции среды. При отсутствии выноса освобождающихся оснований. Периоды летнего иссушения и зимнего промерзания способствуют усложнению и закреплению образующихся гумусовых веществ, связанных преимущественно с кальцием. Накопление гумуса происходит за счет наземного растительного опада и особенно за счет разложения отмерших корней. Органическое вещество почвы распространяется на значительную глубину.

*Подзолообразование* протекает под хвойными лесами на песчаных, супесчаных, реже суглинистых почвообразующих породах в условиях преобладания количества осадков (150-600 мм) над их испарением. Основными условиями подзолообразования являются сравнительно ограниченное поступление в почву или быстрое разложение малозольных органических остатков, образование в процессе гумификации преимущественно агрессивных фульвокислот, бедность материнских пород основаниями, периодический или постоянный промывной режим и вынос из почвы продуктов почвообразования в условиях кислой бедной основаниями среды, резкое обеднение илистыми частицами и полуторными окислами верхних почвенных горизонтов с накоплением их в иллювиальном горизонте. С опадом хвойных в почву поступает 40-300 кг/га азота и зольных элементов.

*Сероземно-лесной* почвообразовательный процесс протекает в континентальных климатических условиях с примерно равным соотношением количества осадков (360-700 мм) и испаряемости под лиственными травяными лесами на лессах и суглинках. В широколиственных лесах с богатым травяным покровом на поверхность почвы ежегодно поступает 70-90 ц/га растительного опада, содержащего 120-190 кг/га азота и зольных элементов. Процессы разрушения почвенных минералов в серых лесных почвах существенно ослабляются.

*Торфонакопление* протекает в условиях верховых болот при избыточном увлажнении атмосферными осадками и застойными минерализованными грунтовыми водами в тундровой, таежно-лесной и лесостепной зонах под влаголюбивой растительностью с преобладанием сфагновых мхов. Разложение органических остатков протекает крайне медленно, в почти стерильной кислой среде, что приводит к образованию на поверхности минеральной части почвы торфяного горизонта, делящегося на несколько подгоризонтов в зависимости от степени разложения растительных остатков. Торфонакопление наблюдается также на низинных болотах в депрессиях рельефа, на пойменных террасах рек в условиях притока слабозастойных или проточных минерализованных грунтовых вод, слабокислой или нейтральной реакции среды; торф нижних горизонтов слаборазложившийся, светло-желтый или желто-бурый.

*Оглеение* – один из широкораспространенных почвообразовательных процессов, развивающихся в тундрах, таежно-лесной зоне, лесостепи, болотных почвах в условиях близкого залегания или выхода грунтовых вод с застойным или почти анаэробным режимом. Имеет место продолжительный процесс восстановления, сопровождающийся образованием сероводорода, аммиака, метана. Соединения алюминия, железа, марганца, кремнезема поступают из грунтовых вод в виде окислов и восстанавливаются.

Это приводит к образованию глеевого горизонта голубоватых, зеленоватых, сизых тонов с ржавыми пятнами.

Грунтовые воды имеют большое значение в формировании таких гидроморфных почв аридных районов, как *солонцы*, *солоди*, *солончаки*. Солоди наиболее тяготеют к лесостепным и северостепным ландшафтам, солонцы – к степным и полупустынным, солончаки – к пустынным.

Типичные гидроморфные *солонцы* распространены среди массивов черноземных и каштановых почв в лесостепи и степи. В разной степени минерализованные грунтовые воды залегают на глубине 100-300 см солонцы образуются в течение 50-60 лет под воздействием грунтовых вод, содержащих катионы натрия, чаще в составе карбоната натрия. В результате ежегодного весеннего поднятия грунтовых вод происходит вытеснение катионами натрия из почвенного поглощающего комплекса катионов кальция с образованием малорастворимого карбоната кальция. Катионы натрия при этом разрушают гумусово-глинистые агрегаты и переводят их в состояние тонких взвесей. С фильтрующимися водами они выносятся из верхней части профиля и, достигнув горизонта расположения солей, коагулируют. Образуется плотный, обогащенный тонкодисперсными частицами солонцовый горизонт. Во влажном состоянии он набухает и становится водонепроницаемым. Реакция почвенных растворов солонцов – щелочная. Для гидроморфных солонцов характерна лугово-солонцовая растительность. Солонцы могут развиваться также в полугидроморфных и автоморфных условиях. Автоморфные солонцы распространены в полупустыне, степи и лесостепи на засоленных породах суглинистого и глинистого состава с грунтовыми водами, залегающими на глубине 5-7 м и практически не принимающими участие в формировании почв. Автоморфные солонцы развиваются под угнетенной степной растительностью с присутствием или преобладанием полукустарничков (полыни, прутняка, камфорос-



мы). Такие солонцы могут формироваться также в результате расслоения солончаков при понижении уровня грунтовых вод.

*Солоди* распространены преимущественно в лесостепной и степной зонах среди массивов чернозёмов и тёмно-серых лесных почв. Встречаются они также в сухих степях и полупустынях среди каштановых и бурых почв. Наиболее характерны солоди для западно-сибирской лесостепи, где они приурочены к понижениям с березой, осиной, ивой, влаголюбивой растительностью. Характеризуются промывным или периодически промывным типом водного режима. В солодах имеет место еще более резкое распределение по профилю тонкодисперсных частиц, чем в солонцах. Солоди, как и солонцы, образуются под действием содовых растворов. Из верхней части профиля солодей удалены все тонкодисперсные частицы и водорастворимые компоненты. Хорошо выражен выщелочный (осолодевший) горизонт белесой окраски с высоким содержанием кремнезёма.

*Солончаки* – это засоленные почвы, содержащие в верхнем горизонте более 3% водорастворимых солей. Солончаки образуются в условиях близкого залегания сильноминерализованных грунтовых вод (0,5-3,0 м), выпотного водного режима. Содержащие соли воды поднимаются по капиллярам вверх и испаряются. Соли выпадают в осадок, образуя выцветы, корочки, пухлые горизонты. Предельная глубина (Н) залегания минерализованных грунтовых вод, при которой возможно засоление поверхностных почвенных горизонтов и образование солончаков, называется критической. В среднем она зависит от среднегодовой температуры воздуха (t),  $H=170+8t+15\text{см}$ .

При выявлении индикационных связей почвенных беспозвоночных с элементарными почвенными процессами наибольшее распространение получил катенный подход. Суть этого подхода сводится к выделению на местности модельных геоморфологических профилей, проходящих от самого высокого места территории к низкому. Катена служит «прибором», на ко-

тором выявляются и сравниваются экологические характеристики почв и беспозвоночных животных, а также сопряжённость между ними. Экологические условия, разновидности, подтипы и типы почв на катене закономерно меняются от водораздела к понижению. На ней по формам и источникам поступления воды и веществ четко выделяются несколько стандартных элементов или позиций: по меньшей мере один элювиальный на водоразделе, несколько транзитных на склонах и один аккумулятивный в понижении. После выделения катены на ней проводят описания рельефа, растительности, почв, учитывают почвенных и напочвенных беспозвоночных в установленных позициях. Подобные исследования проводят на нескольких катенах в соседних регионах, провинциях или природных подзонах. Зональные и катенные элементы природной среды располагаются в виде топо-экологической матрицы, где представлены варианты условий среды, наиболее часто встречающиеся в исследуемой зоне. Каждой из ячеек матрицы соответствует определенный подтип почвы. Затем в ячейках матрицы указывается средняя численность доминирующих и обычных видов почвенных беспозвоночных в соответствии с подтипами почв их местообитаний на катенах. Для удобства максимальная численность вида в одной из ячеек с наиболее предпочитаемыми условиями принимается за 100%, а его численность в других ячейках выражается в процентах от максимальной. Так определяется экологический оптимум вида и пределы отклонения от него. На следующем этапе проводят классификацию выявленных обитателей почвы по стереотипам распределения численности их популяций на катенах в разных подзонах с помощью условных буквенно-цифровых формул, где цифрой обозначается подзона, а буквой – предпочитаемая позиция катены. Так, по данным исследований, на катенах в степях Западной Сибири и Казахстана чернотелка характеризуется как типичный степной ксерофил – индикатор дерново-степного почвенного процесса (*степного дернета*). Виды со сходными стереотипами распределения чис-

ленности объединяют в топо-экоплеяды (Мордкович, 1985). Топо-экоплеяды почвенных беспозвоночных наиболее тесно связаны с элементарными почвенными процессами (ЭПП) и могут быть использованы как индикаторы. Наличие той или иной экоплеяды соответствует проявлению определенного ЭПП, ее биоразнообразие – распространению ЭПП. Численность особей топо-экоплеяды положительно коррелирует с интенсивностью процесса.

Сообщество животных любой почвы в большинстве случаев состоит из нескольких топо-экоплеяд и по их сочетанию можно судить о комбинациях ЭПП, свойственных почвенному типу, об устойчивости этих комбинаций в течении сезона или от года к году. Для каждого подтипа или разновидности почв того или иного региона характерны вполне определённые спектры топо-экоплеяд почвенных беспозвоночных, определяемые их набором в процентном соотношении по числу видов и их общей численности. С помощью спектров топо-экоплеяд можно надёжно индцировать вклад различных ЭПП в почвообразование, формирование того или иного подтипа в конкретных условиях. В Западной Сибири и Казахстане близки между собой по качественному и количественному критериям спектра топо-экоплеяд обыкновенный и южный чернозёмы. Доминантные позиции в составе их населения занимает экоплеяда степных дернетов, диагностирующих дерново-степной ЭПП.

Обыкновенный чернозём отличается от южного значительным участием луговых дернетов (30%). По спектру топо-экоплеяд выщелочный чернозём отличается от обыкновенного и южного чернозёмов. В выщелочном чернозёме на долю луговых дернетов приходится 80%, солодентов – 18% общего количества учтенных беспозвоночных. В тёмно-каштановых почвах Центральной Азии (Тува, Алтай) 85-95% населения беспозвоночных составляют карбоненты, 5-15% - степные дернеты. В европейских темно-каштановых почвах (Аскания-Нова на Украине) степные дернеты и

карбоненты составляют примерно по 40%, луговые дернеты – до 13%, солонды – около 15% населения почв. Число видов степных дернетов возрастает от 4 в Центральной Азии до 12 в Казахстане и 16 в Европе.

С помощью топо-экоплед можно диагностировать также сезонные состояния и антропогенные изменения почвы. Преобладание в обыкновенном черноземе в течение всего лета степных дернетов указывает на устойчивость дерново-степных ЭПП. Появление в составе топо-экоплед солонцов в начале лета свидетельствует о появлении в обыкновенном черноземе процесса осолонцевания.

#### 4.8. Условия под лесопосадками

Почвенные беспозвоночные имеют большое индикационное значение при оценке изменений, происходящих в почве посадок лесных массивов и лесополос на водоразделах в степной и лесостепной зонах. Очевидно, что лесопосадки будут тем жизнеспособнее, чем ближе станут их почвенно-экологические условия к таковым в естественных лесных ассоциациях. С этой целью проводят сравнительные учёты состава, численности и распределения почвенной мезофауны в лесопосадках и на прилежащих участках естественной степной и лесной растительности. Полученные данные сравнивают между собой. Чем больше под пологом лесопосадок сохраняется степных видов, чем выше их численность и участие в почвенном населении под лесопосадками, тем меньше изменяются под ними гидротермические условия по сравнению с безлесными участками, тем менее благоприятны условия для лесоразведения (Гиляров, 1965).

Напротив, чем больше в почве под посадками видов, которые развиваются в почве под естественными лесами, чем выше их численность и участие в комплексах обитателей почвы, тем более изменились в благоприятном для лесопосадок направлении почвенные условия, тем устойчивее и жизнеспособнее будут лесонасаждения.

## Часть II БИОИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ (НАРУШЕННЫХ, НЕЕСТЕСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ)

### Глава 5. Основные вещества, загрязняющие окружающую среду, их источники и особенности биоиндикации

#### 5.1. Источники загрязняющих веществ, их состав и пути распространения

Основными путями загрязнений экосистем являются воздушные выбросы загрязняющих веществ и их сброс в водоемы со сточными водами. С потоками воздуха и воды они распространяются на значительные территории. Из воздуха загрязнители оседают на поверхности почвы, растений, затем проходят по пастбищным (почва – растение – фитофаг – хищник и т.д.) и детритным (отмершее растительное вещество – сапрофаг – хищник) трофическим цепям. Таким образом загрязнители перераспределяются, накапливаются и превращаются.

Загрязняющие вещества оказывают также непосредственное влияние на живые организмы в процессе дыхания, употребления загрязненной воды и зараженной пищи, воздействия через кожные покровы и оболочки, действия радиоактивного излучения и т.д.

Основными источниками загрязняющих веществ являются промышленность (энергетическая, цветной и черной металлургии, нефтедобывающая, нефтеперерабатывающая, машиностроение, газовая, строительных материалов, угольная, химическая и нефтехимическая, деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная, пищевая, оборонная, легкая), транспорт (железнодорожный, воздушный, автомобильный, трубопроводный, водный), жилищно-коммунальное и сельское хозяйство (Шеховцев, Жильцов, Чиясов, 1997).

В России наибольшее количество загрязняющих веществ в атмосферу выбрасывает автотранспорт (33,4%), энергетическая промышленность (15,3%), цветная (11,2%) и черная металлургия (8,3%). Максимальные объ-

емы загрязняющих сточных вод сбрасывают в водоемы жилищно-коммунальные хозяйства (51,1%), целлюлозно-бумажная (7,4%), химическая и нефтехимическая (6,2%), энергетическая (4,5%) промышленность (табл. 6).

Среди выбросов веществ в атмосферу промышленностью преобладают жидкие и газообразные вещества (82,4%), в частности: окислы серы (34,0%), углерода (23,2%), азота (9,5%), аммиак, серная кислота, углеводороды, бензин, сажа. В России от стационарных источников в атмосферу ежегодно выбрасывается около 6 млн т. диоксида серы и 2 млн т. диоксида азота. В сбрасываемых промышленностью сточных водах больше всего водорастворимых солей, включая соли тяжелых металлов, хлоридов, сульфатов. Выбросы предприятий транспорта по составу сходны с промышленными. В выхлопных газах автотранспорта выявлено около 200 веществ, среди которых преобладает оксид углерода, в выбросах жилищно-коммунального хозяйства – водорастворимые соли, сажа, а в сельском хозяйстве – минеральные соли, сульфаты, хлориды. В развитых странах действует законодательство, по защите воздушного бассейна. В результате значительно уменьшилась общая загрязненность воздуха, однако выбросы, источником которых является автомобильный транспорт возрастают до 63% от выбрасываемых в атмосферу углеводородов. В присутствии ультрафиолетовых лучей солнечного света окислы азота и углеводороды выхлопных газов реагируют между собой с образованием более ядовитых веществ, известных как *фотохимический смич*, в частности *пероксиацетилнитрата* (PAN) и *озона* (O<sub>3</sub>). Оба указанных вещества вызывают слезотделение и затруднение дыхания у человека, крайне ядовиты для растений. Озон усиливает дыхание листьев, в процессе которого расходуются запасные питательные вещества и оно гибнет. Пероксиацетилнитрат блокирует реакцию Хилла в фотосинтезе, что приводит к снижению образования питательных и также гибели растений (Дуггер и др., 1966).

Таблица 6. Объемы выброса загрязняющих веществ в атмосферу (тыс. тонн) и сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты (млн.м<sup>3</sup>) в Российской Федерации в 1995 году.

| Источники выброса                          | Выбросы в атмосферу |      | Сброс в водоемы    |      |
|--|---------------------|------|--------------------|------|
|  | тыс. т              | %    | млн.м <sup>3</sup> | %    |
| Российская Федерация                       | 32 832,6            | 100  | 24 477,6           | 100  |
| Промышленность                             | 18 140,4            | 55,2 | 8574,6             | 35,0 |
| Энергетическая                             | 5017,7              | 15,3 | 1090,5             | 4,5  |
| Цветная металлургия                        | 3693,2              | 11,2 | 529,0              | 2,2  |
| Черная металлургия                         | 2735,3              | 8,3  | 757,7              | 3,1  |
| Нефтедобывающая                            | 1409,1              | 4,3  | 31,1               | 0,1  |
| Нефтеперерабатывающая                      | 908,6               | 2,8  | 317,4              | 1,3  |
| Машиностроение                             | 725,6               | 2,2  | 782,1              | 3,2  |
| Газовая                                    | 707,7               | 2,2  | 4,5                | 0,1  |
| Строительных материалов                    | 674,2               | 2,1  | 129,5              | 0,5  |
| Угольная                                   | 626,5               | 1,9  | 740,2              | 3,0  |
| Химическая и нефтехимическая               | 525,0               | 1,6  | 1525,4             | 6,2  |
| Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная | 522,2               | 1,6  | 1799,3             | 7,4  |
| Пищевая                                    | 300,3               | 0,9  | 171,7              | 0,7  |
| Оборонная                                  | 138,8               | 0,4  | 178,4              | 0,7  |
| Легкая                                     | 74,2                | 0,2  | 170,8              | 0,7  |
| Прочая                                     | 82,0                | 0,2  | 347,0              | 1,4  |
| Передвижной транспорт                      | 11 563,0            | 35,3 | 91,7               | 0,4  |
| Автотранспорт                              | 10 055,0            | 33,4 |                    |      |
| Воздушный транспорт                        | 287,0               | 0,9  |                    |      |
| Водный транспорт                           | 321,0               | 1,0  |                    |      |
| Предприятия транспорта                     | 2038,9              | 6,2  | 124,9              | 0,5  |
| Жилищно-коммунальное хозяйство             | 440,0               | 1,3  | 12503,7            | 51,1 |
| Сельское хозяйство                         | 650,3               | 2,0  | 3172,7             | 13,0 |

Вторым по мощности источником антропогенных органических загрязнителей служит промышленное производство. Базовым продуктом основного органического синтеза является *этилен*. На его основе вырабатывается почти половина всех органических веществ. В результате действия этилена на некоторые клеточные структуры происходят снижение интенсивности обменных процессов, замедление роста, опадение листвы, переход растений в состояние покоя.

В индустриально развитых странах на долю потерь используемых в промышленности растворителей приходится 20-25% от общей эмиссии углеводородов. Среди них преобладают летучие галогеноуглеводороды. Окисление реакционноспособных органических соединений приводит к образованию озона – сильнейшего фитотоксиканта и мутагена. Его концентрация увеличивается за счет взаимодействия техногенных оксидов азота с фитогенными непредельными углеводородами.

## 5.2. Газообразные неорганические соединения и кислоты

Многие газообразные неорганические вещества в соединении с содержащимися в атмосфере парами воды образуют кислоты, способствующие выпадению кислотных дождей. Кислотные дожди – это атмосферные осадки, рН которых ниже чем 5,5. Закисление осадков происходит чаще всего вследствие попадания в атмосферу оксидов серы и азота. Источники сернистого газа (двуокиси серы) – дымовые газы котлов тепловых электростанций и выхлопы двигателей внутреннего сгорания. При высоких температурах в этих устройствах азот воздуха частично окисляется, образуя смесь моно- и диоксида азота (Зайков, Маслов, Рубайло, 1991).

У растений диоксид серы нарушает процессы фотосинтеза, дыхания и транспорта органических веществ. Замедляется их рост, повреждаются листья, снижается продуктивность. Токсичной для таких растений является концентрация диоксида серы – 20 мкг/м<sup>3</sup> воздуха. Серная кислота образуется при соединении серного ангидрида с атмосферной водой, поврежда-



ет в первую очередь зеленые ткани таких растений. Это приводит к ухудшению физиологического состояния древесных растений, их усыханию.

Во второй половине XX в. явление постепенного усыхания лесов, главным образом под влиянием кислотных дождей, превратилось в глобальную экологическую проблему (Фрей, 1987). В Северной Европе от них сильно пострадали примерно 50% деревьев, прежде всего хвойных пород. Вокруг промышленных центров наблюдаются повреждение и усыхание вершин, а затем и целых деревьев. Легкие хронические повреждения деревьев происходят при среднегодовой концентрации сернистого газа в воздухе 10-30, средние – 20-40, сильные – более 70 мкг/м<sup>3</sup>. При весеннем таянии снега серная кислота вызывает кислотный шок у корней растений. Корни частично усыхают, начало вегетации растений запаздывает на несколько недель, деревья поражаются болезнями и вредителями. Под действием кислотных дождей и снегов за 1955-1985 гг сильно понизился водородный показатель тысяч озер Европы и Северной Америки, что привело к резкому обеднению фауны, гибели водных организмов. При понижении pH почвенных растворов увеличивается подвижность токсичных металлов, усиливаются процессы эрозии почв.

Диоксид азота в 1,5-5 раз менее токсичен, чем диоксид серы. Древесные растения поглощают из воздуха и нейтрализуют в органах ассимиляции значительное количество окислов азота и аммиака. У неустойчивых растений под влиянием окислов азота уменьшается содержание белков и пигментов, нарушаются процессы роста и развития, анатомо-морфологическая структура листьев, фотосинтетический аппарат, происходят периферическое повреждение листьев, скручивание их вовнутрь, некроз и отмирание листовых пластинок. При концентрации в воздухе окислов азота более 80 мкг/м<sup>3</sup> наблюдается задержка роста и развития овощных культур, снижается их урожайность.

На расстоянии 0,5 км от предприятия по производству минеральных удобрений средней мощности содержание в атмосферных осадках аммиака в 5 раз, окислов азота – в 5-10 раз, хлора – в 10 и более раз, сернистого ангидрида – в 3-20 раз выше, чем на расстоянии 3-10 км от него. В результате в зоне 0,5 км полностью исчезают хвойные породы, лишайники, редкие эпифитные мхи, деревья имеют вытянутые побеги, буйное развитие получают нитрофилы (крапива, недотрога, иван-чай), видовое разнообразие растений низкое. В зоне 0,5-2 км от предприятия сухостой лиственных пород составляет около 20 %, хвойных – 100%. На листьях кустарников наблюдаются некрозы, лишайников нет, эпифитные мхи единичны, нет буйного развития нитрофилов. На расстоянии 2-5 км сухостоя хвойных до 70%, среди живых деревьев до 50% древостоя имеет сухие вершины. Появляются лишайники, травы не имеют поражений. В зоне 5-10 км от предприятия участки с нормально развитым древостоем составляют более 60%. На расстоянии более 10 км от предприятия состояние лесов хорошее.

В зоне до 3 км растворимые соединения азота и серы мигрируют по почвенному профилю с осадками и достигают уровня грунтовых вод (Гришина, Конорева и др., 1987).

Загрязнение почвы сернистым ангидридом вызывает значительные изменения в структуре почвенной фауны. Первыми на загрязнение реагируют микроорганизмы. Уменьшается количество бактерий, использующих органический азот, а также актиномицетов, увеличивается количество спорообразующих бактерий. По мере приближения к сернокислородному заводу численность большинства групп почвенных беспозвоночных уменьшается в 1,5-2 раза, снижается относительное обилие животных в подстилке, обедняется видовой состав сапрофагов, происходит смена доминирующих и содоминирующих видов.

Среди зерновых злаковых культур к загрязнению атмосферы наиболее устойчивы рожь, затем ячмень, озимая пшеница и яровая пшеница.

Крестоцветные культуры более устойчивы, чем бобовые. Дикорастущие растения обладают лучшей выживаемостью в условиях загрязненного воздуха, чем культурные.

В результате деятельности тепловых электростанций, автотранспорта, лесных пожаров и др. В атмосфере в течение последних 100 лет на 20% увеличилась концентрация углекислого газа. Это привело к повышению температуры внутренних слоев атмосферы за счет поглощения углекислым газом инфракрасной части теплового излучения поверхности Земли, нагреваемой Солнцем, и способствовало потеплению климата и некоторому подъему уровня Мирового океана из-за таяния арктических и антарктических льдов.

В последние два десятилетия отмечено также существенное понижение концентрации озона в озоновом слое атмосферы на высоте 25 + 5 км. Озоновый слой, как известно поглощает опасное для живых организмов ультрафиолетовое излучение с длиной волны менее 300 нм. Широкое распространение получила фреоновая теория разрушения озонового слоя. Фреоны (хлорфторуглероды) широко используются в качестве хладагентов, вспенивателей пластмасс, газов-носителей в аэрозольных баллончиках, средств пожаротушения и т.п. выполнив свою рабочую функцию, большая часть фреонов попадает в верхнюю часть атмосферы, где под действием света разрушается с образованием свободных атомов хлора по реакции:  $\text{CF}_2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{CF}_2 + 2\text{Cl}\cdot$ . Далее атомы хлора интенсивно взаимодействуют с озоном по реакции:  $\text{O}_3 + \text{Cl}\cdot \rightarrow \text{ClO} + \text{O}_2$ . При этом один атом хлора может разрушить не менее 10 тыс. молекул озона. В приземных условиях озон как очень сильный окислитель ядовит. Его предельно допустимое содержание в воздухе составляет  $10^{-5}\%$  (Лисичкин, 1998).

### 5.3. Тяжелые металлы

К тяжёлым металлам относятся металлы, плотность которых выше  $5 \text{ г/см}^3$ . По содержанию в животных и растениях они входят преимущест-

венно в группу микроэлементов ( $10^{-3} - 10^{-5}\%$ ). В повышенных концентрациях они обладают высокой токсичностью, выступают в качестве мутагенных и канцерогенных факторов.

Наряду с долгоживущими радионуклидами, тысячами органических веществ преимущественно синтетического происхождения, тяжелые металлы входят в состав основных экотоксикантов земли.

За счет антропогенных загрязнений концентрация кадмия в окружающей среде превышает почти в 9 раз, меди – в 3, никеля – в 2, свинца – более чем в 18, цинка – в 7 раз их содержание в естественных условиях. Только от металлургических предприятий на поверхность Земли ежегодно поступает не менее 154,6 тыс.тон меди, цинка – 121,5, свинца – 89,0, никеля – 12,0, кобальта – 0,8, молибдена – 1,5, ртути – 0,03 тыс.тон. в следствии сжигания угля и нефти ежегодно выпадает ртути – 1,6, свинца – 36,0, меди – 2,1, цинка – 0,7, никеля – 3,7 тыс.тон. С выхлопными газами автотранспорт на поверхность Земли ежегодно выбрасывает свинца – 260,0 тыс. тонн. В настоящее время более чем в 100 городах России, где проживают свыше 70 млн человек, ПДК токсичных тяжёлых металлов превышена в 5 раз. В живых организмах тяжёлые металлы в избыточном количестве вызывают нарушения биохимических процессов обмена веществ, подавляя или активируя деятельность многих ферментов. Тяжёлые металлы представляют наибольшую угрозу для первых стадий развития сельскохозяйственных растений (проростков, всходов). Под их действием ухудшается рост корней побегов, происходит некроз листьев. Не рекомендуется выращивать сельскохозяйственные культуры на расстоянии менее 5-7 км от источников выбросов тяжёлых металлов как в открытом, так и в закрытом грунте. В зоне выбросов предприятий цветной металлургии почва становится токсичной для выращивания растений уже через 4 года. Тяжёлые металлы, поступающие на поверхность почвы, накапливаются в почвенной толще, особенно в верхних гумусовых горизонтах, и медленно удаляются

при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии и дефляции. Первый период полуудаления (удаление половины от начальной концентрации) тяжелых металлов значительно варьирует для различных элементов и составляет для цинка – 70-310, меди – 310-1500, кадмия – 13-110, свинца – 740-5900 лет. Среди тяжелых металлов 13 (Be, Al, Cr, As, Se, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg, Te, Pb) токсичны во всех своих водно-, щелоче-, кислорастворимых соединениях. Среди них группу неорганических экотоксинов возглавляет *кадмий, свинец и ртуть* (Пурмаль, 1998).

Объем современного производства свинца составляет более 2,5 млн т в год. В результате производственной деятельности в природные воды ежегодно попадает 500–600 тыс. тон свинца, а через атмосферу на поверхность земли его оседает около 450 тыс.тон. В воздух основная часть свинца (260 тыс.тон) выбрасывается с выхлопными газами автотранспорта, меньше (30 тыс.тон) – при сжигании каменного угля. Ежегодный прирост содержания свинца в воздухе – 5%, а удвоение его количества в воздухе происходит за 14 лет. Величина ПДК свинца в воздухе – 3 мкг/м<sup>3</sup>, в почве – 2-3 мг/кг, в воде – 0,03 мг/л. Среднее содержание свинца в большинстве растений – 2-3 мг/кг. С растительной пищей свинец попадает в организм животных и человека. Содержание свинца в воздухе в значительной мере зависит от использования бензина с добавлением тетраэтилсвинца. В настоящее время в России только 25% бензина производится без добавления тетраэтилсвинца. У позвоночных животных свыше 90% всосавшегося свинца фиксируется в костях, а также во внутренних органах. При неполноценном питании поступление свинца в кровь увеличивается. Содержание свинца в хлорированной водопроводной воде больше, чем в нехлорированной.

В воздух кадмий, как и свинец, поступает при сжигании угля, нефтепродуктов, природного газа на теплоэлектростанциях, с газовыми выбросами предприятий, производящих или использующих кадмий, с внесением

в почву минеральных удобрений и навоза. Попадая с неочищенными стоками промышленных предприятий в природные водоемы, растворенный кадмий осаждается и накапливается в донных отложениях. Кадмий наряду со свинцом и ртутью не является жизненно необходимым металлом. Будучи как бы аналогом цинка, кадмий способен замещать цинк в цинкосодержащих ферментах с потерей их ферментативных свойств. У человека всасывание в кровь водно-пищевого кадмия находится на уровне 5%, а воздушного – до 80 %. Длительное воздействие аэрозоля оксида кадмия, поступающего в альвеолы с табачным дымом, способствует развитию рака легких. Табак – растение, в наибольшей степени аккумулирующее соли кадмия из почвы – до 2 мг/кг, при предельно-допустимом содержании кадмия в основных продуктах питания - 0,01-0,1 мг/кг. Больше всего кадмия накапливается в почках и печени, что приводит к развитию почечной недостаточности.

Высокой токсичностью обладают пары ртути и ее соединения. Сама жидкая ртуть не обладает выраженными токсическими свойствами. ПДК ртути в воздухе –  $3 \cdot 10^{-5}$  мг/м<sup>3</sup>, воде –  $5 \cdot 10^{-5}$  мг/л. Примерно половина выбросов ртути в окружающую среду природного происхождения (из-за дегазации земной коры). При поступлении в легкие ртуть задерживается почти полностью, в организм человека поступает в наибольшей мере с рыбпродуктами, накапливается преимущественно в печени и почках.

*Алюминий* – наиболее распространенный металл, на его долю приходится 8,8% массы земной коры. Его содержание в живом веществе в естественных условиях составляет в среднем  $5 \cdot 10^{-3}$ %. Однако в живых организмах алюминий не выполняет какой-либо физиологической функции, отличается крайне низкой биофильностью (0,0006), относится к слабовыраженным инертным элементам. У человека алюминий сравнительно легко выводится из организма, его накопление и проявление токсичности наблюдаются при нарушении функции почек. В водоемах под влиянием ки-

слотных дождей, растворяющих природные малорастворимые алюмосиликатные породы, повышается концентрация катионов алюминия, что приводит к гибели рыб, земноводных, моллюсков. У человека соединения алюминия вызывают развитие хрупкости костей, анемии, нарушение речи и ориентации. Среди пищевых продуктов наиболее высокая концентрация алюминия отмечена в чае (20 мг/г).

Концентрация тяжёлых металлов в растениях в значительной мере зависит от их содержания в почве, а в теле животных – от их количества в пище. Имеют значение также видовые особенности растений и животных. Животные поглощают только подвижные формы элементов, поэтому концентрация загрязнителя в животных будет отражать фактическую загрязненность экосистемы, а не потенциальную, которую получают при определении концентрации загрязнителя в почве или растениях.

Хорошим индикатором загрязнений окружающей среды тяжёлыми металлами является их содержание в организме позвоночных животных, особенно млекопитающих, а также почвенных беспозвоночных. При выборе видов позвоночных в качестве биоиндикаторов необходимо руководствоваться следующими критериями (Степанов, Попов и др., 1987):

1. Выбранные виды должны принадлежать к разным звеньям трофодинамической цепи. Степень концентрации тяжёлых металлов и многих других токсикантов постепенно увеличивается от биокостной среды (почвы) к автотрофам (зелёным растениям) и далее к гетеротрофам, достигая максимума в организмах крупных хищников. Следовательно, для биоиндикации необходимо отобрать представителей растительноядных (зерноядных), насекомоядных, хищных позвоночных.

2. У избранных видов должны отсутствовать большие миграции, так как накопление токсичных веществ в организме прямо пропорционально уровню загрязнения окружающей среды.

3. Для сравнимости данных по различным районам лучше брать для анализа особи одних и тех же видов с широкими ареалами.

4. Виды должны обладать сравнительно высокой эврипотентностью, т. е. встречаться в различных местообитаниях.

5. Желательно использовать виды, живущие в естественных сообществах и не связанные с человеком.

6. Виды должны быть сравнительно многочисленными, легко добываемыми.

В водоемах этим требованиям удовлетворяет следующая цепь: *вода, донный грунт – водные растения – водные беспозвоночные – плотва – судак*. Судак – повсеместно одна из самых загрязненных рыб. Лучшим индикатором из земноводных является *зеленая жаба*, из пресмыкающихся – *прыткая ящерица*, т.к. они питаются наземными беспозвоночными. Птицы – наиболее подвижные позвоночные, многие из них улетают на зимовку. В связи с этим они мало пригодны для целей мониторинга загрязнения среды обитания. Более перспективны в этом отношении оседлые виды.

Среди млекопитающих в Европейской части России названным критериям больше всего удовлетворяют: *обыкновенная бурозубка, европейский крот, рыжая и красная полевки*. Тяжёлые металлы у них больше всего накапливаются в легких, печени, почках, костях, шкуре. Отобранные в лаборатории для анализа органы и ткани нужно сразу высушить в сушильном шкафу при 105<sup>0</sup>С и хранить в стеклянных бюксах, пергаментных или крафтовых пакетах.

Для целей биоиндикации большой интерес представляет почвенная фауна, составляющая 90-99% биомассы и 95% всех видов животных, входящих в наземный биоценоз. Повсеместно наиболее чувствительной группой к воздействию загрязнений оказались *дождевые черви*. Они достаточно точно отражают концентрацию металлов в почве и накапливают метал-



лы в 3-5 раз больше, чем их содержится в почве. Дождевые черви в значительной степени концентрируют магний, железо, медь, свинец, марганец, цинк. Обычно в лесостепи *двупарноногие многоножки*, в частности *кивсики*, также являются сапрофитами и отличаются повышенными концентрациями в тканях магния, марганца, меди, цинка, свинца (Покаржевский, 1985).

Одним из распространенных методов биоиндикации загрязнения окружающей среды тяжёлыми металлами и другими токсикантами является выбор участков для исследований на различных расстояниях от источника загрязнений в зависимости от его мощности и путей распространения загрязнителей. При этом учитывается направление преобладающих ветров, течения водных потоков и т.д. Для сравнительно мощных промышленных предприятий такие участки выбираются на расстоянии 0-0,5, 0,5-1,0, 1,0-5,0, 5-10, 10-20, 20-50 км от источника загрязнений. Для контроля исследования проводят на незагрязненной территории со сходными экологическими условиями.

Учеты мелких млекопитающих и почвенной мезофауны проводят на следующих расстояниях от автомагистралей 5-7, 20-25, 70-250, 700-1500 м (Королева, 1985). Придорожные (5-7 м) участки по сравнению с контрольными характеризуются более высокой численностью и большим разнообразием видов мелких млекопитающих. При этом в их микропопуляциях происходит увеличение доли самцов при снижении массы и размеров тела животных, что является результатом повышенных концентраций кадмия, цинка, никеля. Активно накапливают тяжёлые металлы обыкновенная бурозубка и рыжая полевка. Наиболее высокое содержание свинца, цинка, никеля отмечается в костях; кадмия и меди – в печени обыкновенной бурозубки; свинца – в печени, меди – в шкуре рыжей полевки.

У шоссе с интенсивным движением транспорта общая численность почвенной фауны снижается в 5 раз, у шоссе со слабой интенсивностью

движения – в 1,5 раза. Наиболее сильно падает численность дождевых червей, пауков, кивсяков, жуужелиц, стафилинид. Вблизи автомобильных дорог возрастает численность фитофагов и снижается обилие хищников и сапрофагов.

Для индикации среднего и высокого уровней загрязнения тяжёлыми металлами чаще используют микроорганизмы (бактерии, грибы, водоросли, простейшие). В частности, при концентрации меди 300-400, а никеля 600-700 мг/кг в почве начинает снижаться численность азотфиксирующих, нитрифицирующих, аммонифицирующих бактерий. Затем уменьшается количество целлюлозоразрушающих бактерий. При концентрации меди 400-1200, а никеля 600-700 мг/кг в почве происходит смена доминатов, снижается количество неспорообразующих сапрофитных бактерий.

#### 5.4. Радионуклиды

Высокой токсичностью для живых организмов обладают радионуклиды, особенно долго живущие в связи с их радиоактивными свойствами, обусловленными ионизирующим излучением. Кроме радиоактивных веществ, источником ионизирующего излучения является космос. Живые организмы подвергаются воздействию космического излучения, естественной радиоактивности и радиоактивного загрязнения. Первые две составляющие радиационного фона сопутствовали экосистемам на протяжении всех этапов эволюции, а последняя – лишь в течение последних 60 лет. Для радионуклидов характерны три вида радиоактивного излучения:  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$

$\alpha$  - *излучение* – это поток положительно заряженных атомов гелия. Они движутся сравнительно медленно, не проникают внутрь организма, будучи остановленными, они вызывают сильную локальную ионизацию.  $\beta$  - *излучение* – это поток быстро движущихся электронов. Свою энергию они отдают на протяжении более длительного следа.  $\gamma$  - *излучение* представляет собой электромагнитное излучение, обладающее очень большой проникающей способностью. Его лучи не имеют электрического заряда, легко

проникают в вещество, вызывая разрушение ДНК, генные мутации, хромосомные перестройки. Космическое излучение на большей части территории России составляет 28-30 мРад/год с максимальными величинами в горах. Естественная радиоактивность определяется содержанием естественных радионуклидов в почвах. За год суммарное количество естественных продуктов их деления эквивалентно количеству продуктов деления от взрыва одной атомной бомбы небольшой мощности. Естественная радиоактивность атмосферы определяется содержанием радона, а гидросферы – содержанием урана, радия, радона. Радиоактивное загрязнение биосферы связано с антропогенным воздействием, к основным источникам которого относятся: производство и испытание ядерного оружия, радиоактивные отходы атомных электростанций (АЭС) и ядерных научно-исследовательских учреждений, сжигание угля. Серьезную опасность представляют аварийные выбросы радиоактивных материалов. Крупнейшие аварийные выбросы радиоактивных материалов произошли в 1957 г. на Южном Урале (Челябинская область, г. Кыштыма) и в апреле 1986 года в г. Чернобыле (г. Припять). Общая загрязненная площадь в результате Чернобыльской аварии составила в первые дни около 200 тыс.км<sup>2</sup>. Радиоактивные осадки достигли Западной Европы, Кольского полуострова, Кавказа. При густом растительном покрове трава сорбирует около 80% выпавших радионуклидов, при редком – 40%, остальная часть радионуклидов попадает в почву. Миграция значительной части выпавших радионуклидов происходит с водой по гидрологической сети. По радиэкологической значимости наибольший вклад в радиационную нагрузку вносят следующие элементы: <sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C, <sup>137</sup>Cs, <sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>226</sup>Ra, <sup>222</sup>Rn, <sup>210</sup>P, <sup>239</sup>Pu, <sup>90</sup>Sr (Клюев, 1993).

Практика обезвреживания радиоактивных отходов заключается в их разбавлении, рассеянии и длительном хранении путем остекловывания, цементирования, а также захоронения в слабопроницаемые участки лито-

сферы. Отходы, разбавленные и рассеянные человеком, накапливаются в элементах биосферы, передаются по пищевым цепям и в конечных звеньях цепей достигают величин, намного превышающих установленные нормы. Радиоактивные выбросы и отходы становятся безопасными для окружающей среды в течение промежутка времени, равного 20 периодам полураспада входящих в их состав радиоактивных элементов, основу которых составляют  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ . Период полураспада стронция – 90 равен 28,5 лет, цезия – 137 – 30,2. Для их естественной дезактивации потребуется соответственно 570 и 604 года, что сопоставимо с продолжительностью исторических эпох. Техногенный пресс за счет  $^{90}\text{Sr}$  на порядок, а  $^{137}\text{Cs}$  в тысячу раз и более превышает пресс их естественного содержания. Зона максимальной аккумуляции этих радионуклидов за счет их глобальных выпадений сформировалась в северном полушарии между 20 и 60° с. ш. с наибольшей активностью в лесных заболоченных ландшафтах.

Среди растений наиболее высокой радиационной устойчивостью обладают *водоросли, лишайники, мхи*. Их жизнедеятельность наблюдается при уровнях радиации 10-100 кр. Среди семенных растений наиболее радиочувствительны *хвойные породы*. Уровень радиации, вызывающий гибель половины растений (ЛД<sub>50</sub>), составляет для хвойных пород деревьев 380-1200 р, а для лиственных – 2000-10 000 р. Травы примерно в 10 раз устойчивее деревьев. Сравнительно высокие показатели радиостойкости характерны для *почвенных простейших, бактерий* (ЛД<sub>50/30</sub> – доза, после получения которой половина организмов гибнет за 30 дней) составляет у них 100-500 кр. Радиостойкость многоклеточных животных в среднем тем ниже, чем выше уровень их организации. В частности, ЛД<sub>50/30</sub> составляет у *круглых червей* 10-400, *кольчатых червей* – 50-160, *наукообразных* – 8-150, *ракообразных (мокрицы)* – 8-100, *многоножек* – 15-180, *имаго насекомых* – 80-200, *личинок младших возрастов и куколок насекомых* – 2-25, *млекопитающих* 0,2-1,3, *человека* – 0,5 кр (Криволуцкий, 1983). У всех ор-

ганизмов особенно чувствительны к воздействию излучений клетки, находящиеся в состоянии быстрого роста и размножения. Повышенные уровни излучения легче переносят партеногенетические формы и гермафродиты, чем обоеполые. Среди культурных растений *люпин, эспарцет, люцерна, клевер* испытывают радиостимуляцию при малых и более высоких дозах. *Пшеница, ячмень, просо, лён, горох* проявляют радиостимуляцию – при малых и угнетение развития при более высоких концентрациях радионуклидов в почве.

Через 2,5 месяца после аварии в Чернобыле в 3 км от АЭС почвенная мезофауна в верхнем 3-сантиметровом слое почвы в сосняках на песчаных почвах была представлена лишь небольшим количеством личинок двукрылых. В результате аварийного выброса радиоактивных элементов она была практически уничтожена. Численность панцирных клещей снизилась в 30-40 раз, ногохвосток в – 9-10 раз. В пахотных почвах влияние радиации было менее губительным, здесь численность почвенных насекомых снизилась в 2 раза. Через 2,5 года после аварии общая численность почвенной мезофауны практически полностью восстановилась. Наиболее уязвимыми для радиации оказались яйца и ранние стадии постэмбрионального развития беспозвоночных. Наибольшую роль в перераспределении радиоактивных элементов по почвенному профилю играли дождевые черви.

В полевых экспериментах при внесении в черноземную почву плутония-239 через три года численность дождевых червей и личинок насекомых сократилась в 2 раза, клещей – в 5-6 раз, ногохвосток – в 7-8 раз, количество видов панцирных клещей уменьшилось почти вдвое. Восстановление численности и видового разнообразия почвенной фауны произошло лишь через 18 лет (Биоиндикаторы, 1991).

В целях биоиндикации радиоактивного загрязнения почв наиболее удобны малоподвижные почвенные обитатели с длительным периодом развития (дождевые черви, многоножки, личинки жуков).

Большое значение в индикации даже сравнительно невысоких уровней загрязнения почв радионуклидами имеет исследование изменений характерных морфологических признаков у видов почвенных членистоногих. Подобные нарушения чаще обусловлены генными мутациями, вызванными радиоактивным облучением. В незагрязненных частях ареала у этих видов такие признаки меняются незначительно. К наиболее заметным отклонениям в загрязненных условиях относятся изменения в распределении щетинок на теле ногохвосток, бессяжковых, двуххвосток, щетинохвосток, многоножек.

Хорошим индикатором загрязнений водоемов радионуклидами являются моллюски озерно-прудовые и рачки-дафнии, которые могут быть рекомендованы в качестве тест-объектов этого вида загрязнений. (Минеева, 1991). Реакция моллюсков на повышенное содержание радионуклидов в водоеме выразилась в изменении окраски тела и раковины, морфометрических показателей, угнетении генеративного и пластического обменов, нарушении реакции эмбрионов на климатические условия сезона. У дафний в загрязненных водоемах наблюдались гибель части особей в популяции, увеличение плодовитости и размеров тела.

В водных экосистемах надежным биоиндикатором радиационной обстановки являются также водные растения. В частности, *элодея канадская или водяная чума*, хорошо развивающаяся в пресных и солоноватых водах, интенсивно накапливает радионуклиды  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ , которые не выявляются при стандартном радиационном контроле вод. Этот вид можно широко использовать в отстойниках для очистки сточных вод от радионуклидов (Минеева, 1991).

В наземных экосистемах к хорошим индикаторам, накапливающим радионуклиды, в частности  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , относятся сфагновые мхи, хвоя сосны и ели, крапива двудомная, мать-и-мачеха, полынь обыкновенная, клевер розовый, клевер ползучий, тимофеевка луговая, подмаренник, мышьи-

ный горошек, звездчатка жёстколистная, ландыш майский, гравилат речной, ежа сборная, пырей гребенчатый и др. По мере накопления радионуклидов этими растениями содержание марганца в их золе снижается в 3-10 раз.

#### 5.5. Полиароматические углеводороды и диоксины

Среди органических веществ наиболее опасными из множества токсичных соединений, образующихся при сжигании ископаемых топлив, мусора, медицинских отходов, производства химической, нефтехимической, металлургической и целлюлозно-бумажной промышленности являются *полиароматические углеводороды (ПАУ)* и – особенно – *диоксины*. ПАУ объединяют десятки веществ, для которых характерно наличие в химической структуре трех и более конденсированных бензольных колец. Группа диоксинов объединяет сотни веществ, каждое из которых содержит специфическую гетероциклическую структуру с атомами хлора в качестве заместителей.

ПАУ образуются в процессах сгорания нефтепродуктов, угля, дерева, мусора, пищи, табака. Чем ниже температура в устройстве для сжигания, тем больше образуется ПАУ. Среди них наибольшей канцерогенной токсичностью обладают *бен(а)пирен, холантрен, перилен, дибенз(а)пирен* (Пурмаль, 1998). Вместе с другими продуктами сгорания ПАУ поступают в воздух. При комнатной температуре все ПАУ – твердые кристаллические вещества. Температуры их плавления близки к 200<sup>0</sup>С. При охлаждении горячих газов ПАУ конденсируются вблизи источников выбросов, но их большая часть уносится на дальние расстояния в виде аэрозолей. Хорошим адсорбентом для ПАУ являются сажевые частицы. В США при сгорании угля в воздух выбрасывается около 600 т бенз(а)пирена в год. Присутствуют ПАУ и в питьевой воде (допустимый предел содержания ПАУ в воде – 200 нг/л).

Высокой токсичностью обладают около 30 хлорзамещенных диоксинов. Среди них *полихлорбифенилы* – целевой продукт химической промышленности. Они используются в виде добавки к трансформаторным маслам как гидравлическая жидкость, теплоноситель, жидкость для мощных конденсаторов. Объем их производства – сотни тысяч тонн в год. Половина суммарного выброса диоксинов приходится на мусоросжигательные заводы и сжигатели медицинских отходов. Для образования диоксинов необходимы повышенная температура, наличие органических, особенно ароматических веществ и хлора. Заметную добавку к выбросам диоксинов в атмосферу приносят лесные пожары, работающие на угле теплоэлектростанции.

В России основным источником диоксинов являются предприятия химической промышленности и целлюлозно-бумажные комбинаты, на которых применяют хлорную отбелку целлюлозы. Сточные воды целлюлозно-бумажных комбинатов содержат высокотоксичные *полихлордифензофураны*.

Диоксины обладают политоксичностью. Для них не существует норм ПДК. Длительное воздействие диоксинов в ничтожных концентрациях приводит к росту онкологических заболеваний, гибели плода в матке, рождению детей с физическими и психическими уродствами, к снижению и потере иммунитета, утрате фертильной мужской спермы. Основное количество диоксинов попадает в организм с пищей. Больше всего диоксинов в жирных сортах рыбы и мяса, масле, сырах. Допустимая суточная доза поступления диоксинов в организм не более  $10^{-11}$  г/кг в день, их содержание в воде не должно превышать  $2 \cdot 10^{-11}$  г/л. Диоксины выводятся из организма крайне медленно. Это связано с тем, что их подавляющая часть концентрируется в жировых тканях организма. Период полувыведения диоксинов составляет от одного года до 10 лет.

## 5.6. Нефть и нефтепродукты



Значительный вклад в загрязнение окружающей среды углеводородами вносит нефте- и газодобывающая промышленность. В России в настоящее время 27 нефте- и 17 газодобывающих регионов, где добывается около 350 млн т нефти, включая газовый конденсат, и около 600 млрд м<sup>3</sup> природного газа.

Около 66% общероссийского объема нефтедобычи и 92% газодобычи приходится на долю Тюменской области. Загрязнения происходят в результате утечки и разливов нефти и газа из трубопроводов, на нефтепромыслах, закачивания в скважины высокоминерализованных растворов для увеличения нефтеотдачи, засоления почв пластовыми водами, сжигания нефти и нефтепродуктов. Общая протяженность нефтепродуктопроводов в России составляет 62 тыс.км, магистральных газопроводов – 149 тыс.км. Только по Тверской области общей площадью 84,1 тыс.км<sup>2</sup> проходит более 1100 км протяженных нефте- и газопроводов, где ежегодно отмечаются прорывы и загрязнения почвы нефтью и газом. Наиболее важные магистрали: нефтепроводы Сургут – Новополюцк и Нижний Новгород – Кириши, газопроводы Ухта – Торжок – Минск («Сияние Севера») и Серпухов – Санкт-Петербург (с ответвлением на Псков).

Особенно опасны разливы нефти при ее добыче в шельфовой части морей, а также при авариях на нефтеналивных судах.

Нефтепродукты оказывают наибольшее отрицательное влияние на почву, загрязняя её основными органическими компонентами нефти: *органическим углеродом, азотом, битумозными веществами, полициклическими ароматическими углеводородами*, в частности 3,4-бенз(a)пиреном, 1,2-бенз(a)периленом, обладающим канцерогенными и мутагенными свойствами. При концентрации битумозных веществ в пахотном горизонте 4-5% происходит практически полная гибель посевов зерновых культур. При их концентрации 2,0% численность растений уменьшается в два раза, а высота растений в 3-4 раза по сравнению с контролем. Хозяйственное освоение

нефтезагрязненных почв без применения рекультивации земель возможно лишь через 15-20 летнего срока. К свежим нефтяным загрязнениям относятся разливы нефти с момента аварии до 3-4 лет, к старым – разливы давностью 4-5 лет с момента разлива. Для свежих разливов характерно присутствие в загрязненных почвах парафиновых углеводородов с температурой кипения до 300<sup>0</sup>С. На участке свежего нефтяного загрязнения токсичность почвы превышает контрольную в 5, а старого – в 50-100 раз.

Хорошим индикатором загрязнения почв нефтью являются *сравнительно крупные почвенные беспозвоночные, микроорганизмы, грибы микромицеты, водоросли.*

Следовые количества нефти в подстилке (до 1%) не влияют на педобионтов. В интервале концентраций нефти от 1 до 12-14% происходят лишь количественные изменения в численности и биомассе мезофауны. С дальнейшим ростом интенсивности загрязнения почвы нефтью обедняется видовой состав, погибают наименее устойчивые элементы фауны (*моллюски, равнокрылые хоботные, гусеницы бабочек*). Трофическая структура населения беспозвоночных является наиболее консервативной характеристикой и претерпевает изменения, начиная с концентрации нефти 20-25%; наиболее устойчивы хищные педобионты, из которых складываются сообщества мезофауны на последних стадиях деградации.

Восстановление сообществ почвенной мезофауны начинается по мере снижения концентраций в почве и токсичности остаточного нефтепродукта. На начальных стадиях восстановления комплексы почвенных беспозвоночных слагаются преимущественно из хищников (*науки, жуужелицы*). Заселение территории разлива начинается с краев. На втором этапе – по мере накопления на поверхности пятна растительных остатков – пятно заселяют сапрофаги. На третьем этапе – по мере освоения пятна растениями – появляются фитофаги. Трофическая структура сообщества восстанавливается. В дальнейшем увеличиваются численность, биомасса, видовое

разнообразии сообществ. Быстрее всего восстанавливают численность *многоножки*, затем *насекомые*, *паукообразные*, далее *кольчатые черви*, *моллюски* (Соромотин, 1991, Никифорова, Солнцева и др. 1987, Восстановление, 1988).

В лесостепи при среднем и высоком уровнях загрязнения нефтью (24 и 48 л/м<sup>2</sup>) *дождевые черви* отсутствуют. При невысоком уровне загрязнения (6 л/м<sup>2</sup>) их численность восстанавливается не ранее чем через 3-4 года. Внесение дождевых червей в почву с 3-5% загрязнением нефтью без рыхления на третьи сутки приводит к полной гибели червей. Для дождевых червей наиболее токсичны легкие фракции нефти. При 10% загрязнении почвы нефтью с рыхлением гибнет 50% червей. Наиболее устойчив к загрязнению нефтью вид *эзения отвратительная*. Среди хищных членистоногих высокую устойчивость к нефтяному загрязнению проявляют *губоногие многоножки*.

Низкие уровни нефтяного загрязнения практически не оказывают отрицательного воздействия на почвенные микроорганизмы. Средние уровни приводят к перераспределению степени доминирования в составе активно функционирующих в почве микроорганизмов. Очень высокому уровню загрязнения соответствует практически полное подавление активности микроорганизмов в почве. При 6-10% загрязнении почвы нефтью увеличивается численность бактерий, использующих нефть как источник пищи, подавляется развитие *азотобактера*.

Засоление почв нефтепромысловыми водами подавляет развитие *почвенных бактерий*, *грибов*, *актиномицетов*, приводит к резким изменениям в комплексах почвенных животных. Отрицательный эффект свежего засоления проявляется в верхней, старого – в нижней части пахотного слоя. Наиболее быстро заселяют засоленные участки *личинки двукрылых и щелкунов*.

Наиболее эффективным методом рекультивации земель при свежем нефтяном загрязнении (до 12 месяцев после разлива) является внесение минеральных удобрений на фоне известкования и рыхления (Оборин, Качников и др., 1987).

Поскольку нефтяное загрязнение снижает количество подвижного фосфора, экономически выгодно внесение смеси минеральных удобрений с его повышенным содержанием. Внесение минеральных удобрений и известкование увеличивают количество углеводородокисляющих бактерий при нефтяной нагрузке 24 л/м<sup>2</sup> в 950-1000 раз. Максимальное увеличение численности бактерий-гетеротрофов наблюдается также при внесении полных минеральных удобрений с туфом. Так как при нефтяном загрязнении наблюдается снижение в почве поглощённого кальция и магния, то наиболее эффективно внесение в почву извести и туфа.

Рыхление ускоряет физико-механическую и микробиологическую деструкцию нефти, снижает дефицит кислорода, разрушает гидрофобную пленку поверхности нефтяных компонентов и особенно экономически выгодно и эффективно в первые месяцы после разлива. Рыхление почв загрязненных нефтью участков проводят по мере возможности, а внесение удобрений и известкование – через 3-12 месяцев после разлива. Органические удобрения, усиливающие дефицит кислорода и содержание полициклические ароматические углеводороды, применять не рекомендуется. Захоронение и сжигание нефти не эффективны, они увеличивают сроки ее разложения. Захоронение углубляет дефицит кислорода в почве, а сжигание сопровождается образованием канцерогенных веществ. Содержание 3-4 бенз(а) пирена через 5 лет после сжигания нефти в два раза превышает его долю в образцах, не подвергнутых сжиганию.

При рекультивации земель, загрязнённых нефтью, рыхление оказывает наиболее благоприятное действие на численность мелких членистоногих. При этом через 1,5 года после разлива численность *ногохвосток* воз-

растает в десятки раз по сравнению с загрязненными нефтью участками без применения рыхления. Положительные результаты даёт использование микромицетов в целях рекультивации загрязненных нефтью земель.

Утечки природного газа из трубопроводов вызывают нарушения роста подземных органов растений. Прежде всего это обусловлено недостатком кислорода. Надземные органы реагируют позднее развитием заметного хлороза листьев. В качестве биоиндикаторов для проверки загрязнения почв газом в окрестностях подземных трубопроводов используют саженцы тополя. При воздействии природного газа высота саженцев в 2,5 раза, поверхность их листьев в 3,5 раза, длина корней в 7 раз меньше, по сравнению с незагрязненными участками.

#### 5.7. Химические средства защиты растений

Химические средства защиты растений используются для борьбы с вредными насекомыми (*инсектициды*), клещами (*акарициды*), моллюсками (*моллюскоциды*), нематодами (*нематоциды*), грызунами (*родентициды*), возбудителями болезней (*фунгициды*), сорняками (*гербициды*). По химическому составу они образуют три основные группы: *неорганические соединения* (фтора, бария, серы и др.), *органические соединения* (хлорорганические, фосфорорганические, производные органических кислот, синтетические пиретроиды, нитрофенолы и др.), биологические препараты растительного, *бактериального и грибного происхождения*.

В России до 1986 г, ежегодно использовалось около 200-220 тыс. т химических средств защиты растений в перерасчете на действующее вещество. К 1990 г. количество применяемых пестицидов уменьшилось до 111, а в 1995-1999 гг. – до 10-16 тыс. т в год. В Тверской области в 1985 г. средства защиты растений (СЭР или пестициды) использовались на 43%, а в 1995 г. – на 15% площади пашни. В 1995 г. из них инсектициды составляли 2,5%, фунгициды – 8,1, протравители семян – 9,3, гербициды – 75,6,

биопрепараты 0,9 и прочие – 2,7% от общего количества применяемых СЭР, около 291 т (табл. 7).

Основными методами изучения влияния пестицидов на живые организмы являются сравнение их численности и видового состава на обработанных пестицидами и необработанных участках; выяснение скорости восстановления биоценозов после применения ядохимикатов; анализ погибших в обработанной территории животных на содержание пестицидов; установление особенностей и скорости разложения пестицидов в различных экологических условиях их миграции и накопления в основных компонентах биогеоценоза и в трофических цепях. Время разложения очень стойких химических веществ на нетоксичные компоненты составляет более 2 лет, стойких – 0,5-2 года, умеренно стойких – 1-6 месяцев, мало стойких – меньше месяца.

Первый международный симпозиум по загрязнению пестицидами окружающей среды и их влиянию на природу состоялся в Англии в 1965 г.

Наиболее токсичны для живых организмов родентициды, затем идут инсектициды, менее токсичны фунгициды и гербициды. Из всех применяемых в настоящее время пестицидов наиболее опасными считаются *хлорорганические соединения*. Они отличаются большой стойкостью и высокой токсичностью, особенно для водной фауны. Многие хлорорганические соединения длительное время сохраняются в почве. Их обнаруживают даже там, где они не применялись. Например, остаточные количества ДДТ были обнаружены у позвоночных животных Антарктиды (рыбы, тюлени, пингвины, поморники). Обладая хорошей жирорастворимостью, хлорорганические пестициды накапливаются в живых организмах, проходя через пищевые цепи. Их влияние наиболее сильно проявляется в популяциях позвоночных животных (Федоров, Яблоков, 1999).

Таблица 7. Применение средств защиты растений в Тверской области с 1985 по 2003 г. (Тверская СтаЗР, Михайлова Л.Ф., 2004)

| Показатели                          | Годы         |              |                |                |               |                |      |      |
|-------------------------------------|--------------|--------------|----------------|----------------|---------------|----------------|------|------|
|                                     | 1985         | 1990         | 1995           | 2000           | 2001          | 2002           | 2003 | 2004 |
| Общая площадь пашни (т.га)          | 1583,5<br>га | 1413         | 1367,2<br>т.га | 902,8<br>т.га. | 893,3<br>т.га | 878,4<br>т.га. |      |      |
| Площадь пашни с применением СЭР (%) | 43%          | 39%          | 15%            | 15%            | 15,6<br>%     | 15,6%          |      |      |
| Общее количество применяемых СЭР(%) | 2346,8<br>т. | 1261,6<br>т. | 291 т.         | 173,9<br>т.    | 140,5<br>т.   | 95,0<br>т.     |      |      |
| В том числе (%)                     |              |              |                |                |               |                |      |      |
| Инсектициды                         | 2,8 %        | 1,9 %        | 2,5%           | 2,8%           | 1,4%          | 3,6%           |      |      |
| Акарициды                           | 0,02%        | -            | -              | -              | -             | -              |      |      |
| Фунгициды                           | 9%           | 12,2%        | 8,1%           | 17%            | 13,7%         | 8,2%           |      |      |
| Протравители семян                  | 6,5%         | 8,3%         | 9,3%           | 9,1%           | 10,3%         | 11,4%          |      |      |
| Гербициды                           | 74,9%        | 68,4%        | 75,6%          | 58%            | 63,3%         | 73,5%          |      |      |
| Десиканты                           | 4,9%         | 3,2%         | -              | 3%             | 1,9%          | 2,2%           |      |      |
| Биопрепараты                        | 0,07%        | 0,4%         | 0,9%           | 8,7%           | 8,8%          | 0,7%           |      |      |
| Прочие                              |              |              | 2,7%           |                |               |                |      |      |

По мере возрастания содержания в теле остаточных количеств пестицидов позвоночные располагаются в следующем порядке: *растительные – всеядные – хищные виды*. Одним из надежных биоиндикаторов загрязнения обширных территорий хлорорганическими пестицидами являются хищные рыбаобразные птицы. Применение даже небольших доз хлорорганических инсектицидов вызывает истончение и повышенную ломкость скорлупы у яиц с последующим снижением рождаемости дневных хищных птиц (*пустельга, кобчик, сокол-сапсан, луни, чёрный коршун, тетеревиатник, перепелятник* и др.). В яйцах хищных птиц хлорорганических соединений содержится в 5-6 раз больше, чем в яйцах врановых. При высоком загрязнении окружающей среды пестицидами вначале исчезают *дневные хищники, рыбаобразные и околоводные птицы* (*скопа, серая цапля, выть, поганка, кулики, чайки* и др.), затем *всеядные* (исключая врановых) и, наконец, *насекомоядные и растительные виды*. В водоемах хорошим индикатором загрязнения хлорорганическими соединениями являются моллюски, хищные рыбы, которые накапливают их в своем теле до 2500 мг/кг, что в 100-125 тыс. раз может превышать концентрацию препаратов в воде. При этом *растительноядные рыбы* содержат их в 10 раз меньше, чем *хищные*. Недопустимо использование хлорорганических инсектицидов в борьбе с кровососущими комарами.

Хлорорганические инсектициды в рекомендуемых дозах действуют слабо, почти безвредно могут даже увеличивать численность *дождевых червей, энхитреид, нематод*, но токсичны для почвенных членистоногих и микроорганизмов. Дождевые черви накапливают в своем теле до 280 мг/кг хлорорганических соединений. При кормлении червями содержащими 2,9 мг/кг токсикантов 50% птиц гибнет в течение месяца.

Ртутьорганические соединения растворимы в жирах, хорошо всасываются и длительное время не выводятся из организма. Содержание ртутных соединений в хищных рыбах в 100-1000 раз выше, чем в воде, а в ры-



боядных птицах в 100 раз выше, чем в хищных рыбах. Индикатором уровня загрязнения окружающей среды ртутными соединениями является их содержание в *птичьих перьях*. В Европе в течение 100 лет содержание ртути в перьях куропатки, дневных хищников и других птиц возросло в 10-20 раз.

Обработка полей фосфорорганическими инсектицидами также приводит к массовой гибели позвоночных, особенно птиц, контактировавших с обработанной растительностью и питавшихся насекомыми на обработанных участках. В первые дни после обработки численность птиц снижается на 30-75%. Однако численность позвоночных при использовании фосфорорганических соединений восстанавливается значительно быстрее, чем при обработке растений хлорорганическими пестицидами. Фосфороорганические соединения быстрее разлагаются и выводятся из организма.

На обработанных фосфорорганическими инсектицидами участках в пределах установленных норм общая численность и состав почвенных простейших существенно не отличаются от контроля. Увеличение их доз оказывает значительное влияние на изменение группового состава протистофауны. При увеличении дозы фозалона в 10-100 раз участие жгутиконосцев в населении почвенных простейших снижается с 55 до 0,1-0,4%; участие голых амёб возрастает с 42-64 до 99%, а инфузории практически полностью исчезают. При увеличении дозы хлорофоса в 10-100 раз доля жгутиконосцев возрастает до 54-70%, а голых амёб снижается до 27-46%.

На участках, обработанных фозалоном, численность бактерий и панцирных клещей увеличивается в 1,3-1,9 раза. Хлорофос и метатион в течение года после обработки оказывают стимулирующее действие на орибатид, а затем в течение нескольких лет наблюдается ингибирующий эффект. Существенно меняется видовой состав клещей и ногохвосток, сокращается численность хищников, возрастает доля вторичных сапрофагов. Восстановление идет за счет иммиграционных процессов. Быстрее восстанавли-

вается трофическая структура, гораздо медленнее – видовой состав. В первую очередь, происходит восстановление численности и видового состава фитофагов, так как кормовая база не была уничтожена химобработкой, затем – хищников и паразитов. Медленнее всего восстанавливались обилие и состав сапрофагов. Хлорофос в первые 60 дней не оказал ощутимого влияния на численность дождевых червей, но спустя 90-120 дней она увеличилась в 3-4 раза. Численность личинок насекомых под влиянием хлорофоса меняется незначительно. При применении фозалона восстановление численности жуужелиц наблюдалось через 35-42 дня, стафилинид – через 50-60 дней после обработки, а численность пауков к концу сезона вегетации не превышала 65% от контрольных значений.

Гербициды сравнительно быстро разлагаются в почве бактериями и актиномицетами и в рекомендуемых дозах не оказывают значительного отрицательного влияния на почвенную микрофлору. Численность бактерий, особенно целлюлолитических, в первые дни после обработки возрастает в 1,5-2,0 раза, затем в течение 10-20 дней она уменьшается до контрольного уровня и ниже и через 30-40 дней восстанавливается. Под влиянием 2-4-Д аминной соли сроки развития яиц ногохвосток удлинились на 4-20 дней, замедлился рост численности популяций, через 60 дней на обработанном участке она была на 30-60% ниже, чем на контрольном. Отмечена массовая гибель личинок ногохвосток 2-го возраста при контакте с гербицидом. Кроме того понизилось участие в населении ногохвосток верхнеподстилочных и подстилочно-почвенных форм, при увеличении доли глубокопочвенных обитателей, и таким образом произошла смена доминирующих видов. Уменьшилось также видовое разнообразие клещей. Индикаторами загрязнения почв гербицидами являются панцирный клещ, ногохвостки (местная замечательная, ложноимператорская белая).

Глава 6. Лишайники и высшие растения как индикаторы загрязнений

Среди растений самыми чувствительными индикаторами общего загрязнения воздуха являются лишайники. К следующей группе биоиндикаторов чистоты воздуха относятся мхи и голосеменные, в частности хвойные (ель, сосна), затем идут цветковые растения. Древесные цветковые менее устойчивы к загрязнению по сравнению с многолетними и особенно с однолетними травами. Это в значительной степени связано с размерами и продолжительностью жизни зеленых растений. При небольших размерах лишайники живут десятки лет, хвоя сосны – до 5-6, ели – 15-16 лет. Цветковые древесные растения ежегодно с наступлением неблагоприятного периода сбрасывают листья, а вместе с ними и значительное количество накопленных за сезон вегетации загрязняющих веществ. У многолетних трав ежегодно происходят возобновление и отмирание большей части надземных органов. Это повышает их устойчивость к токсикантам.

#### 6.1. Лишайники

К лишайникам относятся живые организмы, тело которых образовано грибом (микобионтом) и водорослью (фикобионтом), находящимися в симбиотических отношениях. В роли фикобионта кроме зеленых и желто-зеленых могут выступать сине-зеленые водоросли и фототрофные простейшие. Микобионты лишайников – грибы, принадлежащие к классам сумчатых (аскомицетов) и реже базидиомицетов. Гриб получает от водоросли или фототрофного простейшего органические вещества, снабжая их водой и растворенными минеральными солями, предоставляя им среду обитания, защищая от пересыхания. Лишайники получают питание из почвы, воздуха, атмосферных осадков, влаги росы и туманов, частиц пыли, оседающей на слоевищах, поэтому они крайне чувствительны к любым изменениям среды обитания. Растут лишайники очень медленно, их прирост составляет от 1 до 8 мм в год. Средний возраст лишайников от 30 до 80 лет, отдельные лишайники доживают до нескольких сотен лет. Описано более 26 тыс. видов лишайников. Среди них наибольшее видовое разнообразие

разие отмечается у эпифитных лишайников, поселяющихся на коре деревьев. Эпифитные лишайники широко используются в качестве индикаторов загрязнений воздуха.

Основные причины низкой устойчивости лишайников к атмосферному загрязнению следующие: высокая чувствительность водорослевого компонента лишайников, пигменты которого под действием загрязнителей быстро разрушаются; отсутствие защитных покровов и связанное с этим беспрепятственное поглощение газов слоевищами лишайников; повышенная требовательность к кислотности субстрата, изменение которой сверх определенного предела приводит к гибели лишайников; небольшие размеры их тела и значительная продолжительность жизни. Аккумулируя загрязняющие вещества из атмосферы, лишайники гибнут при хроническом воздействии даже их низких концентраций. Лишайники нормально растут и обильны на стволах деревьев при концентрации окислов серы 3-7 мкг/м<sup>3</sup>. При концентрации сернистого ангидрида (SO<sub>3</sub>) 30 мкг/м<sup>3</sup> исчезают некоторые роды эпифитных лишайников (уснеа, лобария, рамалина, кладония, гипогимния). У лишайников наиболее чувствительны к SO<sub>2</sub> фиксация углекислого газа и нарушение целостности мембран, измеряемое по выходу калия из таллома. Высокая летальность лишайников при фумигации SO<sub>2</sub> обусловлена их слабыми защитными возможностями. Летальная доза SO<sub>2</sub> для многих лишайников составляет в среднем около 52 мкг/м<sup>3</sup>.

Лишайники как индикаторы загрязнения воздуха широко используются в Эстонии, Англии, Германии. С этой целью по степени влияния антропогенных факторов на различные виды лишайников было выделено 10 классов их полеотолерантности. Вид относится к тому классу полеотолерантности, при антропогенных условиях которого он наиболее часто встречается, имеет наивысшие показатели покрытия и жизненности. Иными словами, он является индикатором этих условий (Трасс, 1985). К первому классу относятся естественные местообитания практически без ан-

тропогенного влияния, а к десятому – городские и индустриальные условия обитания с сильным антропогенным влиянием и среднегодовым содержанием  $SO_2$  170 мкг/м<sup>3</sup> и более. Таким образом, видовой состав лишайников–индикаторов степени загрязнения воздуха, относящихся к одному классу полеотолерантности (широкой устойчивости), в разных природных условиях существенно различается и градированно (например, по классам) отражает степень изменения разных местообитаний в результате деятельности человека.

В Германии и Эстонии в целях лишенодиагностики (диагностика при помощи лишайников) пространственного распределения загрязнения воздуха применялось картирование распространения лишайников–индикаторов по мере удаления от источников загрязнений. По уменьшению обилия лишайников можно судить о повышении уровня стресса на сильно загрязненных территориях. Степень покрытия коры деревьев лишайниками уменьшается по мере увеличения концентрации  $SO_2$  в воздухе.

В конце 60-х гг. XX в. в Эстонии и Канаде были разработаны методы лишеноиндикационного картографирования загрязненности атмосферного воздуха на основе изучения эпифитных лишайниковых группировок и вычисления средних индексов полеотолерантности (ИП) по формуле

$$\text{ИП} = \sum_{i=1}^n \frac{a_i c_i}{c_n},$$

где:  $n$  – число видов на площадке описания;

$a_i$  – класс полетолерантности вида

$c_i$  – покрытие вида;

$c_n$  – суммарное покрытие видов.

С этой целью на стволе одного дерева у его основания и на высоте 1,4-1,6 м в двух экспозициях (в направлении источника загрязнения и с противоположной стороны) проводится учет лишайников на небольших

площадках (40x40 см) (Трасс, 1987). Оценка покрытия коры лишайниками дается по 10-бальной шкале:

|                |     |     |      |       |       |       |       |       |       |        |
|----------------|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Балл           | 1   | 2   | 3    | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10     |
| Покрытие,<br>% | 1-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-80 | 80-100 |

В одном местообитании берется не менее 20 деревьев одного вида. Для каждого дерева и местообитания в целом вычисляются средние значения ИП, которые колеблются от 0 до 10. Чем больше ИП, тем более загрязнен воздух в соответствующем местообитании. В зависимости от точности работ на индикационных картах можно выделить несколько зон, различных по уровню загрязнения.

Значения ИП соответствуют следующим среднегодовым показателям содержания  $SO_2$  в воздухе (мкг/м<sup>3</sup>):

|   |     |       |       |         |
|---|-----|-------|-------|---------|
| ИП  | 1-2 | 2-5   | 5-7   | 7-10    |
| Среднегодовая концентрация $SO_2$ (мкг/м <sup>3</sup> ) | 0   | 10-30 | 30-80 | 100-300 |

Лишайники аккумулируют также значительное количество тяжёлых металлов. Их высокие дозы изменяют мембранную проницаемость для катионов калия, влияют на скорость фотосинтеза, свойства хлорофилла лишайников. Содержание многих тяжёлых металлов в лишайниках сравнительно адекватно отражает их распределение приземном слое атмосферы, (кроме марганца).

## 6.2. Семенные растения

Хорошим индикатором загрязнений окружающей среды являются биохимические, физиологические и морфологические микроскопические изменения на молекулярном, субклеточном, клеточном уровнях и макроскопические изменения на организменном уровне, происходящие у семенных растений под влиянием токсических веществ.

### 6.2.1. Микроскопические изменения

При сильных воздействиях природных или антропогенных факторов, получивших название *стрессоров*, у живых организмов, включая семенные растения, возникают нарушения физиологических процессов и состояния напряжений (*стрессы*). Стрессовые реакции организмов выражаются прежде всего в происходящих в клетках биофизических изменениях, направленных на преодоление действий этих факторов. Это позволяет использовать их на молекулярном уровне в качестве биоиндикаторов стрессоров.

*Химические вещества протоплазмы клетки.* Как известно, в состав клетки входят неорганические и органические химические соединения. Наибольшее биоиндикационное значение имеют изменения в обмене органических веществ клетки (аминокислот, белков, ферментов, углеводов, липидов, нуклеиновых кислот, гормонов, витаминов и др.).

Уменьшение содержания растворимых белков в результате их расщепления до аминокислот под влиянием какого-либо стрессора – общий индикаторный признак. В высших растениях при этом наблюдается накопление аминокислоты – *пролина* – еще до появления видимых симптомов повреждений. Среди стрессоров подобное действие оказывает диоксид серы (синонимы: сернистый газ, двуокись серы, SO<sub>2</sub>).

Хорошими индикаторами нарушений обмена веществ служат ферменты. У многих ферментов при низких концентрациях стрессора наблюдается стимуляция активности, а при повышенных концентрациях – ее подавление. По изменению активности ряда ферментов можно оценить недостаток минеральных веществ у растений. При недостатке калия активность малатдегидрогеназы и глутаматдегидрогеназы увеличивается на порядок без видимых симптомов поражения на листьях.

С ростом загрязнения газодымовыми выбросами происходят значительные изменения состава углеводов, жирных кислот, в частности увеличивается концентрация моносахаридов, линолевой и линоленовой кислот.

Среди фитогормонов *абсцизовая кислота*, *этилен* усиленно выбрасываются при водном дефиците, солевом и осмотическом стрессах, подавляя рост корня и ускоряя процессы старения растений, созревания плодов, опадения листьев и плодов.

Этилен может быть использован также в качестве индикатора начальных стадий поражения растений патогенами. Участвуя в системе защиты растений, он индуцирует синтез большого числа ферментов, разрушающих клеточную стенку грибов, бактерий и т.д., а также ферментов, ускоряющих синтез фитоалексинов – соединений, ядовитых для патогенна.

*Субклеточные системы.* На субклеточном уровне стрессоры вызывают изменения в строении и функционировании органелл клетки. Важнейшую роль при этом играют биомембраны. К одномембранным органеллам клетки эукариотов относятся эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи, лизосомы, вакуоли; к двумембранным – ядро, митохондрии и пластиды; к немембранным – рибосомы, хромосомы, микротрубочки. Особое положение занимает наружная цитоплазматическая мембрана клетки (плазмолемма). Все биомембраны сходно устроены и состоят из двух слоев липидов, в которые на разную глубину погружены молекулы белков, образуя гидрофильные поры, через которые проходят водорастворимые вещества. На поверхности плазмолеммы имеются углеводы. Они присоединены к мембранным белкам и в меньшей степени к липидам, образуя сложные вещества – соответственно гликопротеины и гликолипиды. Разветвлённые цепи гликопротеинов, выступающие из клеточной мембраны, выполняют роль рецепторов, участвуя в распознавании факторов внешней среды и в реакции клеток на их воздействие. Плазмолемма обладает полупроницаемостью, обуславливая избирательное пропускание в клетку и из нее различных молекул и ионов. Важным показателем целостности наружной цитоплазматической мембраны является соотношение в клетке количества катионов калия и натрия. В клетках эукариотов катионов калия в 50-60 раз



больше, а ионов натрия в 9 раз меньше, чем в окружающей межклеточной жидкости.

Чтобы повлиять на физиолого-биохимические реакции клетки стрессор в активной форме должен проникнуть через ее плазмолемму. Первым пунктом воздействия содержащихся в воздухе загрязняющих неорганических и органических соединений на растения являются устьица их листьев.

Вместе с воздухом эти вещества диффундируют через межклеточные пространства и, растворяясь в воде клеточной стенки, разрушают наружную клеточную мембрану, повышая ее проницаемость. Наиболее простой метод выявления целостности плазмолеммы заключается в определении содержания калия и натрия в клетках и в межклеточной жидкости или по скорости выхода калия через мембрану в межклеточное пространство.

Проникая через мембраны, газообразные неорганические соединения оказывают влияние на pH клеточных растворов. Окислы неметаллов  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  и др. при взаимодействии с водой увеличивают, а аммиак, напротив, уменьшает их кислотность. Как известно, от pH клеточных растворов зависит активность ферментов, поэтому изменение кислотности приводит к нарушению обмена веществ.

В качестве биоиндикаторных признаков субклеточного уровня у лишайников и высших растений используют: *уменьшение содержания хлорофилла, грануляцию цитоплазмы, разрушение хлоропластов, образование в них кристаллических включений, набухание тилакоидов, подавление фотосинтеза, угнетение фотолиза воды и транспорта электронов от фотосистемы II к фотосистеме I, флуоресценцию хлоропластов (спонтанное излучение света) под влиянием стрессоров.*

*Изменения клеток.* При газообразном загрязнении  $\text{SO}_2$ : происходят *уменьшение размеров клеток, эпидермиса листьев, толщины годичных колец и их выпадение; увеличение клеток смоляных ходов у сосны, числа устьиц, толщины кутикулы; густоты опушения; отслаивания прото-*

*плазмы от клеточной стенки (плазмолиз)*. В областях, не загрязненных выхлопными газами, хвоя дает выпуклый, а в условиях загрязненного воздуха – вогнутый плазмолиз.

Микроскопические изменения на субклеточном и клеточном уровнях в биоиндикации до сих пор почти не использовались. Более широкое применение нашли макроскопические морфологические изменения организмов под влиянием стрессоров.

### 6.2.2. Макроскопические изменения

Макроскопические реакции семенных растений на различные стрессоры проявляются прежде всего в изменении окраски листьев, к которым относятся *хлорозы, пожелтения, побурение, побронзовение, посеребрение листьев; впечатление листьев пропитанных водой* и т.д.

Хлороз выражается в побледнении окраски листьев между жилками при слабом воздействии газообразных веществ, у растений на отвалах. Пожелтение краев или определенных участков листьев происходит у лиственных деревьев под влиянием хлоридов, при авиаобработках культур пестицидами. Покраснение листьев у смородины отмечено под влиянием  $SO_2$ . Побурение, побронзовение, посеребрение листьев, видимость листьев, пропитанных водой, представляют собой первые стадии тяжелых некротических повреждений у лиственных и хвойных деревьев.

У табака посеребрение поверхности листьев происходит под действием озона.

*Некрозы* – это отмирание ограниченных участков ткани листьев. Некрозы бывают *точечные* и *пятнистые* (отмирание тканей листовой пластинки в виде точек или пятен), *межжилковые* (отмирание листовой пластинки между жилками первого порядка), *краевые* (отмирание ткани по краям листа), *«рыбьего скелета»* (сочетание межжилковых и краевых некрозов), *верхушечные* (тёмно-бурые, резко ограниченные некрозы кончиков хвои у ели, пихты, сосны, или белые обесцвеченные некрозы верхушек ли-

ствьев у декоративных культур) (рис.4). При развитии некрозов после гибели клеток поражённые участки оседают, высыхают и за счет выделения дубильных веществ часто окрашиваются в бурый цвет у деревьев или спустя несколько дней выцветают до беловатой окраски у однодольных. Количественную оценку некрозов дают путем определения поврежденной доли листовой поверхности в %. Широкое развитие некрозов у растений приводит к опадению листвы, усыханию вершин деревьев и их гибели. Примерами опадения листвы (дефолиации) служат сокращение продолжительности жизни и осыпание хвои ели, сосны, отмирание листьев у смородины, крыжовника под действием  $SO_2$ , опадение листьев у липы под влиянием соли, применяемой для таяния снега. Дефолиация приводит к сокращению площади ассимилирующей поверхности и прироста, преждевременному образованию новых побегов за счет трогающихся в рост спящих почек (Шуберт, 1988).

В целях биоиндикации используются также изменения размеров и формы органов.

Например, в окрестностях предприятий, производящих удобрения, хвоя сосны удлиняется под действием нитратов и укорачивается под влиянием сернистого газа. При изменении уровня залегания грунтовых вод меняются направление роста и особенности ветвления корней у одуванчика (рис. 5). У лип в условиях устойчивого сильного загрязнения атмосферы получает распространение кустовидная форма растений, у лишайников уменьшается образование плодных тел.

У хвойных различают легкие, средние, сильные и очень сильные хронические повреждения хвои при воздушном загрязнении (табл. 8). Некрозы чаще появляются весной после образования хвои.

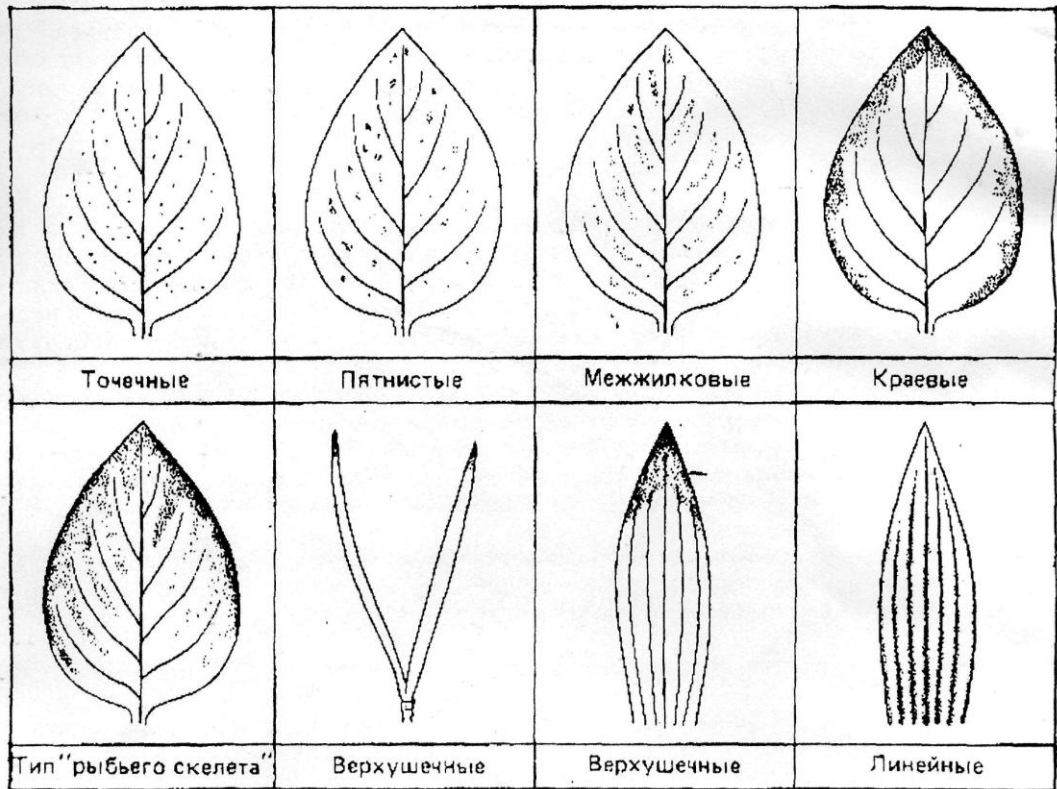


Рис. 4. Формы некрозов на листьях цветковых растений и на хвое (по: Шуберт, 1988)

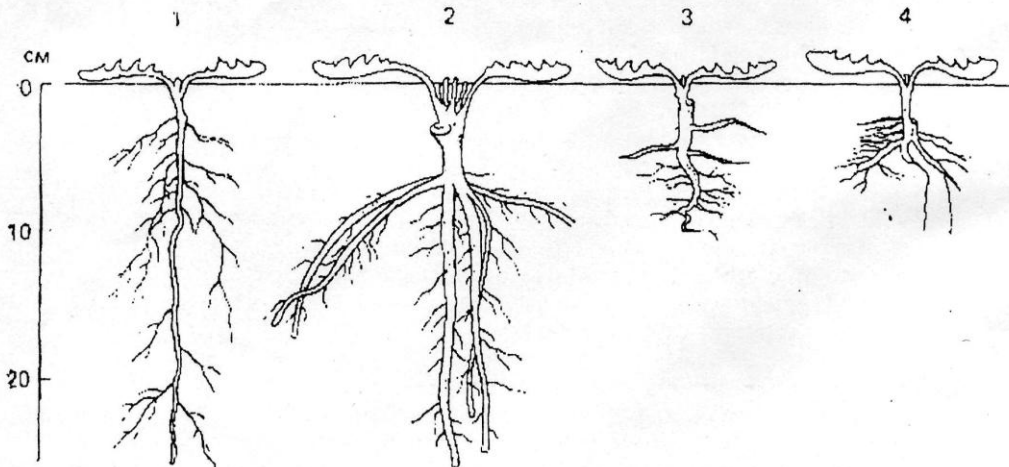


Рис. 5. Изменение направления роста корней у одуванчика (*Taraxacum*) в зависимости от уровня грунтовых вод (по: Шуберт, 1988)  
 1 – сухой луг; 2 – свежий; 3 – сырой луг; 4 – заболоченная территория.

Таблица 8. Влияние загрязнений воздуха сернистым газом на состояние хвои ели и сосны.

| Хронические повреждения хвои | Физиологические и морфологические изменения хвои  | Среднегодовое содержание SO <sub>2</sub> в воздухе, мкг/м <sup>3</sup> |
|------------------------------|---|--|
| Легкие                       | Повышение содержания в клетках SO <sub>2</sub> , снижение интенсивности фотосинтеза, повышение интенсивности транспирации, укорочение длины хвоинки, продолжительности её жизни | 10-30  |
| Средние                      | Изменение цвета хвои, увеличение грибных болезней   | 20-40  |
| Сильные                      | Некроз хвои   | 70-100   |
| Очень сильные                | Потеря хвои, ажурность кроны, суховершинность   | Более 100-120  |

Хорошими индикаторами загрязнения воздуха являются состояние и продолжительность жизни хвои. Ель и сосна нормально развиваются при среднегодовом содержании SO<sub>2</sub> в воздухе около 7-9 мкг/м<sup>3</sup>. В чистом воздухе хвоя, особенно на молодых елях, держится 14-16 лет. Возраст хвои ели 6-10 лет свидетельствует об ухудшении качества воздуха в последние 3-5 лет до уровня предельно допустимых концентраций SO<sub>2</sub> (50 мкг/м<sup>3</sup>). При возрасте еловой хвои 2-3 года качество воздуха в 10-15 раз хуже санитарных норм и среднее содержание SO<sub>2</sub> в нем составляет 500-750 мкг/м<sup>3</sup>. Подобные деревья обречены на гибель. У сосны хвоя живет до 5-6 лет. При средних концентрациях SO<sub>2</sub> в воздухе около 50 мкг/м<sup>3</sup> продолжительность ее жизни сокращается до 2-3 лет.

При определении степени загрязненности воздуха по состоянию и продолжительности жизни хвои ели, сосны, пихты из средней части кроны молодых генеративных растений вырезают по одной ветви. На одном участке берут ветви с 25 деревьев и анализируют их на месте с использованием лупы или в лаборатории. Как известно, ветвление главных осей и боковых побегов хвойных – моноподиальное (рис. 6): побег из года в год растет своей верхушкой. При этом для каждого из годовичных участков побегов в процентах оценивается количество сохранившейся хвои по сравнению с верхушечным участком текущего года. Для каждого участка определяются также вид и степень развития некрозов хвои в баллах или %.

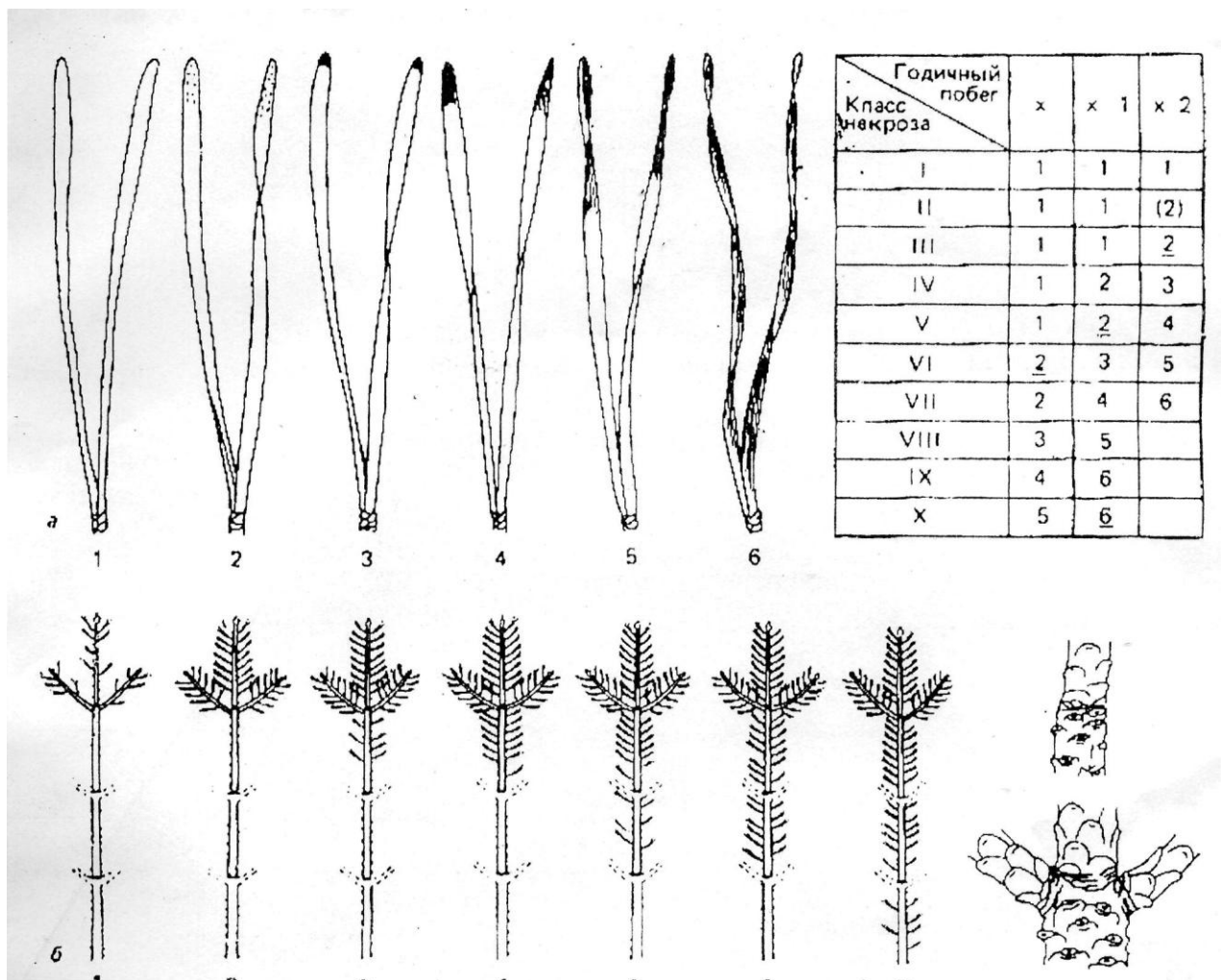


Рис. 6. Бонитировочная шкала некрозов и продолжительности жизни сосновой хвои (по: Jager, 1980).

Лиственница более устойчива к загрязнениям в связи с ежегодным сбрасыванием листвы. Она нормально растет при концентрации  $\text{SO}_2$  10-50  $\text{мкг/м}^3$ .

Среди древесных пород, культурных и декоративных семенных растений сосна обыкновенная, ель, пихта наиболее чувствительны к повышенному содержанию в воздухе сернистого газа и хлора; гречиха, люцерна, горох – сернистого газа; яблоня, слива, вишня, лук, петрушка, тюльпан, гладиолус, ландыш – фтористого водорода; липа, береза, сельдерей, махорка – аммиака; смородина красная, фасоль, томат, петуния – хлора (табл. 9).

Они могут быть использованы в качестве индикаторов указанных загрязнителей воздуха. Смородина красная, шпинат и табак являются хорошими индикаторами загрязнения воздуха озоном, вызывающим посеребрение верхней стороны листьев. Диоксид серы способствует развитию межжилковых некрозов и хлорозов (люцерна, гречиха, горох, клевер), фтористый водород – некрозов верхушек и краев листьев (гладиолус, тюльпан, петрушка), пероксиацетилнитрат – полосчатых некрозов на нижней стороне листьев (крапива, мятлик), двуокись азота – межжилковых некрозов (шпинат, махорка, сельдерей), хлор – побледнению листьев, деформации хлоропластов (шпинат, фасоль, салат). Под действием соли, применяемой в городах для таяния льда и снега, на листьях липы и других лиственных деревьев сначала появляются ярко-желтые, неравномерно расположенные краевые зоны, затем край листа отмирает, а желтая зона продвигается к середине и к основанию листа.

При загрязнении радионуклидами содержание марганца в золе мать-и-мачехи, крапивы двудомной, хвоща лесного, щитовника мужского, мхов уменьшается на промплощадке до 0,03-0,05%, в лесу до 0,12-0,19%, при норме – 0,25-0,60%. Марганец играет важную роль в процессах фотосинтеза и в азотном обмене. Поглощение растениями радионуклидов ведет к пе-

рестройке механизма и азотного обмена, роль марганца начинают выполнять радионуклиды. При этом дополнительным индикаторным признаком загрязнения радионуклидами является возрастание в 2 раза частоты хромосомных аберраций в мужских половых клетках в пыльниках растений. Пшеница, ячмень, просо, лен, горох проявляют радиостимуляцию при малых и угнетение развития при более высоких концентрациях радионуклидов в почве. Люпин, эспарцет, люцерна, клевер испытывают радиостимуляцию при малых и более высоких дозах. Среди естественных растений наиболее радиочувствительны хвойные породы. Лиственные породы в 5-6 раз устойчивее хвойных, а травы в 10 раз устойчивее древесных растений. Мхи и лишайники исключительно устойчивы к радионуклидному облучению.

Изменение популяций и растительных сообществ. На популяционном уровне влияние загрязняющих веществ проявляется в изменении продуктивности, численности и возрастного состава популяций, обеднении их экотипов, переходе в ряде случаев к вегетативному размножению, ухудшении возобновления, а на биоценотическом – в снижении продуктивности, видового разнообразия, устойчивости фитоценозов.

Загрязнение природной среды кислыми выбросами (окиси серы, азота) приводит к сильному подкислению осадков, рН которых падает до 3-4, а щелочными (аммиак, цементная пыль) – к подщелачиванию и возрастанию рН до 8-10. При загрязнении цементной пылью с течение 30-летнего периода реакция почвенных растворов меняется от слабокислой до щелочной.

Наиболее чутко на загрязнения реагирует продуктивность. Она может многократно возрасти в результате ослабления конкурирующих видов. В нарушенных растительных сообществах доля популяций с большой численностью обычно выше, чем в ненарушенных, а популяции с малой численностью находятся под большой угрозой вытеснения и исчезновения. В



результате антропогенных нарушений одни популяции могут омолаживаться, а другие – стареть в результате изменения естественного возобновления и продолжительности жизни.

В лесной зоне повреждения древостоев выражены сильнее, чем в степной. Сложные древостои менее чувствительны к загрязнению, чем чистые. Изреживание древостоя ведет к изменениям в нижних ярусах. В условиях производства азотных минеральных удобрений в подлеске усиливаются нитрофилы (бузина, малина, ежевник) в связи с улучшением светового режима и увеличением содержания азота в почве. В степи лесные травы сменяются степными, в лесной зоне луговые – злаками, возрастает обилие сорных растений.

Загрязнение воздуха и почвы промышленными выбросами приводит к усыханию лесов, прежде всего хвойных пород, затем дуба. Одна из возможных причин усыхания – кислотные дожди. Еще в XIV веке в Англии вокруг заводов, работающих на каменном угле отмечалось повреждение деревьев и ухудшение их состояния. Во второй половине XX века усыхание лесов в Европе превратилось в экономическую и международную проблему.

Таблица 9. Чувствительность древесных пород, декоративных и культурных растений к длительному загрязнению воздуха (по Dassier, 1981)

| Растения                             | Загрязнители     |     |                 |                     |
|--------------------------------------|------------------|-----|-----------------|---------------------|
|                                      | SO <sub>2</sub>  | HF  | NH <sub>3</sub> | HCl <sup>1</sup> Cl |
| Ель ( <i>Picea abies</i> )           | +++ <sup>1</sup> | +++ | ++              | +++                 |
| Сосна ( <i>Pinus sylvestris</i> )    | +++              | ++  | ++              | +++                 |
| Пихта ( <i>Abies alba</i> )          | +++              | +++ | ++              | +++                 |
| Лиственница ( <i>Larix decidua</i> ) | ++               | ++  | ++              | ++                  |
| Липа ( <i>Tilia cordata</i> )        | ++               | ++  | +++             | ·                   |
| Рябина ( <i>Sorbus aucuparia</i> )   | ++               | ·   | ·               | ·                   |
| Берёза ( <i>Betula pendula</i> )     | ++               | +   | ++              | ·                   |
| Осина ( <i>Populus tremula</i> )     | +                | ·   | ·               |                     |

Окончание таблицы 9

|  |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|
| Дуб ( <i>Quercus robur</i> )               | -   | -   | -   | ++  |
| Вяз ( <i>Ulmus glabra</i> )                | +   | .   | .   | .   |
| Клен ( <i>Acer campestre</i> )             | -   | -   | -   | .   |
| Клён ( <i>Acer platanoides</i> )           | -   | -   | +   | ++  |
| Ольха ( <i>Alnus glutinosa</i> )           | .   | +   | .   | +++ |
| Яблоня ( <i>Malus domestica</i> )          | .   | ++  | .   | .   |
| Слива ( <i>Prunus domestica</i> )          | .   | +++ | .   | .   |
| Вишня ( <i>Prunus cerasus</i> )            | .   | ++  | .   | .   |
| Абрикос ( <i>Prunus armeniaca</i> )        | .   | ++  | .   | .   |
| Лох ( <i>Eleagnus angustifolia</i> )       | -   | -   | .   | .   |
| Смородина ( <i>Ribes sanguineum</i> )      | .   | .   | ++  | +++ |
| Люцерна ( <i>Medicago sativa</i> )         | +++ | +   | .   | .   |
| Гречиха ( <i>Fagopyrum esculentum</i> )    | +++ | .   | .   | .   |
| Горох ( <i>Pisum sativa</i> )              | +++ | .   | .   | .   |
| Фасоль ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )       | .   | .   | .   | +++ |
| Томат ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )   | .   | .   | .   | +++ |
| Лук ( <i>Allium cepa</i> )                 | .   | +++ | .   | .   |
| Петрушка ( <i>Petroselinum crispum</i> )   | .   | +++ | .   | .   |
| Махорка ( <i>Nicotiana rustica</i> )       | .   | .   | +++ | .   |
| Сельдерей ( <i>Apium graveolens</i> )      | .   | .   | +++ | .   |
| Ландыш ( <i>Convallaria majalis</i> )      | .   | +++ | .   | .   |
| Тюльпан ( <i>Tulipa gesneriana</i> )       | .   | +++ | .   | .   |
| Нарцисс ( <i>Narcissus spp.</i> )          | .   | +++ | .   | .   |
| Гладиолус ( <i>Gladiolus gandavensis</i> ) | .   | +++ | .   | .   |
| Петуния ( <i>Petunia nyctaginiflora</i> )  | .   | .   | .   | +++ |

Примечание: +++ - очень чувствительные, ++ - чувствительные, + - мало чувствительные, - - почти не чувствительные, - реакция недостаточна известна

## Глава 7. Грибы и водоросли как индикаторы загрязнений.

### 7.1. Состав, биологические особенности и биоиндикационное значение грибов

Среди гетеротрофных эукариотических организмов важное место в экосистемах занимают грибы, включающие около 100 тыс. видов и сочетающие в себе признаки растений и животных. С растениями грибы сближает наличие хорошо выраженной клеточной стенки, неподвижность в вегетативном состоянии, верхушечный неограниченный рост, размножение спорами, поглощение пищи путем осмоса; а с животными – гетеротрофность (питание готовыми органическими веществами), наличие в клеточной стенке хитина, отсутствие в клетке пластид и фотосинтезирующих пигментов, накопление гликогена, выделение мочевины. Грибы имеют полифилетическое происхождение. Их группы произошли независимо от разных групп бесцветных и амёбодных жгутиковых.

Вегетативное тело гриба – миеций – состоит из тонких бесцветных нитей (гиф) с верхушечным ростом и боковым ветвлением. Плотное сплетение гиф, на поверхности или внутри которых образуются споры, называется плодовым телом. По размерам плодового тела среди грибов различают макро- и микромицеты. У микромицетов размеры плодовых тел не превышают 1 мм, либо они вовсе отсутствуют. У макромицетов плодовые тела более крупные. Типичными макромицетами являются шляпочные грибы – трутовики.

По способу питания грибы являются сапрофитами, питаются разлагающимися растительными остатками, симбионтами, паразитами, реже хищниками. Главная функция грибов – разложение органических веществ. Они активно осваивают субстраты преимущественно растительного происхождения. При этом грибы активно выделяют ферменты, расщепляют и активно всасывают органические вещества гифами. Факультативные паразиты развиваются сапротрофно, но способны паразитировать на ослаблен-

ных живых растениях. Облигатные паразиты развиваются только на живых организмах. При этом одни паразиты сначала убивают ткани хозяина и затем питаются ими, другие питаются за счет живых тканей хозяина.

Грибы-симбионты связаны преимущественно с высшими растениями, на корнях которых они образуют микоризу. Мицелий гриба оплетает корни растений и проникает только под эпидермис или в клетки паренхимы корня, где может образовывать клубки. Миоризный гриб увеличивает всасывающую поверхность корня в 10-14 раз, лучше поглощает фосфор, выделяет витамины и ростовые вещества, которые стимулирует развитие корня. От высшего растения гриб получает безазотистые соединения, кислород и корневые выделения, способствующие прорастанию спор.

Грибы делят на два отдела: *слизевиков* и *настоящих грибов*. Вегетативные тела слизевиков представлены одно- или многоядерной амёбoidalной клеткой или крупным многоядерным цитоплазменным образованием, не имеющим клеточной стенки. Их размеры от микроскопически малых до нескольких десятков сантиметров. Слизевики живут в почве, навозе, на разлагающихся растительных остатках, являются паразитами водорослей, водных грибов, высших водных и наземных растений.

Отдел настоящих грибов, клетки которых имеют хорошо выраженную клеточную стенку, включает 6 классов: *хитридиомицеты*, *оомицеты*, *зигомицеты*, *аскомицеты* (*сумчатые грибы*), *базидиомицеты* и *дейтеромицеты* (*несовершенные грибы*). Представители первых трех классов относятся к низшим, а остальные – к высшим грибам. Мицелий низших грибов неклеточный, лишённый перегородок и представляющий как бы одну гигантскую клетку с большим числом ядер. У большинства высших грибов (аскомицетов, базидиомицетов, дейтеромицетов) мицелий многоклеточный с хорошо выраженными перегородками (септами). Септы образуются синхронно делению ядер. Однако и в этом случае в центре септы остаётся

пора, через которую перемещаются питательные вещества, клеточные органеллы из клетки в клетку.

Клеточная стенка грибов содержит до 80-90% полисахаридов, связанных с белками и липидами. В ней хорошо различимы наружный часто аморфный слой и внутренний – в виде гомогенного матрикса с погруженными в него микрофибриллами. У аскомицетов, базидиомицетов и дейтеромицетов в клеточных стенках содержатся хитин и глюканы, хитридиомицетов – хитин, глюканы и целлюлоза, у оомицетов – целлюлоза и глюканы, у зигомицетов – хитин и хитозан. Протопласт клеток грибов окружен наружной цитоплазматической мембраной (плазмелеммой), содержит от одного до 20-30 ядер, рибосомы, митохондрии, комплекс Гольджи, эндоплазматическую сеть. Ядра клеток грибов имеют типичное строение, окружены оболочкой из двух мембран. В их состав входит ядерный сок, хромосомы, ядрышко.

Грибы размножаются вегетативным, бесполом и половым путём. Вегетативное размножение происходит частями мицелия, образованием перед наступлением неблагоприятных условий толстостенных клеток (хламидоспор), путем почкования клеток у дрожжей.

Бесполое размножение грибов чаще происходит при помощи специализированных клеток – спор. Споры развиваются эндогенно (внутри спорангиев) или экзогенно (на специализированных выростах мицелия – конидиеносцах). Бесполое размножение оомицетов и хитридиомицетов происходит преимущественно при помощи голых подвижных клеток с жгутиками (зооспор), образующихся эндогенно в зооспорангиях. У зигомицетов в спорангиях на поднимающихся над субстратами спорангиеносцах развиваются неподвижные спорангиоспоры. Бесполое размножение с помощью конидий наиболее характерно для высших грибов, за исключением дейтеромицетов.

Одна из наиболее обширных и разнообразных экологических групп грибов, использующихся в целях биоиндикации, – почвенные грибы (Терехова, 1994). В почве развиваются многочисленные микроскопические грибы и мицелий грибов – макромицетов, образующих в почве или на ее поверхности крупные плодовые тела. Известные макромицеты относятся к аскомицетам и базидиомицетам. Грибы в большом количестве развиваются в гумусовом горизонте почвы, заселяют ризосферу растений, лесную подстилку. Среди почвенных грибов многие образуют микоризу на корнях разных групп высших растений.

Группа водных грибов объединяет как первично водные низшие грибы из классов хитридиомицетов и оомицетов, так и высшие грибы – аскомицеты и дейтеромицеты, вторично перешедшие в водную среду из наземной. Водные сапротрофные грибы играют большую роль в разложении органического вещества в водоемах.

Среди грибов, обитающих на древесине (ксилофилов), преобладают базидиомицеты, дейтеромицеты, некоторые аскомицеты. Они образуют комплекс ферментов, гидролизующих целлюлозу и лигнин древесины. Ксилофилы активно разлагают древесину и древесный опад в лесах.

Грибы участвуют в круговороте химических элементов, выветривании горных пород и минералов, образовании гумуса, токсинов и детоксикации загрязняющих веществ в почвах и воде, служат источником питания для многих бактерий, беспозвоночных и позвоночных животных.

При исследовании микромицетов с плодовыми телами менее 1 мм основным методом является отбор и посев образцов из природных субстратов на питательные среды, выращивание грибных колоний с целью идентификации видов, микроскопирование проб для прямого учёта грибных зачатков, расчёта грибной биомассы, изучения особенностей строения и т.д. Микромицеты объединяют представителей разных классов. К ним относятся хитридиомицеты, оомицеты, зигомицеты, дейтеромицеты и

большинство сумчатых грибов. В этой гетерогенной по происхождению, эволюционному уровню, морфологии и питанию группе организмов наблюдается большой диапазон реакций на действие экологических факторов. У первично водных сапролегниевых грибов (оомицеты) с подвижными, лишенными клеточной стенки, зооспорами нарушения жизненного цикла происходят даже при небольших изменениях содержания калия и кальция в окружающей среде. С другой стороны, наличие толстостенных многоклеточных спор повышает устойчивость многих дейтеромицетов к высоким концентрациям тяжёлых металлов, термическому, радиационному воздействию.

Микромицеты используются в целях биоиндикации на молекулярном, клеточном, организменном, популяционном, биоценоотическом уровнях.

На молекулярном уровне хорошими маркерами генотипической изменчивости грибов являются электрофоретические спектры белков и изоферментов. Они определяют мутационное воздействие загрязнителей, глубину имеющихся изменений и позволяют предсказать последствия антропогенного воздействия (Терехова, 1994).

Примером оценки степени антропогенного воздействия на микромицеты на клеточном уровне может служить регистрация различных морфологических уродств клеток мицелия или спор.

Отклонения от нормального развития, различные нарушения в жизненном цикле, редукция отдельных стадий, выявленные при сопоставлении микромицетов в естественных и антропогенно нарушенных ценозах, представляют интерес для биоиндикации на организменном уровне.

Важным индикационным признаком является внутривнутрипопуляционное фенотипическое разнообразие их морфологических, физиологических, биохимических признаков под воздействием окружающей среды. Под популяцией микромицетов понимают совокупность природных изолятов од-

ного вида, занимающих в экосистеме определённое пространство, населяющих одну и ту же территорию и выполняющих одну и ту же функцию. К популяционному уровню относятся также нарушения жизненного цикла, выраженные в изменении спороношения, биомассы мицелия, отсутствия спор прорастания, определяют особенности дальнейшего развития популяций.

К важным индикационным признакам биоценотического уровня относятся оценки: 1) видового разнообразия в комплексах микромицетов с помощью различных индексов, 2) соотношения численности разных видов, их относительного обилия, 3) частоты встречаемости, 4) количества и биоэкологических особенностей доминирующих видов, 5) динамики комплексов грибов.

Интерес к макромицетам в биоиндикационных работах стал проявляться значительно раньше, чем к микромицетам. Для учёта численности, биомассы, видового состава этой группы организмов крупными с плодовыми телами используются сравнительно простые методы. Они сопровождаются обычно сбором коллекции плодовых тел, по которым осуществляются видовая идентификация и морфометрия объектов. Макромицеты, особенно ксилотрофы с многолетними плодовыми телами (грибы-трутовики), могут занимать важное место среди тест-организмов при оценке состояния фитоценозов, долгосрочном наблюдении за изменениями лесных растительных сообществ.

#### 7.1.1. Загрязнение почв тяжёлыми металлами

Микромицеты. При загрязнении почв тяжёлыми металлами у многих микромицетов происходит усиление споруляции. Так, при содержании кадмия 100мг/кг почвы количество грибных спор возрастает в 2-5 раз. Напротив, содержание мицелия почвенных микромицетов при высоком загрязнении тяжёлыми металлами может снижаться в 2-3 раза (Марфенина, 1985).



При промышленном и транспортном загрязнении тяжёлыми металлами комплекс почвенных микромицетов обедняется, снижается разнообразие видов, упрощается структура, индекс разнообразия Шеннона уменьшается в 1,5-2 раза. Чем беднее почвы, тем более сильное влияние оказывают тяжёлые металлы на микромицеты. При небольших дозах загрязнения разнообразие видов может несколько увеличиваться. При высоком загрязнении соединениями ртути и кадмия в дерново-подзолистых почвах начинают преобладать виды аспергиллус чёрный и земляной, не типичные для этих почв.

Наибольшая чувствительность к тяжёлым металлам проявляется у видов, имеющих узкие ареалы распространения. В оподзоленных почвах один из самых чувствительных видов – мортнерелла римская, в чернозёмах – пенициллиум шерстистый. Более устойчивы к загрязнению виды с широкими ареалами. В чернозёмных почвах с высоким содержанием тяжёлых металлов обильно представлены грибы рода пенициллиум (шерстистый и красный). Они устойчивы также к внесению высоких доз удобрений. Высокие концентрации кадмия выдерживает пациломицесс лилиевидный.

Устойчивые к высоким загрязнениям тяжёлыми металлами виды рода пенициллиум обладают фитотоксичным действием на прорастание семян. У чувствительных видов тяжёлые металлы тормозят развитие спорангиев, снижают скорость спорообразования, прорастания спор, роста мицелия.

Макромицеты. Высшие шляпочные грибы – макромицеты из группы гименомицетов класса базидиальных – как микоризообразователи, вступая в симбиотические отношения с корнями древесных растений, способствуют транслокации элементов минерального питания, в том числе и микроэлементов, из почвы и лесной подстилки в деревья. Иными словами, микоризообразующие грибы как передаточное звено усиливают поступление

химических элементов, в частности тяжёлых металлов, в деревьях. К высокомикотрофным древесным породам относятся дуб, берёза, осина, бук, граб, лещина, ель, сосна. Микоризу на корнях образуют грузди, подберёзовик, подосиновик, рыжик, боровик, маслята и др.

Хорошим показателем загрязнения почв тяжёлыми металлами является их содержание в плодовых телах шляпочных грибов. Для этого в пробу отбираются несколько экземпляров плодовых тел грибов. После высушивания они озоляются при  $350^{\circ}\text{C}$ , зола растворяется в одном из растворителей ( $\text{HF}$ ,  $\text{HNO}_3$  и др). В растворах определяют содержание тяжелых металлов. При установлении индикационных связей в качестве показателя микроэлементной нагрузки используются концентрации металлов в верхних двух сантиметрах почвы, взятой в точке отбора грибов, при выпадении тяжёлых металлов из воздуха. Коэффициент корреляции между содержанием свинца и кадмия в почве и капрофорах подберезовиков, подосиновиков и груздей составляет около 0,7. При росте концентрации в почве меди, цинка и марганца степень их накопления в капрофорах уменьшается.

#### 7.1.2. Водные грибы в целях биоиндикации

В водных экосистемах грибы являются составляющими практически всех биотопов, они входят в состав нейстонного, планктонного, бентосного и перифитного населения. Низшие первично водные грибы из классов оомицетов и хитридиомицетов имеют, как правило, короткий жизненный цикл развития и подвижные жгутиковые зооспоры. Они пригодны для экспресс-оценки состояния окружающей среды. Изменения видового состава, встречаемости и обилия отдельных видов оомицетов могут характеризовать уровень сапробности (содержания растворённых органических веществ) среды, загрязнения бытовыми сточными водами, отходами целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности. К типичным обитателям сточных вод относятся лептомитус молочный (индикатор сильнозагрязнённых полисапробных вод), сампромицесс рейнский, виды рода питиум.

Однако не все органические загрязнители усваиваются ими. В частности, углеводороды нефти подавляют развитие оомицетов. Высокие значения рН воды, а также высокое содержание азотных и фосфорных соединений способствуют лизису зооспор пителиума дальнего. На некоторые другие виды оомицетов угнетающее действие оказывают, напротив, низкие значения рН.

Среди вторично водных грибов наиболее изученной группой являются водные несовершенные грибы порядка гифомицетов. В качестве приспособления к водному образу жизни они имеют конидии с различного рода разветвлениями, шипами, выростами, стебельками, которые позволяют им парить в водной толще и прикрепляться к подводному субстрату. Наибольшее практическое значение они имеют в очищении рек, ручьев и озер от растительных остатков, в пополнении пищевых запасов для животных-гидробионтов. Видовой состав комплекса гифомицетов в значительной степени зависит от химических особенностей, температуры воды, количества растворённого кислорода. Они живут в водоёмах и могут быть использованы в целях биоиндикации лишь при наличии растительного субстрата, гниющей водной растительности, с которыми эти грибы связаны трофически. Водные гифомицеты практически не реагируют на загрязнение пестицидами, включая ДДТ, но испытывают угнетающее действие при контакте с нефтепродуктами, бытовыми и промышленными стоками сахарных, спиртовых и других предприятий с высоким содержанием органических веществ. В воде, как и в почве, загрязненной нитратами и фосфорными соединениями, значительно возрастает жизнеспособность конидий отдельных видов гифомицетов фузариум, обладающих фитопатогенными свойствами.

### 7.1.3. Использование грибов для биологической очистки почв и сточных вод

В настоящее время грибы-микровицеты эффективно используются для очистки земель от нефтепродуктов при авариях. Например, 1 апреля 1990 г. в Сызранском районе Самарской области в результате аварии на нефтепроводе «Дружба» было загрязнено нефтью около 20 га пахотных земель. В июне 1990 г. было проведено рыхление загрязнённой почвы рыхлителем, и на ее поверхность с помощью опрыскивателя была нанесена суспензия спор микровицеты, размножающегося в слое нефтепродуктов и усваивающего парафиновую фракцию. Интенсивное потребление нефти грибом началось через 3-5 суток после его внесения. В течение месяца грибы обеспечили утилизацию до 98% нефти на глубину до 10-15 см при температуре 27°C. Через два года в апреле 1992 г. общее содержание нефти в почве загрязненного участка составило около 7%.

Несовершенные грибы-гифомицеты родов пенициллиум, альтернания, аспергиллус, кладоспориум, триходерма используются для очистки сточных вод от тяжелых металлов, включая радионуклиды. Они способны извлекать и растворять до 45% ионов хрома, 23-99% - стронция<sup>90</sup> и цезия<sup>137</sup>. Под действием гриба альтернания противостоящая в сточных водах г. Тольятти концентрация цинка, меди, никеля, марганца, свинца, алюминия снизилась на 35-95%.

Штаммы грибов, устойчивые к тяжёлым металлам, первоначально выделяют из внешней среды. Затем с помощью селекции получают наиболее эффективные клоны грибов, и используют для очистки сточных вод. В частности, полученные клоны грибов рода пенициллиум обладают способностью сорбировать кадмий из растворов при рН 4,5-8,5. Сорбция кадмия осуществляется наружной клеточной стенкой гриба. При этом 10-40% кадмия связываются необратимо. При дополнительном ацетонировании растворов стенки гриба связывают 60-70% кадмия. Другой штамм гриба рода пенициллиум переводил до 95% кадмия из раствора в нерастворимую форму в виде игольчатых кристаллов.

#### 7.1.4. Массовое появление грибных болезней растений

Массовое размножение многих патогенных микроорганизмов, значительную долю среди которых составляют грибы-микросциеты, часто обусловлено антропогенным нарушением экологического равновесия между возбудителями болезней организмами-хозяевами, но может иметь и естественные причины. Заболевания отдельных особей в популяции называют *эндемичным*. Если заболевание в определенном месте встречается часто в течение некоторого непродолжительного периода, то говорят об *эпидемии*. Эпидемия связана с массовым появлением патогенных организмов. Важно своевременно распознать и прогнозировать её появление, используя методы биоиндикации. Вспышка численности патогенно обусловлена следующими основными причинами: *благоприятные погодные условия, высокая скорость размножения патогенов, высокая плотность популяции растений, высокая патогенность микроорганизмов, недостаточная устойчивость растений*.

Изменение популяций патогенов чаще связано с *заносом патогена из других природных зон и районов, переходом местного патогена на новое интродуцированное растение, мутациями патогена в сторону повышенной патогенности*.

Совместная эволюция хозяина и паразита в естественных условиях привела к равновесию во взаимоотношениях их популяций. При интродуцировании нового культурного растения из другой географической области, как правило, вначале происходит разделение патогена и хозяина, благодаря карантинным мерам. Возбудитель фитофтороза (фитофтора инфекционная) появился в Европе позже картофеля более чем на 100 лет и привёл в результате очень благоприятного для него холодного и сырого лета 1845 г. к катастрофической по своим последствиям картофельной эпидемии XIX в. В обратном направлении из Европы в Америку в 1904 г. был завезён возбудитель рака коры каштана – гриб эндотия паразитическая,

опустошивший в Новом Свете огромные лесные пространства. С жуками-короедами быстро распространяется паразит ильмовых – гриб цератоцистис ильмовый, уничтоживший ильмовые насаждения на больших площадях в Европе, Северной Америке, Азии. В Европе впервые обнаружен в Голландии в 1919 г. европейский возбудитель рака картофеля – гриб синхитриум эндобиотикум, который перешел на картофель с местных пасленовых (Шуберт, 1988).

При попадании в новые условия в популяциях патогенов наблюдается высокая частота мутаций. В ходе мутаций возникают новые патогенные штаммы и расы (патотипы), становящиеся источниками новой эпидемии.

Главной причиной массового появления фитопатогенных грибов на зерновых культурах и картофеле является образование вирулентных рас (патотипов) в результате мутационной и комбинативной изменчивости. Возбудители мучнистой росы и ржавчины характеризуются высокой интенсивностью размножения и быстрой сменой поколений. На пшеничном поле при 1% покрытия листьев пшеницы пустулами бурой ржавчины в благоприятный период ежедневно разлетается около 100 млрд спор/га. При естественной частоте мутаций гена –  $10^{-8}$  среди них будет около 1000 мутантов. Некоторые из мутантов будут обладать высокой вирулентностью, обеспечивающей размножение на устойчивых сортах. Возделывание культур на больших площадях создает благоприятные условия для патогенов. Появление новых патотипов происходит сравнительно быстро. В частности, у мучнистой росы ячменя в 1938 г. было известно 9, в 1961 г. – 23, в 1975 г. – 175 патотипов. Устойчивость нового сорта ячменя к расе паразита сохраняется в настоящее время в Европе всего 4-5 лет. У фитофторы описаны около 80 патотипов.

Выведение сортов с односторонней устойчивостью, массовое применение фунгицидов, биопрепаратов приводят к усилению действия отбора и более быстрому возникновению вирулентных рас. Отбор новых патотипов

и распространение патогенов происходят тем быстрее, чем более однородна популяция растений.

Расоспецифичная устойчивость сорта называется *вертикальной*. При *горизонтальной* устойчивости возможно поражение всеми патотипами, но в ослабленной форме. При этом размножение популяции паразита сдерживается. Горизонтальная устойчивость сорта значительно ослабляет эпидемию. Хороший эффект против болезней дает использование сортосмесей, особенно у самоопыляемых растений (ярового ячменя, гороха).

## 7.2. Состав, биологические особенности и биоиндикационное значение водорослей

Водоросли – в значительной мере сборная группа низших фотосинтезирующих одноклеточных, колониальных и многоклеточных водных и почвенных организмов, включающих 12 отделов: *сине-зеленые, прохлорофитовые, красные, золотистые, диатомовые, криптофитовые, динофитовые, бурые, желто-зеленые, эвгленовые, зеленые и харовые* водоросли. Клетки синезеленых и прохлорофитовых водорослей не имеют оформленного ядра с ядерной оболочкой, мембранных органелл (пластид, митохондрий, лизосом, аппарата Гольджи, эндоплазматической сети) и относятся к прокариотам. Некоторые исследователи объединяют криптофитовые и динофитовые водоросли в один отдел пиррофитовых водорослей.

*Прохлорофитовые* – небольшая группа одноклеточных, шаровидных водорослей, живущих в асцидиях из класса оболочников подтипа бесчленистых хордовых.

К *сине-зеленым* относятся одноклеточные, колониальные и нитчатые водоросли. Они входят в состав планктона, бентоса, живут на поверхности почвы, содержат хлорофилла. Жгутиковые стадии у сине-зеленых водорослей отсутствуют. В их клетках снаружи от цитоплазматической мембраны располагается четырехслойная клеточная стенка, в состав которой как и у бактерий входит муреин, состоящий из аминсахаров и аминокис-

лот. У многих сине-зеленых водорослей поверх клеточных стенок находятся слизистые слои, которые могут быть плотными и толстыми и образуют чехлы или капсулы, иногда слизь представлена в виде тонкого жидкого слоя. Слизь предохраняет клетки от высыхания, участвует в движении. Размножаются сине-зелёные водоросли вегетативным и бесполом способами путём распада нитей, деления клеток, с помощью спор. Половое размножение у них не наблюдается.

Все остальные эукариотические водоросли относятся к подцарству низших растений, происходят, за исключением красных водорослей, от различно окрашенных жгутиковых. Неподвижные в вегетативном состоянии водоросли имеют подвижные гаметы и зооспоры. Тело водорослей не расчленено на вегетативные органы (корень, стебель, лист), у них отсутствуют истинные ткани, органы полового и бесполого размножения, как правило, одноклеточные, ризоиды чаще служат для прикрепления к грунту.

*Красные водоросли* не имеют жгутиковой стадии, содержат хлорофилл *a* и *b*, живут почти исключительно в морях, в основном многоклеточные. Клетка красных водорослей имеет оболочку, содержащую пектиновые вещества и гемицеллюлозу, при набухании которых образуется общая слизь.

Водоросли, обладающие жгутиковыми стадиями, делят на две группы: с зелёной окраской, имеющие хлорофилл *a* и *b* (эвгленовые, зелёные, харовые), и с жёлто-бурой окраской, содержащие хлорофилл *a*, а часто хлорофилл *c* (золотистые, диатомовые, динофитовые, криптофитовые, бурые, жёлто-зелёные).

*Динофитовые и криптофитовые* – одноклеточные двужгутиковые водоросли. Криптофитовые – обитатели отстойников, прудов, часто с загрязнённой водой, реже водохранилищ и озер. Динофитовые входят в состав планктона в морях и пресных водоемах, некоторые паразитируют на поверхности или внутри тела морских животных.



*Эвгленовые* – одноклеточные, преимущественно жгутиковые водоросли, занимающие обособленное положение. Чаще встречаются в пресных водоемах, богатых органическими веществами, фотосинтезируют и питаются главным образом растворёнными в воде органическими веществами.

*Золотистые водоросли* имеют микроскопические размеры, бывают одноклеточными, колониальными, многоклеточными, живут в пресных водах и морях. Некоторые из них особенно характерны для пресных чистых водоемов, где встречаются в массовых количествах, чаще в холодное время года. Многие золотистые водоросли – хорошие индикаторы чистой воды.

*Диатомовые водоросли* – обширный отдел низших растений, включающий около одной трети их видов. Это одноклеточные и колониальные организмы микроскопических размеров, широко распространенные в планктоне и бентосе морей, океанов, пресных вод, верхних слоях почвы. К плазмалемме клеток диатомовых водорослей плотно примыкает панцирь из кремнезёма.

*Бурые водоросли*, за немногим исключением, живут в морях, особенно в холодных водах северного и южного полушарий. Среди них неизвестны ни одноклеточные, ни колониальные формы. Их талломы, как правило, крупные, многоклеточные, а клеточные стенки – ослизняющиеся.

*Жёлто-зелёные водоросли* наиболее характерны для чистых пресных водоемов – они – одноклеточные, колониальные, реже многоклеточные, сходны с зелеными водорослями, от которых легко отличаются по строению жгутиков у подвижных стадий. Подвижные стадии жёлто-зелёных водорослей имеют два жгутика неравной длины и разного строения.

*Зелёные водоросли* распространены большей частью в пресных водах, имеются и морские виды, ряд этих водорослей перешёли к наземному

существованию. Обычны одноклеточные, колониальные и многоклеточные формы.

*Харовые водоросли* отличаются от зеленых сложно устроенными многоклеточными половыми органами и расчленением нитчатого таллома. Мутовчатое ветвление таллома придаёт им сходство с хвощами. Прикрепляются талломы посредством многоклеточных разветвленных ризоидов. Клетки имеют целлюлозную оболочку. Размножаются вегетативным и половым путем, распространены преимущественно в пресных водах.

Большинство водорослей, населяющих почву, представляют собой микроскопические формы, которые могут быть разделены на несколько экологических группировок:

а) наземные водоросли, которые лишь при благоприятных условиях разрастаются на поверхности почвы в массовых количествах в виде корочек, пленок;

б) водно-земные, разрастающиеся на поверхности постоянно влажной почвы;

в) собственно почвенные водоросли, населяющие толщу почвенного слоя (Штина, Голлербах, 1976).

По систематическому составу почвенные водоросли довольно разнообразны. В наибольшем количестве и примерно в равных соотношениях в почве представлены сине-зелёные и зелёные водоросли. Несколько менее разнообразны, но весьма характерны для почвы желтозеленые и диатомовые водоросли.

Интенсивное развитие водорослей происходит лишь в верхних слоях почвы в пределах проникновения света.

Наряду с видами-индикаторами, в биоиндикации загрязнений почв широко используются водоросли. В настоящее время выделяют 9 их основных жизненных форм (Штина, Голлербах, 1976):

1. *Ch-форма* – одноклеточные и колониальные зеленые и частично жёлто-зеленые водоросли, обитающие в толще воды, но при благоприятной влажности дающие разрастания на поверхности почвы. Отличаются исключительной выносливостью к различным экстремальным условиям, первыми начинают заселение почвы или материнской породы. Отличаются также способностью к гетеротрофному питанию, наряду со способностью к фотосинтезу. Для этой жизненной формы характерны виды родов хлорококкум, хлорелла, плеврохлорис лопастный, ботридиописис шаровидный и др.

2. *C-форма* – одноклеточные колониальные, нитчатые водоросли, образующие обильную слизь. Обитают как в толще воды, так и на ее поверхности, формируя тонкие слизистые пленки или хлопья. Более требовательны к воде, переносят высыхание в виде спор, зигот, теневыносливы. Сине-зелёные водоросли родов цилиндроспермум, анабена, носток, глотеокапса, глотеотенце, микроцистис, зеленые – рода хламидомонас.

3. *X-форма* – большинство одноклеточных жёлто-зелёных (ксантофита), многие зеленые водоросли, предпочитающие теньевые условия среди почвенных частиц, не устойчивы к высоким и низким температурам, способные к смешанному питанию, близки к *Ch-форме*.

4. *B-форма* – диатомовые (бациллариофита) подвижные одноклеточные водоросли, живущие в поверхностных слоях влажной почвы или в слизи других водорослей, холодостойкие, светлюбивые, многие солевыносливые, неустойчивые против высыхания. Отличаются эфемерностью развития, быстротой размножения при благоприятной влажности, способностью к движению. К этой же форме, по-видимому, относятся и редкие в почве эвгленовые водоросли.

5. *P-форма* – нитевидные сине-зелёные водоросли родов формициум, плектонема, не образующие значительной слизи. Рассеяны в толще почвы или образуют на её поверхности тонкие кожистые пленки. Типичные ксе-

рофиты, имеют слизистые чехлы, тяготеют к голым участкам почвы. Из рода формициум в почвах обнаружены 55 видов водорослей.

6. *M-форма* – сине-зелёные водоросли в виде более или менее слизистых нитей, образующих микроскопически заметные корочки на поверхности почвы. Отличаются исключительной засухоустойчивостью и теплостойкостью, благодаря чехлам из гидрофильных коллоидных полисахаридов и свойствам протопласта. Ряд видов обладает также устойчивостью против холода. Виды родов: микроколеус, щитотрикс, гидроколеус.

7. *H-форма* - нитевидные зелёные и жёлто-зелёные водоросли, не устойчивы к засухе и яркой освещённости. Живут рассеянно среди почвенных частиц. При достаточной влажности и затенении образуют налёты на почве, у оснований побегов, стволов высших растений. Виды родов: формициум, улотрикс, стихококкус, бумиллерия, трибонема.

8. *N-форма* – сине-зелёные водоросли рода носток с наземными макроскопическими талломами. Световыносливые и засухоустойчивы. Способны к быстрому набуханию слизи и удержанию поглощённой воды.

9. *V-форма* - нитчатые жёлто-зелёные водоросли родов вауцерия, образующие войлокообразные налёты на поверхности влажных почв. Водоросли не способны регулировать водный режим и существуют за счёт увлажнения после выпавших осадков. Обезвоживание до воздушно-сухого состояния в сухой период года для них является нормой. Поглощению и удержанию воды, сохранению жизнеспособности при засухе способствует ряд морфологических и физиологических приспособлений водорослей. К ним относится прежде всего обильное образование слизи, слизистых чехлов, обвёрток, широко распространённых у сине-зелёных и ряда зелёных водорослей. Слизистые чехлы способны поглощать и удерживать большое количество воды. Почвенные

водоросли имеют более мелкие размеры по сравнению с близкими к ним водными формами. Как известно, мелкие формы более устойчивы к засухе. Почвенные водоросли без образования спор способны быстро переходить из состояния покоя к активной вегетации и наоборот. Засухоустойчивость почвенных водорослей связана также со значительной вязкостью протоплазмы, высокой концентрацией клеточного сока, большой соусущей силой, накоплением масел, снижением интенсивности дыхания при обезвоживании. Наименее засухоустойчивыми являются диатомовые и жёлто-зелёные водоросли. К индикаторам сухих условий относятся спорообразующие сине-зелёные и хлорококковые зелёные водоросли. Сине-зелёные водоросли отличаются особой устойчивостью к ультрафиолетовому облучению, благодаря слизистым чехлам и дополнительным пигментам в клетках. Почвенные водоросли выдерживают высокие дозы радиоактивного облучения (1200-2500 кр). Наиболее устойчив к радиации микроколеус влагалищный. Многие сине-зелёные водоросли отличаются высокой солеустойчивостью и могут быть использованы как индикаторы засоления почв.

Оптимальна для водорослей кислотность почвы в пределах рН 5,0-6,0. Показателем кислой почвы служит отсутствие сине-зелёных и диатомовых, а показателем щелочной почвы - господство сине-зелёных водорослей.

Около 80 видов сине-зелёных водорослей особенно из родов носток, анабена, анабенопсис, цилиндооспермум, сцитонема, толипотрикс, калотрикс и др. способны фиксировать атмосферный азот, переводить его в соединения, доступные для высших растений. В связи с этим они служат индикаторами улучшения азотного питания растений. Некоторые сине-зелёные водоросли, такие как ностокалес, являются вершиной в эволюционной фиксации азота свободными организмами. При окультуривании почв количество азотфиксирующих видов увеличивается. Мало азотфiksa-

торов в болотных, торфяно-болотных, пустынных почвах (Голлербах, Штина, 1969). Высокие дозы легкодоступного минерального азота замедляют усвоение молекулярного азота. Азотфиксацию у водорослей стимулируют кальций, молибден, железо, марганец, бор.

Повышенные дозы минеральных удобрений угнетают водоросли. Они слабо реагируют на органические удобрения, свежее органическое вещество оказывает на них токсическое действие. Известкование почв улучшает рост сине-зелёных водорослей.

При загрязнении почв нефтью в альгосинузиях уменьшается участие видов Х-формы, объединяющей одноклеточные жёлто-зелёные и многие зелёные водоросли, неустойчивые против засухи и экстремальных температур. Увеличивается доля водорослей С-формы, образующих обильную слизь, и водорослей Р-формы, имеющих слизистый чехол. Виды С- и Р-форм отличаются высокой устойчивостью к нефтяному загрязнению. Показателем детоксикации почв после загрязнения нефтью может служить восстановление состава жёлто-зелёных и диатомовых водорослей. Так, изменение альгофлоры под влиянием нефтедобычи в таёжной зоне показывает, что в первый год после загрязнения нефтью в средней тайге в почве преобладают водоросли хламидомонос Августа, в южной - коккомикса освежающая. То есть при свежем нефтяном загрязнении (1-2 года) в качестве индикаторов нарушений встречаются единичные виды одноклеточных зелёных водорослей, а на четвертый год - соответственно преобладают радиосфера рассекающая, хлорококк простой в почве средней тайги и формидии ямковидная и осенняя - в южной. Через 4 года после загрязнения почвы нефтью полное восстановление альгофлоры не происходит. В средней и южной тайге для деградации нефтяных разливов необходимо 10-20 лет. Нефть особенно токсична для водорослей в первые месяцы после загрязнения, пока не улетучились легкие фракции. При этом чем ниже

влажность почвы, тем медленнее восстанавливается альгофлора (Ельшина, 1986; Штина, 1988).

В лесной зоне в окрестностях медеплавильных комбинатов по мере приближения к центру выбросов в альгосинузиях возрастает относительная доля водорослей, относящихся к С-форме, и резко уменьшается доля видов Р-формы.

## Глава 8. Биоиндикация качества воды и степени загрязнений водоемов

К внутренним водоёмам суши относятся: озёра, пруды, болота, ручьи, реки, водохранилища. В большинстве этих водоёмов можно выделить три последовательно граничащие друг с другой зоны: 1) *береговая*, включающая омываемый водой откос и побережье; 2) *литораль*, в состав которой входят береговая мель и подводный откос; 3) *пелагиаль*, или глубоководная часть.

### 8.1. Население пресных водоемов

Население водной среды по характеру поведения и распределения можно разделить на ряд биологических групп: *планктон*, *бентос*, *нектон* и *перифитон* (Константинов, 1967).

Планктоном называют совокупность мелких обитателей водной толщи, лишённых активных органов передвижения на значительные расстояния и пассивно переносимых водными массами. Планктон, включающий растительные организмы называют *фитопланктоном*, животных - *зоопланктоном*, бактерий - *бактериопланктоном*. Типичный планктон наиболее характерен для больших озёр, медленно текущих рек, водохранилищ.

Во внутренних водоёмах в состав *фитопланктона* входят: *сине-зелёные* зеленые, *золотистые*, *жёлто-зелёные* (*разножгутиковые*), *диа-*

*томовые, пиррофитовые, эвгленовые водоросли.* Из подвижных водорослей чаще встречаются жгутиконосные водоросли, обладающие очень тонкими нитевидными органами плавания – жгутиками. К ним относится колониальная зелёная водоросль *вольвокс* в виде шариков диаметром 1-1,5 мм, *эвглена*, колониальная золотистая водоросль *динобрион*; своеобразная, одетая в панцирь пиррофитовая водоросль *церариум*. Среди неподвижных и малоподвижных водорослей обычны диатомовые, имеющие кремевый панцирь из двух створок (*мелозира, фрагилярия, астерионелла*). Совершенно лишены способности к движению многочисленные сине-зелёные (*анабена, афанизоменон*), зелёные (*тидаструм, космариум, микроастериас, десмидиум и др.*) водоросли. Планктонные организмы, часть тела которых находится в воде, а часть над её поверхностью называют *плейстоном*. К типичным представителям плейстона относится ряска.

К особой группе планктона – микопланктону – следует относить *грибы*, включающие находящиеся во взвешенном состоянии вторично водные формы.

В состав зоопланктона входят *инфузории, коловратки, ветвистоусые рачки (дафнии, босмины), веслоногие рачки (циклопы, диапомусы)*.

Размеры тела указанных рачков составляют от 1 до нескольких миллиметров, коловраток – менее 1 мм. Рачки передвигаются толчками, ударяя передними усиками и совершая прыжки. Коловратки перемещаются плавно вращаясь вокруг оси тела.

Основу *бактериопланктона* составляют аэробные сапрофитные бактерии – гетеротрофы, азотфиксирующие и хемосинтезирующие бактерии, споры бактерий. Численность бактерий в реках составляет 0,2-45,0, в водохранилищах – 0,2-3,3, озерах – до 1,0-11,4 млн/мл воды, а их биомасса – до 2-3 г/м<sup>3</sup>. Бактерии-гетеротрофы чутко реагируют на загрязнение водоёмов органическими веществами и используются как индикаторы для оценки



степени загрязнения воды. При оценке качества воды определяется отношение численности бактерий-сапрофитов к их общему количеству.

К *бентосу* относятся организмы, живущие на дне водоёмов и в донном иле. Они заселяют преимущественно верхние слои ила толщиной 10-20 см. В составе бентоса различают *фито-, зоо- и бактериобентос*.

*Фитобентос* во внутренних водоемах развивается преимущественно в литорали, сильно обедняется на глубине 4-5 м и более. У самого берега обычны такие водные растения, как *тростник, камыш, рогоз, стрелолист, ежеголовник, частуха, осоки, хвоши*, растущие на глубине до 2-3 м. Часть этих растений поднимается над водой. Далее следует пояс растений с плавающими листьями, представленных *кувшинками, кубышками, рдестами, земноводной гречихой*, растут они на глубине 2-2,5 м (Константинов, 1967; Липин, 1941). К следующей группе относятся погруженные растения, находящиеся под водой целиком, и лишь во время цветения они выставляют над ней свои соцветия (*рдесты, водяные лютики, пузырчатка, уруть, турча, телорез* и др.). Последнюю группу фитобентоса образуют растения, встречающиеся на глубинах 40-50 м, вся жизнь которых вплоть до размножения и появления нового поколения протекает в воде. Среди них чаще встречаются харовые водоросли родов *хара, нителла*, зелёные водоросли *спирогира, кладофора, энтероморфа, мхи* родов *фонтиналис, каллиергон* и единственное цветковое растение *роголистник*.

В составе *микробентоса* преобладают низшие грибы из класса оомицетов.

*Зообентос* делят на микро- и макрозообентос. К *микрозообентосу* относятся сравнительно мелкие обитатели данного грунта, а именно: *корне-ножки, жгутиковые, инфузории, кишечнополостные, губки, мшанки, колорватки, ресничные плоские черви (планарии), нематоды, тихоходки*. В состав *макрозообентоса* входят более крупные беспозвоночные, в частности, *пиявки, малощетинковые кольчатые черви, моллюски (беззубки, перловни-*

цы, биссусы, прудовики, катушки), водяной ослик, гаммарусы, речной рак, личинки веснянок, подёнок, ручейников, вислокрлоок, стрекоз, водяные клопы, личинки двукрылых (долгоножек, комаров, мошек и др.).

Основу *бактетобентоса* составляют бактерии донного грунта. В грунте водохранилищ их количество составляет 0,5-2,5 млрд., клеток в 1 г сырого ила (Гамбарян, 1965).

*Нектон* включает наиболее крупных водных животных, имеющих приспособления для активного передвижения в воде на значительные расстояния. Представлен в основном *рыбами*, среди которых различают жилых, обитающих в реках постоянно, а также проходных и полупроходных, проводящих часть жизни в море. К проходным рыбам относятся осетровые, многие лососевые, угреобразные, к полупроходным - вобла, тарань, усач и др.

Сообщества водных организмов, которые поселяются на различных предметах и на живых телах в воде, получили название *перифитона*. Для их изучения используют искусственные субстраты-обрастатели (дерево, стекло). В состав перифитона входят водоросли, инфузории, кишечнополостные, губки, мшанки, коловратки, ракообразные, моллюски, личинки насекомых.

## 8.2. Экологическая оценка степени загрязнённости водоёмов

Основана главным образом на учёте количества присутствующего в воде органического вещества в разных формах. Биологическое состояние водоёма, определяемое концентрацией органических веществ и интенсивностью процессов их разложения, получило название *сапробности*. Водоёмы или их зоны в зависимости от степени загрязнения органическими веществами подразделяются на 4 группы – *катаробные*, *лимносаяробные*, *эусаяробные* и *транссаяробные*, имеющие следующие основные отличия (Sladecsek, 1973):

1. *Катаробная* группа. Включает источники, содержащие чистой-шую воду. К ним относятся подземные родниковые воды, талые воды гор-ных ледников, минеральные воды, вода, искусственно подготовленная для питья. Индекс сапробности – 0. Психрофильных бактерий в 1 мл воды ме-нее 500, а бактерий группы кишечной палочки в 1 л. менее 10.

2. *Лимносაпробная* группа включает ксено-, олиго-, β- и α-мезо- и полисапробную зоны:

а) *ксеносапробная* зона, практически чистые воды, содержащие крайне незначительные количества растворённых органических веществ, индекс сапробности – менее 1,0;

б) *олигосапробная* зона, H<sub>2</sub>S отсутствует, CO<sub>2</sub> мало, O<sub>2</sub> близко к нор-ме, растворённых органических веществ почти нет, численность обитате-лей воды невысокая, видовое разнообразие значительное, наиболее харак-терны *диатомовые водоросли* рода *мелозира*, зелёные - *драпарнальдия*, *ко-ловратка*, *ветвистоусые рачки* (дафния длинноспинная, битхотрифес дол-горукий), личинки *подёнок*, *веснянок*, *моллюск* (драйссена полиморфная), *форель*, *стерлядь* (Константинов, 1967). Индекс сапробности 1,0;

в) *мезосапробная* зона подразделяется на β- и α-мезосапробные подзоны; β-мезосапробная подзона характеризуется присутствием аммиа-ка, азотистой и азотной кислот, аминокислот нет, H<sub>2</sub>S очень мало, O<sub>2</sub> мно-го, происходит полное окисление органического вещества; видовое разно-образие гидробионтов высокое, но их численность и биомасса ниже, чем в следующей подзоне, наиболее характерны *диатомовые водоросли* (мело-зира пёстрая или изменчивая, диатома, навикула), *зелёные* (космариум, ботритис, спиругира толстая или известковая, кладофора), многие *хлоро-кокковые*, из цветковых появляется роголистник, среди животных много-численны *корненожки*, *инфузории*, *ракообразные*, *моллюски*, *рыбы*, начи-нают встречаться *губки*, *мшанки*. В мезосапробных водах имеются аммиак, аминокислоты, O<sub>2</sub> в заметных количествах, H<sub>2</sub>S и CO<sub>2</sub> немного, неразло-

жившихся белков нет; минерализация органического вещества идёт в основном за счёт его аэробного окисления; среди живых организмов наиболее характерны *гриб мукор*, *сине-зелёные водоросли* (осциллятория, хормидиум крючковатый), *зелёные* (хламидомонос хмельной), *эвгленовые* (эвглена зелёная), *простейшие* (стенотор тёмный), *коловертки*, *моллюски* (шаровка роговая), *водяной ослик*, *личинки двукрылых* (комаров дергуна и бабочницы). Индекс сапробности мезосапробных вод – 1,1-2,0, а  $\alpha$ -мезосапробных – 2,1-3,0;

г) *полисапробная* зона характеризуется наличием в воде неразложившихся белков, следов  $H_2S$ , низким содержанием кислорода, значительным количеством  $CO_2$ , восстановительным типом биохимических процессов. Самоочищение в этих водах идёт в основном за счёт деятельности *бактерий* (многококка серого, живущего колониями и дочернего шарообразного), *зелёных водорослей* (политомы яйцевидной), *жгутиковых* (ойкомонаса изменчивого), *инфузорий* (парамециума зловонного или гнилого), *олигохет* (трубача трубачёвого), *личинок мух-журчалок*. Число видов живых организмов в полиеапробных водоёмах невелико, но они встречаются здесь, как правило, в массовых количествах. Индекс сапробности – 3,1-4,5.

Психрофильных бактерий в 1 мл ксеносапробных вод 0,5-1,0, олигосапробных – 1-10,  $\beta$ -мезосапробных – 10-50,  $\alpha$ -мезосапробных – 50-250, полисапробных – 250-2000 тысяч, а бактерий группы кишечной палочки в 1 л соответственно 0,01-10, 10-50, 50-100, 100-1000, 1000-20000 тысяч. Ксено- и олигосапробные воды после обработки пригодны для питья, мезо- и полисапробные воды используются главным образом для бытовых и технических нужд.

3. *Эусапробная* группа. Относится к категории сточных вод, содержащих большое количество органических веществ, разложение которых протекает почти в анаэробных или же в аэробных условиях с помощью мик-

роорганизмов и биохимическим путем. Включает *изо-, мета-, гипер- и ультрасапробные* зоны:

а) *изосапробная* зона характеризуется почти анаэробными условиями, присутствием следов  $O_2$  и небольшого количества  $H_2S$ , обильной фауной *инфузорий* (парамециум монетовидный, кольпидия поздняя, гиаукома мерцающая, фортицелла лекарственная), *бесцветных жгутиконосцев, бактерий*;

б) *метасапробная* зона отличается большим количеством  $H_2S$ , отсутствием  $O_2$ , массовым развитием *жгутиконосцев, зелёных, пурпурных* и других бактерий; *инфузории* редки;

в) *гиперсапробная* зона, условия анаэробные,  $H_2S$  нет или мало, из живых организмов встречаются *бактерии* и реже *низшие грибы*;

г) *ультрасапробная* зона не содержит живых организмов, происходит постепенный биохимический распад органических веществ,  $O_2$  и  $H_2S$  нет.

Индекс сапробности эусапробных вод – 4,6-8,0. Количество психрофильных бактерий в 1 мл изосапробных вод 2-10, метасапробных – 10-20, гиперсапробных – 20-50 млн, ультрасапробных - менее 10, а бактерий группы кишечной палочки в 1 л воды - соответственно от 20 млн до 3 млрд, 3-10 млрд, менее 1 млрд и 0.

4. *Транссапробная* группа характеризуется большим количеством токсичных и минеральных веществ, радиоактивных стоков и т.п.; биохимический распад органических веществ не происходит; включает *антисапробную, радиосапробную и криптосапробную* зоны. Антисапробные воды содержат большие концентрации токсических, радиосапробные - радиоактивных веществ, криптосапробные воды испытывают значительное влияние физических факторов (высоких или низких температур, минеральных суспензий и т.д.). Эти воды полностью непригодны для какого-либо использования.

Оценка качества или степени загрязнения вод по биологическим показателям проводится путём сравнения населения обитателей водоёмов на загрязнённых и незагрязнённых участках или по индикаторным организмам (Макрушин, 1974). Организмы-индикаторы активно участвуют в процессах биологического самоочищения воды и позволяют определить степень загрязнения зоны водоема, в котором они обитают. В Европейских странах наибольшее распространение получила основанная на экологическом принципе система индикаторных организмов Колквица-Маресона (Kolkwitz, Marson, 1909), в модификации Пантле и Букка (Pantle, Buck, 1955), Зелинки и Марвана (Zelinka, Marvan, 1966), Сладечка (Sladecsek, 1973) и др. Один из последних обобщённых списков организмов-индикаторов загрязнения воды включает около 660 видов, в том числе бактерий - 21, грибов - 4, синезелёных водорослей - 43, золотистых - 17, диатомовых - 88, пиррофитовых - 4, эвгленовых - 11, зелёных - 67, красных водорослей - 5, мхов - 4, однодольных цветковых - 7, двудольных - 5, жгутиковых - 32, корненожек - 8, инфузорий - 106, губок - 4, мшанок - 3, кишечнополостных - 1, плоских червей - 4, коловраток - 28, кольчатых червей - 9, моллюсков - 22, ракообразных - 30, паукообразных - 5, подёнок - 69, ручейников - 37, двукрылых - 10, рыб - 18 видов (Унифицированные методы исследования качества вод, 1966, 1974). В этом списке для каждого вида цифрами от 1 до 10 приводятся сапробные валентности вида, показывающие, в какой мере вид характерен для той или иной зоны лимноссапробных вод (ксено-, олиго-,  $\beta$ -мезо-,  $\alpha$ -мезо, полисапробные воды). В отдельной графе для многих видов в баллах от 1 до 5 указывается индикаторное значение видов.

К важнейшим индикаторным группам при оценке качества воды относятся свободноживущие инфузории, представители макрозообентоса, предлагаемые для использования в целях биоиндикации многими исследователями.

### **8.3. Инфузии как индикаторы сапробного состояния воды**

В Европе инфузии наиболее детально изучены в бассейне Волги, где они представлены 210 видами, из которых 102 вида являются индикаторами различных сапробных зон водной среды (Жариков, 1994}. Среди последних 27 видов входят в состав бентоса, 22 - планктона, 15 - перифитона, 38 видов отмечены в нескольких биотопах. По типу питания 62 вида относятся к бактериодетритофагам, 17 - хищникам, 12 - потребителям водорослей (альгофагам), 8 - всеядным, 2 - фотосинтетикам, 1 - к гистофагам, питающимися мёртвыми тканями растений и животных. Для каждого индикаторного вида установлены средние индексы сапробности заселяемых ими вод. Для оценки качества воды общепринятыми методами проводят фаунистические и количественные учёты инфузий, затем, используя приведённые в специальной таблице индексы сапробности, определяют средневзвешенный показатель сапробности воды с учётом состава выявленных индикаторных видов, их обилия, численности или биомассы.

### **8.4. Оценка степени загрязнения вод по показателям макрозообентоса**

Наиболее простым и используемым в системе гидрометеорологической службы методом оценки качества воды и состояния водоёма с помощью представителей макрозообентоса является разработанный в Англии метод

Вудивиса (Woodiwiss, 1964), При этом качество воды оценивается не по показателю сапробности, а по биотическому индексу, обозначаемому цифрами от 0 до 10, и классификатору чистоты воды, включающему 6 классов (табл. 10, 11).

**Рабочая шкала для определения биологического индекса по Вудивису (Вудивис, 1981)**

Таблица 10

| Показатель-<br>ные организ-<br>мы             | Видовое<br>разнообра-<br>зие        | Биотический индекс по нали-<br>чию общего числа присутст-<br>вующих «групп» |     |      |       |               |
|---|-------------------------------------|---|-----|------|-------|---------------|
|   |                                     | 0-1   | 2-5 | 6-10 | 11-15 | 16 и<br>более |
| <b>Личинки веснянок</b>                       | Больше 1 вида                       | -   | 7   | 8    | 9     | 10            |
|   | Только 1 вид                        | -   | 6   | 7    | 8     | 9             |
| <b>Личинки поденок</b>                        | Больше 1 вида                       | -   | 6   | 7    | 8     | 9             |
|   | Только 1 вид                        | -   | 5   | 6    | 7     | 8             |
| <b>Личинки ручейни-</b>                       | Больше 1 вида                       | -   | 5   | 6    | 7     | 8             |
|   | Только 1 вид                        | -   | 4   | 5    | 6     | 7             |
| <b>Гаммарусы</b>                              | Все выше назван-<br>ные виды отсут- | 3   | 4   | 5    | 6     | 7             |
| <b>Водяной ослик</b>                          | То же                               | 2   | 3   | 4    | 5     | 6             |
| <b>Тубифициды и ли-</b>                       | То же                               | 1   | 2   | 3    | 4     | 5             |
| <b>Все выше назван-<br/>ные группы отсут-</b> | Могут присутст-<br>вовать некоторые | 0   | 1   | 2    | -     | -             |



Классификация качества вод суши по показателям зообентоса (по: Руководство по методам..., 1983)

Таблица 11

| Класс вод | Воды                  | Относительная численность олигохет общего кол-ва зообентоса, % | Биотический индекс |
|-----------|-----------------------|--|--------------------|
| 1         | Очень чистые          | 1-20   | 10-8               |
| 2         | Чистые                | 21-35  | 7-5                |
| 3         | Умеренно загрязненные | 36-50  | 4-3                |
| 4         | Загрязненные          | 51-65  | 2-1                |
| 5         | Грязные               | 66-85  | 1-0                |
| 6         | Очень грязные         | 86-100 или макробентос отсутствует                             | 0                  |

Биотический индекс по системе Вудивиса определяется по рабочей шкале, построенной по принципу использования наиболее часто встречаемой последовательности исчезновения гидрофауны по мере увеличения степени загрязнения вод (Финогенова, Алимов, 1976; Попченко, 1994). Для учёта разнообразия организмов предложено условное понятие «группа» животных; для легко определяемых систематических групп фауны - это виды, для трудноопределяемых - более крупные таксоны (отряды, семейства, роды и т.д.). По общему количеству и качественному составу выявленных при учётах макрозообентоса групп животных по таблице Вудивиса определяют биотический индекс, соответствующий определённому классу чистоты воды (табл. 10, 11). Для этого в графе "Биотический индекс" находят столбец с соответствующим числом выявленных в пробах донного грунта групп животных. Затем в первой графе "Показательные организмы..." при движении сверху вниз находят первую встреченную в пробах индикаторную группу.

торную группу животных. На пересечении выбранных горизонтальной и вертикальной строчек находят значение биотического индекса.

Качество воды определяют также по выраженной в % доли олигохет в составе маетюзообентоса, абсолютной численности кольчатых малощетинковых червей (тубифекс и озёрник простой) (табл. 12).

Таблица 12

Классификация вод суши по численности олигохет родов тубифекс и озёрник простой (Zahner, 1965)

| Класс чистоты воды | Численность (тыс. экз./м <sup>3</sup> ) |                 |
|--------------------|---|-----------------|
|                    | Тубифекс                                | Озерник простой |
| 1-2                | 0,1-1,0                                 | 0,1-2,0         |
| 2-3                | 1,0-2,0                                 | 2,0-10,0        |
| 3                  | 2,0-10,0                                | 10,0-50,0       |
| 3-4                | 10,0-50,0                               | 50,0-100,0      |
| 4                  | 50,0-100,0 и более                      | Более 100,0     |

Другой массовой группой организмов в донной фауне являются личинки двукрылых семейства хиронимид. Е.В. Глушкиной (1976) установлено, что в результате загрязнения водоёмов происходит закономерное изменение соотношения численности хиронимид подсемейств хиромины (ch), ортокладины (or), таниподины (t). Ортокладины обычно доминируют в чистых водах, а таниподины - в загрязнённых. Для биоиндикации качества воды насчитывают коэффициент К, отражающий соотношение представителей этих трёх подсемейств хиронимид:  $K = (a_t + 0,5 a_{ch}) / a_{or}$ , где  $a_t$ ,  $a_{ch}$ ,  $a_{or}$  - индикаторные значения представителей каждого из подсемейств, ве-

личина  $a = N + 10$ ,  $N$  - относительная численность личинок указанных подсемейств хирономид от их общего числа, выраженная в долях от единицы.

## **Глава 9. ИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ МЕТОДАМИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ**

Для оценки степени загрязнения окружающей среды широко применяется биологическое тестирование, получившее название активного мониторинга, при котором выявляют различные стрессовые воздействия с помощью тест-организмов, находящихся в стандартизированных условиях на исследуемой территории. Под биотестированием в узком смысле понимается биологическая оценка качества воздуха, воды, почвы по реакции тест-организмов, помещаемых в испытываемую среду. В последнее время под биотестированием стали понимать регистрацию изменений любых биологических показателей (тест-функций) под действием токсических веществ на выбранные тест-объекты в лабораторных и в полевых условиях. Значительный интерес представляют организмы, реагирующие на загрязнение среды изменением хорошо заметных визуальных признаков. При этом биоиндикаторы интегрируют биологически значимые эффекты загрязнения. Они позволяют определять скорость происходящих изменений, пути и места скопления в экосистемах различных токсикантов, делать выводы о степени опасности для человека и полезной биоты конкретных веществ или их сочетаний (Цаценко, Филипчук, 1997),

В зависимости от скорости проявления биоиндикаторных реакций выделяют несколько различных типов чувствительности тест-организмов:

1 тип - биоиндикатор проявляет внезапную и сильную реакцию, продолжающуюся некоторое время, после чего перестаёт реагировать на загрязнитель;

2 тип - биоиндикатор в течение длительного времени линейно реаги-

рует на воздействие возрастающей концентрации загрязнителя;

3 тип - после немедленной сильной реакции биоиндикатора на загрязнитель наблюдается её затухание, сначала резкое, затем постепенное;

4 тип - под влиянием загрязнителя реакция биоиндикатора постепенно становится всё более интенсивной, однако, достигнув максимума постепенно затухает;

5 тип - реакция и типы чувствительности неоднократно повторяются, возникает осцилляция биоиндикаторных параметров (Шуберт, 1988).

При проведении биоиндикации с помощью тест-организмов существенное значение имеет выбор стандартов для сравнения, которые делятся на абсолютные и относительные. К абсолютным стандартам относятся системы или организмы, свободные от воздействия загрязнителей; с искусственным исключением действия антропогенных факторов. Относительные стандарты включают эталонные объекты, испытывающие незначительное или изначально известное антропогенное воздействие.

Для объективной оценки состояния экосистем интерес представляют тест-организмы, реагирующие на комплекс загрязнителей. При этом накопление загрязняющих веществ не должно приводить к гибели тест-организмов, их численность должна быть достаточной для отбора; предпочтительны долгоживущие, одновозрастные и генетически однородные организмы; необходимо обеспечение лёгкости взятия проб и быстроты проведения тестирования; биотесты должны обеспечивать получение достаточно точных и воспроизводимых результатов с диапазоном погрешности измерений, не превышающим 20-30%; при выборе тест-организмов предпочтение следует отдавать регистрации функциональных, экологических, цитогенетических изменений отдельных индикаторных процессов биоты, а не только изменению её структуры, численности или биомассы.

Биоиндикация загрязнённости экосистем должна по возможности включать подбор индикаторов прогнозирования раннего воздействия; состояния биотических компонентов и экосистем в целом.

Для санитарного контроля и нормирования загрязнителей в экосистемах успешно применяют методы микробиологического тестирования. Они включают вирусологические и бактериологические исследования. С целью получения более полной информации об изменениях всех компонентов экосистемы используют систему взаимоперекрывающих тестов. С этой целью она должна включать организмы на разных уровнях их организации и эволюции (вирусы, бактерии, грибы, растения, позвоночные животные и др.).

### **9.1. Биотестирование загрязнений воздуха.**

При активном мониторинге загрязнений воздуха оправдал себя метод организмов-уловителей (табл. 13). Для этой цели в тест-камеры помещаются особо чувствительные к загрязнениям воздуха растения или животные. В контрольную камеру поступает чистый отфильтрованный, а в экспериментальную камеру – неотфильтрованный воздух. Циркуляция воздуха обеспечивается работой насоса. Заключение о качестве воздуха делают на основании отсутствия или наличия на тест-объектах в экспериментальных камерах характерных симптомов, возникающих под влиянием загрязнителей.

При отсутствии тест-камер отобранные биоиндикаторы помещаются в экспериментальное помещение и спустя некоторое время обследуются на воздействие на них загрязнения.

Табак BeI W 3 как тест-объект загрязнения воздуха озоном.

Этот сорт табака был выведен специально для биоиндикации. Он очень восприимчив к содержанию озона ( $O_3$ ) в воздухе. Уже при слабом воздействии  $O_3$  через несколько дней на листьях табака образуются некротические пятна серебристого цвета. Для сравнения одновременно высаживают относительно устойчивый к озону сорт BeI B. Для этого однородный по-

семенной материал выращивается вначале к гидропонной культуре, затем в горшках в течение пяти недель при стандартных условиях (температура 24°C, постоянное освещение; в чистом воздухе, профильтрованном через активированный уголь) по общепринятым методикам. Затем табак высаживают в открытый грунт по 72 экземпляра сортов BeIW3 и BeI B на каждый контрольный участок. Оценка некрозов в процентах листовой площади производится еженедельно для каждого листа высаженных растений. Каждые три недели наиболее старые растения заменяют свежими. Основываясь на полученных результатах, была составлена картосхема загрязнения озоном Британских островов, где установлено 5 классов некрозов листовой поверхности в зависимости от % ее поверхности (от > 0,01 до 2,64%) (рис. 7).

#### Биоиндикаторы вредных веществ в воздухе (по: Шуберт, 1988)

| Компоненты загрязнений | Биоиндикаторы  | Симптомы  |
|------------------------|--|---|
| 1                      | 2  | 3   |
| Фтористый водород (HF) | Гладиолус ( <i>Gladiolus gandaven-sis</i> cv. Snow Princess, Flowersong)<br>Тюльпан ( <i>Tulipa gesneriana</i> cv. Blue Parrot, Preludium) Касатик ( <i>Iris germanica</i> ) Петрушка кудрявая ( <i>Petroselinum crispum</i> var. <i>vulgare</i> )<br>Пчела медоносная | Некрозы верхушек и краев листьев. Накопление фтора в сухом веществе<br>Заболевание и гибель |

|                                   |  |  |
|-----------------------------------|--|--|
|                                   | <i>(Apis mel-lifera)</i>   |  |
| Озон (O <sub>3</sub> )            | Табак ( <i>Nicotiana tabacum</i> cv. Bel W 3)<br>Шпинат ( <i>Spinacia oleracea</i> cv. Subito, Динамо)<br>Соя ( <i>Glycine max</i> )   | Некротические пятна серебристого цвета на верхней стороне листа<br>Некрозы верхней стороны листьев   |
| Пероксиацетилнитрат               | Крапива жгучая ( <i>Urtica urens</i> )<br>Мятлик однолетний ( <i>Poa annua</i> )   | Полосчатые некрозы на нижней стороне листьев<br>Полосчатые некрозы листьев   |
| Двуокись серы (SO <sub>2</sub> )  | Люцерна ( <i>Medicago sativa</i> cv. Du Purts)<br>Гречиха ( <i>Fagopyrum esculentum</i> )<br>Подорожник большой ( <i>Plantago major</i> )<br>Горох ( <i>Pisum sativum</i> )<br>Клевер инкарнатный ( <i>Trifolium incarnatum</i> )<br><i>Trebouxia</i> sp.<br>Тля ( <i>Aphis sambuci</i> )<br>Личинки, синей мухи красного-ловой ( <i>Calliphora erythrocephala</i> ) | Межжилковые некрозы и хлорозы<br>Нарушение энергетического баланса, уменьшение АТФ, увеличение АМФ<br>Уменьшение малатдегидрогеназы<br>Увеличение смертности личинок |
| Двуокись азота (NO <sub>2</sub> ) | Шпинат ( <i>Spinacia oleracea</i> cv. Subito, Дина-  | Межжилковые некрозы<br>Пероксидация липидов  |

|   |   |  |
|---|---|--|
|   | мо) Махорка ( <i>Nicotiana rustica</i> ) Сельдерей ( <i>Apium graveolens</i> ) Крыса ( <i>Rattus rattus</i> )   | легочной ткани   |
| Хлор (Cl <sub>2</sub> )                                 | Личинки синей мухи красноглазой ( <i>Calliphora erythrocephala</i> ) Шпинат ( <i>Spinacia oleracea</i> ) Фасоль ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) Салат ( <i>Lactuca sativa</i> ) | Повышение смертности личинок<br>Побледнение листьев<br>Деформация хлоропластов                             |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>                           | Петуния ( <i>Petunia nictaginiflora</i> cv. White Joy) Салат ( <i>Lactuca sativa</i> ) Томат ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )   | Отмирание цветочных почек, мелкие цветки<br>Закручивание краев листьев, повышение пероксидазной активности |
| <b>радионуклиды</b> <sup>90</sup> Sr, <sup>137</sup> Cs | Олений мох ( <i>Cladonia rangiferina</i> ) Исландский мох ( <i>Cetraria islandica</i> )   | Накопление в сухом веществе  |
| Фторид-ион, ионы металлов (Pb, Zn, Cd, Mn, Cu)          | Райграс многоцветковый ( <i>Lolium multiflorum</i> cv. Optima) Полевица ползучая и полевица тонкая ( <i>Agrostis stolonifera</i> , <i>A. tenuis</i> )                         | Накопление в сухом веществе<br>Изменение в соотношении Т- и В-лимфоцитов, уменьшение В-лимфоцитарной реак- |



|  |  |  |
|--|--|--|
|  | <p>Мышь (<i>Mus musculus</i>)</p> <p>Пчела медоносная (<i>Apis mellifera</i>)</p> <p>Горчица белая (<i>Sinapis alba</i>) Листовая капуста (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i>) Конский каштан (<i>Aesculus hippocastanum</i>) Мхи (<i>Sphagnum</i> sp., <i>Hypnum cupressiforme</i>, <i>Pohlia nutans</i>, <i>Pleurozium schreberi</i>)</p> | <p>ции</p> <p>Накопление в меде</p> <p>Накопление в сухом веществе</p>   |
| Сочетание вредных веществ в воздухе (SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , HF) | <p>Выводковые почки <i>Marchantia polymorpha</i></p> <p>Листовые и кустистые лишайники (<i>Hypogymnia physodes</i>, <i>Pseudevernia furfuracea</i>, <i>Cetraria glauca</i>)</p> <p>Пихта (<i>Abies alba</i>) Ель (<i>Picea abies</i>) Сосна (<i>Pinus sylvestris</i>)</p>  | <p>Уменьшение прироста клеток</p> <p>Снижение содержания хлорофиллов а и Ь, уменьшение содержания живых клеток водорослей</p> <p>Снижение содержания хлорофиллов а и Ь, уменьшение возраста хвоинок и задержка роста</p> |
|  |  |  |

Рис. 7. Некрозы на листьях табака *Nicotiana tabacum* BeI W 3 под действием содержащегося в воздухе озона ( $O_3$ ) на Британских островах

Классы некрозов (% поврежденной листовой поверхности): 1 - > 0,01 %; 2 - > 0,54 %; 3 - > 1,06 %; 4 - > 1,59 %; 5 - 2,11-2,64 % (по: Tompson, Farrar, 1980).



Кресс-салат как тест-объект для оценки загрязнения почвы и воздуха.

Кресс-салат, отличающийся быстрым и почти стопроцентным прорастанием применяют для исследования почв, загрязненных солями тяжелых

металлов, воздуха – выхлопными газами. Семена кресс-салата проращивают в чашках Петри по 50 семян на фильтрованной бумаге или на исследуемой почве в течение 10 дней. Контролем служат семена, проращиваемые в чистом воздухе и на незагрязненной почве. Растения можно высаживать и в открытый грунт. При наличии загрязняющих веществ снижается всхожесть и рост зародышевых корешков. В открытом грунте под влиянием газообразных выбросов снижается общая длина проростков.

## **9.2. Биотестирование загрязнений почвы.**

Для тестирования остатков пестицидов, нитратов, тяжелых металлов в почве и воде используют стандартный микробиотест, позволяющий определить эффект суммарного присутствия всех токсикантов и токсическое действие широкого круга загрязнителей. С этой целью в питательную среду на основе почвенной водной вытяжки (почва: вода = 1 : 10) высеивают культуру фотобактерий фосфорных. Количественную оценку содержащихся в почве токсикантов дают по степени ингибирования фермента люциферазы, что регистрируется биолюцинометром БАМ 8101 по изменению замедленной флюоресценции (Пшеничников, Закирова и др., 1995).

Классическим тест-объектом на загрязнения почв является одноклеточная зеленая водоросль хлорелла обыкновенная. Метод основан на оценке влияния токсикантов на продолжительность жизни и продуктивность тест-системы, численность живых клеток хлореллы обыкновенной и динамику ее фитомассы в загрязненной почве (Круглов, 1991). Имеющие зеленый цвет зеленые и диатомовые водоросли под действием токсикантов в загрязненной почве меняют окраску на густо-коричневую, обесцвечиваются или теряют тургор и легко повреждаются (Jain, Sarbhoy, 1987).

Для тестирования почвы, загрязненной тяжелыми металлами, проводят учет биологического разнообразия водорослей на единице площади. Исчезновение зеленых и особенно желтозеленых водорослей происходит уже при незначительном загрязнении почвы.

При оценке экологических последствий применения химических средств защиты растений проводится определение остаточных количеств этих препаратов в почве и в меньшей степени в получаемой продукции возделываемых культур. Однако это определение не дает полной объективной информации о токсичности, поскольку она обуславливается не только остаточными количествами препаратов в почве и в меньшей степени в получаемой продукции возделываемых культур. Однако это определение не дает полной объективной информации о токсичности, поскольку она обуславливается не только остаточными количествами препаратов, но и их метаболитами в почве и продукции. Известно, что метаболиты ряда пестицидов в 2-10 раз токсичнее самих препаратов и устойчивы к разложению почвенной микрофлорой. Применение препаратов, как правило, приводит к увеличению численности определённых групп микроорганизмов, особенно грибов и актиномицетов, многие из которых способны продуцировать фитосинтетические вещества.

Одним из перспективных методов определения токсичности почвы и получаемой продукции считается метод биотеста. В США в качестве биотеста наиболее часто используют семена кукурузы, огурца, сахарной свёклы; в Великобритании - гороха, чечевицы, сахарной свёклы; в Австралии - пшеницы; в Италии - капусты, фасоли, огурца, проса; в Новой Зеландии - овса, репы; в России - редиса, мака, пшеницы, вики, салата, горчицы, кукурузы. Для определения токсичности предпочтительнее мелкие семена с небольшим запасом питательных веществ. Обычно с этой целью в полевых или вегетационных условиях высевают семена растений-индикаторов, токсический эффект определяют через 15-30 дней по снижению массы растений, высоты проростков, длины корневой системы по сравнению с контрольным вариантом. Хорошие результаты даёт определение энергии прорастания и лабораторной всхожести семян, замоченных на одни сутки в воде (контроль) и в

водной вытяжке из загрязнённой почвы. Наиболее отзывчивы на гербицид 2,4-Д (диметиламиновая соль), семена редиса красного и озимой ржи, а на фунгицид Тилт - семена редиса (Минаев, Ремпе и др., 1991).

На огурце и гречихе тестируют гербициды - производные мочевины и фенилкарбаматы. При этом у огурца учитывают рост первичного корня, у гречихи - утолщение стебля, деформацию зародышевых листьев, а также торможение роста. Овёс и рис используют как индикаторы почвенных противозлаковых гербицидов, при этом основным тестом является ингибирование роста зародышевого корня и листа. Действие пестицидов на злаки обнаруживается и по их влиянию на морфогенез растений. У озимой пшеницы при высокой пестицидной нагрузке (2,4 - Д, диален, лонтрел, тилт, байлентон, метафос) наиболее распространённым и устойчивым типом морфоза (изменений) является "мутовка" - увеличение числа колосков на уступе колосового стержня. Внесение минеральных удобрений также может приводить к появлению метаморфозов колоса у озимой пшеницы. Генотоксичность почв можно определить в тесте по учёту рецессивных генных мутаций в клетках волосков тычиночных нитей традесканции; дефектности пыльцы дикорастущих травянистых растений.

### **9.3. Биотестирование пресных водоёмов и сточных вод**

Действие токсических веществ, оказывающих вредное воздействие на организмы, по мере их влияния на экосистемы можно разделить на фазы острой и хронической токсичности. Для определения острой токсичности служат экспресс-методы продолжительностью в несколько дней (один - три и более); а для определения хронической токсичности - продолжительные опыты (месяц и более). Ниже рассматриваются тесты острой токсичности.

Тест токсичности на кишечной палочке. Кишечная палочка широко распространена в загрязнённых водоёмах. В качестве источника азотного питания она использует только растворённые в воде органические вещества, обладает также способностью сбраживать многие углеводы, в том числе лактозу, с образованием молочной кислоты. В присутствии токсических веществ в воде наблюдается подавление процесса сбраживания лактозы кишечной палочкой. На этом основано её использование в качестве тест-организма определения влияния токсических веществ на деятельность водных микроорганизмов. При отсутствии токсического влияния исследуемого вещества лактоза (в расчёте 5,0 г на 1 л воды) сбраживается кишечной палочкой (5-1С капель суспензии культуры на 1 л приготовленной среды после добавления раствора исследуемого вещества) в течение 24 ч при 37°C, Исходно рН среды устанавливают в целях 7,4-7,6, при этом она имеет зелёный цвет. В результате сбраживания лактозы кишечной палочкой и кислотообразования рН среды понижается до 4,0-5,0 и её цвет из зелёного переходит в жёлтый.

При наличии токсического действия и угнетения сбраживания лактозы рН и цвет среды не изменяются или остаются близкими к исходной.

Тест токсичности на бактериях рода псевдомонас. Так как бактерии кишечной палочки встречаются в сильно загрязнённых водоёмах и ассимилируют азот только в органической форме, в качестве токсикологического теста предпочтительнее применять бактерий рода псевдомонас, использующих неорганические азотные соединения, в частности нитраты. С этой целью чаще используют бактерию псевдомонас флюоресцирующий, характерную для вод, проходящих стадию нитрификации. Тест с пеевдомонас флюоресцирующим основан на угнетении процесса ассимиляции глюкозы в присутствии токсических веществ в воде. Ассимиляция глюкозы этими бактериями обычно сопровождается выделе-

нием кислоты и понижением pH среды. В среду для культивирования ( $KNO_3$  - 2,0,  $K_2PO_4$  – 1,0,  $MgSO_4$  - 0,05,  $NaCl$  - 0,5, глюкоза - 10,0 г, водопроводная вода - 1000 мл, pH - 7,2) добавляют 10 мл реактива Андраде (0,5 г, кислого фуксина, 100 мл дистиллированной воды, 16,4 мл нормального раствора NaOH) на 1 л среды, стерилизуют её, вносят раствор исследуемого вещества и суспензию культуры псевдомонас флюоресцирующей. Культивирование производят в течение 48 ч при 25-30°C. При отсутствии токсического влияния глюкоза ассимилируется бактериями псевдомонас флюоресцирующей, а выделенная кислота вызывает понижение pH среды и изменяет её цвет из соломенно-жёлтого в красный. При наличии токсического действия pH и цвет среды почти не изменяются.

Тесты токсичности на водорослях. Для биотестов чаще используют зелёные водоросли в целом или отдельных видов (анкистодесмус распространённый, ризоклокиум косматый) (Унифицированные методы..., 1983).

Тест токсичности на продуктивность водорослей в целом проводится следующим образом. Вода из водоема, отобранная в бета-мезосапробной зоне, фильтруется и разливается в колбочки по 50 мл, в которые добавляются биогенные элементы N, P, K, Fe, по 0,4-0,5 мг/л в виде солей  $KNO_3$ ,  $KH_2PO_4$ ,  $Fe(SO_4)_3$ . В колбочки не менее, чем в двукратной повторности вводится сточная вода в различных концентрациях. Часть колбочек оставляют без добавления сточной воды. Они служат контролем. Колбочки закрывают ватными пробками и помещают на свет при температуре 20-25° С. Сразу после постановки опыта и через 4-5 дней проводят подсчет водорослей по клеткам в любой счётной камере. Просчитывают 5-6 камер. В конце опыта всё содержимое колбы отфильтровывается на собранном фильтре, высуши-

вается при 60°C до постоянного веса и взвешивается. Полученные результаты сравнивают с контролем.

Зелёная одноклеточная водоросль анкистодесмус распространённой используется в качестве тест-объекта для установления острой токсичности веществ, содержащихся в воде. Бактериями действия токсиканта является отмирание клеток водорослей и нарушение размножения.

В тесте токсичности на ризоклониуме косматом при летальной концентрации токсичных веществ в воде комочки водоросли остаются на дне, водоросль, как правило, обесцвечивается, принимает коричневый цвет и желтеет, все клетки в течение опыта отмирают. При вредной концентрации водоросль остаётся у дна, нормально зелёная, но при микроскопическом исследовании обычно наблюдается частичный плазмолиз нитей и клеток. При безвредной концентрации после постановки опыта и освещения водоросль поднимается на поверхность, как и в контроле, её нити и клетки совершенно не повреждены.

Тест токсичности на семенах горчицы и других культурных растений основан на большой чувствительности прорастающих семян к ядовитому веществу. Хорошим показателем развития культуры является общая длина растений по сравнению с контрольными и отношение длины подсемядольного колена двудольных (гипокотиль) к длине корня. При нормальных условиях роста гипокотиль короче зародышевого корня, при неблагоприятных - гипокотиль длиннее корня, который останавливается в росте и часто вскоре отмирает. На гипокотиле неблагоприятное влияние среды проявляется слабее. Испытания можно проводить как непосредственно с неразбавленной сточной водой, так и с различными её разбавлениями. Среди испытываемых семян наиболее подходящими являются семена белой горчицы. Для испытаний берутся семена с 90-100%-ной всхожестью. В сухие чашки Петри с силиконовой или нейлоновой тканью



помещают по 50 семян горчицы. В контрольную чашку наливают 10 мл водопроводной воды, в остальные -10 мл испытуемой воды в 2-4-кратной повторности. Закрытые чашки помещают в тёмное место при 20°C. Подсчёт проросших семян и измерение длины ростков проводят через 24, 48 и 72 ч. Если во всех чашках прорастает такое же количество семян, как в контрольных» и если все три дня прирост их корней больше, чем гипокотилей, то испытуемая вода годится для орошения и безвредна для роста растений.

Тест токсичности на инфузориях рода парамециум. Исследуемым объектом служит рестнитчатая инфузория (туфелька). Критериями токсичности являются изменения нормальной формы, движения, взмаха ресничек, частоты пульсирующих вакуолей, а также количество погибших инфузорий. В отвар сена высевают кормовые бактерии, а через один-три дня вносят организмы инфузории туфельки. Для приготовления отвара 10 г сена кипятят 20 мин в 1 л водопроводной воды. Отвар отфильтровывают, добавляют 1 л водопроводной воды и хранят в стерильных условиях. В чашки Петри диаметром 9 см помещают 9 мл стерильного отвара и 1 мл сточной воды или токсичного раствора (разбавление 1:10). Из них берут по 1 мл раствора и добавляют в другие чашки с 9 мл отвара (разбавление 1:100). Затем в контрольные и опытные чашки помещают по 50-100 особей инфузории. Наблюдения за поведением инфузорий проводят под бинокулярным микроскопом с 30-50-кратным увеличением. Наряду с морфологическими и физиологическими изменениями особей отмечают летальную концентрацию веществ  $LC_{50}$ , оказывающую летальное воздействие на 50% особей в течение 24 ч.

Тест токсичности на кольчатых червях рода тубифекс. Для опытов используют червей, которых предварительно в течение двух дней промывают проточной питьевой водой. Для опытов выбирают неповреждённых червей, кладут их на часовые стёкла, сливают со стекокол

воду, червей промывают испытуемым раствором и помещают в этот раствор по 10 червей на 100 мл воды так, чтобы высота столба воды в опытных чашках доставляла 2-3 см. Следят за немедленной реакцией червей после помещения в раствор, затем за дальнейшим изменением их поведения в течение 48 ч, принимая во внимание результаты контрольных испытаний. Опыты с тубифицидами дают сведения о вредном влиянии исследуемой сточной воды или вещества.

Тест токсичности на ветвистоусых рачках рода дафния. Дафнии - типичные представители зоопланктона стоячих эвтрофных водоёмов. Для опытов используется обитатель альфа-мезосапробных вод дафния большая. В чистых и сухих сосудах готовят серию различных разбавлений испытуемой сточной воды (100, 10, 1, 0,1 %), контролем служит питьевая вода, её же применяют и для разбавления. В каждый сосуд по 100 мл помещают 10-20 здоровых рачков без зародышей четвёртой стадии развития и по возможности одинаковой величины. Отмечают смертность рачков: мгновенную и через 1, 4, 8, 24 и 48 ч. При отмирании 50% внесенных рачков через 48 часов концентрация сточной воды или веществ считается средне или условно смертельной. Выращивание опытных дафний в лабораторных условиях проводят в стеклянных аквариумах или в сосудах ёмкостью до 5 л. Два раза в неделю в сосуды доливают свежую воду и один раз в неделю из них отсасывают придонный слой воды. Кормление рачков проводят ежедневно, внося по 20 мл культуры хлореллы с добавлением нескольких капель разбавленных дрожжей. Результаты экспериментов применимы для ориентировочной оценки возможности выпуска сточных вод в водоём.

В качестве тест-организмов токсичности используют также веслоногих ракообразных циклопа и водяного ослика (равноногие ракообразные). Циклоп более чувствителен в отношении содержащихся в воде

химических органических веществ, в то время как дафния более чувствительна к минеральному загрязнению. Водяной ослик является индикатором альфа-мезосапробных вод, легко культивируется в лабораторных условиях, чувствителен к различным видам сточных вод, содержащих токсические вещества, особенно к инсектицидам.

Тест токсичности на гуппии. В качестве индикатора используется небольшая рыбка гуппия. Она легко разводится в аквариумах. Рыбок помещают в опытные сосуды с водой из водоема с определённой долей сточных вод или определённым количеством испытуемого токсического вещества из расчёта по 4 экземпляра на 1 л воды. Для опыта берутся взрослые рыбки обоих полов, по возможности, в равных соотношениях. В качестве контроля служат рыбки в параллельных опытах с чистой водопроводной водой и водой из аквариума, где они разводятся. Опыты проводятся при комнатной температуре в течение 48 ч. Освещение должно быть рассеянным. Отмечается поведение и состояние рыбок во время опыта, количество рыбок, погибших через 24 и 48 ч.

## **Глава 10. БИОИНДИКАЦИЯ СТЕПЕНИ НАРУШЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ**

Современная экологическая ситуация на Земле многими учёными считается близкой к биоценотическому кризису. К нему реально приближает планету прежде всего воздействие человека на природу, которое становится соизмеримым с глобальным изменением естественных факторов. Концепция биоценотического кризиса возникла отчасти из замеченной аналогии между событиями в середине мела и современным положением. Она была предложена палеонтологом В.В. Жерихиным и основана на представлении о существовании в геологической истории биосферы длительных периодов с повышенной стабильностью биоценозов и крайне невысокими темпами эволюции, сменявшихся краткосрочны-

ми периодами с быстрыми темпами эволюционных преобразований. Скорость эволюции может в такие критические моменты на 5-6 порядков превосходить скорость эволюции в стабильных экосистемах, а её направление неопределённо и непредсказуемо. При этом быстрая эволюция основных компонентов и перестройка организации биоценозов происходят при разрушении их структуры и обусловлены резким изменением прежде всего абиотических экологических факторов. Примерами таких изменений в настоящее время считается повышение содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере, уменьшение мощности озонового слоя, возрастание роли ионизирующего излучения, вызванных хозяйственной деятельностью человека. Содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере последние 200 лет постепенно возрастает, что связано с увеличением потребления горючих ископаемых и снижением расхода  $\text{CO}_2$  на фотосинтез нарушенным растительным покровом. В конце 18-го, начале 19-го веков до развития промышленности в атмосфере Земли содержалось около 0,029%  $\text{CO}_2$ . В 1958 г. содержание  $\text{CO}_2$  составило 0,0315%, а в 1980 г. - уже 0,0835%. Если концентрация  $\text{CO}_2$  вдвое превысит доиндустриальный уровень, что может случиться в середине 21-го века, произойдёт потепление климата с повышением температуры на 1,5-4,5° С. Это является условием увеличения темпов таяния ледников и подъема уровня мирового океана. В 20-м веке средний уровень моря поднялся на 12 см.

Слой озона ( $\text{O}_3$ ) в атмосфере экранирует губительное для живых организмов, разрушающее ДНК ультрафиолетовое излучение Солнца. Образование озона в атмосфере происходит за счёт кислорода с использованием энергии, главным образом ультрафиолетового излучения. Разрушение озона, в частности, вызывают поступающие в атмосферу хладагенты, аэрозоли и, др.

Источником ионизирующего излучения на Земле служат радиоактивные вещества и космос. Обладая очень высокой энергией, ионизирующее излучение способно выбивать электроны из атомов и присоединять их к другим атомам с образованием ионов. Наиболее опасно для живых организмов легко проникающее в вещества гамма-излучение. Интенсивность ионизирующего излучения значительно повысилась в результате использования атомной энергии.

Очевидно, что глобальные кризисные экологические ситуации могут вызываться и недостаточно изученными резкими изменениями природных факторов, которые, например, обусловлены изменениями угла наклона оси Земли к плоскости её вращения вокруг Солнца.

К первым предвестникам экологического кризиса относятся уменьшение продуктивности и устойчивости экосистем, нарастание их нестабильности. В частности, районы экологического бедствия занимают в настоящее время около 12-16% территории России. В Европейской части России и Западной Сибири это проявляется в увеличении числа засух, суховеев, пыльных бурь, лесных пожаров, самовозгорания торфяников.

Б.В. Виноградов, Б.В. Орлов и др. (1993) выделяют три уровня нарушения экосистем по их глубине и необратимости.

Зона экологического риска (Р) включает в себя территории с заметным снижением продуктивности и устойчивости экосистем, максимумом нестабильности, ведущим к спонтанной деградации экосистем, но ещё с их обратимыми нарушениями. Деградация земель наблюдается на 5-20% площади.

Зона экологического кризиса (К) включает территории с сильным снижением продуктивности и потерей устойчивости, трудно обративши нарушениями экосистем. Деградация земель наблюдается на 20-50% площади.

Зона экологического бедствия-катастрофы (Б) включает территории с почти полной потерей продуктивности, практически необратимыми нарушениями экосистем. Деграция земель превышает 50% площади. Определение дискретных состояний нормы, риска, кризиса и бедствия экосистем основано на многолетних стационарных и полустационарных исследованиях динамики их нарушения и восстановления, измерения показателей состояния в зависимости от степени антропогенной трансформации в разных экологических условиях. Классическим примером подобного исследования является анализ связи между проективным покрытием растительного покрова, пастбищной нагрузкой и стадиями дегрессии пастбищных экосистем. В частности, в условиях пустынь и полупустынь Средней Азии и Казахстана выделяют следующие стадии пастбищной дегрессии: неизменённые (Z), слабо (A'), средне (A''), сильно (A''') изменённые и полностью сбитые (V) пастбища (рис. 8). Слабый выпас овец не приводит к заметным нарушениям пастбищных экосистем, а в ряде случаев, напротив, способствует их улучшению. В связи с этим несбитые и слабо сбитые пастбища могут быть объединены в один класс - "норма" (Н), а средне, сильно и полностью сбитые пастбища в значительной мере соответствуют классам риска (Р), кризиса (К) и бедствия (Б). Аналитическая формула зависимости между показателем проективного покрытия (Р) и степенью антропогенного нарушения (А) имеет нелинейную форму логистической кривой. Формальное разбиение этой зависимости аналитическим путём на зоны нарушения экосистем проводится путём анализа дифференциальных производных показателя, в данном случае проективного покрытия растительности. Максимум первой производной ( $dP$ ) при падении проективного покрытия ниже 30%, соответствует переходу пастбищ в кризисное состояние (К) с трудно обратимыми переходами. Первый максимум второй производной ( $d^2P$ ) приходится на 70%, что ограничивало зону риска

с необратимыми переходами. Второй максимум второй производной располагался при покрытии около 10% и обозначал переход к практически необратимому катастрофическому состоянию (В). Такие формальные операции могут быть использованы для разбиения на классы других показателей индикаторов зон экологического бедствия. Однако для классификации многих, особенно качественных показателей, целесообразно использовать имеющиеся в литературных источниках экспертные оценки данных (табл. 14).

Критерии зон экологического бедствия делятся на тематические, пространственные, динамические и интегральные.

Тематические критерии включают специфические индикаторы характеризующие свойства экосистем (ботанические, зоологические, почвенные, микробиологические, гидрохимические, гидрологические, геофизические и др.).

Ботанические критерии имеют наибольшее значение, так как они не только чувствительны к нарушениям окружающей среды, но и наиболее физиономичны так как по ним лучше всего прослеживаются зоны экологического бедствия (по размерам в пространстве и по стадиям нарушения во времени) (табл. 14). К ним относятся ухудшение видового состава и ассоциированности естественной растительности; уменьшение видового разнообразия, лесистости, площади коренных ассоциаций; слабое возобновление, повреждение растительности газообразными соединениями, болезнями, вредителями и др.

Зоологические критерии включают показатели нарушения животного мира. Они могут рассматриваться как на ценотических (видовое разнообразие, пространственная структура, трофическая структура, биомасса, продуктивность, энергетика), так и популяционных (пространственная структура, численность, возрастной состав, поведение) уровнях. Зона риска главным, образом по этологическим критериям начальной стадии нару-

шения (синантропизация, потеря стадного сведения, изменение путей миграции). Зона кризиса характеризуется нарушением структуры популяций, групп и стай, сужением области распространения и обитания, нарушением размножения. Зона бедствия отличается исчезновением мест обитания, отдельных стадий, массовой гибелью возрастных групп, резким ростом численности синантропных и нехарактерных видов, интенсивным увеличением антропозоонозных и зоонозных заболеваний (табл. 15).

Рис. 8 . Анализ зависимости показателя  $P$  (проективное покрытие пастбищной растительности, %) со стадиями пастбищной трансформации ( $Z$  - неизмененные,  $A'$  -слабо,  $A''$  - средне,  $A'''$  - сильно измененные и  $V$ - полностью сбитые пастбища), хода первой ( $dP$ ) и второй производной ( $d^2P$ ) и вывод классов экологической безопасности: Н - нормы, Р - риска, К - кризиса, Б - бедствия.

Таблица 14.

Растительные индикаторы зон экологической нормы (Н), риска (Р), кризиса (К) и бедствия (Б)

| Индикатор  | Н  | Р                                      | К  | Б                                 |
|--|--|--|--|-----------------------------------|
| 1  | 2  | 3                                      | 4  | 5                                 |
| Ухудшение видового состава естественной растительности | Естественная смена доминантов, субдоминантов и характерных видов | Уменьшение обилия господствующих видов | Смена господствующих видов на вторичные, в основном непоедаемые сорные и ядовиты | Уменьшение обилия вторичных видов |
| Ухудшение ассо-  | Ассоциации   | Семиассо-                              | Агломера-  | Агрега-                           |



|  |  |  |  |   |
|--|--|--|--|---|
| цированности естественной растительности   |  | циа<br>ции   | ции                                    | ции   |
| Изменение ареалов                          | Отсутствие   | Ослабление, изреживание  | Разделение, сокращение                 | Исчезновение  |
| Повреждение растительности дымом заводов   | То же  | Повреждение наиболее чувствительных видов (хвойных деревьев, лишайников) | Повреждение среднечувствительных видов | Повреждение слабочувствительных видов (травы, кустарники) |
| Повреждение растительности заповедников    | Фенотипические изменения, не вызывающие смены ассоциаций | Смены субассоциаций  | Смены ассоциаций                       | Смены формаций  |
| Появление тератологических отклонений      | Отсутствие   | Редко  | Спорадически                           | Массово   |
| Возобновление ценородно-пуляций доминантов | Хорошее  | Слабое   | Очень слабое и спорадическое           | Почти отсутствует   |
| Относительная площадь коренных             | >60  | 40-60  | 20-30                                  | <10   |

|  |     |       |       |     |
|--|-----|-------|-------|-----|
| (квазикоренных) ассоциаций (%)                                 |     |       |       |     |
| Биоразнообразие (уменьшение индекса разнообразия Симпсона) (%) | <10 | 10-20 | 25-50 | >50 |
| Лесистость (% от зональной)                                    | >80 | 60-70 | 50-30 | <10 |
| Запас древесины (% от нормальной)                              | >80 | 60-80 | 30-60 | <30 |
| Повреждение древостоев промышленным дымом (%)                  | <5  | 10-30 | 30-50 | >50 |
| Повреждение хвои промышленным дымом (% биомассы)               | <5  | 10-30 | 30-50 | >50 |
| Заболевание древостоев (% деревьев)                            | <10 | 10-30 | 30-50 | >50 |
| Засоренность агроценозов (% сорных и адвентивных растений)     | <10 | 20-50 | 60-90 | >90 |
| Развитие вредителей в посевах (% площади)                      | <10 | 10-20 | 20-50 | >50 |
| Гибель посевов (% площади)                                     | <5  | 5-15  | 15-30 | >30 |

|   |      |         |         |      |
|---|------|---------|---------|------|
| Проективное покрытие пастбищной степной и полупустынной растительности (% от нормального) | >80  | 60-70   | 20-50   | <10  |
| Продуктивность пастбищной растительности (% от потенциальной)                             | >80  | 60-70   | 10-30   | <5   |
| Жизненность доминантов (балл)   | 4-5  | 3-4     | 2-3     | 1-2  |
| Полнота древостоя (доля от 1,0)   | >0,8 | 0,6-0,4 | 0,3-0,2 | <0,1 |

Таблица 15.

Зоологические индикаторы зон экологической нормы (Н), риска (Р), кризиса (К) и бедствия (Б).

| Индикатор                           | Н         | Р   | К  | Б  |
|-------------------------------------|-----------|---|--|--|
| Частота антропоознозных заболеваний | Случайная | Спорадическая (регистрируется не каждый год и в отдельных хозяйствах для домашних жи- | Регулярная (регистрируется ежегодно и одновременно в ряде хозяйств и на маршрутах) | Массовая (ежегодно и на территории более 50 %) |

|   |                |   |  |   |
|---|----------------|---|--|---|
|   |                | вотных и на отдельных маршрутах для диких)  |  |   |
| Опачность антропоознозных заболеваний   | Не опасно      | По району менее опасные заболевания (токсоплазмоз, геморрагически лихорадки, лептоспироз, бруцеллез, гельминтозы) | По области опасные (бешенство, чума свиней, орнитоз) | По ареалу очень опасные (чума свиней, сибирская язва, ящур) |
| Падеж домашних животных (%)   | Случайно (<10) | Спорадически (10-20)  | Регулярно (20-50)                                    | Массово (>50)   |
| Биоразнообразие (уменьшение в % от исходного)   | <5             | 10-20   | 25-50  | >50   |
| Плотность популяции вида-индикатора и антропогенной нагрузки (уменьшение в % от исходной) | <10            | 10-20   | 20-50  | >50   |
| Численность популяций диких   | >6             | 2-4   | 0,5-2  | <0,1  |

|   |     |        |         |      |
|---|-----|--------|---------|------|
| северных оленей<br>(голов на 1000 га)   |     |        |         |      |
| Численность популяций сайгаков<br>(% от нормальной)   | >90 | 60     | 20-40   | <10  |
| Плотность популяций мышевидных грызунов – вредителей посевов и переносчиков болезней (% от нормы) | <50 | 50-100 | 100-500 | >500 |
| Биомасса почвенной мезофауны<br>(% от нормы)  | >90 | 60-80  | 30-50   | <20  |
| Численность почвенных микроартропод (% от нормы)  | >90 | 60-80  | 40-60   | <20  |

Почвенные индикаторы зон нормы (Н), риска (Р), кризиса (К) и бедствия (Б).

Таблица 16.

|           |   |   |   |   |
|-----------|---|---|---|---|
| Индикатор | Н | Р | К | Б |
|-----------|---|---|---|---|

|  |      |         |         |      |
|--|------|---------|---------|------|
| Плодородие почв (% от потенциального)                                      | >85  | 65-85   | 65-25   | <25  |
| Содержание гумуса (% от первоначального)                                   | >90  | 70-90   | 30-70   | <30  |
| Содержание легкорастворимых солей (вес %)                                  | <0,6 | 0,6-0,1 | 1,0-3,0 | >3,0 |
| Содержание токсичных солей (вес. %)  | <0,3 | 0,3-0,4 | 0,4-0,6 | <0,6 |
| Площадь вторично засоленных почв (%)                                       | <5   | 5-20    | 20-50   | >50  |
| Глубина почвенных кор (карбонатных, гипсовых, железистых, кремниевых) (см) | >100 | 50-100  | 30-50   | <10  |
| Содержание пестицидов в почве (ПДК)  | <0,5 | 0,5-1   | 1-3     | >5   |
| Содержание поллютантов в почве (ПДК)                                       | <1   | 1-3     | 3-10    | >10  |
| Остаточное содержание нефти  | <1,0 | 1-5     | 5-10    | >10  |

|  |          |                                      |                                       |                       |
|--|----------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| и нефтепродуктов в почве (вес. %)                    |          |                                      |                                       |                       |
| Глубина смытости почвенных горизонтов                | Не смыты | Смыт горизонт А, или 0,5 горизонта А | Смыты горизонты А и В или частично АВ | Смыты горизонты А и В |
| Глубина смытости (% почвенного профиля)              | <10      | 10-30                                | 30-50                                 | >50                   |
| Площадь водной эрозии (% площади)                    | <10      | 10-25                                | 25-50                                 | >50                   |
| Площадь обнаженных коренных пород (% площади)        | <5       | 5-10                                 | 10-25                                 | >25                   |
| Овражная расчлененность (км на км <sup>2</sup> )     | <0,3     | 0,3-0,7                              | 0,7-2,5                               | >2,5                  |
| Площадь ветровой эрозии (полностью сдутые почвы) (%) | <5       | 10-20                                | 20-40                                 | >40                   |
| Задерненность песчаных почв (%)                      | >60      | 30-60                                | 10-30                                 | <10                   |
| Площадь под-   | <5       | 5-15                                 | 15-25                                 | >30                   |

|  |    |      |       |     |
|--|----|------|-------|-----|
| ВИЖНЫХ ПЕСКОВ (%)  |    |      |       |     |
| Уровень активной микробной биомассы (снижение в число раз) | <5 | 5-10 | 10-50 | >50 |

Почвенные критерии относятся к наиболее стабильным показателям зон экологического риска, кризиса или бедствия. Они включают снижение плодородия почв и содержания гумуса, усиление почвенноэрозионных процессов, увеличение площади вторично засоленных почв, содержания тяжёлых металлов, пестицидов и др. (табл. 16).

Тематические индикаторы оценивают по их достоверности, распространённости и значимости. Достоверность индикатора определяют по отношению пространственной частоты правильного применения признака  $T$  (частоты совпадения с индицируемой зоной) к его общей частоте встречаемости  $R$ .  $T$  всегда меньше  $R$ . Выделяют 5 классов достоверности по отношению  $T/R$ . Обязательные индикаторы. Имеют отношение  $T/R$  более 0,9, постоянные - 0,8-0,9, переменные - 0,6-0,8. Также могут быть использованы и показатели с меньшей достоверностью, особенно когда они встречаются на большой площади. Распространённость индикатора определяется по отношению пространственной частоты правильного применения признака  $T$ , но к общей частоте объекта индикации  $S$  (в данном случае индицируемой зоны). Значимость индикатора оценивают по допустимым пределам  $T$ ,  $R$ , и  $S$ .



Пространственные критерии. Кроме силы воздействия на среду для оценки зон экологического бедствия большое значение имеет площадь воздействия. Небольшая по площади нарушенная система восстановится быстрее, чем обширная. Если площадь нарушения более предельно допустимых размеров, то разрушение среды практически необратимо и относится к уровню катастрофы. Размер зон экологического бедствия, как правило, превышает площадь 10000-100000 га в зависимости от типа экосистем и геолого-географических условий.

По размерам зоны экологического бедствия делятся на локальные (на площади более 10 тыс. га), районные (более 100 тыс. га), областные (более 1 млн. га), региональные более 10 млн. га). К пространственным критериям относится также относительная площадь земель, выведенных из землепользования в пределах исследуемого района. В норме в стабильных экосистемах относительная площадь нарушенных экосистем может достигать % 5. В зонах экологического риска она уже составляет 5-19%, По одной ж той же стадии нарушения, выявленной по тематическим критериям, увеличение относительной площади нарушения представляет собой более высокий уровень опасности. Для административного района площадью 100-200 тыс. га это может быть выражено в виде матрицы. Так экспертная оценка зон экологического нарушения почв (Н- норма, Р - риск, К - кризис, Б - бедствие) территории в зависимости от глубины экологического нарушения территории (умеренное, среднее, сильное) и занимаемой относительной площади (%) имеет следующий вид:

| Нарушение | < 5 % | 5-20% | 20-50% | > 50% |
|-----------|-------|-------|--------|-------|
| Умеренное | Н     | Н     | Н      | Р     |
| Среднее   | Н     | Н     | Р      | К     |
| Сильное   | Н     | Р     | К      | Б     |

Из этих данных следует, что если даже сильное нарушение занимает площадь менее 5% территории, изменение квалифицируется в пределах нормы; но даже умеренное нарушение на относительной площади более 50% экспертной территории служит основанием для её объявления зоной экологического риска.

Для квалификации зон экологического риска, кризиса и бедствия необходимо учитывать пространственную неоднородность нарушенных зон и наличие в них комбинаций участков разной степени нарушенности.

Динамические критерии. Тематические и пространственные критерии выявления зон экологического бедствия при всей их очевидности недостаточны для объективной квалификации зон, так как они не отражают истинной картины бедствия. Более достоверны динамические критерии выявления зон экологических нарушений по скорости нарастания неблагоприятных изменений природной среды (накопления тяжёлых металлов, прироста площади подвижных песков и т.д.). По этому показателю выделяют 3 класса экосистем. Стабильные экосистемы со скоростью изменений менее 0,5 % площади в год подвержены лишь разногодичной и циклической флюктуации. Умеренно динамичные экосистемы со скоростью изменений до 1-2 % площади в год соответствуют зонам экологического риска. Средне динамичные экосистемы со скоростью изменений свыше 4 % площади в год, полная смена которых происходит менее чем за 25 лет, представляют собой зоны экологического бедствия. Для объективного выявления скорости смен и исключения разногодичных колебаний скорости необходима значительная продолжительность наблюдений. Минимальный срок для определения линейной скорости изменений составляет 8-10 лет, а для выявления нелинейной скорости - 20-30 лет. К динамическим показателям нарушения экосистем относятся увеличение площади Их разрушения, эродированных земель, сбитых паст-

бищ, засоленных земель, полная смена состава, уменьшение годичной продукции, содержания гумуса в почве и др. (табл. 17).

Таблица 17.

Динамические показатели зон экологической нормы (Н), риска (Р), кризиса (К) и бедствия (Б) по повышению скорости изменения мощности индикационного критерия в год (среднее за 5-8 лет непрерывных наблюдений)

| Повышение скорости в год                       | Н    | Р       | К       | Б    |
|--|------|---------|---------|------|
| Увеличение площади разрушения экосистем (%)    | <0,5 | 1-2     | 2-4     | >4   |
| Полная смена состава экосистем (годы)          | 100  | 50-100  | 25-50   | <20  |
| Уменьшение годичной растительной продукции (%) | <1   | 1,5-3,5 | 3,5-7,5 | >7,5 |
| Уменьшение годичной продукции в посевах (%)    | -    | 1-2     | 3-5     | >5   |
| Увеличение площади сбитых пастбищ (%)          | <2   | 3-5     | 5-8     | >8   |
| Ухудшение качественного состава пастбищ (%)    | <1   | 2,5-5   | 5-7,5   | >7,5 |
| Уменьшение запаса древесины (%)                | <1   | 2,5-5   | 5-7,5   | >7,5 |
| Увеличение площади эродированных земель (%)    | <0,5 | 1-2     | 2-5     | >5   |
| Уменьшение содержания гумуса в почве (%)       | <0,5 | 1-3     | 3-7     | >7   |
| Увеличение площади засоленных почв (%)         | <1   | 1-2     | 2-5     | >5   |

|   |      |         |         |      |
|---|------|---------|---------|------|
| Увеличение площади подвижных песков (%)   | <0,5 | 1-2     | 2-4     | >4   |
| Потери водных запасов (%)   | <0,2 | 0,2-0,4 | 0,4-1,0 | >1   |
| Заполнение водоемов твердыми осадками (м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> )   | <50  | 60-200  | 200-500 | >500 |
| Скорость увеличения площади земель с неблагоприятными агрометеорологическими условиями (% площади ценных сельскохозяйственных угодий) | <0,1 | 0,1-0,3 | 0,3-0,1 | <1   |

Таблица 18

Корреляционная матрица различных классов показателей зон экологического бедствия

| Зоны экологического нарушения | Индикационные критерии |                 |                 |                    |                 |
|-------------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|-----------------|
|                               | 1 ботанические         | 2 зоологические | 3 почвенные     | 4 пространственные | 5 динамические  |
| Нормы                         | a <sub>11</sub>        | a <sub>12</sub> | a <sub>13</sub> | a <sub>14</sub>    | a <sub>15</sub> |
| Риска                         | a <sub>21</sub>        | a <sub>22</sub> | a <sub>23</sub> | a <sub>24</sub>    | a <sub>25</sub> |
| Кризиса                       | a <sub>31</sub>        | a <sub>32</sub> | a <sub>33</sub> | a <sub>34</sub>    | a <sub>35</sub> |
| Бедствия                      | a <sub>41</sub>        | a <sub>42</sub> | a <sub>43</sub> | a <sub>44</sub>    | a <sub>45</sub> |

Интегральные критерии. Структура интегральных индикационных критериев может быть выражена в виде корреляционной матрицы, на которой для каждого уровня нарушенности экосистем показана встречаемость тех или иных тематических, пространственных и динамических индикационных показателей  $a_{ij}$  (табл. 18). Кроме встречаемости необходима оценка экологической значимости отдельных показателей. Задача

интеграции облегчается тем, что, как правило, большая часть тематических показателей (ботанических, зоологических, почвенных) взаимно коррелируют. Например, в самой крупной на территории России зоне экологического бедствия в Чёрных землях Калмыкии ботанические критерии бедствия (уменьшение проективного покрытия более 10 % от первоначального полная смена растительных формаций) сочетаются с почвенными (уменьшение содержания гумуса более 10 % от исходного) и в особенности с почвенно-эрозионными (увеличение площади подвижных песков свыше 30 % площади массива). Это коррелирует с зоологическими критериями (сокращением популяции сайгака в 10 раз ниже нормальной численности стада и в то же время с превышением численности домашних животных на 250-300% выше нормы). Кроме того, здесь наблюдается засоление почв (содержание водорастворимых солей более 1-3%) и минерализация грунтовых вод (свыше 10 г/л), соответствующие зоне экологического бедствия. Гидрохимические и атмосферные критерии свидетельствуют о сильном загрязнении участков экосистем. Геофизические критерии показали катастрофическое повышение альбедо (более чем на 0,15). Наконец, эколого-экономические критерии также квалифицируют зону экологического бедствия, поскольку потребуются миллиардные затраты на восстановление природного потенциала, что во много раз превышает стоимость полученной продукции. С тематическими критериями зоны экологического бедствия совпадают пространственные (площадь свыше 1 млн. га) и динамические (скорость полного разрушения пастбищных экосистем в течение 1980 г. превысила 4 % площади в год). Иными словами, разнообразные критерии зон экологического бедствия взаимно коррелируют, а сочетание перечисленных критериев убедительно квалифицируют территорию как региональную зону экологического бедствия.

### **10.1. Особенности биоиндикации устойчивости агроценозов.**

Биогеоценозы - сложные биологические системы, функционирование которых направлено на самосохранение и воспроизведение. Одним из важных индикаторов устойчивости естественных биогеоценозов является сложность их структуры. Как известно, системы, состоящие из большого числа разнородных элементов меньше подвержены колебаниям.

Агроценозы - сообщества организмов, возникающие в результате сельскохозяйственной деятельности человека. В условиях интенсификации растениеводства деятельность человека направлена на получение всей продукции одного или нескольких видов растений, при этом другие виды растений (сорняки), возбудители болезней, животные-фитофаги, уничтожаются. В результате снижаются разнообразие и устойчивость системы. Все мероприятия, направленные на снижение разнообразия агроценозов, максимальное повышение продуктивности только одного элемента этой системы требуют всё больших усилий для подавления естественной регуляции агроценоза. Первоначально на новых землях за счёт естественного потенциала, применения удобрений, пестицидов, машин интенсификация растениеводства определила небывалый скачок производства ресурсов питания за счёт увеличения урожайности всех культур. Постепенное, истощение земель, невнимание к использованию альтернативных мер, агротехнических, биологических, агрохимических приемов, сдерживающих распространение вредных организмов, способствовали увеличению неустойчивости агроценозов. В настоящее время для удвоения урожая культур в США, Японии требуется 10-11-кратное увеличение количества удобрений, 4-5-кратное - пестицидов, 3-кратное - затрат мощности машин.

В настоящее время назрела острая необходимость детального изучения особенностей функционирования агроценозов с целью повышения их устойчивости, обеспечении равновесного состояния за счёт процессов само-

регуляции, усложнения структуры, сохранения и увеличения биоразнообразия, числа биоценологических связей.

При решении этих вопросов большое значение имеет изучение пищевых цепей, трофических уровней, их оптимизация в различных типах агроценозов. Пищевой цепью называется перенос энергии пищи от ее источника (растений) через ряд организмов, происходящий путём поедания одних организмов другими. Пищевые цепи делятся, на 2 типа. Пастбищная цепь начинается с зелёного растения (его живых органов), идёт к животным-фитофагам, хищникам, паразитам. Детритная цепь идёт от мёртвого органического вещества к микроорганизмам, затем к детритофагам - хищникам - паразитам. Пастбищные пищевые цепи в агроценозах связаны прежде всего с культурными растениями и сорняками, их цветками, семенами, плодами, зелёными листьями, стеблями, подземными органами. Чем длиннее пищевые цепи, тем меньше колебания численности их основных компонентов и тем устойчивее экосистемы и, в частности, агроценозы. В пастбищных цепях обилие вредных организмов остаётся на хозяйственно неощутимом уровне при максимумах обилия не чётных составляющих цепей (1-ой, 3-ей, 5-ой и т.д.) и минимумах - чётных (2-ой, 4-ой, 6-ой и т.д.). Высокое разнообразие детритных пищевых цепей, оптимальное сочетание и разнообразие гумусообразователей и минерализаторов, грибной и бактериальной микрофлоры, способствуют повышению плодородия, почв, устойчивости агроценозов.

Важное диагностическое значение имеет исследование экологических ниш вредителей и возбудителей болезней в агроценозах, их функциональной роли в сообществе; степени занятости, сопряжённости и перекрытию ниш на популяционном и биохимическом уровнях. Так высокая численность тлей обуславливает, как правило, повышенное распространение вирусных болезней в агроценозах, цикадовых – фитоплазменных заболеваний. Это связано с тем, что тли питаются содержимым отдельных кле-

ток растений, где протекает развитие вирусов. Высасывая содержимое клеток здоровых и больных растений, они выступают в качестве основных переносчиков возбудителей вирусных болезней. Цикадовые чаще питаются содержимым ситовидных трубок флоэмы, по которым движутся продукты фотосинтеза от листьев к другим органам растений. С флоэмой также связано развитие фитоплазмов, имеющих более крупные размеры, по сравнению с вирусами.

По мере интенсификации растениеводства, выращивании сельскохозяйственных культур на больших площадях, в агроценозах появилось значительное количество благоприятных для заселения, но незанятых экологических ниш, что создало предпосылки для их освоения вредными организмами. В частности, ряд видов сапрофитных микроорганизмов, трофически связанные с отмирающими и отмершими частями растений, перешли к паразитированию на живых органах и стали возбудителями болезней. Распашка больших массивов целинных земель в Казахстане способствовала переходу серой зерновой совки, пшеничного трипса с диких злаков (пырея) на яровую пшеницу. Это привело к вспышке их высокой численности. В целях прогноза большое значение имеет сравнительное изучение развития вредителей и возбудителей болезней в естественных условиях в на дикорастущих растениях и сельскохозяйственных культурах. Высокая численность вредителя в значительной мере связана с резким увеличением кормовой базы и плодовитости вредителя при отсутствии конкурентов. Например, плодовитость колорадского жука после появления в новом районе при пониженной внутривидовой и межвидовой конкуренции составляет несколько тысяч яиц на одну самку, а через 10-20 лет после появления она снижается до 800 яиц, 50 лет 300-400 яиц.

## **Глава 11. БИОПАТОГЕННЫЕ ПОЛОСЫ И БИОПАТОГЕННЫЕ ЗОНЫ**



Название «биопатогенные полосы» или «зоны» произошло от того, что они способны вызывать патологию, то есть отрицательные изменения здоровья, у тех людей, которые длительное время находятся на этих полосах. Наряду с этим понятием специалисты часто употребляют и другое — «геопатогенные полосы» или «зоны». Оно предполагает, что такие полосы обусловлены патологией в строении Земли, в частности, ее коры, подповерхностного слоя и т.д. На самом деле это название оправдано только в том случае, если такая патология создана человеком. Например, прорыты тоннели метро, или образованы пустые шахты после добычи угля. Это действительно патология для Земли. Те же неоднородности вещества, которые возникли естественным путем, в процессе ее эволюции, мы не вправе называть патологией, даже если речь идет о разломах (и микротрещинах) земной коры. Это не патология, а норма. Таким образом, предпочтительно использовать термин «биопатогенные полосы (зоны)».

Доктор Карри нашел, что биопатогенные полосы составляют сетку, которая образуется параллельными линиями, направленными как с юго-запада на северо-восток, так и перпендикулярно — с северо-запада на юго-восток, и простираются на весь земной шар. Об этом в 1953 году писал Ф. Шнеггенбургер в статье «Полосы возбуждения и сеточная система».

Справедливости ради надо сказать, что сеточную структуру биопатогенных полос описывали и до этого. Так в 1937 году ее открыл французский врач Пайре. Он назвал ее сеточной системой.

Как известно, полосы расположены перпендикулярно береговой линии. Ясно, что имеются и полосы, направленные параллельно береговой линии.

Собственно по тому же принципу устроена сетка биопатогенных полос около берега моря. Полосы проходят перпендикулярно береговой

линии. Расстояние между соседними полосами различно на разной местности, но во всех случаях оно составляет несколько метров.

Любопытно расположение биопатогенных полос вблизи железной дороги. Наш интерес к данному случаю вызван тем, что многие люди живут в блочных домах, содержащих железные конструкции (в принципе, те же рельсы, одни полосы проходят параллельно рельсам, другие перпендикулярно).

Дело в том, что полосы могут быть шириной от нескольких сантиметров до десятков и сотен метров. Может оказаться, что ваш дом весь находится на широкой полосе. Такие дома известны как в Москве, так и в других крупных городах. Жильцам этих домов не позавидуешь. Именно эти дома называют специалисты «раковыми».

Полосы сетки Карри идут в определенном порядке. Одна за другой параллельно расположено 14 очень тонких полос. Следующая, 15-я полоса имеет ширину около тридцати сантиметров. Указанные очень тонкие полосы в квартире обычно не принимают в расчет. Учитывают только тридцатисантиметровые и более широкие. Если зарегистрировать индикатором все тридцатисантиметровые полосы подряд (между всеми ними имеются очень тонкие полосы), то после каждой четырнадцатой тридцатисантиметровой полосы идет пятнадцатая, имеющая ширину, равную одному метру. Этот закон продолжает действовать и дальше: после 14 метровых полос должна быть 15-я более широкая полоса. Ее ширина каждый раз увеличивается в три раза. После метровых полос следуют трехметровые. После 14 трехметровых полос следует девятиметровая полоса и т.д. Поскольку такая закономерность выполняется строго, то через определенные расстояния следуют полосы шириной в десятки метров, через еще большие расстояния — полосы шириной в сотни метров. В зависимости от ширины полосы по-разному решается проблема ее устранения. В одних случаях надо сместить в

пределах квартиры тридцатисантиметровую полосу, а в других надо убрать полосу, на которой уместаются большие современные здания целиком.

У сетки биопатогенных полос есть еще одно свойство – это внутренняя структура самих полос. Полосы не являются однородными. Имеется некоторая внутренняя структура «водяной жилы».

Я. Валдманис определил структуру пересекающихся полос. Внутри зоны имеются еще несколько линий. Ими обозначены узкие полосы (подполосы) большей силы.

Я. Валдманисом было установлено, что за время резкого изменения погоды от солнечной к выпадению снега сетка полос смещается. Ширина полос также весьма значительно меняется. Исследователи связывают эти изменения с солнечной активностью.

Как известно, солнечная активность меняется с различными периодами. Наиболее выраженный период имеет продолжительность в 11 лет. При высокой солнечной активности, которая повторяется каждые 11 лет, биопатогенные полосы самые широкие. С.С.Соловьев сообщает, что «полосы первой степени при спокойном Солнце имеют ширину 20-30 см, в годы повышенной солнечной активности 70 см». Он наблюдал, что при максимальной солнечной активности в 1980-1981 годах полосы в продолжение нескольких месяцев расширились настолько, что перекрывали одна другую! Ширина полос меняется также в зависимости от сезона, времени суток и других внешних факторов, связанных с положением Земли относительно Солнца, планет и Луны.

Кроме описанных выше сеток полос Карри, Хартмана других, имеются и биопатогенные полосы (зоны), которые связаны с геологическим строением: наличие разлом тектонических зон, рудных тел, карстов, подземных вод. Индикатор регистрирует наличие биопатогенных зон и в местах, где располагаются газовые аномалии радона, торс

углекислоты. Биопатогенные зоны создаются и самими людьми, когда они роют тоннели метро, различные шахты, подземные трубопроводы (воды, нефти, газа и т.д.) и строят различные наземные сооружения. Такие зоны можно назвать антропогенными (поскольку их создает человек). Специалисты это понятие значительно сужают и называют эти зоны техногенными. Надо иметь в виду, что сюда относятся и различного рода свалки технических и бытовых отходов.

Что касается терминологии, то наряду с понятиями геопатогенная и биопатогенная зона (это синонимы) В.Г.Орохорс: предложил использовать термин: «зоны биологического дискомфорта». Но если в этих зонах чаще всего возникают онкологические заболевания, то можно ли это назвать дискомфортом. Лучше уж говорить о патологии. Из сказанного выше ясно, что причин образования биопатогенных зон много. Нам неизвестны лишь некоторые. Поэтому лучше всего определять биопатогенную зону через здоровье людей и состояние животных и растений. Такое определение предложил В.Г.Прохоров: **«Биопатогенными зонами принято называть локальные участки земной поверхности, над которыми отдельные виды растений животных и человек испытывают стрессовое воздействие окружающей среды, приводящее к возникновению различных функциональных расстройств, снижению сопротивляемости к заболеваниям».**

Кроме описанных выше полос с весьма определенными размерами, имеются биопатогенные овальные пятна с поперечником от десятков до сотен метров. Пятна могут быть и больших размеров.

## **СМЕЩЕНИЕ И НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ БИОПАТОГЕННЫХ ПОЛОС.**

Вопрос о возможном перемещении биопатогенных полос возникал всегда. Американский ученый К. Берд утверждал, что биопатогенные зоны перемещаются большими массами железа. С.С. Соловьев сообщает, что народные умельцы в Латвии перемещают патогенные зоны двумя топорами, закопанными остриями кверху параллельно перемещаемой полосе. При этом можно установить с помощью индикатора, что биопатогенная полоса действительно уходит со своего прежнего места и с этого момента проходит через оба топора. Топоры устанавливаются на одинаковом удалении от перемещаемой полосы с тем, чтобы она сместилась параллельно относительно своего прежнего положения.

Мы уже говорили, что полосы могут быть различной ширины. Чем уже полосы, тем ближе они расположены друг к другу. Для перемещения полос существует правило: «Полоса может быть перемещена на расстояние до соседней полосы той же серии, того же ранга, то есть той же ширины». Напомним, что каждая 15-я полоса 2-й степени шире в три раза полос 1-й степени. Полосы второй степени следуют той же закономерности, образуя полосы 3-й степени и т.д., вплоть до полос 6-й степени. Последние следуют (повторяются) только через несколько тысяч километров. Специалисты не исключают, что Бермудский треугольник расположен на пересечении биопатогенных полос шестой степени.

Что же касается абсолютных размеров полос, то они примерно таковы. Ширина полос различна в разных местностях и зависит от многих факторов, основным из которых считают солнечную активность. Поэтому и возникает необходимость периодически контролировать прохождение биопатогенных полос в квартире. Расстояние между полосами первой степени может быть 4-6 м, может быть и значительно меньше. Полосы второй степени повторяются через десятки метров (90 м), третьей степени — через 1250 м, четвертой степени — через 17 500

м. Из этих примерных контрольных цифр ясно, что широкие полосы, которые захватывают дома, можно смещать за пределы города.

Мы уже говорили, что с увеличением солнечной активности ширина полос увеличивается. Может возникнуть ситуация (при максимальной солнечной активности, как в 1991 году), при которой соседние полосы сольются, не оставив между собой просвета! Все пространство становится неблагоприятным. Пробовать перемещать полосы в такой ситуации бесполезно.

Определенные признаки указывают на то, что человек находится (спит или работает) в биопатогенной зоне. Так, если у него наблюдаются судороги в ногах, боль в горле по утрам, бессонница, то очень вероятно, что его кровать находится в патогенной зоне. Если рабочее место находится в такой зоне, то человек устает уже к середине дня. Поскольку стены домов «берут» полосы на себя, то надо иметь в виду, что рабочие места вдоль стен, в том числе вдоль окон, с большой вероятностью попадают в патогенные зоны. Общеизвестно, что в учреждениях наибольшей утомляемостью отличаются сотрудники, сидящие вблизи окон.

Говоря о патогенных зонах в квартире, нельзя не сказать о кактусах и плюще. Известны народные поверья о вредности этих растений. Они справедливы. Эти растения испускают отрицательное излучение. Собственно, не только они. К таким растениям относятся все виды пальм, азалий, осока, лимонное дерево, гвоздички, фиалки, примула. Растения, излучающие положительно, — роза, китайская роза, герань, алоэ, коланхоэ.

В качестве нейтрализаторов можно использовать деревянные скульптуры (например, на игровых и детских площадках), «настенные эстампы» (горельефы и барельефы), которые выполнены из кедра и другой древесины; раковины морских моллюсков (устанавливаемые в

стенках, на рабочих столах и ночных столиках), и ряд малоизвестных растений (айва японская и др.), а также изделия из бересты».

А вот что пишет О.А.Исаева по этому поводу:

«На основании анализа 130 заявок на изобретения, которые посвящены нейтрализации действия излучения биопатогенных полос (заявки опубликованы в Англии, Франции, ФРГ, Австралии, Швейцарии, Бельгии, в Международном и Европейском бюро патентов), можно выделить следующие способы защиты:

1. Применение поглощающих излучение слоев различных материалов: синтетических пленок, минералов, воска, войлока, бумаги и т.п.

3. Применение отражающих покрытий из металлических пленок на изолирующих подложках из синтетических материалов.

3. Ношение защитной одежды из тканей с введенными в них металлическими нитями или нашитой на них фольги, строчек, вязаных элементов и т.п. Все это изменяет характер действующего излучения.

4. Ношение защитных элементов различной формы из проводников. Они обладают свойствами антенн и изменяют структуру излучения за счет вводимых в них этим излучением токов. Это браслеты, пояса, кольца из чистых металлов или в сочетании с изоляторами (кость, эбонит) и конденсаторами для изменения емкости элемента в целом.

5. Применение дифракционных решеток различных типов для избирательного отражения излучений с нежелательными характеристиками. Такие решетки могут быть составлены из сеток, колец, скобок, крючков и т.п.

6. Применение устройств из металлических палок, штырей, изогнутых прутьев и т.п. как без покрытий, так и в изоляторах (бетоне, пластике и др.). Эти устройства отклоняют излучение биопатогенных полос.

7. Применение приборов, которые улавливают вредные излучения или изменяют их характеристики. Эти приборы переизлучают в окружающее

пространство. Они создаются на основе спиралей из проводников, объемных резонаторов (трубок, конусов, пирамид), брусков металлов в изоляторах, кристаллов и органических веществ. Возможно применение разных из этих элементов в определенном сочетании.

8. Применение излучателей. Их излучение интерферирует с излучением биопатогенных полос.

### **БИОПАТОГЕННЫЕ ПОЛОСЫ, РАСТЕНИЯ И ЖИВОТНЫЕ.**

О связи между растениями и биопатогенными полосами было известно давно. Еще в труде Г. Агриколы «О горном деле и металлургии» эта связь описана так: «... жилы (биопатогенные полосы) выделяют испарения. Вследствие этого, если в каком-либо месте деревья, растущие длинным рядом, в самое необычное время теряют свою свежесть и чернеют или пестреют либо одно за другим валятся ветром, так кроется жила. Иногда даже длинной полосой над местом, где протягивается жила, растет какая-либо трава или какой-либо род грибов, причем их нет над породными прослойками, а иногда и над ближайшей жилой. Разумеется, и по этим признакам можно обнаружить жилы».

В «Большем энциклопедическом словаре» Брокгауза (1935) приводятся сведения о том, что на биопатогенных полосах хорошо растут ядовитые растения, такие как болиголов, наперстянка осенний безвременник, переступень. Здесь они развиваются значительно лучше, чем вне полос. В этом же словаре говорится, что те деревянные дома, которые находятся на биопатогенных полосах, с очень большой вероятностью поражаются дереворазрушающим грибом.



Специалисты установили, что плодовые деревья (особенно яблоня), которые растут на биопатогенных полосах, развиваются плохо, у них появляются «раковые наросты». Если эти деревья растут на пересечениях биопатогенных полос (на узлах биопатогенной сетки), то вероятность развития патологии практически стопроцентная.

Многие ученые пытались проследить биопатогенные полосы: в лесу по характеру, росту, виду, развитию отдельных деревьев. Так, финский ученый В.Аалтонен (1950) пришел к заключению, что в земле находятся «своеобразные разветвляющиеся лучевые линии». Это те линии, то есть биопатогенные полосы.

Исследования показали, что не все растения реагируют одинаково на полосы. О яблоне мы уже говорили — ей на полосе и тем более на пересечении полос плохо. Х.Веркмейсте (1963) подтверждает это и указывает, что на биопатогенных полосах плохо не только яблоне, но и вишне. Но в то же время по его свидетельству, на биопатогенных полосах очень хорошо растут папоротник, крапива, дуб. Этот список дополняет А.Ренка (1965). Он утверждает, что на биопатогенных полосах очень хорошо растут сочная трава, верба, ива, озерный камыш ольха, ежевика, мать-и-мачеха, лапчатка гусиная. Плохо растут на полосах клен, плакучая ива, береза и ель. Мы говорили, что разные растения, деревья, цветы имеют разное по знаку излучение (положительное или отрицательное). При этом надо измерять как излучение данного растения (дерева), так и положение биопатогенной зоны. Вы можете убедиться в том, что положительный заряд имеют осина, яблоня, береза, алоэ, коланхоэ, слива, липа, герань, а также все луковичные. Отрицательный заряд имеют вишня, сосна, сирень, груша, лимонное дерево, плющ, все кактусы и пальма, примула, фиалка, азалия.

Те деревья и растения, излучение которых положительное, на биопатогенных полосах (их излучение тоже положительное) развивают-

ся плохо. На этих полосах слива не плодоносит, липа не цветет, у яблони наблюдаются повреждения коры. Если деревья имеют противоположные по знаку излучения и находятся рядом, то они растут и развиваются плохо (мешают друг другу). Поэтому нежелательно сажать яблони и вишни рядом. Известно, что яблоня, которая растет вблизи вишни, первые 8 лет не плодоносит. В список деревьев, которые плохо развиваются на полосах, необходимо включить и ясень. А огородникам надо знать, что на биопатогенных полосах плохо растут огурцы, сельдерей, лук, кукуруза, бирючина, зато хорошо чувствуют себя сорняки и ядовитые растения. Культурные же растения (кукуруза, лук, сельдерей, помидоры, горох и другие) развиваются на полосах плохо. Я.Валдманис попытался связать это с составом почвы. О своих экспериментах он пишет так: «Мы проверяли минеральный состав почвы в местах пересечения водяных жил» И сравнивали его с составом почвы по соседству, го есть вне аномальных полос...

Образцы почвы брали с двух различных глубин: 15-20 и 35-см. Были исследованы две серии образцов, взятых на лугу и в лесу. В образцах определяли количество макроэлементов (N, K, Ca, Mg, Fe) и микроэлементов (Si, Zn, Mn, Co, Mo, B) по методике Г.Я.Ринькиса (1972). Всего было взято 32 образца почвы — в 8 местах пересечения линий, соединяющих точки проявления лозоходной реакции, и в 8 местах вне зон аномалии, но вблизи от них.

Исходя из физических характеристик конкретного образца почвы определялась оптимальная для данного образца концентрация элементов.

Я. Валдманис установил, что «одиноким дубам растут преимущественно либо на линиях, либо в местах их пересечения». Я. Валдманис изучал, как развиваются дубы в искусственных насаждениях, каково различие в развитии дубов, растущих на биопатогенных полосах и вне

их. «Для этого, - говорит ученый, - мы выбрали дубовое насаждение 60-летнего возраста средней высотой около 20, 5 м в Сквиверском дендрологическом парке. Обследовали участок шириной 8 метров и длиной около 40 метров, где дубы растут рядами, отстоящими друг от друга на 2,5 м. Оказалось, что дубы, которые растут в местах пересечения «водяных жил» (показано линиями на рисунке 40), имеют на высоте груди диаметр 28-32 см, а те, которые растут вне этой зоны, — только 16-24 см.

В.Г.Прохоров также исследовал влияние биопатогенных зон на растения. Он получил такие результаты:

«На многих биопатогенных зонах природного происхождения, связанных с рудными месторождениями, подземными водами, но с радоновыми, наблюдается массовая дихотомия хвойных (лиственница сибирская, сосна обыкновенная, сосна сибирская, ель сибирская). В норме у лиственницы сибирской и сосны обыкновенной частота выявления дихотомических форм развитие ствола не превышает 0.5-1 процент. В биопатогенных зонах, данных с рудоконтролирующими структурами, она доходит до 25 и даже 50 процентов. Наблюдения над распространением уродливых форм роста у лиственницы и некоторых цветковых растений (льнянка обыкновенная, кипрей, мак) в биопатогенных зонах, связанных с месторождениями радоновых вод, цветик металлов, дает основание рассматривать эти зоны как зон повышенного уровня мутагенеза».

А вот еще один любопытный факт. Ученые установили, что сойки «сажают» дубы именно там, где они лучше всего будут расти. Это происходит безошибочно, поскольку сойки прячут про запас желуди в узлах биопатогенной сетки, то есть в места-пересечения биопатогенных полос. Зимой хранилища соек заносит снегом и не остается рядом никаких видимых примет. Но орнитологи знают, что сойка найдет и под покровом снега свой неприкосновенный запас. Разыскивая свой клад, сойка практически нико-

гда не выходит за пределы круга диаметре в один метр. Как она определяет место? Конечно, по полосе, а точнее, по пересечению полос. Она их чувствует. Вообще все птицы чувствуют биопатогенные полосы. Они вьют на полосах гнезда. Если в птичнике на птицеферме нет полос, домашняя птица чаще болеет и несет мало яиц. Кстати, сосновые шишки, вылущенные дятлом, также чаще всего встречаются на пересечении биопатогенных полос.

Животные, принадлежащие к самым древним видам, очень любят находиться на биопатогенных полосах. Это рыбы, насекомые, птицы и пресмыкающиеся. Лесные рыжие муравьи строят свои муравейники на пересечениях полос. Пчеловоды утверждают, что сборы меда увеличиваются в том случае, если улей находится на биопатогенной полосе. Правда, пчеловоды пришли к заключению, что на зиму пчелиный улей лучше снять с полосы и расположить в нейтральной полосе.

Что касается млекопитающих, то для них биопатогенные полосы вредны. Они чувствуют полосы и стараются избегать их. Литовские исследователи определили, что если коровы находятся в стойлах на биопатогенной полосе, то привесы их снижаются на 20-30 процентов, а удои молока уменьшаются в 2-3 раза. При обследовании 35 000 коров Я.Лигерс установил, что большинство из больных маститом коров (80 процентов) — это те животные, которые находились на биопатогенных полосах (на привязи).

Исключением из млекопитающих в этом отношении является кошка. Ее собственное излучение является отрицательным. Она предпочитает находиться на биопатогенной полосе. С.С.Соловьев сообщает, что кенгуру в этом отношении ведет себя подобно кошке — предпочитает устраиваться на биопатогенной полосе.

Собака хорошо чувствует наличие биопатогенных полос и избегает их. В домашних условиях поведение собаки можно использовать для

определения полосы: на полосе собака спать не будет. Сведения о поведении животных и растений на полосах издержатся в преданиях и поверьях многих народов. Например, согласно шведской народной примете, «если после заката солнца рой мух или комаров вьется столбом над каким-то местом, то здесь под землей должна быть вода». Считается, что лошадь и собака, когда испытывают жажду, начинают копать землю именно в том месте, где должна быть вода (под землей). Значит, они (и некоторые другие животные) чувствуют источник воды под землей. Лягушки, моллюски, черви, лесные улитки и земляные пауки в засушливое время собираются в биопатогенных зонах.

П.Мано (1949) писал, что перепончатокрылые (как и птицы) селятся в узлах сетки биопатогенных полос. Любопытны опыты, описанные П.Мано, которые проводил Г.Вильгельм с мышами и другими грызунами. Всего находилось под наблюдением 24 000 животных. Оказалось, что рождаемость их на биопатогенных полосах на 15 процентов ниже, чем вне полос. Подобные опыты, проводимые с 1200 морскими свинками, показали еще большую разницу (при той же тенденции). Когда у мышей была возможность разместиться вне биопатогенной полосы, они это делали всегда, чувствуя на себе ее отрицательное влияние. Очень любопытны (и показательны) также опыты с белыми крысами. Им делали опухолевые прививки. Экспериментировали с двумя одинаковыми группами крыс (по 547 особей). Одна группа животных находилась на биопатогенной полосе, а другая — вне полосы. Оказалось, что те крысы, которые находились на биопатогенной полосе, после опухолевой прививки заражались с большей вероятностью (заразилось 328 из 547), чем крысы, находящиеся вне полосы (241 крыса из 547).

## ЛИТЕРАТУРА

- Батурина О.Ю. Фитоиндикация (Учебно-методическое пособие, для студентов педагогического факультета). Тверь, 1996. 28 с.
- Биоиндикаторы и биомониторинг. Загорск, 1991. 377 с.
- Биоиндикация радиоактивных загрязнений/ Ред. Д.'А. Кривоуцкий. М.:Наука, 1999, 284 с.
- Булохов А.Д. Экологическая оценка среды методами фитоиндикации. Брянск, 1996. 104с.
- Шкторов С.В., Востокова Е.Д., Вышивкин Д.В. Введение в индикационную геоботанику. М.: ИГУ, 1962. 277 С.
- Викторов С.В., Чикишев А.Г. Ландшафтная индикация и её практическое применение. М.: МГУ, 1990, 200 С.
- Виноградов Б.В. Растительные индикаторы и их использование при изучении природных ресурсов. С: Высшая школа, 1964.
- Восстановление нефтезагрязнённых почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. 254с.
- Востокова Е.А., Сущеня В.А., Шевченко Л.А. Экологическое картографирование на основе космической информации. М.: Недра, 1988, 223 с.
- Виноградов Б.В. Растительные индикаторы и их использование при изучении природных ресурсов. М.: Высшая школа, 1964,. 328 с.
- Гиляров М.С. Зоологический метод диагностики почв. М.: Наука, 1965, 278 с.
- Голлербах М.М., Штина ЭД. Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 228 с.

Дончева Л.В., Казакова Л.К. Ландшафтная индикация загрязнений природной среды. М.: Экология, 1992. 256 с.

Зайков Г.Е., Маслов С.А., Рубайло В.Л. Кислотные дожди и окружающая среда. М.: Химия, 1991. 142 с.

Каленов Г.С. Применение аэрокосмической информации в сельском хозяйстве. Самара: СГСХА, 1999. 79 с.

Каплин В.Г. Биоиндикация состояния экосистем (Учебное пособие для студентов биологических специальностей университетов и сельскохозяйственных вузов). Самара; СГСХА, 2001. 144 с.

Козловская А.С. Роль почвенных беспозвоночных в трансформации органического вещества болотных почв. Л.: Наука, 1976. 211 с.

Кононова М.М. Органическое вещество почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1969. 314 с.

Константинов А.С. Общая гидробиология. М.: Высшая школа, 1967, 431с.

Криволицкий Д.А. Радиоэкология сообществ наземных животных. М.: Энергоатомиздат, 1983, 87 с.

Круглов Ю.В. Микрофлора почвы и пестициды. М.: "Наука, 1991.

Мизун Ю.Г. «Космос и здоровье. Как уберечь себя и избежать болезней.», М.: Вече, АСТ, 1997. – 608 с.

Покаржевский А. Д. Геохимическая экология наземных животных. М.: Наука, 1985. 300 с.

Погребняк П.С. Общее лесоводство. М.: Колос, 1968,

Пурмаль А.Н. Антропогенная токсикация. планеты // Соросовский образовательный журнал, 1998. № 9 с.с. 39-51.

Раменский Л. Г. Введение в комплексное геоботаническое исследование земель. М.: Сельхозгаз, 1938

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Ред. А.В. Абакумов. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 240 с.

Работнов Т.А. Фитоценология. М.: МГУ, 1978. 384 с.

Разумовский С.М. Закономерности динамики биоценозов М.: Наука, 1981, 231 с.

Раменский Л.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М.: Сельхозгиз, 1938.

Раменский Л.Г., Цаценкин И. А., Чижиков О.Н., Антипов Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз. 1956.

Сибирякова В.Д., Вернандер Т.Б. Определитель типов лесов по растениям-индикаторам. М., Л., 1957.

Унифицированные методы исследования качества вод. Ч.3. Методы биологического анализа вод. М.: Изд-во СЭВ. 371 с.

Фёдоров ЛД., Яблоков А.В. Пестициды - токсический удар по биосфере и человеку. М: Наука, 1999, 462 с.

Харин Н.Г. Дистанционные методы изучения растительности. М.: Наука, 1975. 132 с.

Христофорова Я.К, Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжёлыми металлами. М.: Наука, 1989.

Чернова Ч.П. Зоологическая характеристика компостов. М.: Наука, 1966, 156 с.

Чернова Н.М. Экологические сукцессии при разложении растительных остатков. М.: Наука, 1977. 200 с.

Чернова Ю.И. Природная зональность и животный мир суши. М.: Мысль, 1975. 222 с.



Шехонцев А.А., Яильцов Е.В., Чижов С.С. Влияние отраслей экономики Российской Федерации на состояние природной среды в 1993-1995 гг. // Метеорология и гидрология, 1997.

Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 144 с.

Шуберт Р. (ред.) Биоиндикация загрязнений наземных экосистем» М. Мир, 1988, 352 с.

Экологический мониторинг. Методы биомониторинга / ред. Д.Б. Гелашвили. Нижний Новгород: НГУ, 1995. Ч. 1, 190 с., Ч 2, 464 с.