

УДК 574.24:504.064.2:631.46

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА г. САРАТОВА

О. В. Абросимова, Е. С. Трояновская, М. Ю. Меркулова, Е. И. Тихомирова

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77
E-mail: tichomirova_ei@mail.ru*

Поступила в редакцию 25.12.11 г.

Оценка экологического состояния почвенного покрова г. Саратова. – Абросимова О. В., Трояновская Е. С., Меркулова М. Ю., Тихомирова Е. И. – Изучено экологическое состояние почвенного покрова некоторых территорий г. Саратова. Определена численность различных эколого-трофических групп микроорганизмов, по сравнению с контролем в городских почвах повышено в 2 раза содержание актиномицетов и микромицетов. Установлен низкий уровень биологической активности городских почв. Выявлено изменение морфометрических признаков у тест-объектов, которые выращены на почвенных образцах, собранных на территории города.

Ключевые слова: урбанизированные территории, почвенный покров, микроорганизмы, биологическая активность почв, фитотоксичность.

Ecological status evaluation of soils in Saratov City. – Abrosimova O. V., Troyanovskaya E. S., Merkulova M. Yu., and Tikhomirova E. I. – The ecological status of soils in some areas of Saratov City was studied by determining the numbers of different ecological trophic groups of microorganisms. In comparison with some reference soil samples taken outside of the urban limits, the urban soils had double amounts of actinomycetes and micromycetes. A lower level of biological activity in the urban soils was found. Morphometric trait differences in test objects activated on the soil samples have been observed.

Key words: urban areas, topsoil, microorganisms, soil biological activity, phytotoxicity.

ВВЕДЕНИЕ

Почва как ядро городской системы обеспечивает ее очищение, нейтрализацию вредных соединений, сохранность зеленых насаждений и в то же время выступает индикатором условий жизни и здоровья населения (Завистяева, 2006; Мудрый, 2008). В то же время почва – малоподвижная природная система, миграция загрязняющих веществ в ней происходит крайне медленно, что способствует накоплению в ней различных поллютантов.

В городских экосистемах разнообразие почв варьирует от естественных зональных до типичных урбанозёмов, которые выполняют важные экологические функции.

Почвенные микроорганизмы выполняют функцию деструкции поступающих в почву веществ, регулируют состав воздушного потока почв, содержание и доступность биогенных веществ, необходимых для роста и развития растений. Структура микробных комплексов в почве постоянно изменяется и в значительной мере определяется гидротермическим режимом, количеством и составом поступающего органического вещества, что также необходимо учитывать при оценке экологического состояния почв (Фомина и др., 2006).

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

В почве накапливается большое количество ферментов, которые способны длительное время функционировать в отрыве от продуцирующих их микроорганизмов. Основная масса почвенных ферментов находится в иммобилизованном состоянии на глинистых минералах, гумусе, органо-минеральных коллоидах, часть ферментов – в свободном состоянии в почвенном растворе. Активность ферментов отражает интенсивность основных биохимических процессов: самоочищения почвы и разложения органических соединений азота, фосфора, углерода, а также степень эродированности и загрязнения почв. В настоящее время в почве на наличие активности тестированы около 60 ферментов (Хазиев, 2005).

Важным интегральным показателем окислительно-восстановительных процессов, протекающих в почве, является интенсивность выделения углекислоты – «дыхание почвы», что позволяет судить о самоочищающей способности антропогенно нарушенных почв.

Биохимический потенциал почв является полифункциональной характеристикой, он зависит от экологических факторов и имеет большое значение при оценке санитарного состояния городских почв, так как показывает их самоочищающую способность.

Целью данной работы была комплексная эколого-биохимическая оценка состояния почвенного покрова г. Саратова.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись городские почвы и почвы фоновой территории. Отбор проб проводили в июне 2010 – 2011 гг. в наиболее напряженных участках городской территории: вдоль железнодорожного полотна, на пересечении главных автомагистралей, поблизости от промышленных предприятий, в селитебных районах старой и новой застройки. Для исследования были отобраны пробы почв в 31 точке со строгой картографической привязкой к местности (рис. 1). В качестве контроля использовали пробы почвы лесопарковой территории дома отдыха «Ударник», находящегося в 3 км от г. Саратова.

Численность различных эколого-трофических групп микроорганизмов определяли в свежесвятых почвенных образцах методом высева последовательных разведений на диагностические питательные среды: аммонифицирующих микроор-

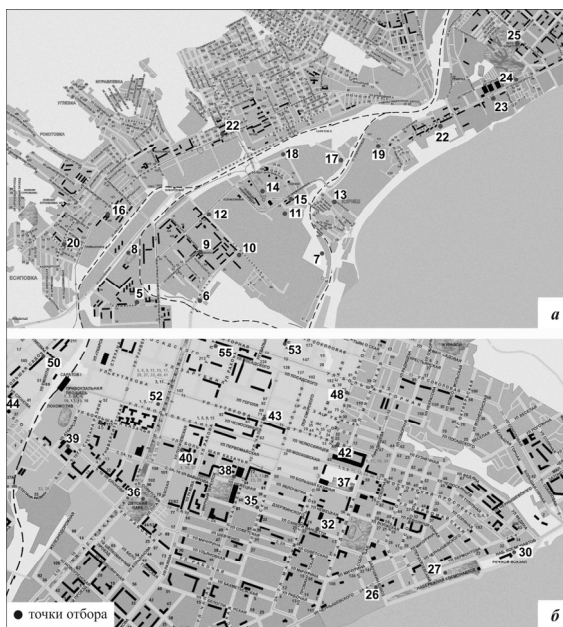


Рис. 1. Карта-схема точек пробоотбора почв на территории г. Саратова: а – Заводской район, б – центр города

ганизмов – на мясо-пептонной агар (МПА); использующих минеральный азот бактерий и актиномицетов – на крахмально-аммиачный агар (КАА); микромицетов и микроскопических грибов – на среду Чапека; олигонитрофилов – на среду Эшби и целлюлозоразрушающих – на среду Гетчинсона. Все посевы проводили в трехкратной повторности. Численность микроорганизмов выражали в колониеобразующих единицах в 1 г абсолютно сухой почвы (Практикум по микробиологии, 2005).

Для определения активности ферментов готовили воздушно-сухие образцы почвы и исследовали содержание каталазы, дегидрогеназы, уреазы, фосфатазы по методу Ф. Х. Хазиева (Временные методические рекомендации..., 1984; Хазиев, 2005), инвертазы по методическим разработкам Л. В. Лысака (Биологический контроль..., 2008).

«Дыхание почвы» оценивали по количеству выделившейся из почвенных проб углекислоты за определенный промежуток времени (Временные методические рекомендации..., 1984).

Для определения фитотоксичности почв проводили биотестирование почвенных образцов и водных вытяжек почв с помощью тест-растений: *Raphanus sativus* L. (сорт красный с белым кончиком), *Triticum durum* Desf. (сорт Фаворит). Все латинские названия растений приводятся по сводке С. К. Черепанова (1995). Оценку токсичности проводили по стандартным методикам (ГОСТ 12038-84; ГОСТ Р ИСО 22030-2009).

Статистическую обработку данных проводили по стандартным методикам с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.0 (Зайцев, 1991).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В пределах г. Саратова распространены две основные группы почв: реликты природных и городские почвы. В черте города на реликтовых участках распространены шесть типов природных почв: серые лесные, чернозёмы обыкновенные, чернозёмы южные, пойменные аллювиальные, лугово-чернозёмные и лугово-каштановые, солонцы. Природные почвы в границах городской территории развиты преимущественно в пределах рекреационной зоны города. Искусственные почвы антропогенного происхождения наиболее широко развиты в пределах Приволжской котловины, где они характеризуются способностями к накоплению загрязняющих веществ и приобретают фактически роль вторичного загрязнителя окружающей среды (Саратовский научно-образовательный геоэкологический полигон, 2007).

Загрязнение окружающей среды по-разному влияет на функционирование микробных сообществ, способствуя как подавлению, так и активизации процессов биологической трансформации органических веществ. Изменение численности и видового разнообразия микроорганизмов в почвах г. Саратова по сравнению с пригородом представлено на рис. 2.

Анализ комплекса микроорганизмов в почвах г. Саратова позволил установить максимальное количество аммонифицирующих бактерий в пробах почв, собранных вблизи промышленных зон предприятий, территории городского парка и в скверах Заводского района города ($180 - 250 \cdot 10^7$ КОЕ/г), минимальное – в почвах, собранных на территории Набережной города ($20 - 40 \cdot 10^7$ КОЕ/г).

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Наибольшее количество актиномицетов выделено из почв, собранных на территории Городского парка, Театральной площади и в сквере на пл. Орджоникидзе в Заводском районе. Практически отсутствовали актиномицеты в пробах почвы, собранных на оживленных автомагистралях в центре города.

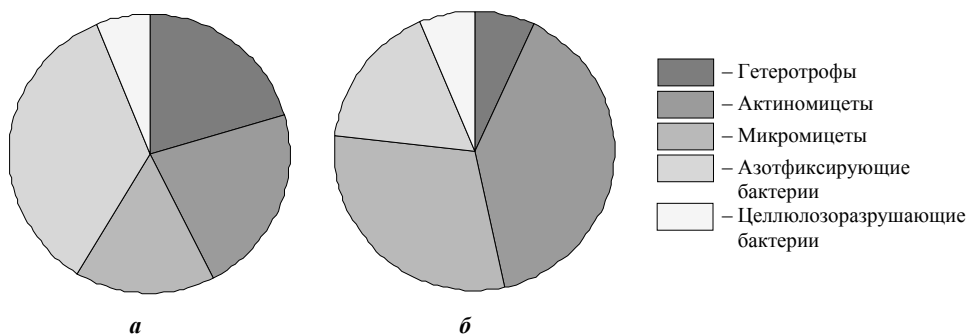


Рис. 2. Видовое разнообразие микроорганизмов в почвах г. Саратова и пригородной территории: а – фоновая территория, б – городская территория

Исследование закономерности изменения численности микромицетов, играющих важную роль в минерализации органического вещества, выявило максимальное их количество в почвах на территории Детского парка и в скверах Заводского района, минимальное – на улицах с небольшой автомобильной загруженностью ($5 - 30 \cdot 10^7$ КОЕ/г).

Азотфиксирующие микроорганизмы являются важнейшими поставщиками азота. Максимальная численность азотфиксирующих микроорганизмов зафиксирована в почвах городского парка ($300 - 400 \cdot 10^3$ КОЕ/г), минимальная – на территории Театральной площади ($8 - 80 \cdot 10^3$ КОЕ/г).

В процессах трансформации органических веществ в почве большое значение играют целлюлозоразрушающие бактерии. Максимальное количество целлюлозоразрушающих бактерий выделено из почв, собранных по ул. Томской в Заводском районе ($50 - 80\%/г$), минимальное – на территории промышленной зоны САЗ ($10 - 20\%/г$).

Особенности количественного состава и жизнедеятельности почвенной микрофлоры отражаются на ходе биохимических процессов в почве, поэтому наряду с изучением основных эколого-трофических групп микроорганизмов определение активности основных ферментов, играющих важную роль в трансформации органических веществ и мобилизации питательных элементов в почве, дает более полное представление о биологическом состоянии почвы. Данные, полученные в ходе оценки ферментативной активности и дыхания почв на территории г. Саратова, представлены в таблице.

Каталазную активность почв можно рассматривать как показатель функциональной активности микрофлоры в различных экологических условиях, так как, выделяясь микроорганизмами в окружающую среду, она обладает высокой устойчивостью, может накапливаться и длительное время сохраняться в почве (Skujin,

1976). Во всех пробах почв, собранных на территории г. Саратова, отмечена низкая активность каталазы. Максимальные значения данного фермента (0.8 – 1.5 мл O_2 / 1 г почвы за 1 мин) зафиксированы в пробах почв, собранных на ул. Чернышевской, пл. Орджоникидзе, ул. Пензенской и просп. Энтузиастов, минимальное же значение во дворах и на пустырях, где отмечено сильное уплотнение почвенного покрова вследствие вытаптывания (0.2 – 0.7 мл O_2 / 1 г почвы за 1 мин).

Оценка ферментативной активности и дыхания почв на территории г. Саратова

№ пробы	Каталаза, мл O_2 / 1 г почвы / 1 мин	Уреаза, мг NH_4 / 1 г почвы / 4 ч	Фосфатаза, мг фенолфталеина / 1 г почвы / 1 ч	Инвертаза, мг глюкозы / 1 г почвы / 24 ч	Дегидрогеназа, мг формазана / 1 г почвы за 24 ч	Дыхание почв кол-во CO_2 в мг / dm^2 почвы / 1 ч
5	0.3	0.056	0.43	2.9	0.012	0.04
6	0.4	0.045	0.35	3.2	0.017	0.02
7	0.3	0.072	0.45	2.7	0.03	0.10
8	0.2	0.056	0.12	1.5	0.019	0.07
9	0.2	0.050	0.03	0.5	0.112	0.09
10	1.3	0.056	0.09	0.7	0.016	0.25
11	0.8	0.056	0.22	0.8	0.05	0.15
12	0.8	0.056	0.21	1.9	0.054	0.07
13	0.9	0.072	0.44	2.1	0.150	0.01
14	0.3	0.045	0.31	3.2	0.016	0.09
15	0.5	0.053	0.21	2.9	0.016	0.12
16	0.8	0.066	0.10	1.2	0.017	0.17
17	0.5	0.074	0.33	2.8	0.030	0.28
18	0.9	0.075	0.08	0.5	0.028	0.16
19	1.0	0.077	0.22	1.5	0.030	0.17
20	0.9	0.089	0.18	0.9	0.050	0.03
21	1.5	0.072	0.09	0.3	0.028	0.09
22	0.2	0.065	0.09	0.7	0.028	0.16
23	0.7	0.065	0.10	1.2	0.027	0.59
24	1.2	0.072	0.28	1.9	0.012	0.09
25	1.5	0.064	0.39	2.7	0.017	0.13
к	1.8	0.042	0.48	3.8	0.030	0.15

Дегидрогеназы катализируют реакции дегидрирования органических веществ, принимают непосредственное участие в разложении углеводов. Установлена обратная зависимость между содержанием нефти и активностью дегидрогеназ (Киреева и др., 2002; Плешакова и др., 2010). Дегидрогеназная активность в значительной степени отражает уровень деструкции нефтяных углеводов в почвенных субстратах (Шарапова и др., 2010). Высокая чувствительность дегидрогеназ к химическим веществам используется в качестве диагностического показателя загрязнения почв (Временные методические рекомендации..., 1984). Тяжелые металлы блокируют реакции с участием данного фермента, что приводит к уменьшению либо к прекращению его каталитического действия (Новоселова, Киреева, 2009). Во всех почвенных пробах, собранных на территории г. Саратова, отмечен критический уровень содержания дегидрогеназы, что может свидетельствовать о высокой степени загрязнения их различными поллютантами.

Важную роль в обеспечении растений элементами минерального питания играет фосфатаза-фермент, отвечающий за минерализацию органического фосфора.

Все тяжелые металлы ингибируют активность фосфатазы и снижают содержание в почве АТФ, степень ингибирования зависит от типа почвы и концентрации металла. Нефтяное загрязнение также понижает активность данного фермента (Новоселова, Киреева, 2009). Активность фосфатазы в исследованных почвах в основном характеризовалась как низкая (0.03 мг фенолфталеина/г почвы за 1 ч – селитебные зоны города) и средняя (0.45 мг фенолфталеина/г почвы за 1 ч – в парках и скверах города).

Уреаза является существенным фактором азотного обмена, так как ее активность коррелирует с активностью всех ведущих ферментов азотного метаболизма. В условиях антропогенного пресса возможно изменение активности данного фермента (Галстян, 1974). При нефтяном загрязнении активность уреазы повышается, что связывают с ростом численности аммонифицирующих микроорганизмов (Новоселова, Киреева, 2009). Изменение активности данного фермента было установлено в нескольких пробах почв, собранных по ул. Огородней (улице с невысокой степенью антропогенной нагрузки).

Активность инвертазы, являющейся одним из важнейших ферментов, характеризует биологическую активность почв. В цикле углерода инвертазы, высвобождая хорошо растворимые низкомолекулярные сахара, предоставляют источник питания для микроорганизмов (Vepsäläinen et al., 2001). Нефтепродукты приводят к снижению активности инвертазы (Новоселова, Киреева, 2009). Инвертазная активность исследованных почв характеризуется как слабая. Пределы колебания активности данного фермента в почвах г. Саратова составили от 0.3 (автомагистрала в центре города) до 3.8 мг глюкозы в 1 г почвы за 24 ч (фоновая территория). В ряде работ показано снижение инвертазы на фоне загрязнения почв тяжелыми металлами (Коньшева, Коротченко, 2011).

В ряде исследований отмечено существование тесных взаимосвязей между содержанием гумуса в почве и активностью многих гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов (Абрамян, 1992; Михайловская, Миканова, 2008). Соответственно низкое содержание в почвенных образцах г. Саратова ферментов может свидетельствовать о слабой гумусированности данных почв.

В биодиагностике почв большое значение имеет определение почвенного дыхания как интегрального показателя работы всей биоты. Интенсивность выделения углекислоты дает достоверную информацию о напряженности микробиально-биохимических процессов, о направленности трансформации органического вещества, а также позволяет судить о самоочищающей способности антропогенно нарушенных почв. Полученные результаты по определению дыхания городских почв представлены в таблице. В целом для почв г. Саратова характерна низкая интенсивность выделения углекислоты (0.20 ± 0.05 мг CO_2 за 1 ч дм^2 почвы), максимальные значения зафиксированы в пробах, собранных на ул. Чернышевского и ул. Пензенской, минимальные – на территориях, где отмечено сильное уплотнение грунта.

Для более полной характеристики почв г. Саратова была проведена оценка фитотоксичности почвенных образцов на тест-объекты: *R. sativus* (сорт красный с белым кончиком), *T. durum* (сорт Фаворит).

Фитотестирование как метод оценки почв используется издавна для определения качества семян, плодородия почв, в биомедицинских исследованиях и сравнительно недавно в природоохранной сфере для контроля качества окружающей среды. При этом для оценки токсичности необходимо выбирать как минимум два растения, одно должно быть однодольным, второе – двудольным (Фомин, Фомин, 2001).

Фитотоксичность почв г. Саратова на тест-объект *R. sativus* оценивали по способности подавлять или стимулировать всхожесть семян. Исследования показали, что всхожесть семян редиса на почвенных образцах и в водных вытяжках из почв достоверно не отличалась от контроля, незначительные подавления роста отмечены лишь в пробах, собранных вблизи автомагистралей. Полученные данные не позволили судить о токсичности всех исследуемых проб почвы.

В литературе имеются данные о том, что при загрязнении почв тяжелыми металлами и другими поллютантами в меньшей степени подавляются всхожесть и энергия прорастания, а наиболее чувствительным показателем является изменение длины корней растений (Лисовицкая, Терехова, 2010).

Фитотоксичность почвенных образцов на тест-объект *T. durum* оценивали по способности всхожести семян и морфометрическим признакам (см. рис. 3). Определение степени токсичности почвы по всхожести биотеста *T. durum* показало, что пробы почв, отобранные вблизи промышленных зон САЗ, завода «САКОЗА», метизного завода, в районе Набережной, а также вблизи автомагистралей города были среднетоксичны. Пробы почв вблизи Залетаевских очистных сооружений, складов САЗ, центральных улиц города и жилых массивов Заводского района характеризовались слабой токсичностью. Проб, обладающих высокой токсичностью, не выявлено.

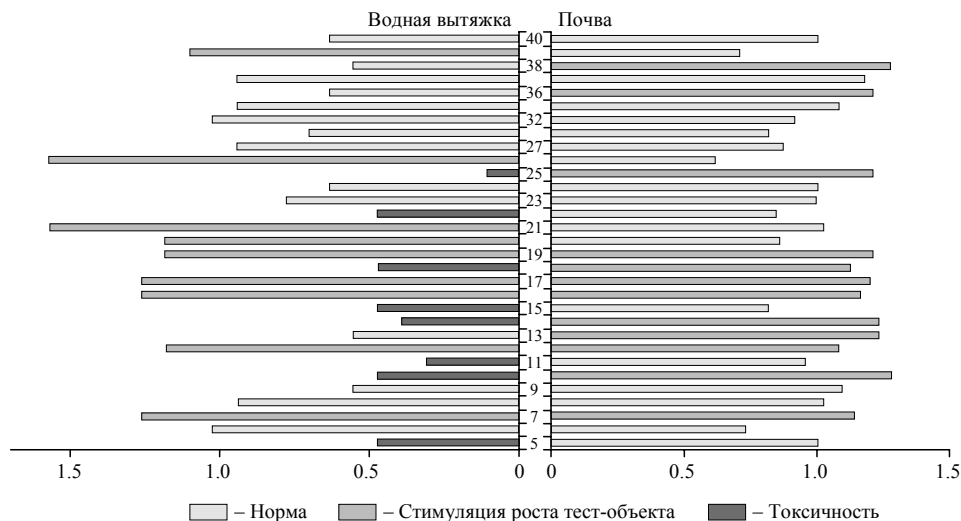


Рис. 3. Оценка токсичности проб почв, собранных на территории г. Саратова с помощью тест-объекта *Triticum durum*

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Исследование морфометрических признаков тест-объекта, выращенного на почвах, собранных в г. Саратове, выявило отклонения и по длине корня, и по длине стебля в пробах, полученных на пересечении автомагистралей г. Саратова, вблизи промышленных зон САЗ, метизного завода и завода «САКОЗА», а также на Набережной. Значимые отклонения от контрольных показателей зафиксированы при оценке длины стебля тест-объекта, выращенного на городских почвах.

Оценка степени токсичности почвенных вытяжек по всхожести биотеста *T. durum* выявила, что водные вытяжки почв, отобранные вблизи промышленных зон авиационного и метизного заводов, заводов «Биокон» и «САКОЗА», а также на Набережной города обладают высокой токсичностью.

Средняя токсичность зафиксирована в пробах, взятых вблизи автомагистралей Заводского района и в центре г. Саратова. Водные вытяжки из почв жилых массивов Заводского района и центральных улиц характеризовались слабой токсичностью.

При оценке морфометрических признаков выявлены однотипные отклонения от контрольных показателей и по длине стебля, и по длине корня в пробах, отобранных вблизи промышленных зон авиационного и метизного заводов, заводов «Биокон», «САКОЗА», в районе Набережной, а также на пересечении автомагистралей города. Это может быть связано с тем, что в водные вытяжки почв попадают водорастворимые компоненты поллютантов, оказывающие непосредственное влияние на биотест-объект. В остальных пробах значимые отклонения не обнаружены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексная оценка состояния почвенного покрова г. Саратова позволила выявить степень антропогенного нарушения и состояние почвенной биоты. Установлено изменение видового разнообразия микроорганизмов, а именно увеличение в почвах г. Саратова содержания актиномицетов и микромицетов. Данные активности ферментов и почвенного дыхания позволили говорить о низком биохимическом потенциале почвы, что свидетельствует о ее слабой степени самоочищения. Сведения о фитосанитарном состоянии почв г. Саратова имеют неоднозначный характер и требуют дальнейшего изучения.

Экологический мониторинг почв и формирование базы данных позволяют использовать биоиндикационный метод в прогнозировании изменения состояния и степени антропогенной нагрузки на почвенный покров г. Саратова и разработать адекватные методические подходы к реабилитации и восстановлению состояния почв на урбанизированных территориях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамян С. А. Изменение ферментативной активности почвы под влиянием естественных и антропогенных факторов // Почвоведение. 1992. № 7. С. 70 – 82.
- Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / под ред. О. П. Мелеховой, Е. И. Сарапульцевой. М. : Академия, 2008. 288 с.
- Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв / под ред. С. Г. Малахова. М. : Гидрометеониздат, 1984. Ч. II. 76 с.
- Галстян А. Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван : Айастан, 1974. 275 с.

ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести / Министерство сельского хозяйства СССР. М., 1984. 60 с.

ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. М. : Стандартинформ, 2010. 36 с.

Завистяева Т. Ю. Значение почвы как одного из показателей состояния здоровья населения в системе социально-гигиенического мониторинга // Здоровье населения и среда обитания. 2006. № 1. С. 18 – 21.

Зайцев Т. Н. Математический анализ биологических данных. М. : Наука, 1991. 268 с.

Киреева Н. А., Новоселова Е. И., Онегова Т. С. Активность каталазы и дегидрогеназы в почвах, загрязненных нефтью и нефтепродуктами // Агрохимия. 2002. № 8. С. 64 – 72.

Коньшиева Е. Н., Коротченко И. С. Влияние тяжелых металлов и их детоксикантов на ферментативную активность почв // Вестн. Красноярск. гос. уни-та. 2011. № 1. С. 114 – 119.

Лисовицкая О. В., Терехова В. А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения // Докл. по экологическому почвоведению. 2010. № 1, вып. 13. С. 1 – 18.

Мудрый И. В. Влияние химического загрязнения почвы на здоровье населения // Гигиена и санитария. 2008. № 4. С. 32 – 37.

Новоселова Е. И., Киреева Н. А. Ферментативная активность почв в условиях нефтяного загрязнения и ее биодиагностическое значение // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 2. С. 4 – 12.

Плешакова Е. В., Кабанцева Е. Г., Черновол В. С. Активность дегидрогеназ в нефтезагрязненных почвах как инструмент мониторинга технологий биоремедиации // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. 2010. Т. 10. Сер. Химия. Биология. Экология. Вып. 1. С. 40 – 46.

Практикум по микробиологии / под ред. А. И. Нетрусова. М. : Академия, 2005. 608 с.

Саратовский научно-образовательный геоэкологический полигон / под ред. А. В. Иванова, В. З. Макарова, А. Н. Чумаченко. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2007. 286 с.

Фомин Г. С., Фомин А. Г. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. Справочник. М. : Протектор, 2001. 304 с.

Фомина Н. В., Демиденко Г. А., Сорокин Н. Д. Эколого-микробиологический мониторинг почвы лесного питомника Красноярского края // Вестн. Красноярск. гос. ун-та. 2006. № 10. С. 146 – 152

Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М. : Наука, 2005. 252 с.

Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья, 1995. 992 с.

Шарапова И. Э., Гарабаджиу А. В., Маркарова М. Ю., Щемелинина Т. Н. Микробиологическая активность нефтезагрязненных почвенных субстратов при очистке с применением комплексных биосорбентов // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2010. Т. 12, № 1(5). С. 1245 – 1249.

Михайловская Н. А., Миканова О. Взаимосвязь ферментативной активности с содержанием гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. 2008. № 4. С. 49 – 53.

Skujin J. J. Extracellular enzymes in soil // CRS Crit. Rev. Microbiol. 1976. Vol. 4, № 4. P. 383 – 414.

Vepsäläinen M., Kukkonen S., Vestberg M., Sirviö H., Niemi R. M. Application of soil enzyme activity test kit in a field experiment // Soil Biology and Biochemistry. 2001. Vol. 33, № 12 – 13. P. 1665 – 1672.