

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ТЕХНОГЕННО - ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Л.П. Степанова, д.с.-х.н., Е.В. Яковлева, к.с.-х.н., А.В. Писарева, Орловский ГАУ

Представлены результаты микробиологического исследования техногенно-трансформированных земель. Дан сравнительный анализ структуры эколого-трофических групп микроорганизмов в городских почвах (урбаноземах) и антропогенно нарушенных серых лесных почвах. Показана зависимость изменения численности микробиоценоза от характера антропогенного воздействия (автомагистраль, шлаковый отвал) и удаленности источника загрязнения.

Ключевые слова: микроорганизмы, урбанизированные экосистемы, численность и биомасса беспозвоночных, структура почвенно-биотических сообществ.

Организмы, населяющие почву создают её как природное тело, обеспечивая воспроизводство плодородия и экологических функций.

С экологической точки зрения почвенная биота - составная часть наземных экосистем и к ней применимы экологические подходы оценки состояния биологической составляющей, среди которых ведущее место занимает характеристика таксономического и функционального разнообразия микроорганизмов. Чем больше разнообразие, тем выше устойчивость системы. Качественный состав микроорганизмов дает возможность оценить фитосанитарное состояние почвы и выявить причины почвоутомления. При этом необходимо отметить, что биологические показатели крайне вариабельны и существенно изменяются с изменением состояния окружающей среды и воздействием различных загрязняющих веществ [11, 10]. Почва, как гетерогенный объект окружающей среды, с активным протеканием в ней физических, химических и биологических процессов, постоянно изменяется и развивается [11].

Многочисленными исследованиями показана возможность применения почвенных беспозвоночных в качестве биоиндикатора для экологического контроля окружающей среды [1, 4, 10]. Среди почвенных беспозвоночных микроартроподы характеризуются повышенной динамичностью развития популяций, способностью быстро отзываться на изменения среды.

Экологическое состояние почвы влияет на здоровье населения через продукты питания или ее воздействия на степень загрязнения воды и воздуха, а также возможно прямое воздействие загрязненных почв на здоровье населения при непосредственном контакте [8, 14, 15].

В условиях города почвы - один из самых загрязненных компонентов городской среды, что обуславливает необходимость систематических микробиологических исследований для санитарной оценки почвы, оценки современного уровня антропогенного воздействия и его прогнозирования с целью разработки природоохранных мероприятий [7, 10, 17].

Цель исследований - установить характер изменения численности и соотношения основных физиологических и эколого-трофических групп микроорганизмов антропогенно - трансформированных земель.

Методика. Исследования проводили в 6 опытных точках: три в районе автотрассы Каширского шоссе г. Москвы, отбор образцов проводили с глубины 0-20 см урбанозема в разной удаленности от автотрассы (5; 50; 300 м), в качестве контроля (фоновые почвы) использовали одну точку дерново-подзолистой почвы (0-20см) на территории парковой зоны Лосиный остров г. Москвы и две (удаленность 20; 300 м) в п.

Думчино Орловской области, где изучали типичную для данной местности серую лесную почву с различным уровнем антропогенного воздействия шлакового отвала.

Урбаноземы (0-20 см) опытных точек (Каширское шоссе) характеризуются следующими показателями: *точка 1* (5 м) – гумус - 2,84%, рН_{KCl} 6,9, ЕКО - 10,04 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями 96,5 %; *точка 2* (50 м) – гумус - 3,37%, рН_{KCl} 6,37, ЕКО - 14,61 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями 91,2 %; *точка 3* (300 м) – гумус 3,39%, рН_{KCl} 7,1, ЕКО - 9,40 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями 95,4 %; *фоновая почва* – гумус - 1,27%, рН_{KCl} 4,75, ЕКО - 11,98 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями 26,3 %.

Антропогенно-нарушенные серые лесные почвы (0-20 см) в районе расположения шлакового отвала п. Думчино: *точка 5* (20 м) – гумус - 2,8%, рН_{KCl} - 4,5, ЕКО - 6,64 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями 45,5 %, физическая глина – 27,72%; *точка 6* (300 м) – гумус - 1,8%, рН_{KCl} - 5,4, ЕКО - 10,14 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями 88,7%, физическая глина - 51,18%.

Все почвенные пробы были отобраны по методу конверта: для этого по углам квадрата 1 x 1 м и в его центре отбирали 5 равных образцов почвы, которые затем смешивали и получали интегральную почвенную пробу. Таким образом, избегали вклада микрозачастности почвы и получали образец, хорошо характеризующий состояние почвенного покрова в данной точке. В этот же день пробы доставляли в лабораторию, где подвергали микробиологическому исследованию.

В почвах анализировали несколько физиологических и эколого-трофических групп микроорганизмов: численность аммонифицирующих бактерий учитывали на среде МПА, количество бактерий, использующих минеральные формы азота (аминоавтотрофы) - на крахмалоаммиачном агаре (КАА), микроскопические грибы на среде Чапека с добавлением молочной кислоты; на среде Гетчинсона с фильтровальной бумагой определяли целлюлозоразлагающие микроорганизмы, в том числе бактерии, грибы, актиномицеты.

Подготовку грунтов и почвы к микробиологическому анализу осуществляли согласно методикам. Микробиологические исследования выполняли классическим чашечным методом посева на плотные питательные среды в 5-кратных повторностях.

Результаты и их обсуждение. Проведенный анализ полученных данных по общей численности основных физиологических и эколого-трофических групп микроорганизмов показал, что почвы разных рекреационных зон характеризовались достоверными различиями по данному показателю. Общая численность микроорганизмов в опытных точках урбанозема в разной удаленности от Каширского шоссе колебалась от $35,77 \pm 5,12 \cdot 10^6$ до $57,18 \pm 5,29 \cdot 10^6$ КОЕ/г.

Как видно из приведенных рисунков 1 и 2 численность аммонифицирующих бактерий в исследованных урбопочвах варьировала в пределах $1,49-2,80 \cdot 10^7$ КОЕ/г абсолютно сухой почвы. При этом численность бактерий данной группы в урбопочвах на большей удаленности от шоссе была в 2 раза выше, чем в урбаноземе в непосредственной близости к Каширскому шоссе (5 м). В опытной точке на расстоянии 50 м

от Каширского шоссе численность аммонификаторов возрастала почти в 1,5 раза и составила $2,26 \cdot 10^7$ КОЕ/г.

Сходная картина наблюдается и для аминоавтотрофной группировки (см. рис. 2). В урбопочвах в непосредственной близости к Каширскому шоссе общая численность аминоавтотрофов достигала $2,05 \cdot 10^7$ КОЕ/г.

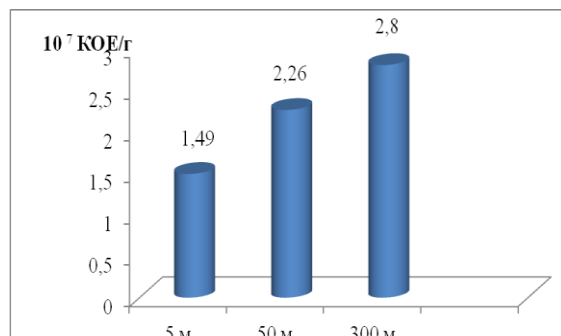


Рис. 1. Численность аммонификаторов в урбопочвах, г. Москва, Каширское ш.

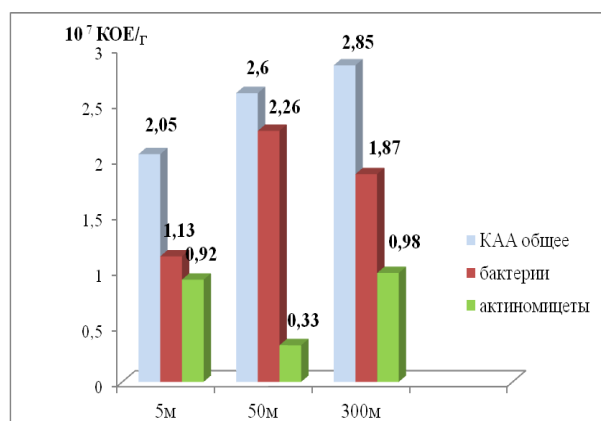


Рис. 2. Численность аминоавтотрофов в урбопочвах, г. Москва на разной удаленности от Каширского ш.

С увеличением расстояния отбора пробы от шоссе до 50 м численность аминоавтотрофов увеличивалась до $2,60 \cdot 10^7$ КОЕ/г. Самая высокая численность аминоавтотрофов в урбаноземах установлена на расстоянии 300 м от шоссе и составила $2,85 \cdot 10^7$ КОЕ/г абсолютно сухой почвы. Максимальная численность аминоавтотрофных бактерий была выявлена в урбаноземах с удаленностью 50 м от шоссе и составила $2,26 \cdot 10^7$ КОЕ/г, а минимальная численность этой группы бактерий показана в опытной точке в непосредственной близости к шоссе – $1,13 \cdot 10^7$ КОЕ/г. В опытных урбаноземах, находящихся в наибольшей удаленности от шоссе, количество бактерий составило $1,87 \cdot 10^7$ КОЕ/г.

Интерес представляют результаты исследования изменения численности актиномицетов в физиологической аминоавтотрофной группировке. Наибольшая численность актиномицетов установлена в образцах, удаленных от Каширского шоссе в пределах 300 м, количество актиномицетов достигало $0,98 \cdot 10^7$ КОЕ/г. Однако, численность актиномицетов в почвах в непосредственной близости к шоссе составила $0,92 \cdot 10^7$ КОЕ/г и была в пределах статистических различий. Самая минимальная численность актиномицетов выявлена в урбаноземах в 50-метровой удаленности от Каширского шоссе и составила $0,33 \cdot 10^7$ КОЕ/г.

В целом, все исследованные группы микроорганизмов показывают сходное распределение численности по опытным точкам на территории Каширского шоссе (рис. 3). Численность грибной микрофлоры варьировала в зависимости от удаленности источника загрязнения – шоссе. Самое высокое количество колониеобразуемых единиц грибной микрофлоры установлено в урбаноземах при наибольшем удалении от шоссе и составило $4,91 \cdot 10^5$ КОЕ/г, количество целлюлозоразлагающих микроорганизмов было наименьшим в непосредственной близости к шоссе и достигало $1,1 \cdot 10^5$ КОЕ/г, что

почти в 5 раз ниже установленной численности грибной микрофлоры в урбаземах с наибольшим удалением от шоссе.

Интерес представляет группа целлюлозоразлагающих актиномицетов в микробном сообществе изучаемых урбаноземов. Количество актиномицетов изменялось от $1,3 \cdot 10^5$ КОЕ/г в непосредственной близости к шоссе до $2,41 \cdot 10^5$ КОЕ/г в наибольшей удаленности от шоссе. В почвах опытной точки на 50 м расстоянии от шоссе количество актиномицетов резко сокращалось и было в 5,5 раз меньше численности целлюлозоразлагающих актиномицетов в урбанопочвах на наибольшей удаленности от шоссе.

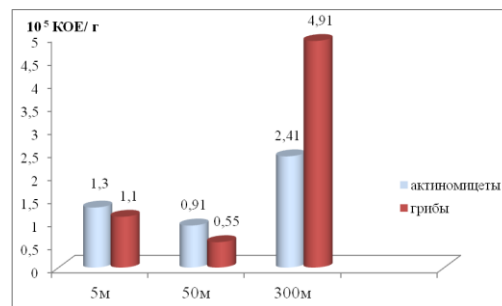


Рис. 3. Численность актиномицетов и грибной микрофлоры в урбопочвах, г. Москва (Каширское ш.)

Высокий уровень гетерогенности городской среды в условиях микромозаичного строения почвы обуславливает некоторые трудности в выявлении определенных закономерностей функционирования микробных ценозов.

Исследуемые величины коэффициентов, характеризующих соотношение в составе микробного сообщества бактерий, выросших на КАА, к бактериям, растущим на МПА, наглядно показывают, что в урбаноземах с наибольшей приближенностью к шоссе коэффициент минерализации достигает 1,38, с удалением от дороги значение коэффициента минерализации снижается до 1,02 с одновременным увеличением общей численности микробного сообщества с $3,58 \cdot 10^7$ КОЕ/г до $5,72 \cdot 10^7$ КОЕ/г.

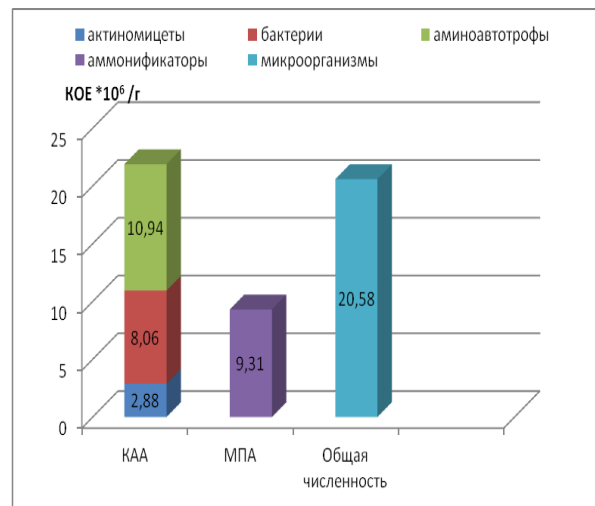


Рис. 4. Структура микробного сообщества в фоновой дерново-подзолистой почве в парковой зоне г. Москвы, «Лосиный остров»

Исследование структуры микробного сообщества в слое 0-20 см фоновой дерново-подзолистой почвы в парковой зоне г. Москвы «Лосиный остров» показало, что общая численность микроорганизмов достигает $2,06 \cdot 10^7$ КОЕ/г, что в 1,7-2,8 раза ниже количества микроорганизмов в урбаноземах с разной удаленностью от шоссе.

В гумусовом горизонте фоновой почвы изменяется не только общая численность микроорганизмов, но и соотношение различных эколого-трофических групп, численность аммонификаторов достигала $0,93 \cdot 10^7$ КОЕ/г и уступала численности аммонификаторов в урбаноземах в 1,6-3,01 раза, а численность аминоавтотрофов была в 1,9-2,6 раза ниже количества аминоавтотрофов в урбопочвах. Численность актино-

мицетов в гумусовом слое фоновой почвы парковой зоны также была ниже значений, полученных для микробоценозов урбанозема $0,29 \cdot 10^7$ КОЕ/г.

Численность бактерий, использующих минеральные формы азота на КАА, в фоновой почве составила $0,81 \cdot 10^7$ КОЕ/г, что в 1,4-2,8 раза ниже численности данной группировки в образцах урбанозема, взятых на разном удалении от Каширского шоссе. Коэффициент минерализации в контрольной почве, не подверженной антропогенному влиянию, составил 1,17. Установленные исследованиями закономерности изменения эколого-трофических групп микроорганизмов в городских почвах на разном удалении от источника загрязнения (автомагистраль) в условиях г. Москвы подтверждаются изменениями в состоянии микробоценозов серых лесных почв, находящихся в различной удаленности от такого мощного источника загрязнения, как шлаковый отвал Мценского района Орловской области п. Думчино [12].

Анализируя изменения численности микроорганизмов в почвах на разной удаленности от шлакового отвала (рис.5), можно заключить, что независимо от источника и характера загрязнения почвы, отмечается изменение, как общей численности микроорганизмов, так и численности исследованных бактерий.

Так, общая численность микроорганизмов в антропогенно-измененных почвах на удаленности от отвала 20 м составила $2,12 \cdot 10^7$ КОЕ/г абсолютно сухой почвы, с увеличением удаленности от отвала, как источника загрязнения, общая численность микробного населения возрастала и достигала $4,55 \cdot 10^7$ КОЕ/г. Если сравнивать полученные данные с общей численностью микроорганизмов в урбаноземах г. Москвы, то можно сделать вывод, что общая численность микроорганизмов в урбаноземах в 1,69 раза превышает численность микроорганизмов в серой лесной почве в непосредственной близости (20 м) к отвалу. При удалении от источника загрязнения шлакового отвала, общая численность микроорганизмов в серой лесной почве уступает численности микроорганизмов в урбаноземах в 1,26 раза (рис. 5).

Следовательно, можно сделать вывод, что городские почвы испытывают меньший антропогенный пресс в сравнении с интенсивностью воздействия такого мощного источника загрязнения, как отвал шлаковых отходов алюминиевого литья.

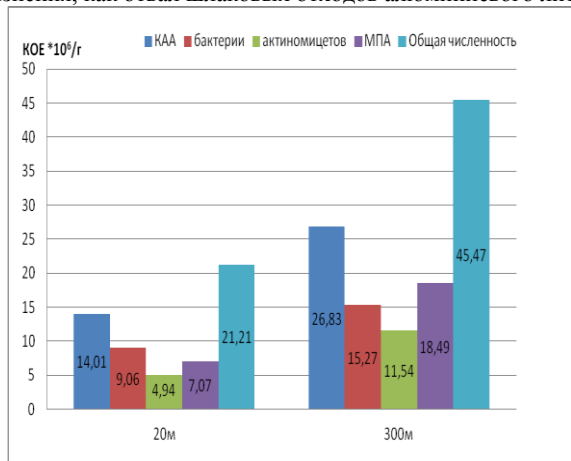


Рис. 5. Изменение численности эколого-трофических групп микроорганизмов на разной удаленности от шлакового отвала (п. Думчино, Мценский р-н)

Изменения общей численности микроорганизмов, установленные для трансформированных серых лесных почв, отражаются и в изменении различных трофических групп микроорганизмов.

Установлено, что с увеличением расстояния почвы от шлакового отвала происходит увеличение численности аммонификаторов с $0,71 \cdot 10^7$ КОЕ/г на удалении от отвала 20 м до $1,85 \cdot 10^7$ КОЕ/г при удалении на 300 м от отвала. Количество аминокислототрофов изменялось в такой же последовательности, а именно с $1,41 \cdot 10^7$ КОЕ/г в почве в непосредственной близости

к отвалу до $2,68 \cdot 10^7$ КОЕ/г при удалении почвы на 300 м от отвала.

Численность бактерий и актиномицетов, использующих минеральные формы азота, в почвах вблизи отвала приближалась по абсолютному значению к урбопочвам и составила $0,9 \cdot 10^7$ КОЕ/г для денитрифицирующих бактерий и $0,4 \cdot 10^7$ КОЕ/г для актиномицетов. С удаленностью от отвала на 300 м численность денитрифицирующих бактерий возрастает, аналогично урбаноземам, и составляет $1,5 \cdot 10^7$ КОЕ/г бактерий на КАА и $1,15 \cdot 10^7$ КОЕ/г актиномицетов. Низкая численность денитрификаторов в урбаноземах и серой лесной почве – следствие малого количества минеральных форм азота и низкой гумусированности почвы.

Заключение. Результаты проведенных исследований показали, что как в урбаноземах г. Москва, так и в почвах, подверженных воздействию шлакового отвала, происходит изменение структуры микробоценозов и, несмотря на отмеченные локальные различия между опытными точками, можно отметить тенденцию к уменьшению коэффициента минерализации с увеличением удаленности опытного объекта от источника загрязнения, так коэффициент минерализации, установленный для почв вблизи шлакового отвала, составил 1,9, а при удалении от отвала на 300 м он снизился до 1,5.

Результаты почвенно-биологического мониторинга оценивают показателями изменения видовой структуры микробных сообществ (общее богатство, разнообразие) и изменениями популяций для видов, развивающихся в определенных экологических условиях, и видов возможных аккумуляторов токсикантов.

По нашему мнению, микробное сообщество быстро меняет свои количественные характеристики и соотношения между различными эколого-трофическими группами, что является основанием использования микробиологических анализов и значений коэффициентов минерализации для мониторинга состояния антропогенно-преобразованных земель.

Литература

- Андронов Е.Е. Влияние внесения генетически модифицированного штамма *sinorhizobium meliloti* ach-5 на структуру почвенного сообщества микроорганизмов// Андронов Е.Е., Петрова С.Н., Чижевская Е.П., Коростик Е.В., Ахтемова Г.А., Пинаев А.Г.// Микробиология.- 2009. -Т. 78.- № 4.- С. 525-534.
- Ариушикина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. - М.: МГУ, 1970. - 488 с.
- Балабина И.П. Динамика популяций почвенных коллембол при гербицидном загрязнении среды обитания// Автореферат дис. канд. биол. н. : 03.00.16.- М., 1990.- 19 с.
- ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнений. - М.: Изд-во стандартов, 1984.
- ГОСТ 17.4.4.02-84. Почва. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического анализа. - М.: Изд-во стандартов, 1985.
- ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
- ГОСТ 17.4.2.03-86 Охрана природы. Почвы. Паспорт почвы.
- Добровольский Г.В. Почва, город, экология.- М.: Фонд за экономическую грамотность, 1997. - 310 с.
- Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии.-М.: Изд-во МГУ, 1991.
- Иващенко К.В., Ананьева Н.Д., Васенев В.И., Кудяров В.Н., Валентины Р. Биомасса и дыхательная активность почвенных микроорганизмов в антропогенно-измененных экосистемах (Московская обл.)// Почвоведение.- №9.- 2014.
- Илюшкина Л.Н., Шевченко Е.Е. Санитарно-гигиеническое состояние почв рекреационных зон г. Ростова-на-Дону // Фундаментальные исследования. - 2013. - № 4-2. - С. 375-378;
- Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на микробную систему чернозема //Почвоведение.- №4.- 2007.- С.505-511.
- Мигунова В.Д., Кураков А.В. Структура микробной биомассы и трофические группы нематод в дерново-подзолистых почвах постагрогенной сукцессии в южной тайге (Тверская область)// Почвоведение.- №5.- 2014.
- Семенова И.Н., Ильбулова Г.Р., Суяндукоев Я.Т.// Мониторинг микробных сообществ почв.- №9.- 2011.- С. 139-141.

15. Степанова Л.П., Яковлева Е.В. Коренькова Е.А., Писарева А.В. Агроэкономическая оценка восстановления плодородия антропогенно нарушенных и рекультивируемых серых лесных почв. // Ученые записки Орловского государственного университета. - №3. - С. 256-261, 2015.
16. Тарасов А.А., Шершнев О.М., Тарасов С.А. Биота как фактор саморегулирования почвы // Материалы международной конференции «Актуальные проблемы агропромышленного производства» (23-25 января). - Курск, 2013.
17. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии // Теппер Е.З, Шильникова В.К. и др. 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 1993. - 175 с.
18. Усачова А.Н., Сиганова Н.В., Полецук О.Е. Влияние процессов почвенной деградации на количественный состав бактерий, актиномицетов и грибов // Экология и биология почв. Матер. междунар. науч. конф. - Ростов-на-Дону, 2004. - С. 308-312.
19. Яковлева Е.В. Экологическая оценка факторов деградации серых лесных почв и пути их оптимизации // Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. к.с.-х. н., Орел, 2006. - 23 с.

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE MICROBIOLOGICAL COMPLEX STRUCTURE OF TECHNOGENICALLY TRANSFORMED LANDS

**L.P. Stepanova, E.V. Yakovleva, A.V. Pisareva, Orel State Agrarian University
ul. Generala Rodina 69, Orel, 302019 Russia, E-mail: Elenavalerevna79@yandex.ru**

The results of the microbiological examination of technogenically transformed lands are presented. A comparative analysis of the structure of ecological and trophic groups of microorganisms in urban soils (urbanozems) and anthropogenically disturbed gray forest soils was performed. The dependence of microbocenosis abundance on the anthropogenic impact (motorway, slag dump) and the distance from the pollution source was shown.

Keywords: microorganisms, urbanized ecosystems, abundance and biomass of invertebrates, structure of soil-biotic communities.