

## АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ ПАРКОВ МЕГАПОЛИСОВ

На примере парка, расположенного в промышленной зоне г. Уфы, показано, что их агроэкологическая оценка наряду с общепринятой по комплексу свойств почв предусматривает проведение ряда биотестов, направленных на оценку степени деградации почв, их фитотоксичности и подбора наиболее адаптированных растений.

Почвы парков и скверов крупных городов имеют значительно большую стоимость, чем почвы сельскохозяйственных угодий. Однако уровень их агроэкологической оценки пока несовершенен (3). С нашей точки зрения, в почвах городов даже на искусственных грунтах, а тем более под древесными культурами, протекают естественные почвообразовательные процессы (1, 2). Для создания зеленых насаждений хорошего качества необходима комплексная оценка таких почв и создание грунтов с заданными свойствами для определенного характера и уровня загрязнения. Для почвенно-растительного покрова парков и скверов должна разрабатываться система смены культур и их взаимного расположения, система обработки, удобрений и интегрированной защиты растений, учитывая опасность применения ядохимикатов в городских условиях.

Здоровье населения в крупных городах, работоспособность людей и эффективность ряда технологических циклов в значительной степени зависят от чистоты воздуха, который необходим как для жизнедеятельности проживающих в мегаполисах, так и для работы функционирующих там промышленных предприятий (4).

В свою очередь, чистота воздуха зависит от состояния древесных насаждений и в целом растительного покрова парков, скверов и лесопарковых зон городов. Она зависит от поглощения растениями и почвами ядовитых газов, пыли, патогенных микроорганизмов, тяжелых металлов, от выделения растениями кислорода и фитонцидов. При этом с усилением антропогенного воздействия на природу экологические функции почвы приобретают все большее значение (1).

Для выяснения поставленных вопросов в парке, расположенном в северной промышленной зоне г. Уфы, заложено 18 разрезов, проведено морфологическое описание почв и растительности, отобраны образцы для анализа, определены плотность почв, водные свойства. В лабораторных условиях изучены гранулометрический состав почв, структурный и микроагрегатный состав, физико-химические и агрохимические свойства, фракционный состав соединений тяжелых металлов. В модельных опытах проведена оценка степени деградации почв по биологическим тестам.

В таблице 1 приведены гранулометрический состав и физические свойства типичного разреза 1 (техногенный урбанозем с насыпной темно-серой лесной почвой, подверженной временному избыточному увлажнению) и в таблице 2 – физико-химические свойства.

По совокупности данных почвы парка относятся к темно-серым лесным и выщелоченным черноземам, что характерно для данного региона. Однако ряд разрезов представлен и серыми лесными почвами, разной степени нарушенности.

Таблица 1. Гранулометрический состав и физические свойства почвы разреза 1

Глубина, см	Частиц, %		Коэффициент	
	<0,001 мм	<0,01 мм	дисперсности	структурности
0-10	10,2	32,5	24,9	1,0
10-20	10,0	34,6	14,1	1,5
20-30	19,6	38,3	17,9	0,8
50-60	16,2	32,0	22,7	0,8

Таблица 2. Физико-химические свойства почв разреза 1

Глубина, см	рН(H <sub>2</sub> O)	рН(KCl)	Ca,	Mg,	Гумус, %
			мг-экв/100 г	мг-экв/100 г	
0-10	8,1	7,4	20	11	9,2
10-20	7,3	7,0	16	17	3,8
20-30	8,1	7,6	15	18	2,8
50-60	8,1	7,6	8	17	1,6

Изученные почвы представлены в парке супесчаными, среднесуглинистыми и глинистыми разновидностями (таблица 3).

Плотность почв, их физические и водные свойства, структура удовлетворительны. Содержание подвижных форм элементов питания,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , в основном благоприятно для произрастания древесных, кустарниковых и травянистых культур, районированных в данных климатических условиях.

Однако естественный покров парка в значительной степени нарушен. В соответствии с классификацией городских почв по Н.М. Строгановой и др. (5) почву парка можно охарактеризовать как антропогенно-поверхностно преобразованную, поскольку насыпной горизонт «урбих» обычно не превышает 50 мм.

В то же время согласно критериям оценки экологической напряженности территории относится по степени нарушенности почвенного покрова к зоне экологического кризиса, по состоянию растительности – к зоне экологического риска, по шкале эстетической ценности растительности – к удовлетворительному состоянию. Визуально определяемыми факторами, обуславливающими плохое развитие растительности, являются близкое залегание грунтовых вод (до 1 м, иногда до 50 см), а также наличие на отдельных территориях прослоек мусора. Безусловно, плохое состояние растительности парка обусловлено и загрязнением грунтовых вод и воздуха, о чем свидетельствуют данные экологической оценки территории г. Уфы.

В задачу исследования входило: 1) выяснение причин плохого развития растений и деградации почв на территории парка; 2) выяснение взаимосвязей свойств почв на обследованной территории; 3) выбор и разработка биотестов для оценки степени дегра-

дации исследуемых почв; 4) поиск путей оптимизации обстановки.

Важное агроэкологическое значение имеет содержание в изученных почвах различных форм соединений тяжелых металлов. Нами проводилось определение в образцах почв количества соединений Pb, Cd, Cr, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe, растворимых в воде и уксуснокислом аммонии при  $\text{pH} = 4,8$ ; их валового содержания (по количеству соединений, растворимых в концентрированной азотной кислоте) (время – 2 недели). При этом растворимость соединений свинца, меди, кадмия, железа была близка к растворимости возможных в данных условиях осадков (гидроокисей, карбонатов, фосфатов). Концентрация в растворе водорастворимых цинка, марганца была ниже растворимости возможных их осадков.

Содержание подвижных форм соединений тяжелых металлов, растворимых в  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  при  $\text{pH} = 4,8$ , составляет, в среднем, для изученных почв: меди – 2 мг/100 г; цинка – 3,5; никеля – 1,2; хрома – 0,2; марганца – 6,2; свинца – 3,7; кадмия – 0,3. Предельно допустимые концентрации для подвижных форм этих металлов для почв составляют для меди – 3; цинка – 5; никеля – 2; хрома – 10; марганца – 50; свинца – 0,8; для кадмия – 0,1 мг/кг. Таким образом, изученные почвы загрязнены Cu, Zn, Ni, Pb, Cd, хотя и в незначительной степени. В большей степени они загрязнены свинцом, медью; не загрязнены – хромом и марганцем.

Содержание тяжелых металлов в почвах связано как с их свойствами, так и с локальным загрязнением. Для исследуемых почв отмечается тенденция увеличения валового содержания тяжелых металлов в почвах с утяжелением гранулометрического состава, увеличением  $\text{pH}$  более 8 и с увели-

чением степени гумусированности более 4%. В то же время содержание водорастворимых форм тяжелых металлов в основном увеличивается с увеличением сте-

Таблица 3. Гранулометрический состав и физико-химические свойства почв

% частиц <0,001 мм	% частиц <0,01 мм	Коэффициент дисперсности	$\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$	Ca мг-экв/100 г	Mg мг-экв/100 г	Гумус, %
песок, супесь 2,2±0,2	6,0±4,9	2,5±2,5	8,0±0,1	19,0±7,1	7,5±2,5	6,0±1,6
ср. суглинок 16,8±3,8	36,0±4,3	15,1±2,9	7,8±0,1	27,7±2,1	14,2±0,8	5,2±0,3
глина 36,5±7,3	66,1±11,5	15,4±1,8	7,7±0,1	38,0±0,1	20,0±1,0	5,4±1,2

пени гумусированности, уменьшением рН менее 8 и с облегчением гранулометрического состава. Это иллюстрируется данными таблицы 4.

Установленная тенденция обусловлена, очевидно, тем, что более нейтральные значения рН, более тяжелый гранулометрический состав почв, увеличение степени гумусированности способствуют закреплению тяжелых металлов в почвах в связи с большей адсорбционной способностью к ним по типу осадкообразования, ионного обмена и комплексообразования. В то же время повышение количества органического вещества увеличивает подвижность тяжелых металлов в почвах, вследствие образования водорастворимых комплексных соединений.

Таким образом, проведенные исследования по содержанию в почвах подвижных форм тяжелых металлов показали загрязнение ими большинства участков парка (кроме хрома и марганца). В большей степени загрязнены почвы свинцом и медью. Содержание тяжелых металлов в почвах зависит как от свойств почв, так и от локального загрязнения. В исследуемых почвах отмечается увеличение загрязнения с утяжелением гранулометрического состава, при рН более 8,0, с увеличением гумусированности. При этом увеличение загрязнения, утяжеление гранулометрического состава, увеличение рН более 8,0 приводят к уменьшению доли подвижных фракций тяжелых металлов в почвах парка.

На третьем этапе исследования проводилась оценка почвенно-растительного покрова территории с использованием биологических тестов. В работе доказывается, что для оценки деградации почв целесообразно использовать комплекс биологических тестов. Нами использовались: 1) тест на фитотоксичность по прорастанию семян; 2) тест на загрязнение по развитию корней у черенков растений; 3) тест на загрязнение по поглощению элементов из суспензии изучаемых почв; 4) тест на загрязнение по выделению токсинов с транспирацией растений; 5) общепринятый тест по санитарно-микробиологическим показателям.

Согласно полевым исследованиям, в соответствии с принятыми экологическими те-

стами, почвенный покров по степени перекрытия почв абиотическим наносом относится к зоне экологического бедствия; по превышению уровня грунтовых вод выше критического – к зоне чрезвычайной экологической ситуации; по шкале категорий состояния хвойных и лиственных пород – к сильно ослабленному состоянию. По плотности почв территория относится к зоне относительного благополучия и риска. По проективному покрытию травостоем территория относится к зоне экологического риска; по повреждению древостоя – к зоне экологического риска и локально – к зоне экологического кризиса.

Оценка фитотоксичности почв проводилась по прорастанию семян кресс-салата, как общепринятого биологического теста, в исследуемых почвах и в контроле, за который принимается почва с оптимальными свойствами. Нами изучена фитотоксичность в 18 разрезах почв с использованием 7 биотестов в 10-кратной повторности. В качестве контроля использовались грунт «Живая земля» и огородная почва. Как и следовало ожидать, развитие различных видов трав и на одной почве неодинаково.

С нашей точки зрения, использование в качестве биотестов прорастания семян различных растений не только позволяет более полно оценить пригодность исследуемых почв для разных культур, но и подобрать для выращивания те растения, которые более адаптированы к данным условиям загрязнения. Это иллюстрируется данными таблицы 9, из которых видно, что на почвах разрезов 3 и 11 лучше развивается райграс и хуже полевица. Развитие растений на исследуемых почвах коррелирует со свойствами почв.

Как видно из представленных данных, на почве, испытывающей избыточное увлажне-

Таблица 4. Содержание водорастворимых форм соединений тяжелых металлов в почвах разной степени гумусированности и кислотности, мг/100 г (мг/л)

Ионы	Гумус, %		рН(H <sub>2</sub> O) почв	
	> 4,0	< 4,0	> 8,0	< 8,0
Fe	0,32±0,13	0,01±0,01	0,20±0,1	0,20±0,2
Mn	0,11±0,04	0,01±0,01	0,03±0,01	0,12±0,05
Pb	0,18±0,06	0,15±0,03	0,13±0,02	0,15±0,03
Ni	0,08±0,01	0,07±0,01	0,07±0,01	0,08±0,01
Cd	0,01	0,01	0,01±0,01	0,02±0,01

Таблица 5. Связь фитотоксичности и свойств почв

Параметры оценки	P-3, гор. А	P-11, гор. А
проективное покрытие травостоем, %	90	0-10
избыточное увлажнение	нет	есть
гумус, %	6,1	3,5
ΣFe подвижного, мг/100 г	3,0	3,9
Ca/Mg обменные	6,0	2,3
коэффициент структурности	7,4	1,0
размер стеблей: клевер	3,4±0,3	2,9±0,2
полевица	2,5±0,3	2,3±0,1
тимофеевка	4,1±0,4	2,4±0,7
«Канада-грин»	4,9±0,1	4,0±0,5
райграс	6,5±0,1	4,2±0,7
кресс-салат	3,8±0,1	3,8±0,1

Таблица 6. Связь корнеобразования у черенков тополя со свойствами почв

Количество корней	Fe <sup>2+</sup> , мг/100 г	Оглеение профиля от -1 до +1	Проективное покрытие травостоем в полевых условиях
0	2,3±0,3	0,4	40±19
1	3,0±1,7	0,7	59±19
2-3	2,4±0,4	0,5	65±13

ние, ниже проективное покрытие травостоем в естественных условиях, хуже развитие проростков. Это соответствует большему содержанию в такой почве подвижного железа, более узкому отношению поглощенных кальция и магния, меньшему коэффициенту структурности.

Для разных видов растений и горизонтов степень фитотоксичности отличается. Максимальная величина фитотоксичности для исследуемых почв достигала 50, что соответствует, по критериям экологической напряженности, зоне кризиса. При этом существенно менялось и отношение корней к стеблям.

В качестве второго биотеста нами было использовано корнеобразование у черенков смородины и тополя в суспензии почв в те-

чение 14 дней. При этом в суспензии почв разрезов 1, 7, 8, 10 черенки тополя вообще не дали корней, а в почве разрезов 2, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 они дали по два и более корня. Плохое развитие корней коррелировало с повышенным содержанием в почвах закисного железа, водорастворимых соединений свинца и кадмия.

Как видно из представленных данных, интенсивное корнеобразование у черенков тополя коррелирует с суммой факторов: меньшим содержанием двухвалентного железа, меньшей визуальной оглеенностью, большим проективным покрытием травостоем в полевых условиях.

Корнеобразование в суспензиях различных почв у черенков смородины иллюстрируется данными таблицы 7.

Как видно из представленных данных, худшее развитие корней у черенков смородины соответствует большему количеству в этих почвах подвижных форм Fe, Ni, Pb, Cu, Zn, Mn, NH<sub>4</sub>, Fe<sup>2+</sup>. Однако не отмечалось корреляции ни с содержанием подвижных фосфатов, ни с гумусом и некоторыми другими свойствами почв.

С нашей точки зрения, оценка плодородия почв с использованием биотеста по корнеобразованию у черенков различных культур позволяет подобрать оптимальные древесные культуры для отдельных почв. Поэтому такой биотест перспективен.

Третьим биотестом было выбрано поглощение элементов из суспензии почв проростками древесных культур. Лучшим оказался тест с использованием 5-10 см проростков клена при массе корней 2,1-2,5 г. Принцип использования данного биотеста состоит в том, что из суспензии загрязненных почв растения больше поглощают и поллютанты, которыми эти почвы загрязнены. Однако при

Таблица 7. Корнеобразование у черенков смородины в суспензии исследуемых почв

Fe	Ni	Pb	Cu	Zn	Mn	Гумус, %	NH <sub>4</sub>	Fe <sup>2+</sup>
подвижные, мг/л							мг/100 г	
1,2±0,1*	0,2*	0,2±0,05*	0,1±0,1*	0,4±0,1*	0,6±0,1*	5,1±1,3*	1,6±0,3*	2,2±0,8*
3,7**	0,4**	1,3**	0,4**	1,4**	1,8**	6,4±2,0**	2,2±0,1**	3,0±0,3**

\*) разрезы 12, 13, корни 3,9±0,3

\*\*) разрезы 8, 15 – корни 2,3±0,2

Таблица 8. Результаты исследования образцов почв парка по санитарно-микробиологическим показателям

Почва	Титры				Термофильных бактерий, кл/г	Мезофильных бактерий, кл/г
	БГПК	E-coli	Нитрифицирующих бактерий	Clostridium perfringens		
P-4 Аурь	0,1	> 1	1,0	0,01	$1,40 \cdot 10^3$	$9,95 \cdot 10^5$
P-3 Аурь	0,1	> 1	0,1	0,0001	$1,35 \cdot 10^4$	$1,40 \cdot 10^7$
P-1 Аурь	0,1	> 1	1,0	0,001	$7,20 \cdot 10^3$	$9,00 \cdot 10^6$
P-2 Аурь	0,1	> 1	1,0	0,001	$1,70 \cdot 10^4$	$1,60 \cdot 10^7$

\*) где БГПК – бактерии группы кишечной палочки; E-coli – кишечная палочка

очень неблагоприятных свойствах почв поглощение из их суспензий большинства элементов ограничено.

По полученным данным установлена корреляция между поглощением тяжелых металлов корневыми системами клена и свойствами почв. Загрязнение почв свинцом приводило к существенным изменениям поглощательной способности корневых систем растений. Так, в контрольном варианте содержание кальция в равновесном растворе при выращивании растений составило  $110,8 \pm 14,3$  мг/л, а при загрязнении раствора свинцом –  $207,8 \pm 20,5$  мг/л, то есть произошло ингибирование поглощения кальция корневыми системами.

Четвертым биотестом выбрано выделение растениями в воздушную среду свинца, кадмия, меди, цинка, марганца из суспензии почв. Принцип метода основан на том, что чем больше токсикантов в почве, тем в большем количестве они поглощаются растениями и затем, как воздушные эвапораты, удаляются из растений. По полученным данным установлена корреляция данного показателя со степенью загрязнения почв тяжелыми металлами.

Пятым биотестом является оценка деградации почв по санитарно-микробиологическим показателям (табл. 8).

Как видно из таблицы 8, в исследуемых образцах почв отсутствуют микроорганизмы, говорящие о свежем фекальном загрязнении (высокие, > 1,0, титры кишечной палочки). Низкие титры Clostridium perfringens (образцы почв разрезов 1, 2, 3) и достаточно высокая численность термофильных бактерий говорят об имевшем место органическом загрязнении этих почв и идущем процессе их самоочищения. Титры БГПК и нитрифицирующих бактерий позволяют отнести все ис-

следуемые образцы почв к категории «чистая» (титр > 1,0 для БГПК и > 0 – для нитрифицирующих бактерий). Титры Clostridium perfringens дали следующие результаты: разрез 1, 2, 3 – категория «загрязненная»; разрез 4 – категория «чистая». Все образцы изученных почв (разрезы 1-4, верхние горизонты) можно отнести к категории «загрязненная» по количеству термофильных бактерий ( $1,4 \cdot 10^3$  –  $1,7 \cdot 10^4$  кл/г почвы).

Патогенные микроорганизмы, находящиеся в почве, переносятся ветром по воздуху и вызывают заболевания людей. В значительной степени этот процесс усиливается при деградации растительного покрова почв. Поэтому, с нашей точки зрения, оценка данного показателя для почв парков представляет не только теоретический, но и практический интерес.

Для различных условий загрязнения, характера и степени загрязнения, рельефа, типа водного режима, очевидно, необходим и свой гранулометрический состав грунтов. Это иллюстрируется данными таблицы 9.

Как видно из представленных данных, для исследуемых по физико-химическим свойствам почв, ровного рельефа и близкого уровня залегания грунтовых вод (до 1 м) лучше почвы более легкого гранулометрического состава. Для изученных почв более благоприятными для развития травостоя оказались почвы с содержанием гумуса в  $A_1$  менее 6% (очевидно, в связи с более быст-

Таблица 9. Проектное покрытие травостоем на почвах различного гранулометрического состава

Гранулометрический состав почв	Проектное покрытие травостоем, %
супесь	$82,5 \pm 7,6$
средний суглинок	$60,3 \pm 9,9$
глина	30,0

рым развитием анаэробнозиса при большей микробиологической активности). Худшими оказались почвы с уровнем грунтовых вод ближе 60 см.

Таким образом, для территории парка, представленной антропогенно измененными темно-серыми почвами, установлено, что деградация растительного покрова в основном обусловлена близким уровнем залегания грунтовых вод, загрязнением тяжелыми металлами, в отдельных точках – развитием анаэробнозиса, переуплотнения, вытаптывания, гидрофобизации. Почвы парка обладают удовлетворительными физическими, водными, физико-химическими и агрохимическими свойствами для развития культур. В то же время они загрязнены свинцом, медью, никелем, цинком, кадмием.

Для почв парка отмечается тенденция увеличения валового содержания тяжелых металлов в почвах с утяжелением гранулометрического состава, увеличением рН более 8 и с увеличением степени гумусированности более 4%. В то же время содержание водорастворимых форм тяжелых металлов в основном увеличивается с увеличением степени гумусированности, уменьшением

рН менее 8 и с облегчением гранулометрического состава.

Предлагается оценка деградации почв с использованием комплекса биотестов: по прорастанию семян, по образованию корешков у черенков растений, по поглощению элементов питания корневыми системами растений, по выделению элементов растениями, в виде воздушных экзаметаболических веществ, с транспирацией. При оценке фитотоксичности почв в качестве биотестов на прорастание семян предлагается использовать семена различных древесных, кустарниковых и травянистых растений, планируемых к выращиванию на данной территории. Это позволяет более полно оценить влияние деградации почв на биологические объекты и подобрать растения, более адаптированные к выращиванию на исследуемой территории. На большинстве почв парка лучше развивалась «Канада-грин», но на отдельных участках – райграс, полевица, тимopheевка, клевер. Показано, что корневые системы растений, развивающихся на загрязненных тяжелыми металлами почвах, не только больше их содержат, но и интенсивнее их поглощают из питательного раствора.

#### Список использованной литературы:

1. Савич В.И., Куликов А.М., Ванькова А.А. и др. Использование биологических генетических тестов при оценке загрязнения почв и с/х продукции свинцом Изв. МСХА, 2003, вып. 1, стр. 1-10.
2. Мосина Л.В. Антропогенные изменения лесных экосистем в условиях мегаполиса Москвы / Автореф. док. дисс. М., МСХА, 2002.
3. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В. Антропогенные почвы, Смоленск, 2003, 288 стр.
4. Добровольский Г.В. Почва, город, экология. М., 1997. Под ред. Добровольского Г.В.
5. Строганова М.Н., Мягкова А.Д., Прокофьева Т.В. Классификация городских почв // Проблемы антропогенного почвообразования. Мат. докл. межд. конф. Том 2. Москва, 1977. С. 234-237.