

Экологическая оценка почв техногенных зон урбанизированных территорий



М. В. Медведева,
канд. биол. наук, доцент
Петрозаводского
филиала Петербургского
государственного
университета путей
сообщения



Н. Г. Федоренц,
докт. с.-х. наук, профессор
Института леса
Карельского научного
центра (КарНЦ) РАН



А. С. Яковлев,
докт. биол. наук,
профессор Московского
государственного
университета
им. М. В. Ломоносова



Л. Л. Савельев,
стажер-исследователь
Института леса
КарНЦ РАН

Строительство железных дорог и их эксплуатация весьма ощутимо сказываются на состоянии окружающей среды. Степень негативного воздействия на экологию можно значительно снизить с помощью лесозащитных полос. Для их создания проведены исследования почв, которые находятся в зеленой зоне Петрозаводска. Научный опыт показал, какие насаждения и древесные породы должны доминировать на тех или иных участках у железнодорожных путей, чтобы обеспечить максимальную защиту экосистемы.

Негативное воздействие железнодорожного транспорта на экологическую обстановку проявляется в загрязнении воздушной, водной среды и земель как при строительстве дорог, так и при их эксплуатации. Большое значение для оздоровления окружающей среды имеет устройство лесозащитных полос. В лесной зоне, с одной стороны, они способствуют безопасности функционирования железнодорожных магистралей, защищая пути от сильных ветров, снежных заносов, гололедообразования, а с другой – выполняют санитарно-защитные функции, снижая неблагоприятное воздействие поллютантов на все компоненты биоты.

Негативному воздействию в наибольшей степени подвержена почва: она способна к аккумуляции веществ-загрязнителей. Однако если оценке состояния гидро- и атмосферы уделяется достаточно большое внимание, то работ в области изучения изменения свойств почв железнодорожной инфраструктуры сравнительно немного [1, 2, 8]. Недостаточно исследований посвящено почвам Карелии, которые, согласно классификации М. А. Глазковской, по потенциальной самоочищающей способности отнесены к категории со средней способностью к самоочищению [3].

Сегодня все больший научный интерес вызывает определение состояния почв, находящихся в условиях сложного антропогенного пресса, расположенных в условиях урбанизации и испытывающих влияние железной дороги. Это вызвано тем, что по сравнению с природными условиями города резко из-

меняют направленность почвообразовательного процесса, а следовательно, нарушают экологические функции почв в геотехсистеме [2, 7]. В связи с этим было необходимо изучить городские почвы, подверженные влиянию железнодорожного транспорта. Сопряженное исследование химических и микробиологических свойств почв дает представление об их современном состоянии, а также позволяет установить тенденции их изменения. Благодаря полученным данным многолетних комплексных исследований можно расширить спектр санитарно-гигиенических показателей, используемых в природоохранной практике.

Объекты и методы исследования

Участки, на которых проводили исследования, расположены в зеленой зоне города Петрозаводска. Схема расположения участков представлена на рис. 1. Тригонометрическое нивелирование территории выполнили сотрудники Института леса КарНЦ РАН В. В. Харитонов и Е. Э. Костина.

Объектами анализа были почвы, расположенные на разном расстоянии от железнодорожного полотна. На каждом участке был проведен почвенный разрез, при этом основным методом исследования разрезов был традиционный морфологический анализ вертикального профиля почв. Для более детального анализа почвенного покрова делались прикопки. Таксономическая принадлежность почв устанавливалась в соответствии с региональной классификацией [10].

Участок 1 (N 61°44'46,8``E 34°26'04,8``) расположен в 40 м от доро-

ги, поэтому испытывает наиболее сильное антропогенное воздействие. Он расположен на одной из нижних озерных террас, между двумя железнодорожными магистралями – действующими и резервными, законсервированными путями. После сведения древостоя в результате восстановительной сукцессии на данном участке сформировался осинник снытевый с участием вяза шершавого. Тип леса – осинник снытевый. Возраст древостоя – 15–18 лет. Монодоминантом напочвенного покрова является сныть обыкновенная, проективное покрытие которой составляет 85 %. Мохово-лишайниковый ярус отсутствует. Разрез заложен в разнотравной парцелле. Почва, сформировавшаяся под данным древостоем, – дерново-грунтово-глеевая на сильнокаменистой супесчаной морене. Морфологическое строение: $A_d-A_h-B_1-B_2g-C_g$.

Участок 2 (N 61°44'45,4"E 34°26'03,6") расположен на расстоянии 80 м от железной дороги. Здесь произрастает осинник разнотравный. Возраст древостоя – около 40 лет. Сформировавшееся здесь сообщество характеризуется высоким уровнем видового богатства (выявлены 33 вида сосудистых растений), ведущей ролью папоротников в сложении напочвенного покрова. Мохово-лишайниковый ярус отсутствует. Разрез заложен в разнотравно-папоротниковой парцелле. Почва – перегнойно-подзолистая грунтово-глеевая на сильнокаменистой супесчаной морене. Морфологическое строение: $A_0-A_h-A_2-B_g-BC_g-C_g$.

Участок 3 (N 61°44'44,4"E 34°01,7') расположен на расстоянии 120 м от дороги. На нем произрастает ельник разнотравно-черничный, приручейный. Возраст древостоя – до 70 лет. Доминантом напочвенного покрова является черника, проективное покрытие которой составляет 44 %. Значительно участие кислицы обыкновенной (8 %) и костяники каменистой (4 %). Моховый ярус сложен шестью видами мхов, однако общее проективное покрытие яруса составляет чуть больше 1 %. Разрез заложен в чернично-разнотравной парцелле. Почва – перегнойно-подзолистая грунтово-глеевая на сильнокаменистой суглинистой морене. Морфологическое строение: $A_0-A_h-A_2-B_g-BC_g-C_g$.

Участок 4 (N 61°44'44,0"E 34°26'00,4"), расположенный на расстоянии 160 м от железной дороги, рассматривался для проведения контроля. Здесь представлен ельник разнотравно-черничный приручейный с участием березы в первом ярусе. Отличается от предыдущего ельника разнотравно-черничного большим видовым богатством (34 вида сосудистых растений), кроме кислицы обыкновенной (6 %) и костяники каменистой (3 %), а также заметным участием в сложении напочвенного покрова ландыша майского (проективное покрытие 5 %). Моховый ярус практически отсутствует (покрытие мхами составляет менее 1 %). Почва – перегнойно-подзолистая грунтово-глеевая на сильно завалуненной супесчаной морене. Морфологическое строение исследуемых почв: $A_0-A_h-A_1A_2-B_g-BC_g-C_g$.

Для определения химических свойств почв были отобраны образцы из почвенных разрезов по генетическим горизонтам [4]. В них определялось содержание элементов минерального питания (Na, K, Ca, Mg) и микроэлементов (Pb, Co, Ni, Cu, Zn, Mn, Cd, Cr, Fe). Разложение образцов почвы было проведено смесью концентрированных азотной и соляной кислот в микроволновой печи со встроенными бесконтактными датчиками температуры и давления (Berghof, Германия). Количественное содержание элементов выявлено методом атомно-абсорбционной спектроскопии (спектрофотометр AA-7000, Shimadzu, Япония). Определение серы проведено спектрофотометрически (СФ-2000, Россия). Данные были получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Аналитическая

лаборатория» Института леса КарНЦ РАН.

Микробиологические свойства почв описаны на основе санитарно-гигиенических показателей их качества [5, 6], а также интегральных показателей биологической активности [9].

Уровень биоразнообразия оценен по значению индекса Шеннона H' [12].

Специалисты собирали и изучали корневые окончания ели европейской. Анатомо-морфологические параметры корневых окончаний описаны по стандартной методике [11].

Показатели изменения свойств почв

Анализ морфологического строения почв показал, что в них различаются верхние горизонты. Особенно заметны отличия от контрольных показателей у почв, расположенных на расстоянии 40 м от железной дороги. Почвы, формирующиеся в данном биогеоценозе, который находится на одной из стадий восстановительной сукцессии, имеют слабо развитый морфологический профиль. Разделение на горизонты затруднено вследствие сильной каменистости почв. В верхней части почвенного профиля образуется дернина, густо переплетенная корнями травянистых растений. Дерновый горизонт не имеет четко выраженной нижней границы. Образующиеся органические соединения пропитывают минеральную толщу только в верхней части профиля почв, что способствует формированию горизонта A_1 . Формирование верхнего органогенного горизонта A_d обусловлено поступлением опада как лиственных древесных пород, так и многолетних травянистых растений, площадь проективного покрытия которых в отдельных локусах имела максимальный показатель (100%).

На остальных участках морфологическое строение почв отличается незначительно. Почвы на всех опытных участках сформировались на одних и тех же почвообразующих породах, а именно: сильнокаменистой супесчаной морене. Преобладающими процессами, формирующими данные почвы, являются: гумусообразование, биогенное накопление элементов-органотрофов в лесной подстилке (A_0) и гумусовом горизонте, подзолообразование. Близкое залегание водоупора в виде сильнокаменистой почвообразующей породы и дополнительный приток влаги с повышенных элементов рельефа создают условия для развития глееобразовательного процес-

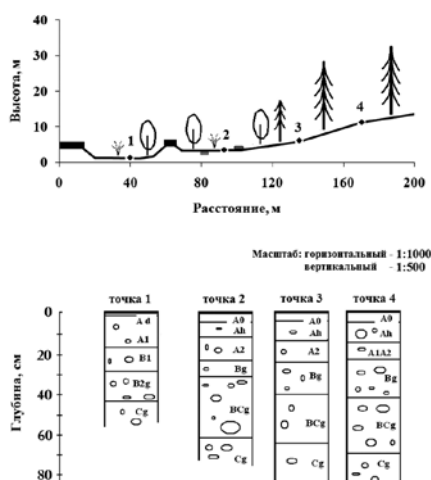


Рис. 1. Схема расположения исследуемых участков: Разрез 1 – дерново-грунтово-глеевая в осиннике снытевом, Разрез 2 – перегнойно-подзолистая грунтово-глеевая в осиннике разнотравном; Разрезы 3, 4 – перегнойно-подзолистая грунтово-глеевая в ельнике разнотравно-черничном.

са. Следы оглеения в виде сизых и ржавых пятен отмечали в нижней части профиля почв (горизонты B_g, BC_g, C_g). Почвы характеризуются хорошо развитой лесной подстилкой A_0 и гумусовым горизонтом. Профиль изучаемых почв хорошо дифференцирован по цвету, структуре. Между горизонтами отмечается резкая граница перехода.

Как известно, микроорганизмы являются индикатором состояния почв, поэтому широко используются для их биодиагностики [1, 13]. Результаты микробиологического анализа показали, что на участке, расположенном на расстоянии 40 м от дороги, численность бактерий, утилизирующих минеральные и органические соединения азота, максимальная (рис. 2). Также высока численность бактерий-олигонитрофилов. Вместе с тем на всех участках коэффициент микробной минерализации (отношение численности бактерий, утилизирующих минеральный азот, к числу микробов, использующих органические соединения азота) имеет сходные числовые значения. По-видимому, это связано с однонаправленностью почвообразовательного процесса исследуемых почв, сформировавшихся на суглинистой морене. При этом снижение индекса олиготрофности (отношение численности бактерий-олиготрофов к числу бактерий, использующих минеральные соединения азота) на участке, расположенном на расстоянии 40 м от дороги, свидетельствует о неустойчивости микробного сообщества к антропогенному воздействию.

Количественные изменения в блоке прокариот почв, расположенных на рас-

стоянии 40 м от железной дороги, оказали влияние на структуру микоценоза. Выявлено возрастание микроскопических грибов в почвах по мере приближения к железнодорожному полотну. Как отмечено выше, опад лиственных растений, поступающих на почву, обуславливает лучшее развитие грибного мицелия в мелких и крупных почвенных порах, в зоне ризосферы [8].

Изучение реакции микоризы на техногенные воздействия для оценки состояния почв, представляет значительный теоретический и практический интерес, так как эктомикоризы отражают состояние ризосферы. С ростом загрязнения плотность эктомикориз на 10 см корня уменьшается в среднем на 17%. Отмечено увеличение линейных параметров эктомикориз при росте уровня загрязнения места произрастания. Доля эктомикоризного чехла в общем объеме микоризного окончания увеличивается с ростом загрязнения, особенно в верхнем почвенном слое (рис. 3). Линейные параметры эктомикориз значительно растут при воздействии комплекса техногенных поллютантов, что можно использовать совместно с другими методами экологической характеристики почв.

Проведенный анализ показал, что в почвах, подвергаемых наибольшему антропогенному воздействию, несмотря на высокую численность микроорганизмов исследуемых эколого-трофических групп, их количество уступает численности в почвах ненарушенных лесных экосистем. Это косвенно свидетельствует о том, что в условиях урбанизации и воздействия железнодорожного тран-

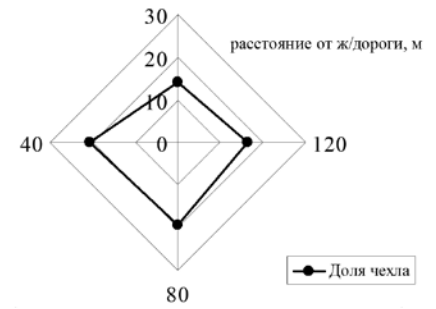


Рис. 3. Изменение морфометрических показателей качества микоризы на фоне антропогенного воздействия

спорта процесс восстановления экосистемы после рубки древостоя происходит замедленно.

Среди растений, как известно, индикаторами степени антропогенного влияния на экосистему являются мхи и лишайники. Из четырех обследованных объектов моховый ярус представлен только на двух наиболее удаленных участках, причем крайне незначительно. Поэтому в нашем случае мхи не могут служить в качестве индикаторов состояния сообществ. Сосудистые растения реагируют на внешнее воздействие изменением состава и обилия. Древесный ярус сообщества, ближе всего расположенного к железной дороге, представлен осиной, породой, замещающей хвойные в период восстановительной сукцессии. В травяно-кустарничковом ярусе господствует сныть обыкновенная, которая является синантропным видом. Произрастание перечисленных видов, а также вяза шершавого естественно-го происхождения свидетельствует о высоком уровне фонового почвенного плодородия, который мог бы служить предпосылкой развития здесь сообщества с высоким уровнем биоразнообразия. Однако значение индекса биоразнообразия крайне низко ($H' = 0,17$). Это подтверждает вышесказанное о медленной реабилитации экосистемы, находящейся в условиях урбанизации.

Таким образом, анализ микробиоты почв, находящихся в условиях хронического антропогенного воздействия, свидетельствует об изменении численности бактерий группы олиготрофов, гидролитиков, копитрофов, а также о процессе микоризообразования у растений. Причина этих нарушений может быть обусловлена действием поллютантов, поступающих на почву с аэральным миграционным потоком от железной дороги. Это подтвердили

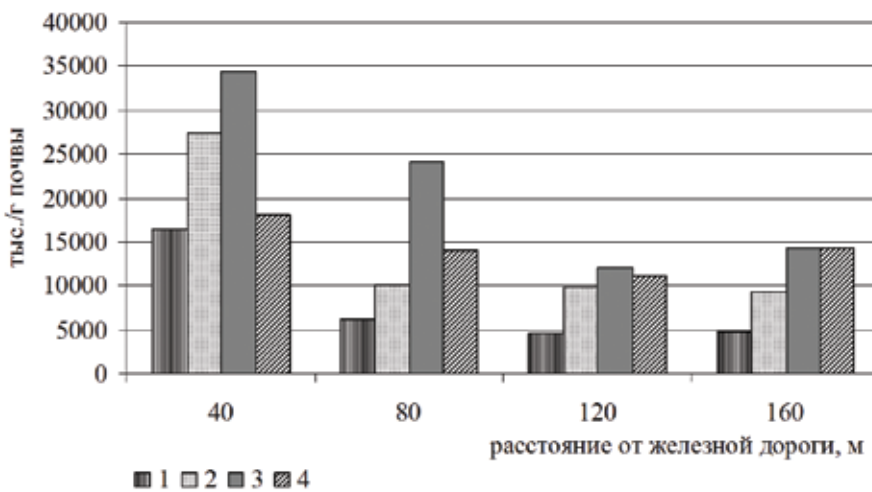


Рис. 2. Изменение численности микроорганизмов в почвах, расположенных на разном расстоянии от железнодорожного полотна: 1) бактерии, утилизирующие органические формы азота; 2) бактерии, использующие минеральные соединения азота; 3) бактерии-олигонитрофилы; 4) олиготрофы

результаты химического анализа. Ясно прослеживается тенденция накопления в верхнем горизонте почв Cu, Co, Ni, Zn, Cr, Mn, Fe по мере приближения к железной дороге, что говорит об их антропогенном поступлении (рис. 4).

В почвах, близко расположенных к железной дороге (40 м), было выявлено накопление K, Ca, Mg. Как известно, особенностью почв среднетаежной подзоны Карелии является низкое содержание щелочных и щелочноземельных металлов [10]. В связи с этим можно предположить, что данные вещества снижают негативное воздействие поллютантов на микробиоту, поэтому резкой перестройки микробного сообщества и элиминирования отдельных эколого-трофических групп не наблюдалось.

Количество тяжелых металлов и серы в почвах обследованных участков не превышает значений предельно допустимой концентрации (ПДК) и фоновых показателей, характерных для Карелии.

Анализ содержания металлов в почве участка, расположенного на расстоянии 40 м от дороги, показал, что ни один из исследуемых элементов не превышал установленные нормативами значения ПДК. В данном случае это во многом связано со средозащитной функцией древесного яруса. Способность накапливать металлы в фитомассе вида-эдификатора, в нашем случае осины, отмечена в работе [8].

Исследование состояния почв, находящихся в зоне действия железнодорожного транспорта, позволило выявить количественные показатели изменения свойств почв и микробиоты. На основе полученных данных была определена

зона наибольшего антропогенного воздействия, которая находится на расстоянии 40 м от железной дороги. Основным фактором, оказывающим влияние на почвенную микробиоту, является поступление аэрополлютантов. При этом отмечается информативность и чувствительность биоты к антропогенному воздействию.

Полученные материалы проведенных исследований могут быть использованы при проведении природоохранных мероприятий, а также при планировочной организации лесозащитных полос в полосе отвода железнодорожных магистралей в черте города.

Следует подчеркнуть, что в таежной зоне прилегающей к железнодорожным путям естественный лес способен играть роль лесозащитных полос, которые по санитарно-гигиеническим свойствам превосходят искусственно созданные насаждения. При необходимости создания искусственных лесозащитных полос в данных природно-климатических условиях на супесчаных почвах можно рекомендовать формирование смешанных насаждений, а в качестве главных пород выбирать ель и осину. В почву рекомендуется вносить микоризную землю, содержащую мицелий грибов-микоризообразователей. Следует иметь в виду, что у различных древесных пород имеются специфические грибы-микоризообразователи. При посадках лесозащитных полос необходимо увеличивать адаптационные возможности отдельных компонентов создаваемых объектов озеленения, что позволит повысить экологическую емкость территории и в конечном счете обеспечить максимальную защиту ур-

боэкосистемы от антропогенного воздействия железнодорожного транспорта. □

Литература

1. Бахмет О. Н., Медведева М. В. Изменение свойств почв Карелии в процессе искусственного лесовосстановления // Почвоведение. 2013. № 3. С. 38–45.
2. Воробейчик Е. Л., Садыков О. Ф., Фарфонов М. Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
3. Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высшая школа, 1988. 328 с.
4. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. М., 1983.
5. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. М., 1983.
6. СТ СЭВ 4470-84. Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния. М., 1983.
7. Костенков Н. М., Пуртова Л. Н. Посттехногенное почвообразование на отвальных породах как фактор восстановления природных ландшафтов // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. Т. 12. № 1(4). С. 1032–1034.
8. Казанцев И. В., Зарубин Ю. П., Пурегин П. П. Влияние подвижного состава на содержание тяжелых металлов в почвах и растениях полосы отвода железных дорог // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. 2007. № 2. С. 172–175.
9. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: МГУ, 1996. 276 с.
10. Морозова Р. М. Лесные почвы Карелии. Л.: Наука. 1991. 184 с.
11. Семенова Л. А. Морфология микориз сосны обыкновенной в спелых лесах // Микоризные грибы и микоризы лесобразующих пород Севера. Петрозаводск, 1980. С. 103–113.
12. Розенберг Г. С. Информационный индекс и разнообразие: Больцман, Котельников, Шеннон, Уивер... // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2010. Т. 19, № 2. С. 4–25.
13. Федоренко Н. Г., Медведева М. В. Эколого-микробиологическая оценка состояния почв города Петрозаводска. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2005. 96 с.

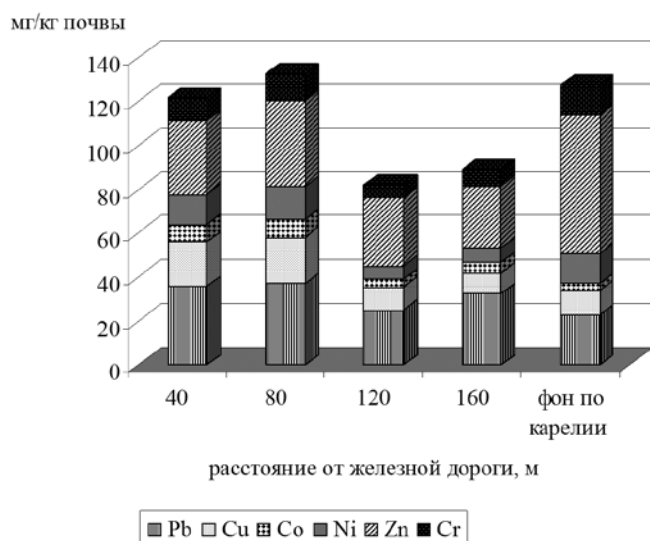


Рис. 4. Содержание тяжелых металлов в почвах, расположенных по градиенту загрязнения