



УДК 574.9+528.946 (571.5)
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.36.16>

Антропогенная дестабилизация состояния почвенно-биотических сообществ в геосистемах юга Восточной Сибири

Е. П. Бессолицына

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Проведен ландшафтно-экологический анализ таксономического разнообразия и структуры сообщества почвенных беспозвоночных в геосистемах на локальном (биогеоценологии), топологическом (фациальном) и региональном уровнях. Осуществлен сравнительный анализ структуры и разнообразия зооценозов преобладающих в регионе природных и антропогенно нарушенных почв, выявлены экологические особенности сообществ почвенных беспозвоночных и ограничения функций биоты в трансформированной среде, рассмотрены закономерности трансформации структуры сообществ в ландшафтно-зональном диапазоне под влиянием природных условий и антропогенных факторов. Изучено негативное влияние антропогенного пресса на численность, биомассу и биоразнообразие мезопедобионтов. Данные о различных формах антропогенного воздействия на почвенную биоту обобщены на региональном уровне. Показаны возможности использования интегральных почвенно-биотических показателей в целях экологического контроля и прогноза в условиях потенциально опасных воздействий человека.

Ключевые слова: сообщества беспозвоночных животных, структура, биоразнообразие, антропогенное воздействие.

Для цитирования: Бессолицына Е. П. Антропогенная дестабилизация состояния почвенно-биотических сообществ в геосистемах юга Восточной Сибири // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2021. Т. 36. С. 16–25. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.36.16>

Введение

Деятельность человека, преобразующего биосферу, по своему охвату с давних пор стала соизмерима с геологическими процессами крупного масштаба. Живые организмы всегда были тесно связаны со средой обитания, образуя сложно организованные целостные динамические системы [Marten, 2001; Edwards, 2002; Loreau, Naeem, Inchausti, 2002]. Однако до сих пор использование природных ресурсов очень часто происходит без учета закономерностей и механизмов функционирования биоты.

Развитие концепции сотворчества человека и природы [Сочава, 1985], в число основных положений которой входят преодоление нежелательных последствий нарушения природной среды, охрана ее ресурсов и восстановление естественного потенциала, предполагает всестороннее изучение динамических процессов под влиянием человеческой деятельности.

Методика исследований

Антропогенная динамика почвенной биоты изучалась на специально выбранных тестовых площадях и полигонах в различных регионах Южной Сибири, включающих природные и трансформированные биогеоценозы, различающиеся по формам и интенсивности воздействия.

Сбор материала проводился по методикам, рекомендованным для эколого-фаунистических, почвенно-зоологических и биогеоценологических исследований [Программа и методика ... , 1994]. Для определения численности и биомассы обитателей почвы и подстилки на каждой площади с применением монолитореза размером 25×25 см в шахматном порядке брали 4–6 проб глубиной 25–40 см (в зависимости от предельной встречаемости беспозвоночных) [Количественные методы ... , 1974].

Для сравнительного анализа изменений структуры животного населения в горизонтальном пространстве и взаимосвязей отдельных компонентов с факторами среды на локальном, сублокальном и региональном уровнях были использованы широко распространенные в почвенно-зоологических исследованиях расчеты количества беспозвоночных на единицу площади земной поверхности (экз., мг, г/м²) [Боровиков, Боровиков, 1998; Бессолицына, Какарека, Крауклис, 1991; Бессолицына, 2001].

Количественные характеристики (численность и биомасса педобионтов) представлены графически с использованием методов математической статистики и пакетов программ Microsoft Excel, MapInfo 7.5 и Photoshop CS.

Обсуждение результатов

Проводя большую часть жизненного цикла в почве, беспозвоночные имеют тесные связи с температурой, влажностью и содержанием химических ингредиентов.

Влияние человека в большинстве случаев вызывает изменение структуры зооценозов почв в сторону уменьшения разнообразия видов, снижения численности и биомассы крупных сапрофагов и увеличения количества более адаптационно-способных и широко распространенных представителей фауны. Это проявляется в сходстве физиономических, флористических, фаунистических и структурных свойств ценозов и обусловлено широкой эколого-ценотической амплитудой эвритопных и космополитных видов.

Основные факторы дестабилизации почвенно-биотических сообществ

Изъятие древесины и пирогенное воздействие

Лесные ресурсы регионов Сибири длительное время подвергаются различным формам воздействия, наиболее осязаемой среди них является заготовка древесины. Промышленное освоение лесов ведет прежде всего к увеличению временно лишенных древостоя площадей, вызывая значительные изменения фитоценотической структуры таежных и лесных ландшафтов. Применение валочно-трелевочной техники приводит к почти полному уничтожению подроста, нарушению почвенного покрова, что неблагоприятно

сказывается на возобновлении леса. Захламление лесосек порубочными остатками и сухостоем очень часто является причиной пожаров.

Перестройка структуры зоокомплексов на вырубках связана с изменением состава древостоя, а следовательно, количества и качественного состава подстилки, гидротермического режима почвы. Удаление древесного полога способствует ксероморфизации таежных биогеоценозов и ухудшению экологических условий для видов, требовательных к высокой влажности почвенного субстрата. Увеличение инсоляции в первые годы существования вырубки обуславливает значительное весеннее и раннелетнее иссушение поверхностного слоя почвы. На вырубках увеличивается суточная и сезонная амплитуды колебаний температуры почвы [Крауклис, Бессолицына, Кремер, 1985].

Наиболее глубокие модификации структуры животного населения, типичного для тайги, представлены на вырубках, пройденных пожаром. Пирогенное воздействие существенно изменяет видовой состав. На вырубках снижается численность узкоспециализированных видов, особенно таежного происхождения, и увеличивается обилие и разнообразие форм, трофически связанных с мелколиственными породами. В результате смены видового состава древостоя в лесных биогеоценозах, занимающих зональные позиции, радикального преобразования структуры геобия не наблюдается. Доминируют дождевые черви, которые по биомассе составляют до 65 % от общего количества обитающих в почве беспозвоночных. По мере развития мелколиственных ценозов масса педобионтов постепенно возрастает. Это происходит главным образом за счет увеличения численности сапрофагов: энхитреид, люмбрицид и диплопод, приводя иногда к полной гибели зооценоза. Последствия пожаров, в результате которых уничтожается подрост древесных пород, травяно-кустарничковый ярус, моховой покров, подстилка, по отношению к беспозвоночным более продолжительны, чем смена растительных сообществ в результате рубки. Изменение экологических условий на гарях настолько существенно, что для некоторых видов они остаются непригодными в течение многих лет. На вырубках и гарях повышается заселенность ксилофагами остатков древесины и ослабленных деревьев.

В целом зооценозы почв молодых вырубок и гарей характеризуются обедненным видовым составом и низкими количественными показателями. Падение биомассы происходит прежде всего за счет снижения численности олигохет.

Нерациональное использование пастбищ и рекреация

Трансформация степных экосистем в результате ненормированного выпаса отмечается повсеместно и имеет сходный характер в различных ландшафтно-зональных условиях. Перевыпас приводит не только к изменению видового состава, разреживанию травостоя и снижению продуктивности пастбищ, но также к механическому разрушению дернины и верхних горизонтов почвенного профиля, способствующему эрозии, скотобойному террасированию склонов степных пастбищ; в отрицательных формах рельефа наблюдается закоркавание и засоление почв.

Изменение исходных растительных сообществ сопровождается инвазией сорных видов, обеднением флористического состава, увеличением обилия видов, обладающих высокой толерантностью к выпасу и вытаптыванию.

На определенных стадиях пастбищной дигрессии наблюдается упрощение пространственной структуры биотических сообществ. Она проявляется в сходности физиономических, флористических, фаунистических и структурных свойств ценозов и обусловлена широкой эколого-ценотической амплитудой пастбищных видов. В степных сообществах Минусинской котловины наряду с резким сокращением видового состава и его ксерофитизацией происходит изменение фитоценотической роли видов: на фоне снижения роли злаков разрастаются дигрессионно-устойчивые виды, запасы зеленых побегов уменьшаются в 6 раз [Горшкова, Мордкович, Стебаева, 1994].

Чрезмерное использование земель в качестве пастбищ ведет к деградации почвенно-растительного покрова и угнетению животного населения. Изменение водно-физических свойств почвы в результате уплотнения верхнего слоя и снижения порозности является одной из причин ухудшения условий жизни геобионтов и сокращения ценотического разнообразия за счет выпадения ряда групп видов. В лесных и луговых биогеоценозах лесостепной части территории в первую очередь снижается численность крупных аудафических сапрофагов – люмбрицид. В биогеоценозах, подвергающихся выпасу, количество животного вещества в почве по сравнению с площадями, используемыми как сенокосы, на 45–60 % ниже.

Так как подстилка на пастбищах практически не образуется, структура гемиздафона также значительно обеднена и представлена в основном многочисленными ксерофильными видами. Разнообразие мезофауны в почвах злаково-ковыльной степи под воздействием высокой пастбищной нагрузки сокращается в 5–7 раз.

Среди рассматриваемых типов ландшафтов наименее устойчивы к пасторальным нагрузкам степные биогеоценозы на склонах южной экспозиции, где увеличение поголовья скота в конечном итоге может привести к снижению продуктивности и емкости пастбищ.

Сходные тенденции в изменении зооценозов почв степных и лесных экосистем прослеживаются при использовании земель для рекреационных целей.

Использование почвы для возделывания сельскохозяйственных культур

Преобразование почвенного покрова при возделывании сельскохозяйственных культур оказывает существенное влияние на качественный и количественный состав населения животных. Продолжающаяся во всем мире интенсивная химизация сельского хозяйства приводит к тому, что ежегодно в среду обитания всего живого, включая человека, поступает большое количество различных чужеродных химических веществ (ксенобиотиков), в том числе и пестицидов, которые уничтожают не только вредные для сельского хозяйства организмы, но и полезные виды.

Количество видов беспозвоночных животных на полях в 7–25 раз ниже, чем на необрабатываемых участках в сходных местоположениях. По сравнению с лесными почвами эти различия достигают 30–50-кратных размеров. В условиях монокультуры, способной обеспечить длительное существование большого количества особей одного вида, наиболее вероятны вспышки массовых размножений фитофагов.

Изменение мезонаселения в условиях техногенного воздействия

В зонах целого ряда длительно действующих промышленных предприятий наблюдается деградация биогеоценозов от стадии существенного нарушения до стадии техногенной пустоши. Техногенное воздействие приводит к изменению физических и химических характеристик почвы, гидротермического режима, а следовательно, трансформации растительных сообществ и среды обитания животных.

Коренная перестройка структуры зооценозов, как правило, локализована в непосредственной близости от источников эмиссий – в 1,5–5-километровой зоне. Общее количество беспозвоночных статистически достоверно увеличивается по мере удаления от источника эмиссии и уменьшения содержания основных ингредиентов выбросов в слое 0–10 см. Наибольшее количество и видовое разнообразие отмечены на пробных площадях на расстоянии 17–20 км в восточном и северо-восточном направлении от Саянского алюминиевого завода (СаАЗ). По мере приближения к заводу значительно снижается численность пауков, литобиид, формицид, стафидлинид, жужелиц, антицид, чернотелок, долгоносиков, личинок двукрылых, в лесных биогеоценозах – люмбрицид и энхитреид, уменьшается встречаемость видов. На расстоянии 2–3 км от источников выбросов наблюдается полная элиминация мирмицин, сетчатокрылых.

Таким образом, численность и биомасса доминирующих в степных и лесных биогеоценозах беспозвоночных находятся в прямой зависимости от расстояния до источника эмиссий и в обратной – от интенсивности нагрузки. Угнетение сообществ педобионтов ведет к снижению видового разнообразия и редукции биотического комплекса, что впоследствии отрицательно сказывается на биологической активности и устойчивости почвенных экосистем.

Изменение почвенно-биотических компонентов в процессе урбанизации

Сообщества беспозвоночных в процессе урбанизации подвергаются влиянию сложного комплекса факторов, определяющих формирование и трансформацию зооценозов на различных участках. В городских почвах изменяются показатели суммарного обилия видов беспозвоночных в сообществе, которые связаны с нагрузкой отрицательной зависимостью. Численность и биомасса педобионтов в урбаноземах значительно ниже, чем в степных биогеоценозах, слабо затронутых антропогенным воздействием. По сравнению с урбаноземами биомасса беспозвоночных в реплантоземах и культуроземах ощутимо выше.

Урбанизация приводит к снижению разнообразия почвенной биоты за счет элиминации ряда таксономических групп и видов, изменению количественных показателей и структуры сообществ, а также к угнетению способности экосистем к самовосстановлению. В результате урботехногенной трансформации почв мезофильные элементы сообществ постепенно вытесняются более устойчивыми к воздействию антропогенных факторов эврибионтными видами.

Нарушенность сообществ

Степень нарушенности почвенно-биотических сообществ в ландшафтах юга Сибири варьирует в значительных пределах: от слабо нарушенных (низовые пожары, слабый выпас и др.) до средне и сильно (верховые пожары, рубки, воздействие насекомых-вредителей, сенокошение, рекреация, сильный выпас скота и др.) и радикально (распашка земель, урбанизация, разработка карьеров) преобразованных.

К первой степени нарушенности сообществ относятся моно- и полидоминантные со сбалансированной структурой, устойчивые, с высокими показателями зоомассы. Вторая группа включает слабо нарушенные моно- и полидоминантные сообщества среднеустойчивые с относительно сбалансированной структурой и высокими показателями зоомассы. Сообщества со средней степенью нарушенности образуют зооценозы с несбалансированной структурой слабоустойчивые со средними показателями зоомассы. Сильно нарушенные – это производные полидоминантные с несбалансированной структурой неустойчивые с низкими показателями зоомассы. Очень сильно нарушенные зоокомплексы входят в пятую группу. Это производные, бесструктурные неустойчивые с очень низкими показателями зоомассы.

Структура сообществ почвообитающих беспозвоночных, отражая изменения широкого спектра почвенно-экологических условий в географическом аспекте и под воздействием антропогенных факторов, является достаточно информативным тест-объектом в ландшафтно-индикационных исследованиях и классификационных построениях. Ответные реакции почвенных беспозвоночных на изменение экологических факторов проявляются как на локальном (биогеоценотическом), так и на ландшафтном уровнях.

Краткая характеристика состояния зооценозов в почвах по степени нарушенности наиболее распространенных на ключевых участках биогеоценозов представлена в таблице.

В элементарных геосистемах, различающихся по степени естественной изменчивости и устойчивости, неодинаково проявляются последствия экзогенных воздействий, в частности, их чувствительность к антропогенному фактору возрастает с повышением динамичности. В связи с этим приобретает значение выявление динамических рядов трансформации биогеоценозов от ненарушенных к производным по градиенту антропогенного воздействия с учетом их чувствительности и устойчивости.

Таблица

Разнообразие сообществ беспозвоночных в почвах не нарушенных и нарушенных антропогенным воздействием геосистем

		Почвы	Тип сообщества педобионтов
Н е н а р у ш е н н ы е	Мерзлотно-таежные	Мерзлотно-таежные	Бореальный типично таежный мезофильный с относительно низкой численностью крупных сапрофагов – люмбрицид; со средними показателями биомассы и относительно высоким разнообразием
	Дерновые лесные	Дерновые лесные слаборазвитые	Бореальный лесной мезо- и мезоксерофильный с выраженным доминированием крупных сапрофагов – люмбрицид, наличием литофильных видов; со средними и высокими показателями биомассы и разнообразия
		Дерновые лесные оподзоленные	
		Дерновые лесные оглеенные	
	Дерново-подзолистые	Дерново-подзолистые обычные	Бореальный типично таежный мезофильный с выраженным доминированием крупных сапрофагов – люмбрицид; с высокой и средней биомассой и высоким разнообразием
		Дерново-подзолистые оглеенные	
	Подзолистые	Подзолистые обычные супесчаные	Лесной (боровой), ксеромезофильный полидоминантный с преобладанием псаммофильных мезоартропод с относительно низкими значениями биомассы и относительно высоким разнообразием
		Слабоподзолистые упесчаные	
		Подзолисто-глеевые песчаные	
	Луговые	Луговые обычные	Луговой мезофильный и мезоксерофильный полидоминантный с участием крупных сапрофагов – люмбрицид; со средними значениями биомассы и разнообразия
		Луговые остепненные	
	Аллювиальные	Луговые и дерново-луговые	Лугово-лесной гигромезофильный полидоминантный с низкой численностью люмбрицид; со средними и низкими значениями биомассы и средним разнообразием
		Лугово-болотные и луговые	
Торфянисто-перегнойные (при-террасные)	Торфянисто-перегнойные	Лесоболотный гигрофильный полидоминантный с низкой численностью люмбрицид (с преобладанием по численности мелких сапрофагов – энхитреид, личинок двукрылых); со средними и относительно низкими показателями биомассы и низким разнообразием	
	Торфянисто-перегнойно-глеевые		
Болотные мерзлотные (микротермные)	Торфянисто-глеевые	Болотный гигрофильный полидоминантный с преобладанием мелких сапрофагов – энхитреид, личинок двукрылых, с относительно низкими показателями биомассы и разнообразия	
	Торфянистые и торфяные		
	Перегнойно- и иловато-глеевые		

Окончание табл.

Почвы			Тип сообщества педобионтов
Нарушенные	Агрозоемы и геотехногенные	Пирогенно нарушенные	Бесструктурный мезоксерофильный с участием эвритопных артропод с очень низкими показателями биомассы и разнообразия
		Антропогенно нарушенные – пахотные	
		Радикально преобразованные – урбанизированные и техногенные	Не заселены беспозвоночными

Заключение

Представляя факторы дестабилизации ландшафтных связей, влияние человека в большинстве случаев вызывает изменение структуры зооценозов почв в сторону уменьшения разнообразия видов, снижения численности и биомассы крупных сапрофагов и увеличения количества более адаптационно-способных и широко распространенных представителей фауны. Это проявляется в сходстве физиономических, флористических, фаунистических и структурных свойств ценозов и обусловлено широкой эколого-ценотической амплитудой эвритопных и космополитных видов.

Систематическое антропогенное воздействие в большинстве случаев нарушает геохимическую обстановку, ухудшает условия существования биоты, снижая тем самым биологическое разнообразие сообществ, функциональную активность почвы и устойчивость экологической системы в целом.

Список литературы

- Бессолицына Е. П.* Ландшафтно-экологический анализ структуры зооценозов почв юга Сибири. Иркутск, 2001. 166 с.
- Бессолицына Е. П., Какарека С. В., Крауклис А. А.* Геосистемы контакта тайги и степи: юг Центральной Сибири. Новосибирск : Наука, 1991. 216 с.
- Боровиков В. П., Боровиков И. П.* Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. М. : Филинь 1998. 608 с.
- Горшкова А. А., Мордкович В. Г., Стебаева С. К.* Биодиагностика сохранения и восстановления степных пастбищных экосистем Сибири // Сибирский экологический журнал. 1994. № 5. С. 403–416.
- Количественные методы в почвенной зоологии. М. : Наука, 1987. 288 с.
- Крауклис А. А., Бессолицына Е. П., Кремер Л. К.* Опыт экологического исследования геосистем в целях мониторинга // География и природные ресурсы. 1985. № 3. С. 14–26.
- Программа и методика биогеоэкологических исследований. М. : Наука, 1974. 404 с.
- Сочава В. Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск : Наука, 1978. 319 с.
- Loreau M., Naeem S., Inchausti P.* Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives. Oxford Univ. Press, 2002. 312 p.
- Marten G. G.* Human Ecology – Basic Concepts for Sustainable Development. Earthscan Publicatios, 2001. 256 p.
- Edwards C. A., Bohlen P. J.* The effects of contaminants on the structure and function of Soil communities // Acta Zool. Fenn. 2002. Vol. 1996. P. 284–289.

Anthropogenic Destabilization of the Soil-Biotic Communities State' in the Geosystems on the South of Eastern Siberia

E. P. Bessolitsyna

V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. A successful study of the anthropogenic impact on terrestrial biogeocenoses, and especially on their biotic component – zoocenoses, is ineffective without observations of the soil fauna. The paper presents a comparative analysis of the structure and diversity of zoocenoses of natural and anthropogenic disturbed soils prevailing in the region, identifies the ecological features of soil invertebrate communities and the limitations of biota functions in the transformed environment, and considers the patterns of transformation of the community structure in the landscape-zonal range under the influence of natural conditions and anthropogenic factors. Landscape-ecological analysis of the taxonomic diversity and structure of the community of soil invertebrates in geosystems was carried out at the local (biogeocenology), topological (facies) and regional levels. The negative impact of anthropogenic pressure on the number, biomass and biodiversity of mesopedobionts is considered. Data on various forms of anthropogenic impact on soil biota at the regional level are summarized. Possibilities of using integral soil-biotic indicators for environmental monitoring and forecasting in conditions of potentially dangerous anthropogenic impacts are shown.

Keywords: invertebrate communities, structure, biodiversity, anthropogenic impact.

For citation: Bessolitsyna E.P. Anthropogenic Destabilization of the Soil-Biotic Communities State' in the Geosystems on the South of Eastern Siberia. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2021, vol. 36, pp. 16-25. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.36.16> (in Russian)

References

- Bessolitsyna E.P. *Landshaftno-ekologicheskij analiz struktury zoocenozov pochv yuga Sibiri* [Landscape-ecological analysis of the structure of zoocenoses of soils in the South of Siberia]. Irkutsk, Institute of Geography Publ., 2001, 166 p. (in Russian)
- Bessolitsyna E.P., Kakareka S.V., Krauklis A.A. *Geosistemy kontakta tajgi i stepi: yug Centralnoj Sibiri* [Geosystems of the taiga-steppe contact: South of Central Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991, 216 p. (in Russian)
- Borovikov V.P., Borovikov I.P. *Statisticheskij analiz i obrabotka dannyh v srede Windows* [Statistical analysis and data processing in the Windows environment]. Moscow, Filin Publ., 1998, 608 p. (in Russian)
- Gorshkova A.A., Mordkovich V.G., Stebaeva S.K. Biodiagnostika sohraneniya i vostanovleniya stepnyh pastbishchnyh ekosistem Sibiri [Bio-diagnostics of conservation and restoration of steppe pasture ecosystems]. *Sibirskij Ekologicheskij Zhurnal* [Siberian ecological journal], 1994, no. 5. pp. 403-416. (in Russian)
- Kolichestvennye metody v pochvennoj zoologii* [Quantitative methods in soil zoology]. Moscow, Nauka Publ., 1987, 288 p. (in Russian)
- Krauklis A.A., Bessolitsyna E.P., Kremer L.K. Opyt ekologicheskogo issledovaniya geosistem v celyah monitoringa [Experience of ecological research of geosystems for monitoring purposes]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources], 1985, no. 3, pp. 14-26. (in Russian)
- Programma i metodika biogeocenologicheskikh issledovanij* [Program and methodology of biogeocenological research]. Moscow, Nauka Publ., 1974, 404 p. (in Russian)
- Sochava V.B. *Vvedenie v uchenie o geosistemah* [Introduction to the doctrine of geosystems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1978, 319 p. (in Russian)

Loreau M., Naeem S., Inchausti P. *Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives*. Oxford Univ. Press, 2002, 312 p.

Marten G.G. *Human Ecology – Basic Concepts for Sustainable Development*. Earthscan Publicatios, 2001, 256 p.

Edwards C.A., Bohlen P.J. The effects of contaminants on the structure and function of Soil communities. *Acta Zool. Fenn.*, 2002, vol. 1996, pp. 284-289.

Бессолицына Екатерина Прокопьевна

доктор географических наук

ведущий научный сотрудник

Институт географии им. В. Б. Сочавы

СО РАН

664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1

e-mail: bessol@irigs.irk.ru

Bessolitsyna Ekaterina Prokopievna

Doctor of Science (Geography)

Leading Scientist

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS

1 Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,

Russian Federation

e-mail: bessol@irigs.irk.ru