

## Комплексный мониторинг экологического состояния урбанозёмов по биологическим показателям (на примере г. Саратова)

© 2015. М. Ю. Меркулова, аспирант,

Е. И. Тихомирова, д.б.н., зав. кафедрой, О. В. Абросимова, к.б.н., доцент,  
Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина,  
e-mail: merkulik90@mail.ru, tichomirova\_ei@mail.ru, ecology.saratov@gmail.com

Проведён экологический мониторинг почвенного покрова городских ландшафтов – урбанозёмов. Изучена биологическая и ферментативная активность, микробный состав почв различных функциональных зон города Саратова (на крупных автомобильных развязках, в районах промышленных предприятий, в парковых и селитебных зонах). Проведён сравнительный анализ экологических показателей состояния исследуемых почв с разной степенью антропогенной нагрузки. Показано изменение основных эколого-физиологических групп микроорганизмов в отобранных образцах почв г. Саратова. При исследовании ферментативной активности было выявлено низкое содержание всех групп ферментов и дыхательной активности городских почв в различных функциональных зонах рассматриваемых городов. Построены карты экологического состояния почвенного покрова городских территорий. Предложена система комплексного мониторинга состояния городских почв для оценки степени антропогенного воздействия и прогнозирования экологической ситуации.

An environmental monitoring of soil cover urban landscapes - urbanozem. Studied biological and enzymatic activity, microbial composition of soils of different functional zones of cities of Saratov (on the major road junctions in the areas of industrial enterprises in parks and residential areas). A comparative analysis of the environmental indicators of the investigated soils with varying degrees of anthropogenic load. The change of major ecological and physiological groups of microorganisms in a sample of soil Saratov. In the study of enzymatic activity was revealed low levels of all groups of enzymes and respiratory activity of urban soils in different functional areas of these cities. The maps of the ecological state of the soil cover in urban areas. The system of comprehensive monitoring of the state of urban soils to assess the extent of human influence and predict the environmental situation.

**Ключевые слова:** почвенный покров, биологическая активность почв, эколого-физиологические группы микроорганизмов, ферментативный анализ, картографирование почв городских территорий

**Keywords:** soil cover, soil biological activity, ecological and physiological groups of microorganisms, enzymatic analysis, mapping of soils in urban areas

Почва является сложной природной системой, способной преобразовывать минеральный и органический субстрат. От сохранения и поддержания природных экологических свойств городских почв во многом зависит экологическое благополучие города и, следовательно, состояние здоровья городского населения [1]. Поэтому одной из актуальных современных проблем в области прикладной экологии является совершенствование системы мониторинга и прогнозирования состояния почв различных функциональных зон городов.

Городские почвы – урбанозёмы – отличаются от естественных (природных) по физическим и химическим свойствам. Они переуплотнены, почвенные горизонты перемешаны и обогащены строительным мусором, бытовыми отходами, отличаются также и высо-

кой контрастностью, неоднородностью из-за сложной истории развития города и наличием в них максимально разнообразной инфраструктуры [2].

Проблемы урбанизации и экологической безопасности, ухудшение качества жизни городов с антропогенно нарушенными территориями в настоящее время приобрели глобальный характер. В поволжских городах состояние окружающей среды характеризуется как кризисное и требующее мер по улучшению экологического состояния [3].

Экологические риски и напряжённая экологическая обстановка в наиболее развитых промышленных городах Саратовской области связаны с функционированием значительного количества экологически опасных производств, АЭС, наличием объектов хранения опасных отходов [4].

Ежегодный мониторинг состояния урбанозёмов и городских ландшафтов проводится с целью оценки степени антропогенной нагрузки и определения зон повышенного экологического риска населения городов. Для получения наглядной картины степени распределения антропогенной нагрузки по функциональным зонам территории городов перспективно использование современных геоинформационных технологий, которые являются удобной и надёжной системой комплекса систем контроля за состоянием почвенной среды в городе.

Учитывая актуальность исследований в этом направлении, целью нашей работы было проведение и обоснование системы комплексного мониторинга состояния урбанозёмов г. Саратова и оценки степени антропогенной нагрузки с использованием ГИС-технологий.

### Материалы и методы

В работе использовали общепринятые методы экологических, лабораторно-аналитических, микробиологических, биохимических методов оценки состояния почв. Отбор проб почв проводили в разных функциональных зонах городских территорий (на крупных автомобильных развязках, около промышленных предприятий и в селитебных зонах) в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 [5] в летний период 2013–2014 гг. со строгой картографической привязкой к местности. В качестве контроля использовали пробы, собранные в районе с. Александровка Саратовского района, на территориях с наименьшей степенью антропогенной нагрузки, но приближённо похожих на городские территории по составу почв, месторасположению местности и по климатическим особенностям.

Лабораторно-аналитические исследования проводили на базе НОЦ «Промышленная экология» кафедры «Экология» СГТУ имени Ю. А. Гагарина и в аккредитованной испытательной лаборатории «ЭкоОС» СГТУ на поверженном оборудовании с использованием стандартных и аттестованных методик в 3-кратных повторностях.

Определяли уровень почвенного «дыхания», как интегрального показателя биологической активности почв по методике стационарного изучения почв [6]. Оценивали активность почвенных ферментов разных групп: оксидоредуктазной – каталазы, сульфитоксидазы и дегидрогеназы, гидролазной –

целлюлазы (гликозил-гидролазы), уреазы (амидогидролазы) и фосфатазы (фосфогидролазы) [7]. Исследовали качественный и количественный состав микроорганизмов в почвенных образцах по общепринятым методикам [8]. Почвенные взвеси в разведениях высевали на селективные и дифференциально-диагностические питательные среды. Учитывали рост гетеротрофных бактерий – на ГРМ-среде, актиномицетов – на крахмально-аммиачном агаре, микромицетов – на среде Чапека; азотфиксирующие микроорганизмы учитывали методом обрастания комочков почвы на среде Эшби, целлюлозоразрушающие микроорганизмы определяли по Виноградскому на среде Гетчинсона [8].

Для всех определённых параметров рассчитывали интегральный показатель биологического состояния – ИПБС по методике К. Ш. Казеева с соавторами (2003) с учётом соответствующих данных для образцов почв контрольных территорий. Для его расчёта показатели данных на территории, являющейся контролем, брали за 100% и по отношению к ним определяли ИПБС по всем данным исследований почвенного покрова отдельных функциональных зон городской территории [9].

Для наглядного представления состояния урбанозёмов в качестве инструментального средства использовали геоинформационную программу (MapInfo) и геоинформационные технологии:

- векторизацию растровых карт исследуемых территорий;
- наложение растровых карт на рельеф для наглядного представления картографической информации.

Все полученные результаты обрабатывали статистически с использованием стандартных методов для экологических и биологических данных [10].

### Результаты и обсуждения

В процессе комплексного мониторинга урбанозёмов г. Саратова были исследованы пробы из разных функциональных зон городских территорий (на крупных автомобильных развязках, в районах промышленных предприятий, в парковых и селитебных зонах) по 12 показателям. В таблице представлены данные исследования биологического состояния почвенного покрова города отдельно по всем показателям (в процентном содержании по отношению к контрольным участкам городских территорий с наименьшей степенью антро-

# МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Таблица

Оценка интегрального показателя биологического состояния почв по микробиологическим и биохимическим показателям г. Саратова за летний период 2013–2014 гг.

№ проб	Содержание микроорганизмов				Ферментативная активность							«Дыхание» почв, %	ИПБС %
	ГРМ-среда, %	КАА-среда, %	Среда Чапека, %	Среда Эшби, %	Каталаза, %	Дегидрогеназа, %	Инвертаза, %	Скорость изменения рН, %	Уреаза, %	Сульфитоксидаза, %	Фосфатаза, %		
Контроль	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Промзоны													
6	116	32	31	105	20	51	72	65	58	75	53	5	57
7	85	46	107	137	5	90	60	91	88	87	71	7	73
11	13	57	19	106	25	151	14	82	75	87	78	2	59
13	27	79	62	78	35	454	62	82	58	62	78	0	90
19	97	85	108	62	45	90	39	100	54	62	31	17	66
21	12	122	18	66	45	84	14	91	60	8	12	3	51
Парковые и селитебные зоны													
5	22	12	22	37	10	36	72	65	64	87	93	5	44
9	79	72	92	9	5	339	18	65	60	62	7	2	67
15	28	73	44	91	20	48	72	73	75	87	31	1	54
16	21	79	40	19	45	51	31	91	50	75	21	23	45
20	13	95	25	28	45	151	10	73	60	75	28	2	50
22	14	149	22	34	15	84	31	91	60	62	12	1	48
24	73	76	73	128	50	151	33	82	40	50	40	2	66
25	15	91	19	21	50	48	72	65	45	62	59	19	47
Автомобильные перекрестки (авторазвязки)													
8	24	23	32	36	10	57	41	65	79	100	246	12	60
10	18	59	34	52	55	48	18	65	62	75	21	7	43
12	84	77	82	101	35	163	45	73	76	75	309	2	93
14	44	41	62	70	5	48	64	91	59	50	46	1	48
17	63	51	115	34	35	90	60	100	56	62	46	21	61
18	30	66	35	35	25	84	27	82	52	62	15	21	45
23	14	68	17	105	30	81	31	65	55	75	15	25	48

погенной нагрузки) и ИПБС по всем 12 показателям.

Данные микробиологического анализа проб почв на присутствие микроорганизмов 4 групп: гетеротрофных бактерий, актиномицетов, микромицетов и азотфиксирующих микроорганизмов, и активности ферментов 6 групп: каталазы, дегидрогеназы, инвертазы, уреазы, сульфитоксидазы и фосфатазы получены за летний период 2013–2014 гг.

Количественный состав выявленных групп микроорганизмов варьировал в широких пределах и зависел от степени антропогенной нагрузки на конкретную территорию. Состав, структу-

ра и соотношение эколого-трофических групп в микробном комплексе ризосферной почвы свидетельствует о высокой степени изменения почвенного покрова различных функциональных зон г. Саратова. Так, например, в почве селитебных и парковых зон более высокое содержание, чем в транспортных зонах, актиномицетов, микромицетов ( $72-84 \cdot 10^7$  КОЕ/г) и целлюлозоразрушающих групп микроорганизмов (50–80% от общего количества), что свидетельствует о большом содержании в почве органических веществ, в частности растительных остатков, которые являются главным источником питания целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

Количественное содержание азотфиксирующих микроорганизмов ( $195\text{-}246 \cdot 10^3$  КОЕ/г) было больше в почве промышленных зон (пробы почв отбирали вокруг бывших предприятий). Это, вероятно, связано с проведением в предыдущие годы реабилитационных мероприятий в санитарно-защитных зонах промышленных объектов. Однако количественные показатели всех групп микроорганизмов в почвах городской территории были достоверно ниже контрольных значений (почвы фоновой территории).

Анализ почвенных ферментов указывал на преобладание процессов деградации почв городского ландшафта. Отмечена зависимость биологической продуктивности от степени и вида антропогенной нагрузки на территорию. В пробах почв промышленных зон выявлены более высокие показатели каталазной ( $1,0\text{-}1,68$  мл  $O_2$ /1 г почвы за 1 мин) и сульфитоксидазной ( $0,7\text{-}0,8$  мг  $SO_2$ / г почвы за 1 ч) активности. Почвы селитебных и парковых зон отличались повышенной активностью ферментов дегидрогеназы ( $0,04\text{-}0,06$  мг формазана/1 г почвы за 24 ч) и целлюлазы ( $3,53\text{-}4,17\%$  от исходного веса). В почвах транспортных зон вблизи автомобильных дорог установлена более высокая активность ферментов уреазы ( $0,08\text{-}0,09$  мг  $N\text{-NH}_4$  на 1 г почвы за 4 ч), фосфатазы ( $0,30\text{-}0,42$  фенолфталеина/г почвы за 1 ч) и инвертазы ( $3,07\text{-}4,27$  мг глюкозы в 1 г почвы за 24 ч), а также выявлен вы-

сокий уровень выделения углекислоты в пробах почв ( $0,14\text{-}0,18$  мг  $CO_2$  за 1 ч). Показатели активности всех определяемых ферментов в пробах почв разных функциональных зон города были ниже контрольных значений как для фоновой территории, так и в сравнении с данными литературы.

Ежегодный мониторинг состояния урбанозёмов и городского ландшафта проводится с целью оценки степени антропогенной нагрузки и определения зон повышенного экологического риска населения города. Для получения наглядной картины степени распределения антропогенной нагрузки по функциональным зонам на территории города перспективно использование современных геоинформационных технологий, которые являются удобным и надёжным инструментом для системы экологического контроля, в том числе, за состоянием почвенной среды.

Полученные нами результаты значений ИПБС по основным суммарным показателям (микробиологическим и ферментативным) наносили на карту функциональных зон территории города (рисунок) с использованием современных ГИС-технологий. Составлена и зарегистрирована база данных эколого-биологического состояния урбанозёмов г. Саратова. Это позволило выявить и адекватно оценить степень антропогенного влияния на почвенный покров в этих зонах и обосновать необходимость проведения соответ-

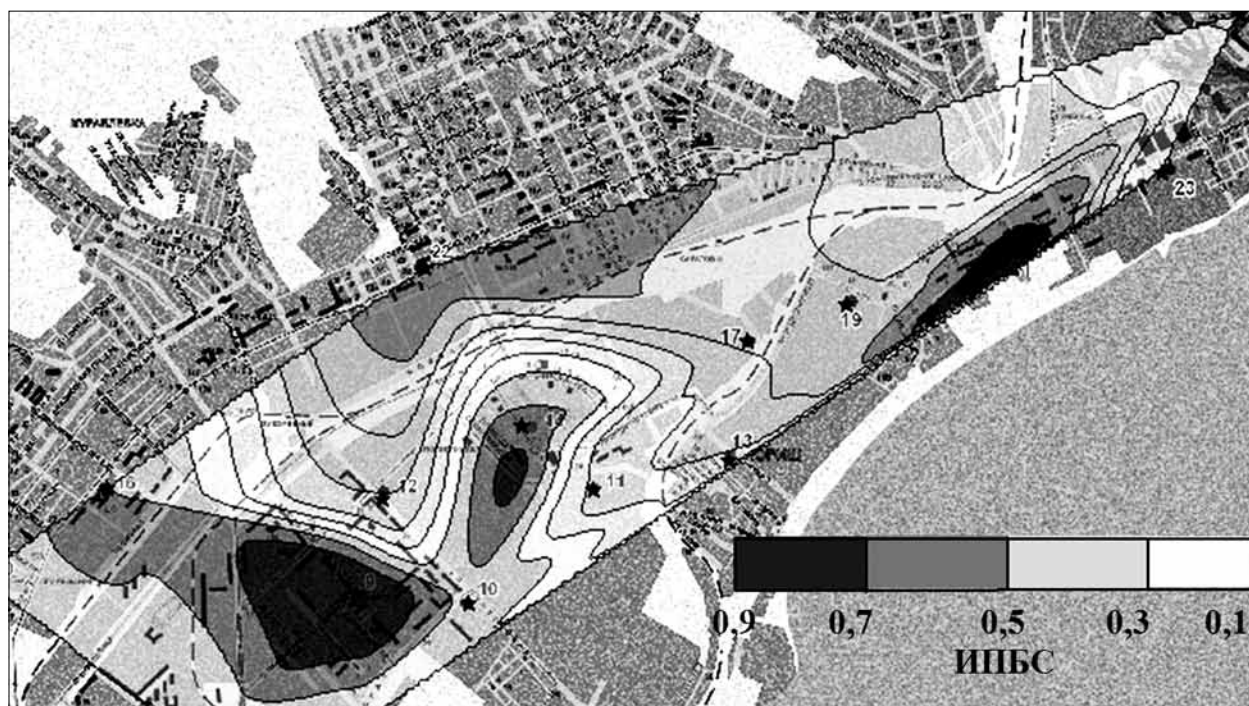


Рис. Анализ экологического состояния почвенного покрова г. Саратова на основе данных ИПБС почвенного покрова

ствующих мероприятий по реабилитации. Так, на карте чётко выделены участки, где значения ИПБС урбанозёмов г. Саратова выше 0,5 – это в основном территории санитарно-защитных зон промышленных предприятий и автомобильных дорог. Данные зоны можно отнести к средней степени нарушения экологического состояния урбанозёмов. Для их реабилитации соответственно необходимо будет проведение мероприятий по стимуляции и увеличению количества основных групп почвенных микроорганизмов, в результате чего возрастет ферментативная активность почв.

Участки территории города, где значения ИПБС урбанозёмов ниже 0,5, являются участками с максимальной степенью нарушения экологического состояния почв. Они представлены преимущественно селитебными зонами, почвы которых по составу можно отнести к индустриозёмам (по современной классификации). Для реабилитации почв этих территорий необходимо проведение комплексной очистки, улучшение структуры и лишь затем стимуляции микробоценозов.

Полученные данные позволили обобщить систему комплексного мониторинга состояния урбанозёмов г. Саратова, включающую составление базы данных по качественному и количественному составу микроорганизмов, общей ферментативной активности проб почв и активности отдельных ферментов разных групп, вычисления значений ИПБС для территорий отбора проб с последующим картографированием полученных значений. Это даёт возможность не только оценить степень антропогенной нагрузки разных функциональных зон, но и рассчитывать экологические риски населения, обосновывать адекватные мероприятия по реабилитации и рациональному использованию городских территорий.

### Заключение

Таким образом, проведение исследований почвенных образцов в разных функциональных зонах территории города Саратова показало, что определение комплекса микробиологических и биохимических показателей является вполне информативным для оценки степени их антропогенной нагрузки.

В нашем исследовании установлены различия в содержании микромицетов, актино-

мицетов, гетеротрофных, азотфиксирующих и целлюлозоразрушающих микроорганизмов в почвах разных функциональных зон города. Дана характеристика активности ферментов: каталазы, дегидрогеназы, инвертазы, фосфатазы, уреазы, сульфитоксидазы и целлюлазы, а также почвенного «дыхания» территорий разных функциональных зон города. Данные интегрального биологического показателя были использованы для построения карт экологического состояния городских почв. Анализ этих карт позволил выявить проблемные участки в различных функциональных зонах, на которые необходимо обратить внимание в первую очередь для улучшения их экологического состояния.

### Литература

1. Абросимова О.В., Быкова М.А., Меркулова М.Ю., Тихомирова Е.И. Оценка экологического неблагополучия урбосистем на основе данных мониторинга снежного и почвенного покровов (на примере г. Саратова) // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2013. № 1 (73). Т. 4. С. 239–244.
2. Быкова М.А., Абросимова О.В., Тихомирова Е.И., Макарова А.А. Комплексная оценка состояния окружающей среды г. Саратова по данным химического и микробиологического загрязнения // Фундаментальные исследования. 2012. № 5-1. С. 133–137.
3. Ларионов М.В. Оценка экологического состояния городской среды в среднем и нижнем Поволжье методом экологического картографирования // Достижения вузовской науки. 2012. № 1. С. 31–36.
4. Захарченко Е.С. Экологические аспекты функционирования кластеров в Саратовской области // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. № 1. Т. 2. С. 231–235.
5. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. Введ. 1983 –12 – 21. М.: Изд-во стандартов, 2004. С. 2–4.
6. Методы стационарного изучения почв. М.: Наука, 1977. 152 с.
7. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
8. Тепер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. М.: Дрофа, 2004. 256 с.
9. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 2003. 204 с.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.