

Очерки по экологической диагностике: Сб. науч. трудов. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. — ISBN—5—7691—0114—8.

Рассматриваются актуальные теоретические и прикладные вопросы экодиагностики состояния природных территориальных комплексов. Экодиагностика необходима для определения устойчивости экосистем к антропогенным нагрузкам и составляет необходимый этап прогноза и выработки рекомендаций по оптимизации окружающей среды. В статьях обсуждаются методические, методологические и социальные аспекты вопроса, особенности поражения почвенной флоры и фауны, гидробионтов, наземных растений и биогеоценозов в целом. Ряд работ посвящен экодиагностике популяций и отдельных особей мелких млекопитающих. Описаны диагностически существенные и гигиенически значимые сдвиги в их состоянии. Значительное внимание уделено генетическим оценкам. Исследуются тонкие биохимические изменения, приводящие к диагностически важным и относительно легко определяемым визуальным поражениям. В той или иной мере в каждой публикации приводится феноменология, а также рассматривается генез различий показателей в норме и при патологии.

Материалы сборника рассчитаны на экологов, токсикологов и специалистов в области проблем экологизации общественного сознания.

Ответственный редактор
кандидат биологических наук В. И. Стариченко

Рецензенты
кандидат биологических наук О. Ф. Садыков
доктор медицинских наук В. И. Токарь

Е. Л. ВОРОБЕЙЧИК

О ВЛИЯНИИ ТЕХНОГЕННЫХ ЭМИССИЙ ФТОРА НА ЖИВОТНОЕ НАСЕЛЕНИЕ ПОЧВЫ

Анализ техногенных трансформаций элементов экосистем — основа для разработки системы экологической диагностики антропогенных нарушений и создания нормативов нагрузок на природные сообщества. Такому анализу должны подвергаться основные компоненты экосистем и основные виды нагрузок.

Техногенные эмиссии фторсодержащих соединений — одно из наиболее сильных токсических воздействий на биоту. Их влиянию на различные элементы экосистем был посвящен ряд работ [4, 6]. Определенное место в общем комплексе исследований занимали беспозвоночные животные, в основном насекомые-фитофаги [3, 5], антофильные насекомые [6] и ксилофаги [1]. Особый интерес в аспекте данного рассмотрения представляет животное население почвы и подстилки, особенно крупные беспозвоночные (мезофауна). Являясь важнейшими деструкторами органического вещества и ускорителями всех деструкционных процессов, крупные педобионты — одни из ключевых компонентов экосистем, их выпадение или подавление следует рассматривать как «патологическую» ситуацию. О действии фтористого загрязнения на комплексы крупных педобионтов природных сообществ имеются лишь отрывочные сведения. Так, показано уменьшение обилия и видового богатства мезофауны подстилки возле криолитового завода [2]. Отмечено выпадение мокриц при высоких концентрациях подвижного фтора в почве и подстилке [9]. По результатам учетов почвенными ловушками установлено уменьшение численности двупарноногих многоножек, мокриц и долгоносиков в градиенте фтористого загрязнения и увеличение численности губоногих многоножек [7, 8]. О действии эмиссий фтора на весь комплекс почвенной мезофауны в литературе нет данных.

Один из начальных этапов построения системы диагностики техногенных нарушений с использованием почвенных беспозвоночных — установление направления и силы влияния рассматриваемого фактора. В 1987—1989 гг. мы проанализировали изменения в комплексах почвенной мезофауны возле различных то-

чечных источников эмиссий поллютантов (ИЭП). К сожалению, выделить фтористое загрязнение в качестве единственного токсического фактора по большей части не удавалось, поскольку одновременно происходили выбросы сернистого ангидрида и тяжелых металлов. Поэтому имеет смысл говорить о комплексном токсическом действии с превалированием фтористых выбросов.

Рассмотрены три ситуации: 1 — только прямое влияние фтористого загрязнения на почвенных беспозвоночных, а опосредованное через изменение среды сведено к минимуму (агроценозы); 2 — прямое и опосредованное влияние фтористого загрязнения при исключении других видов нагрузки; 3 — к прямому и опосредованному влиянию фтористых выбросов добавляются другие виды нагрузок.

Методика. Почвенные раскопки (с применением ручной разработки) проведены по стандартным методикам почвенно-зоологических исследований. Размер пробы 0,2×0,2 м, глубина — 20—30 см в зависимости от встречаемости животных. Объем выборки — 10 проб на одну пробную площадь для агроценозов и 40 проб — для природных сообществ. Учитывались только беспозвоночные животные размерной группы «мезофауна». Поскольку численность многих видов была низкой, приведены агрегированные результаты (для крупных таксономических групп в ранге семейства и выше). Везде рассмотрены средние параметры обилия. В ряде случаев взят относительный показатель — индекс численности, представляющий собой отношение регистрируемой численности группы к максимальной в данной серии наблюдений.

Результаты. Весной и осенью проведены учеты почвенной мезофауны полей хлопчатника, расположенных в районе действия алюминиевого завода в Таджикской ССР. Осенью пробы отбирали до обработки дефолиантами, весной — до посева хлопчатника, что позволило свести к минимуму различия, связанные с химической обработкой. Отбор проб был максимально стандартизирован, с тем чтобы исключить мешающие факторы. Изменения индекса численности для дождевых червей и для всех беспозвоночных приведены на рис. 1. Можно отметить значительное сходство изменений плотности беспозвоночных в различные сезоны. Отчетливо виден минимум обилия в 3 км от ИЭП, что соответствует максимальной концентрации подвижного фтора в почве. Кроме этого минимума не обнаруживается закономерных изменений обилия при удалении от ИЭП.

Рассмотрены комплексы почвенно-подстилочной мезофауны возле двух источников фтористых выбросов на Среднем Урале (табл. 1). Один из участков (ИЭП-1) расположен в непосредственной близости от криолитового завода и представляет собой 40-летние посадки березы, подверженные сильной рекреационной нагрузке. Второй участок (ИЭП-2) — 50-летний березняк с умеренным выпасом — расположен в 3 км от алюминиевого завода. Уровень подвижного фтора на обоих участках превышен

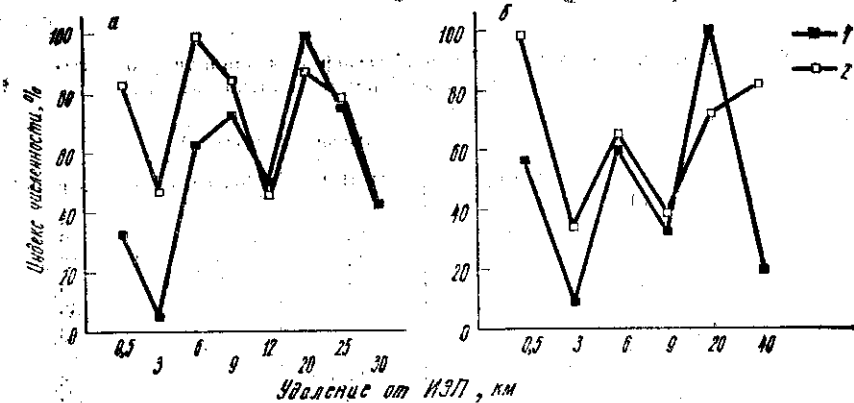


Рис. 1. Изменения обилия весной (а) и осенью (б) любрицид (1) и всех беспозвоночных (2) полей хлопчатника в зависимости от удаления от ИЭП.

в 12—15 раз по сравнению с фоном и составляет величину порядка 60 мг/л. Для сравнения приведены результаты почвенных раскопок на двух контрольных участках — в 80-летнем ельнике с примесью березы (контроль 1) и в 60-летнем березняке (контроль 2), рассмотрение которых дает представление о порядке величины обилий почвенно-подстилочной мезофауны в ненарушенных местообитаниях.

На участке ИЭП-1 произошло выпадение многих важнейших групп педобионтов. Комплекс беспозвоночных представлен в основном подстилочными формами (жужелицами, стафилидами, пауками, клопами), обилие которых значительно уменьшено. Из типично почвенных беспозвоночных представлены только личинки щелкунов. Выпадение сапрофагов (в первую очередь любрицид) привело к резкому накоплению подстилки, масса которой увеличена в 2—3 раза. Резко уменьшена общая плотность педобионтов. На участке ИЭП-2 общая плотность мезофауны осталась неизменной, однако произошли резкие структурные изменения. Прежде всего они касаются основных сапрофагов — любрицид и диплопод, которые либо не обнаружены, либо представлены единичными находками. Отмечается значительное увеличение обилия почвенных фитофагов (личинки долгоносиков и щелкунов), паразитических нематод (мермитид), энхитрид и подстилочных клопов. Несколько увеличено обилие личинок двукрылых. Численность остальных групп не претерпевает существенных изменений.

В 1987 г. проанализированы параметры почвенного населения в сосняках и вторичных березняках на разном удалении от алюминиевого завода в Восточной Сибири. На рис. 2 представлены изменения плотности общей, любрицид и хищных многоножек. Закономерное уменьшение рассматриваемых параметров

Таблица 1

Характеристика населения почвенной мезофауны районов фтористых загрязнений на Среднем Урале (средняя плотность), экз/м²

Таксон	Район исследований			
	ИЭП-1	ИЭП-2	Контроль 1	Контроль 2
Мермитиды	—	13,8	—	0,7
Энхитреиды	—	96,9	21,1	16,7
Люмбрициды, черви	—	0,6	205,5	45,6
Люмбрициды, коконы	—	—	105,9	66,0
Пауки	1,9	32,5	5,9	20,1
Диплоподы	—	—	7,9	17,4
Геофилиды	—	31,9	34,9	18,1
Литобииды	—	13,1	23,0	63,2
Жужелицы	1,9	7,5	2,6	7,6
Стафилины	4,4	10,6	23,1	9,0
Щелкуны	4,4	32,5	—	4,2
Долгоносики	—	30,0	—	—
Двукрылые	—	18,1	11,8	6,9
Чешуекрылые	—	4,4	—	2,8
Перепончатокрылые	0,6	0,6	—	0,7
Полужесткокрылые	1,2	158,1	2,6	52,1
Все беспозвоночные	14,4	453,1	445,8	340,8

Таблица 2

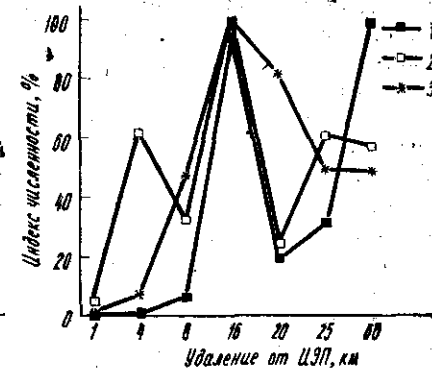
Характеристика населения почвенной мезофауны районов фтористого загрязнения в Восточной Сибири (средняя плотность), экз/м²

Таксон	Район исследований				
	1	2	3	4	5
Мермитиды	—	—	5,6	—	20,0
Энхитреиды	198,1	837,5	76,2	97,5	138,1
Люмбрициды, черви	16,9	5,0	28,7	5,0	37,5
Люмбрициды, коконы	6,2	2,5	35,6	1,9	11,2
Диплоподы	0,6	—	2,5	—	1,9
Геофилиды	1,2	5,0	12,5	17,5	7,6
Литобииды	2,5	15,0	3,7	13,1	25,0
Пауки	2,5	5,0	3,7	12,5	15,0
Жужелицы, личинки	—	—	2,5	2,5	6,9
Жужелицы, имаго	0,6	—	3,7	2,5	5,6
Стафилины	20,0	20,0	9,4	17,5	23,1
Щелкуны	1,9	2,5	2,5	1,9	6,2
Двукрылые	6,9	32,5	34,4	5,6	10,0
Моллюски	2,5	32,5	70,0	3,1	8,7
Все беспозвоночные	262,5	972,5	300,0	201,9	331,9

Примечание. 1 — в 2 км от алюминиевого завода, 2 — в 4 км, 3 — в 1 км от лесоперерабатывающего комбината, 4 — участок, расположенный между двумя ИЭП, 5 — в 100 км от ИЭП.

Рис. 2. Изменения обилия почвенной мезофауны светлехвойной тайги в зависимости от удаления от ИЭП.

Плотность: 1 — люмбрицид, 2 — хилопод, 3 — всех беспозвоночных.



прослеживается на расстоянии до 8 км, где уровень подвижного фтора равен 60 мг/л. Резкое подавление люмбрицид отмечено на площадках, удаленных от ИЭП на 1 и 4 км, что соответствует уровню подвижного фтора — 1400 и 165 мг/л. На расстоянии более 16 км уровень подвижного фтора в почве незначительно превышает фон, а почвенные беспозвоночные не обнаруживают закономерных изменений обилия.

В 1988 г. проведены более подробные исследования в данном районе. Рассмотрено действие двух сопряженных источников выбросов (табл. 2) — алюминиевого завода и лесоперерабатывающего комбината (выбросы органических, хлор- и серосодержащих соединений). Пробы отбирали в местах, где растительный и почвенный покровы наиболее сохранились (рекреационная нагрузка минимальна). В результате этого не было резкого подавления почвенной мезофауны, характерного для материалов 1987 г., когда пробы отбирались в типичных по деградации местообитаниях. Отмечено уменьшение обилия люмбрицид, хищных многоножек, пауков и жужелиц возле алюминиевого завода. Энхитреиды увеличивают плотность, а численность остальных групп остается на уровне фона. Изменения, зарегистрированные возле лесоперерабатывающего комбината, в основном аналогичны рассмотренным выше (за исключением изменения обилия люмбрицид и энхитреид). На участке, расположенном между двумя источниками выбросов, отмечено более резкое уменьшение обилия люмбрицид, чем возле алюминиевого завода. Численность других групп здесь существенно не отличается от контроля. В 4 км от алюминиевого завода в хорошо сохранившемся сосняке (вероятно, из-за оптимальных условий увлажнения) резко увеличено обилие энхитреид.

Обсуждение. Хотя полученные результаты должны рассматриваться как предварительные, уже сейчас могут быть выделены некоторые закономерности техногенных трансформаций комплексов почвенных беспозвоночных. Прежде всего, можно отметить значительную устойчивость педобионтов к фтористому за-

грязнению. Даже в местах с наиболее сильной нагрузкой не наблюдалось абсолютного подавления беспозвоночных. Резкое уменьшение обилия животного населения почвы отмечено лишь в местах с сильной нагрузкой, когда превышение фона по концентрации подвижного фтора в почве составляет более двух порядков или когда умеренная нагрузка от фтористого загрязнения сочетается с другими видами нагрузки (например, с рекреацией). При умеренной нагрузке (обычно наблюдаемой в 3—4 км, что соответствует превышению фона по концентрации подвижного фтора в почве более чем на порядок) резко изменяется структура населения. В первую очередь уменьшается обилие люмбрицид, что ведет к значительному увеличению массы подстилки и в дальнейшем к изменению структуры всего комплекса педобионтов. Общее же обилие может оставаться неизменным за счет увеличения численности других групп. Изменяется и трофическая структура населения за счет уменьшения доли сапрофагов и увеличения доли фито- и зоофагов.

Можно отметить значительную вариабельность средних параметров обилия беспозвоночных, что накладывает определенные ограничения на возможность их использования в экологической диагностике. Это справедливо как для прямого токсического действия, прослеживаемого в агроценозах, так и сочетания прямого и опосредованного воздействий. Очевидно, что фтористое загрязнение — не единственный, а один из многих экологических факторов, определяющих обилие беспозвоночных в конкретных местообитаниях. Ведущим данный фактор становится лишь при сильной нагрузке. При менее сильном воздействии он перестает быть лимитирующим и на первый план начинают выходить природные факторы (характер увлажнения, почвенные и растительные условия и т. д.). Именно поэтому не наблюдается «гладких» зависимостей между уровнем токсиканта и обилием беспозвоночных. Последнее обстоятельство важно учитывать в диагностике антропогенных нарушений экосистем. Используя параметры общего обилия и структуры комплексов почвенных беспозвоночных в экологической диагностике можно, вероятно, лишь выделять зоны сильного и умеренного воздействия. Слабое же воздействие будет плохо отлнчимо от фона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимова О. А., Соков М. К. Роль насекомых в древостоях, ослабленных токсическими выбросами алюминиевых заводов // Влияние антропогенных и природных факторов на хвойные деревья. Иркутск, 1975. С. 61—84.
2. Богачева И. А. Изменения в подстилочном комплексе членистоногих березовых лесов под действием фтора // Проблемы почвенной зоологии. Кн. 1. Ашхабад, 1984. С. 43—44.
3. Богачева И. А. Зависимость численности насекомых-фитофагов от

уровня загрязненности лесных биоценозов фтором // Техногенные элементы и животный организм. Свердловск, 1986. С. 43—48.

4. Любашевский Н. М., Садыков О. Ф., Попов Б. В. и др. Техногенный фтор в лесных экосистемах Урала // Биохимическая экология и медицина. Свердловск, 1985. Вып. 2. С. 234—268.

5. Селиховкин А. В. Влияние промышленного загрязнения воздуха на насекомых-фитофагов // Чтения памяти Н. А. Холодковского. Л., 1987. С. 3—42.

6. Смит У. Х. Лес и атмосфера. М.: Прогресс, 1985.

7. Chlodny J., Matuszczyk I., Styfi-Barikiewicz B., Syrec D. Catchability of the epigeal fauna of pine stands as a bioindicator of industrial pollution of forests // Ekol. Pol. 1987. V. 35, N 2. P. 271—290.

8. Peter H.-U. Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. IV. *Isopoda, Diplopoda, Chilopoda, Collembola* und *Auchenorrhyncha* aus Bodenfallenfägen in der Umgebung eines Düngemittelwerkes // Wiss. Z. Friedrich-Schiller Univ. Jena. Naturwiss. R. 1984. V. 33, N. 3. P. 291—307.

9. Walton K. C. Factors determining amounts of fluoride in woodlice *Oniscus asellus* and *Porcellio scaber*, litter and soil near an aluminium deduction plant // Environ. Pollut. 1987. V. 46, N 1. P. 1—9.