

ХАРАКТЕРИСТИКА АНТРОПОГЕННО ДЕГРАДИРОВАННЫХ ПОЧВ И МИКРОБНОГО КОМПЛЕКСА ТЕРРИТОРИЙ НИЖНЕ-ТАГИЛЬСКОГО ПРОМУЗЛА

Кайгородова С. Ю.* , Жуйкова Т. В.** , Жуйкова В. А.** , Безель В. С.* , Ившина И. Б.***

*Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург,

Kaygorodova@ipae.uran.ru, **ФГБОУ ВПО Нижнетагильская государственная социально-педагогическая академия, Нижний Тагил, hbftnt@gambler.ru, ***Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, Пермь, ivshina@icgm.ru

В Уральском регионе с острейшей экологической ситуацией имеются зоны максимальной техногенной трансформации с высоким уровнем загрязнения окружающей среды. Одним из крупнейших промышленных центров Свердловской области является г. Нижний Тагил (60° в. д., 58° с. ш., таежная географическая зона, подзона южной тайги). Современный промышленный комплекс представлен предприятиями черной металлургии. Суммарный ежегодный выброс от промышленных источников в конце 90-х годов составлял 641,3 тыс. т. С 1994 г. отмечено снижение выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников до 200 тыс. т. В период 2010-2011 гг. суммарный выброс от промышленных предприятий составил 110–116 тыс. т. Приоритетный загрязнитель - мелкодисперсная полиметаллическая пыль в виде окислов (Cr, Ni, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb и др.) (О состоянии..., 2010). Высокая антропогенная нагрузка на данную территорию формируется в результате деятельности как градообразующего предприятия ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» (ОАО «НТМК», предприятие «Евраз Груп»), так и промышленных предприятий цветной и черной металлургии, химической промышленности, машиностроения и ряда других. В городе шесть крупных карьеров, три шахты — «Магнетитовая» у Высокогорского карьера, «Эксплуатационная» у Лебяжинского, «Евстюнинская». Таким образом, горно-металлургический комплекс является одним из основных факторов техногенного воздействия на экосистемы Нижнего Тагила и притагильской зоны.

Цель работы - диагностика антропогенно-деградированных почв и структурно-функциональных параметров бактериальной составляющей почвенной микробиоты при различных уровнях загрязнения тяжелыми металлами.

Объекты и методы исследований. Для исследования нами были выделены участки в агрогенных и техногенных ландшафтах, которые широко представлены в г. Нижний Тагил. Выбор пробных площадей обусловлен их различной удаленностью от основного источника выбросов - Нижнетагильского металлургического комбината, априори образуя градиент химического загрязнения почв и принадлежностью к сообществам лугового типа.

Отбор почвенных образцов и анализ почвы на содержание тяжелых металлов проводили в соответствии с требованиями методик (Методические рекомендации..., 1981; Методические указания..., 1992). Для анализа использовали 2 г сухого субстрата просеянного через сито с диаметром отверстий 1 мм. Экстракцию металлов проводили 5%-ной HNO₃, отношение субстрата к экстрагенту равно 1:10, время экстракции - 24 часа. В кислотных вытяжках измеряли содержание Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре AAS 300 фирмы Perkin Elmer.

На основе концентраций тяжелых металлов в почвах и расчетного индекса загрязнения (суммарного коэффициента концентрации S_i) были выделены зоны техногенной нагрузки - фоновая, буферная, импактная. Фоновые участки были заложены в наименее нарушенных человеком агроландшафтах; импактные - размещены на отвалах предприятий железорудной горнодобывающей промышленности и черной металлургии. В буферной зоне один из участков заложен в агроландшафте, второй — на отвале магнетитовых пород, относящемся к агломерации горнодобывающих предприятий г. Н. Тагила, для объединения контрастных почвенно-экологических условий фоновой и импактной зоны.

Диагностика антропогенно-нарушенных естественных почв выполнена в июле 2012 г. на основе изучения их морфологического строения в соответствии с Классификацией почв России (Классификация и диагностика..., 2004; Полевой определитель..., 2008; Руководство по описанию почв, 2012). Диагностика молодых почв отвалов выполнена с учетом исследований почв и грунтов отвалов горно-добывающей промышленности Урала (Махонина, 1987; Махонина, 2003; Забалув и др., 2007).

Морфология почв описана согласно традиционным методам (Практикум по почвоведению, 1980). Агрохимический состав почв определен в соответствии с аттестованными методами анализа в аккредитованной лаборатории ИЭРиЖ УрО РАН (Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001.515630). В почвенных образцах были определены: кислотность водной и солевой вытяжки $pH_{вод}$, $pH_{сол}$, гидролитическая кислотность, обменные кальций и магний, степень насыщенности основаниями, подвижные калий и фосфор, легкогидролизуемый азот, общий углерод, нитраты (Теория и практика..., 2006).

Образцы почвы для микробиологического анализа отбирали в мае и июле 2012 г. из ризосферы с 0-20 см глубины почвенного профиля. Учет общей численности микроорганизмов в почвенных образцах проводили прямым люминесцентным методом по Звягинцеву и Кожевину с использованием флюорохромного красителя акридина оранжевого (Инструментальные..., 1982). Подсчет микробных клеток осуществляли на люминесцентном микроскопе (Micros MC 400FP, Австрия), просматривая не менее 30 полей зрения для каждого образца.

Выделение микроорганизмов с целью обнаружения функционального биоразнообразия проводили методом высева на накопительные селективные среды: аммонификаторы - в мясопептонный бульон; денитрификаторы - среду Гильтея; нитрификаторы I и II фазы - среду Виноградского; гетеротрофы - на мясопептонный агар; углеводородокисляющие (УОБ) - на минеральную агаризованную среду К в парах смеси п-алканов ($C_{12}-C_{17}$); олиготрофы - на минеральную агаризованную среду К без источника углерода; сульфат восстанавливающие - среду Постгейта Б; железо- и марганцевосстанавливающие - среду Бромфильда; целлюлозоразрушающие - среду гатчинсона (Каталог штаммов..., 1994). Свободноживущие азотфиксирующие микроорганизмы рода *Azotobacter* учитывали методом комочков обрастания на следе Эшби. С целью максимальной десорбции микроорганизмов с поверхности почвенных частиц осуществляли предварительную подготовку образцов, включающую ультразвуковую обработку почвенной суспензии (1 : 10) в течение 2-5 мин. с помощью низкочастотного диспергатора (Soniprer 150, Sanyo, Япония). Культивирование микроорганизмов проводили традиционно и в микролуночных планшетах в течение 7-21 сут. В зависимости от условий эксперимента.

Статистический анализ результатов проводили с использованием стандартных методов описательной статистики с вычислением среднего арифметического (M), ошибки (σ) и среднего квадратического отклонения (S). Множественные сравнения проведены S -методом Шеффе. Статистический анализ выполняли в ПСП Statistica, версия 6.0 для Windows (StatSoft, Inc., 2001).

Результаты и их обсуждение. Характеристика почв и ландшафтов. В ходе исследования установлено, что среднее содержание тяжелых металлов в почве регионального фона и техногенно нарушенных территорий различалось в десятки раз (табл.). Приоритетными загрязнителями почвы исследуемых территорий являются железо, цинк и медь. Концентрации данных элементов в почвах фоновой и техногенно нарушенных территорий различаются в 7,3, 48,6 и 129,5 раз соответственно.

Общий уровень техногенного загрязнения на участках определен по содержанию тяжелых металлов в почве. В качестве интегрального показателя загрязнения использован уровень суммарной токсической нагрузки (S) (Безель и др., 1998), который на исследуемых территориях изменялся от 1 до 30 отн. ед. (табл.). В соответствии с интегральным уровнем загрязнения участки были отнесены к фоновой ($S_i = 1,0-2,55$ отн. ед.), буферной ($S_i = 3,33-6,19$ отн. ед.) и импактной ($S_i = 22,78-30,0$ отн. ед.) зонам загрязнения. Названия зон даны в соответствии с номенклатурой ЮНЕП (Global..., 1973).

Таблица. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в образцах исследованной почвы

| Название участка | Si, отн. ед. | Содержание микроэлементов, мкг/г ($M \pm m$) | | | | | | | | |
|------------------|--------------|--|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|----------------------|
| | | Zn | Cu | Cd | Pb | Co | Ni | Mn | Cr | Fe |
| Фон-1 | 1,00 | 17,51 ± 1,61 (20) | 12,56 ± 0,89(20) | 0,15 ± 0,96 (17) | 8,10 ± 0,91 (20) | 6,50 ± 0,85 (20) | 12,95 ± 0,86 (20) | 291,60 ± 27,17 (19) | 13,06 ± 0,78 (20) | 788,90 ± 50,87 (15) |
| Фон-2 | 2,55 | 59,44 ± 3,07 (10) | 7,35 ± 0,78 (10) | - | 7,94 ± 2,33 (10) | 0,22 ± 0,01 (10) | - | - | 36,31 ± 1,76 (10) | 376,62 ± 6,84 (10) |
| Буфер-1 | 3,30 | 58,05 ± 1,10(19) | 38,62 ± 0,59 (20) | 1,26 ± 0,0 (20) | 13,17 ± 0,18 (20) | 16,76 ± 0,21 (20) | 17,97 ± 0,32 (20) | 359,01 ± 9,37 (20) | 20,03 ± 0,46 (20) | 964,48 ± 1,65 (15) |
| Буфер-2 | 6,19 | 262,65 ± 39,56 (20) | 101,57 ± 11,13(20) | 0,90 ± 0,08 (20) | 38,81 ± 4,91(19) | 14,53 ± 3,63 (20) | 7,40 ± 1,37(20) | 375,18 ± 54,02(20) | 7,78 ± 1,08(20) | 841,11 ± 13,23(15) |
| Импакт-1 | 22,78 | 390,96 ± 125,92 (5) | 951,49 ± 236,10(4) | 1,54 ± 0,47 (5) | 12,38 ± 3,88 (4) | 124,23 ± 17,79 (5) | 7,75 ± 1,30(5) | 2364,9 ± 93,52 (5) | 7,14 ± 2,26 (5) | - |
| Импакт-2 | 30,00 | 850,40 ± 18,26 (10) | 194,60 ± 6,60 (10) | 2,82 ± 0,44 (10) | 193,85 ± 18,34 (Ю) | - | - | - | 51,90 ± 3,44 (10) | 2736,60 ± 85,36 (10) |

Примечание: Si - суммарная токсическая нагрузка. В скобках — объем выборки, «-» - данные отсутствуют.

Фоновые участки представлены залежными землями, выведенными из-под пашни 17-20 лет назад. На разных участках плотность и мощность дернины и дернового горизонта варьируют. Морфологические признаки позволяют диагностировать данные почвы как агроподзолистые, по дерново-сильноподзолистым тяжелосуглинисто-глинистым почвам, развитым на известковистых глинах. В настоящее время данные почвы проградированы дерновым процессом; почва участка Фон-1 - глееватая.

Почвы участков Фон-2 и Фон-3 характеризуются слабокислой средой (рН вод = 5,8-6,3), наличием обменной кислотности (рН_{сол} значительно ниже значений рН_{вод}), невысокими значениями гидролитической кислотности (табл. 4). На участке Фон-1 - почва имеет слабокислую и близкую к нейтральной среде (рН вод-6,3-6,6), обладает низкой обменной и гидролитической кислотностью. Обменный комплекс фоновых почв насыщен основаниями, в основном кальцием. На участках Фон-2 и Фон-3 степень насыщенности основаниями составляет 57-85%, в почве участка Фон-1 - 76-95%. В подзолистых и оподзоленных горизонтах А2 и А2В содержание обменных оснований снижено. Обеспеченность элементами питания растений (легкогидролизуемым азотом и подвижными фосфатами) этих почв низкое и очень низкое, что связано с тем, что исходно бедные подзолистые почвы были выработаны пашней. Более полно данные почвы обеспечены подвижными формами калия. Среди трех фоновых участков наиболее благоприятный питательный режим почв - на участке Фон-1. Содержание общего углерода в почвах низкое, оно повышается только в верхних задернованных горизонтах, там, где имеются мелкие корни растений. Гумусированность минеральной части профиля низкая. Нитратов в почвах очень мало, практически нет (0,3-1,6 мг/кг).

Буферные участки представлены очень контрастными почвами и ландшафтами. Участок Буфер-1 представлен 20-летней залежью после использования под личные огороды. Почвообразующей породой является тальковый сланец. Почва диагностирована как агроподзолистая, глееватая, проградированная дерновым процессом на делювии талькового сланца. Почва слабокислая, в нижней части профиля проявляется обменная и гидролитическая кислотность. Обменный комплекс почвы насыщен обменными основаниями до 70-90%. В обменном комплексе преобладает кальций, но содержание магния высокое, особенно в нижней части профиля. Это связано с тем, что почвообразование идет на тальковом сланце, который является магниезиальной породой. Высокое содержание элементов питания растений приурочено только к верхнему органическому горизонту, вниз по профилю обеспеченность азотом и фосфором резко падает до очень низкой, а обеспеченность калием снижается более постепенно до средних и низких значений.

Участок Буфер-2 заложен на верхней террасе отвала Рудника им. Ш Интернационала, в элювиальной позиции техногенного ландшафта. Отвал представлен мелкоземом, дрсевой и щебнем талькового сланца и техногенных включений. Почва здесь молодая, формируется благодаря развитию

дернового процесса на тальковом щебне и мелкозем. В систематическом плане данный субстрат представляет собой переходный этап от техногенных поверхностных образований (литостратов и артиндустратов) к молодым почвам, формирующимся по буроземному типу. Почва слабокислая, насыщена основаниями на 70-95%, в обменном комплексе преобладает кальций, но концентрации магния также высокие. Почва характеризуется высокой обеспеченностью элементами питания растений, особенно фосфором и калием. Содержание легкогидролизуемого азота очень высокое в формирующейся здесь лесной подстилке с ветошью трав. Нитратов не обнаружено.

На импактной территории исследованы молодые почвы, формирующиеся на отвалах в элювиальной и транс-элювиальной позициях техногенных ландшафтов. Отвалы ВГОК и НТМК представляют собой террасированные насыпи вскрышных и вмещающих пород, агломерата, шлаков и других техногенных включений. Молодые почвы проходят стадию развития, переходную от техногенных поверхностных образований (артиндустратов, реплантоземов) к задернованным каменистым почвам буроземного типа. Участок Импакт-1 - почва представлена слабовыраженной подстилкой, состоящей в основном из ветоши трав, и слабозадернованным гумусовым горизонтом А1дер, мощностью 4,5-5,0 см. Сразу под ним залегает субстрат отвала - пестроокрашенный, серо-бурый с оранжевыми и малиновыми пятнами суглинков с включениями шлака, руды, талька, известняка, агломерата, концентрата, окалины, шлама, кокса и т.д. Кислотность почвы участка Импакт-1 изменяется от слабокислой до слабощелочной. Насыщенность основаниями достигает 98%, в обменном комплексе преобладает кальций. Обеспеченность фосфором и калием данной почвы очень высокая, обеспеченность азотом очень высокая только в органическом горизонте, вниз по профилю резко падает. Нитратов практически не обнаружено. Содержание общего углерода в верхних горизонтах обусловлено наличием неразложившейся органики, мелких корней растений, гумуса. Содержание общего углерода в минеральных горизонтах низкое.

Участок Импакт-2 характеризует молодую почву старого шлакового отвала НТМК. Лесная подстилка не сформирована, гумусовый горизонт А1 мощностью 6,0 см слабо задернован, но довольно хорошо гумусирован, имеет комковато-пылеватую структуру. Под гумусовым горизонтом залегает рекультивированный субстрат отвала мощностью 25 см, который включает щебень ультраосновных пород, шлак, оплавленную руду. Почва характеризуется слабощелочной средой. Обменный комплекс насыщен на 97-99%, в обменном комплексе преобладает кальций (60%), но и магния много (40%). Обеспеченность почвы азотом низкая, с глубиной - до очень низкой. Обеспеченность фосфором в рекультивированном субстрате низкая, в грунте отвала - высокая, содержание калия в гумусовом горизонте высокое, вниз по профилю снижается до очень низкого.

Микробное разнообразие почвенных экосистем. Общая численность микроорганизмов, выделенных из почвы фоновых и техногенно нарушенных участков существенно различается. Наиболее высокая численность микробиоты, превышающая фоновые значения в 2,3-3,6 раза, выявлена для участков с токсической нагрузкой 6,19 и 22,78 отн. ед. ($5-10 \times 10^{10}$ и $21-24 \times 10^{10}$ клеток/г почвы соответственно). В меньшей степени этот показатель возрастает на максимально загрязненном участке ($Si = 30,0$ отн. ед. - $12-15 \times 10^{10}$ клеток/г почвы). Отмеченные различия между общей численностью бактерий в почве фоновой и слабо загрязненной территории и сильно загрязненными тяжелыми металлами участками статистически значимы (S-метод: $F = 55,08$; $df = 4$; 146 ; $p < 0,001$).

Выявленное увеличение общей численности микроорганизмов на участках с диапазоном загрязнения от 1,0 до 6,19 отн. ед., по-видимому, объясняется составом загрязненной почвы, в частности, повышением содержания гумуса, азотистых соединений и органического углерода при общем подщелачивании почв. Для зональных почв данного района (дерново-подзолистые) характерна рН 5,5-6,0. Подщелачивание почвы в нашем случае обусловлено наличием в составе отходов производств металлов первой (Na^+ , K^+), второй (Ca^{2+} , Mg^{2+}) групп и элементов d-уровня (Cr^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+}). Так, агрохимический состав почв исследуемых территорий свидетельствует о том, что в градиенте загрязнения 1,0-6,19 отн. ед. в дерново-пахотном горизонте (0-37 см) увеличивается содержание Ca^{2+} от 16,0 до 20,0 мг-экв/100 г, Mg^{2+} - от 4,0 до 10,0 мг-экв/100 г, ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$) - от 20,0 до 65,0 мг-экв/100 г, K_2O - от 22,1 до 544,3 мг/100 г. Из таблицы 1 видно, что в этом же градиенте загрязнения увеличивается содержание меди, кобальта, железа. Отметим, что в данных условиях (рН слабокислая (6,28) или близкая к нейтральной (6,76)) снижается токсичность металлов. Возможно, данными факторами объясняется повышение общей численности микроорганизмов, в том числе азотфиксирующих, денитрифицирующих, железовосстанавливающих и других физиологических групп микроорганизмов. Токсический эффект (подавление численности

микроорганизмов) обнаруживается в условиях сравнительно высоких концентраций металлов в почвах ($S_i = 22,78-30,0$ отн. ед.) даже $pH > 7,6$.

В почвах исследуемых участков определена численность эколого-трофических групп микроорганизмов. Так, численность ряда эколого-трофических групп в почвах с высокой антропогенной нагрузкой существенно выше по сравнению с таковой на участках с относительно невысокой антропогенной нагрузкой ($S = 3.33-6.19 / 5 \setminus = 22,78-30,0$ отн. ед.): азотфиксирующих (от 0 до 4,0 / от 18 до 100 %), денитрифицирующих ($10^3 / 10^7$), углеводородокисляющих ($10^8 / 10^9$) аэробных целлюлозоразрушающих ($1,8 \times 10^4 / 5,1 \times 10^4$), нитрифицирующих бактерий I и II фазы ($10^7 / 10^7$), сульфатредуцирующих (от 0 / 10^3), железо- ($10^6 / 10^8$) и марганцевосстанавливающих бактерий ($10^7 / 10^8$ клеток/г).

Активность аэробных целлюлозоразрушающих микроорганизмов возрастает с увеличением токсической нагрузки исследуемых почв от $18,83 \times 10^3$ до $52,20 \times 10^3$ клеток/г почвы. Сравнение данного показателя на участках $S_i = 3.33-6.19$ и $\wedge = 22,78-30,0$ отн. ед. S- методом Шеффе подтвердило статистически значимые различия между группами ($F = 28,62; df = 4; 11; / \gg \ll 0.001$).

По нашим данным дегидрогеназная активность ферментов почвенной микробиоты в условиях токсической нагрузки снижается от 0,009 нмоль/г/ч в почве фонового участка ($S_i = 1.0$ отн. ед.) до 0,003 нмоль/г/ч на участке с токсической нагрузкой 22.78 отн. ед. При этом на участке с максимальным уровнем загрязнения ($S_i = 30,0$ отн. ед.) происходит увеличение активности дегидрогеназы 2,5 раза (до 0,021 нмоль/г/ч).

Установлено, что доминирующими представителями луговых сообществ среди исследованных эколого-трофических групп микроорганизмов являются аммонифицирующие ($1,8 \times 10^9 - 1,0 \times 10^{10}$), углеводородокисляющие ($4,5 \times 10^8 - 12,5 \times 10^9$), нитрифицирующие (до $2,5 \times 10^7$) а также железо- (до $2,5 \times 10^8$) и марганцевосстанавливающие (до $2,5 \times 10^8$ клеток/г) бактерии.

Заключение. Почвенно-агрохимические исследования показали, что почвы исследованных участков представляют собой ряд антропогенных почв и грунтов, эволюционирующих в настоящее время под влиянием дернового процесса, обусловленного развитием луговой растительности.

Почвы фоновых участков представляют собой агроподзолистые, в прошлом дерново-сильноподзолистые почвы, в настоящее время проградированные дерновым процессом. Почвы импактных участков представляют собой молодые почвы, формирующиеся на железорудных и шлаковых отвалах, и развивающиеся по буроземному типу. Почвы буферной зоны представлены агро-подзолистой почвой и молодой почвой отвала магнезиальных пород. Эти почвы контрастны по своим свойствам, и имеют особенности, свойственные фоновым почвам агроценозов, а также молодых почв, формирующихся на отвалах в импактной зоне, то есть связывают почвы фоновой и импактной зоны в один ряд антропогенных почв.

Результатом обогащения почв техногенно нарушенных участков макро- и микроэлементами является существенное увеличение численности ряда эколого-трофических групп (азотфиксирующих, I денитрифицирующих, углеводородокисляющих, аэробных целлюлозоразрушающих, нитрифицирующих бактерий I и II фазы, сульфатредуцирующих, железо- и марганцевосстанавливающих бактерий, а также повышение активности аэробных целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Дегидрогеназная активность ферментов почвенной микробиоты на участке с максимальным уровнем загрязнения ($S_i = 30,0$ отн. ед.) увеличивается 2,5 раза по сравнению с фоновым участком.

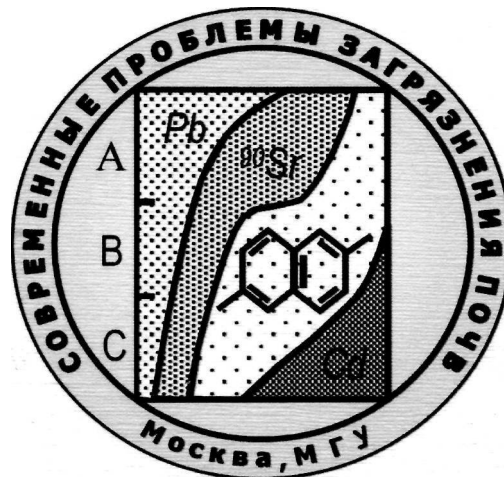
Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (госконтракты № 5.5329.2011, № 16.518.11.7069), Программы развития ведущих научных школ (НШ-5325.2012.4), Программы Президиума УрО РАН (проект № 12-И-4-2051), гранта РФФИ (проект № 10-04-00146-а).

Литература.

1. Безель В.С. Жуйкова Т.В., Позолотина В.Н Структура ценопопуляций одуванчика и специфика накопления тяжелых металлов // Экология. 1998. № 5. С. 376-382.
2. Забалуев В. А., Бабенко М. Г., Тарика А. Г. и др. Исследование начальных процессов гумусонакопления и почвообразования в техноземах / Биологическая рекультивация нарушенных земель. Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2007. С. 261-285.
3. Инструментальные методы в почвенной микробиологии / Под общ. ред. Е.А. Андреев. Киев: Наук, думка, 1982. 176 с.
4. Каталог штаммов региональной профилированной коллекции алканотрофных микроорганизмов / Под ред. И.Б. Ившиной. М.: Наука, 1994. 163 с.
5. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов [и др.]. Смоленск: Ойкумена. 2004. 342 с.

6. Махонина Г. И. Химический состав травянистых растений на промышленных отвалах Урала. Свердловск: Изд-во Урал. Ун-та, 1987. 176 с.
7. Махонина Г. И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. ун-та, 2003. 356 с.
8. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнений окружающей среды / [под ред. Н. Г. Зырина и др.]. М. : Гидрометеоиздат, 1981. 98 с.
9. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства / [подгот. : Н. А. Кузнецов и др.]. 2-е изд., перераб. и доп. М. : ЦИНАО, 1992. 126 с.
10. О состоянии окружающей природной среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения Свердловской области в 2009 году: Гос. докл. / М-во прир. ресурсов Свердл. обл. [и др.]. Екатеринбург, 2010. 318 с.
11. Полевой определитель почв. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182с.
12. Практикум по почвоведению / Под ред. И.С. Кауричева. М.: Колос, 1980. 272 с.
13. Руководство по описанию почв (4-е издание, исправ. и доп.) - Рим: ФАО, 2012 - 86с.
14. Теория и практика химического анализа почв / Под ред Л.А. Воробьевой. М.:ГЕОС, 2006. 400 с.

Факультет почвоведения МГУ
Общество почвоведов им. В.В. Докучаева
Российский фонд фундаментальных исследований



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Сборник материалов

Москва, 27 - 31 мая 2013 г.