

## ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ И УРОВНЯ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ПРИДОРОЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ г. ОРЕНБУРГА

**Ключевые слова:** загрязнение почв; придорожные территории; фитотоксичность; экологическая оценка.

**Введение.** Высокий уровень техногенной нагрузки в урбоэкосистеме диктует необходимость в разработке и внедрении современных методов контроля за загрязнением окружающей среды, оценки текущего состояния экосистемы и прогнозирования развития ситуации в будущем. При этом необходимо особое внимание уделять зонам максимальной техногенной нагрузки, какими являются зоны придорожной полосы [1–3].

**Цель** данной работы сводится к исследованию почв придорожных территорий города с применением наиболее информативных методов экологического контроля и оценки уровней их загрязнения.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования являются придорожные территории улиц общегородского значения – улиц Чкалова, Терешковой, пр. Дзержинского и улиц районного значения – Шевченко, С. Лазо и Одесская. Образцы почв для химического анализа и определения фитотоксичности отбирались на расстоянии 5 м от дорожного полотна из слоя почвы 0–20 см методом конверта, рН почвенной вытяжки определялись на рН-метре лабораторном «АреЛ AP-101». Содержания карбонат-ионов, гидрокарбонат-ионов, сульфидов и гидросульфидов в почве исследовались титриметрически, содержание хлорид-ионов определялось по методу Мора, кальция и магния – комплексонометрическим методом. Также использовался цинкадитизиновый метод [4, 5]. При определении фитотоксичности почв применялся метод проростков (использовались семена универсального индикатора – кресс-салата *Lepidium sativum*). Почвы, фитотоксичность которых не превышает 10 %, отнесены к условно экологически чистым. Снижение числа проростков в опытном варианте по сравнению с контрольным на 10–30 % свидетельствует о слабой фитотоксичности почвы. Разница от 30 до 50 % указывает на среднюю степень, а выше 50 % – на высокий (недопустимый) уровень фитотоксичности почвы [6].

**Результаты исследования и их обсуждение.** Фитотоксичность почвы выражается в подавлении роста и развития высших растений и является показателем загрязненности почвы ксенобиотиками и другими токсикантами. Исследование фитотоксичности почв проводилось в два этапа. На первом этапе она определялась по проценту проросших семян. На втором этапе исследовалась длина проростков тест-культуры для выявления

влияния загрязнения на скорость роста растений. Было выделено три группы проростков: 1 группа длиной 1–5 см; 2 группа – 5–10 см; 3 группа проростков длиной более 10 см (таблица 1). Исследование фитотоксичности почв вдоль улиц общегородского значения – ул. Чкалова, пр. Дзержинского и ул. Терешковой) – показало, что общая фитотоксичность изменялась от средней (36,7–44,8 %) до недопустимой (61,1 %).

Проявление недопустимого фитотоксического эффекта в образцах, отобранных вдоль ул. Терешковой, обусловлено, прежде всего, наличием нескольких транспортных развязок при пересечении с улицами Постникова, Шевченко, Хабаровской и Березка, с пр. Дзержинского, из-за чего возрастает загруженность движения и возникают пробки. На фоне снижения всхожести семян произошло и снижение общей биомассы проростков. В исследуемых образцах почв по сравнению с контролем резко снизилось количество проростков с длиной стебля более 10 см: доля таких проростков составила 4–9 %. Количество проростков с максимальной длиной (> 10 см) снизилось за счет доминирования проростков первой (< 5 см) и второй (5–10 см) групп.

На рисунке 1 показано, что фитотоксический эффект положительно коррелирует ( $R = 0,79–0,87$ ,  $p = 0,003$ ) с количеством не проросших семян, максимум которых наблюдается в образцах, отобранных вдоль ул. Терешковой.

Несколько иная ситуация наблюдается при исследовании почвенных образцов, отобранных вдоль улиц районного значения: Шевченко, С. Лазо, Одесская (таблица 2).

Средняя фитотоксичность почв вдоль дорог районного значения составила 26,6 %, что соответствует уровню слабой фитотоксичности. Самая низкая фитотоксичность была выявлена вдоль улицы С. Лазо. Таким образом, исследование фитотоксичности почв вдоль различных улиц города выявило, что этот показатель варьирует в широких пределах – от 19,7 % (низкотоксичные почвы) вдоль улиц районного значения до 61,1 % (недопустимая фитотоксичность) в придорожных полосах улиц общегородского значения. Нарастание фитотоксичности почв происходит по мере увеличения транспортного потока и количества пробок и составляет ряд: ул. С. Лазо < ул. Одесская < ул. Шевченко < ул. Чкалова < пр. Дзержинского < ул. Терешковой.

Таблица 1 Фитотоксичность почв придорожных территорий улиц общегородского значения г. Оренбурга

Места отбора проб	Фитотоксичность, %	Распределение проростков по группам, %			
		1–5 см	5–10 см	> 10 см	не проросшие, %
Контроль (дист. вода)	0	0	17	83	0
Ул. Чкалова	36,7	50	20	5	25
Пр. Дзержинского	44,8	51	19	9	21
Ул. Терешковой	61,1	47	13	4	36

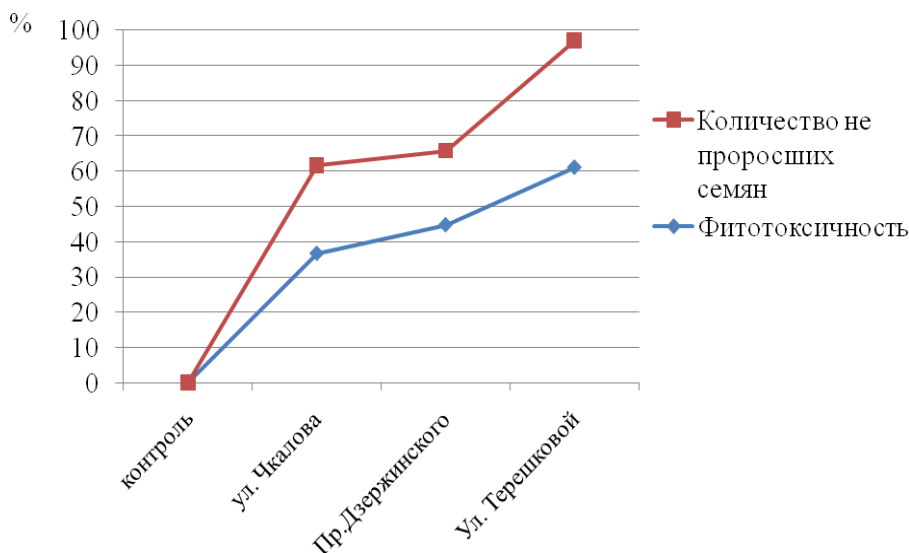


Рисунок 1

Зависимость изменения количества не проросших семян кресс-салата от фитотоксического эффекта

Таблица 2 Фитотоксичность почв придорожных территорий улиц районного значения г. Оренбурга

Места отбора проб	Фитотоксичность, %	Распределение проростков по группам, %			
		1–5 см	5–10 см	> 10 см	не проросшие, %
Контроль (дист. вода)	0	0	17	83	0
Ул. Шевченко	31,5	9	65	7	19
Ул. С. Лазо	19,7	24	55	12	9
Ул. Одесская	28,6	11	59	9	21

Для контрольного образца (дистиллированная вода) с отсутствием фитотоксического эффекта характерно доминирование проростков с длиной стебля более 10 см (83 %), проростков 2 группы насчитывалось всего 17 %. В образцах почв отобранных вдоль дорог районного значения группа проростков с длиной стебля более 10 см сократилась почти в 10 раз, однако возросло количество проростков 1 и особенно 2 групп. В образцах почв, отобранных вдоль крупных улиц общегородского значения, можно также отметить тенденцию к уменьшению количества проростков третьей (> 10 см) и увеличению проростков первой группы. Снижение числа проростков третьей, самой большой по длине группы привело к изменению соотношения проростков второй и первой групп с длиной стебля 5–10 см и < 5 см соответственно. По отношению к контролю на более оживленных улицах общегородского значения количество проростков второй группы в среднем составило 50 %, а первой группы – 19 %. Участки вдоль менее оживленных улиц районного значения характеризуются увеличением проростков второй группы в среднем до 60% и первой группы – до 15 %.

На фоне неравномерного распределения проростков по группам четко прослеживается тенденция увеличения количества не проросших семян при возрастании фитотоксичности (рисунок 2).

Проведены анализы почвенной вытяжки на величину рН и гидрокарбонат-ионы, хлорид-ионы, гидросульфид-ионы, ионы кальция, магния, цинка. Значения рН представлены в таблице 3. Наиболее кислая среда обнаруживается на участках, отобранных в районе ул. Терешковой, что свидетельствует о неблагоприятной экологической обстановке; максимальная щелочность почв наблюдается на участках, отобранных на улице С. Лазо. Содержание гидрокарбонат-ионов колеблется от 678,9 до 1278,3 мг/кг.

Абсолютное значение содержания концентрации гидрокарбонат-иона в почвенной вытяжке позволяет выделить его как приоритетный источник загрязнения почв придорожных территорий. Самые высокие значения содержания гидрокарбонат-ионов наблюдаются также на участках почв вдоль ул. Терешковой, самые низкие показатели присутствия исследуемого вещества выявлены на участках вдоль улиц Одесская и С. Лазо (таблица 4).

Содержание гидросульфид-ионов в почвенной вытяжке составило от 4,2 мг/кг на улице С. Лазо до 17 мг/кг на улице Терешковой. Абсолютное содержание хлорид-ионов в почве придорожных территорий достигает 183,5 мг/кг на участке отбора проб по улице Терешковой и выделяется на фоне всех остальных показателей.

Ранее доказано, что чем ниже рН почвенной среды, тем активнее из почвенного поглощающе-

го комплекса вымываются ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , что подтверждается проведенными исследованиями. Наблюдается положительная корреляция между содержанием  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  и рН почв, коэффициент корреляции равен соответственно  $r = 0,48$  ( $p = 0,006$ ) и  $r = 0,81$  ( $p = 0,005$ ). Содержание цинка в почве также незначительное по сравнению с присутствием других элементов и колеблется от 0,054 до 0,184 мг/кг.

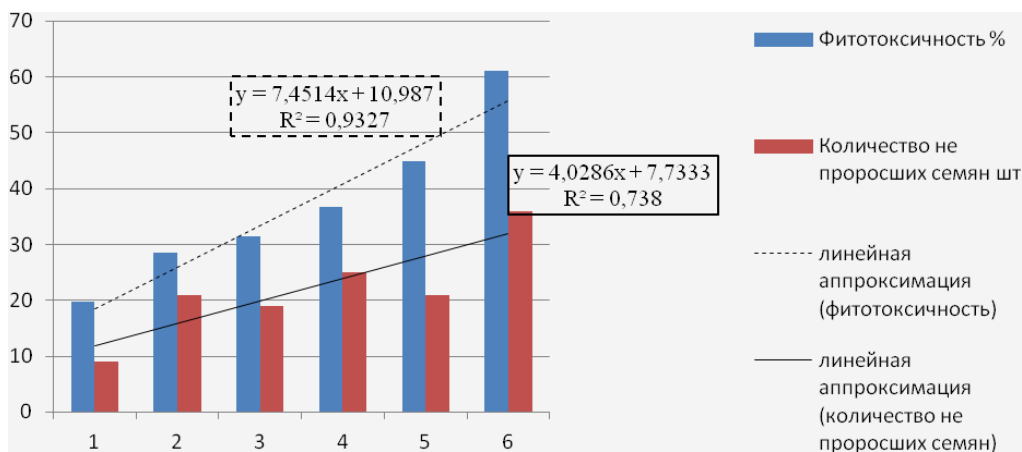


Рисунок 2

Зависимость между фитотоксичностью почв и количеством непроросших семян кресс-салата на придорожных территориях г. Оренбурга: 1 – ул. С. Лазо; 2 – ул. Одесская; 3 – ул. Шевченко; 4 – ул. Чкалова; 5 – пр. Дзержинского; 6 – ул. Терешковой

Таблица 3 Значения рН почв исследованных территорий

Место отбора пробы	рН			рН	E <sub>отп</sub> , %
	6,64	6,96	7,37		
Ул. Чкалова	6,64	6,96	7,37	7,1	0,22
Пр. Дзержинского	6,31	7,12	7,21	6,8	1,35
Ул. Терешковой	6,31	6,67	6,90	6,5	1,07
Ул. Шевченко	7,32	7,46	7,29	7,3	0,46
Ул. С. Лазо	8,21	8,07	7,65	7,9	0,37
Ул. Одесская	7,69	7,21	7,48	7,4	0,95

Таблица 4 Содержание загрязняющих веществ в почвах придорожных территорий улиц г. Оренбурга

Место отбора пробы	C <sub>НСО<sub>3</sub></sub> , мг/кг	C <sub>НС<sup>-</sup></sub> , мг/кг	C <sub>Сl<sup>-</sup></sub> , мг/кг	C <sub>Ca<sup>2+</sup></sub> , мг/кг	C <sub>Mg<sup>2+</sup></sub> , мг/кг	C <sub>Zn<sup>2+</sup></sub> , мг/кг
Фоновое содержание	793,2	6,4	19,9	20,0	2,4	0,01
Ул. Чкалова	984,4	10,8	142,0	13,9	1,3	0,121
Пр. Дзержинского	1067,5	12,4	168,6	11,2	1,4	0,148
Ул. Терешковой	1278,3	17	183,5	8,9	1,1	0,184
Ул. Шевченко	729,8	5,8	156,8	15,6	1,5	0,093
Ул. С. Лазо	678,9	4,2	154,9	16,9	1,9	0,054
Ул. Одесская	681,5	5,6	175,6	15,8	1,3	0,099

Таким образом, главными загрязнителями почв придорожных площадей являются ионы хлора и гидрокарбонат-ионы. Однако, не зная уровня их токсичности и фоновое содержание, невозможно сделать вывод об экологическом состоянии почвенной экосистемы. Поэтому необходима комплексная оценка степени загрязнения почв. Об общем химическом загрязнении почв судят по концентрации всех загрязнителей – по содержанию хлоридов, кальция, магния, цинка, гидросульфид-ионов и гидрокарбонатов. Степень загрязнения почвы оценивается по коэффициенту концентрации (К) и по суммарному показателю химического загрязнения (ПХЗ):

$$ПХЗ = \sum_{i=1}^n K_i, \quad (1)$$

$$K_i = \frac{C_i}{C_{i,фон}}, \quad (2)$$

где  $n$  – число определяемых элементов;  $K_i$  – коэффициент концентрации  $i$ -го загрязняющего вещества;  $C_i$  – концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества;  $C_{i,фон}$  – фоновое содержание  $i$ -ых веществ.

Для оценки экологического состояния территории Министерством природы разработаны критерии оценки качества территории, которые приведены в таблице 5. В таблице 6 представлены фоновое содержание и концентрации химических элементов в почве, а также показатель химического загрязнения почв, рассчитанный по приведенным формулам. Полученные расчеты свидетельствуют, что исходя из значений химического

загрязнения почв (ПХЗ) практически на всех участках отбора наблюдается сложная экологическая обстановка.

Особо следует обратить внимание на показатели экологической оценки в районе улицы Терешковой, где значение ПХЗ составило 32,8, что соответствует чрезвычайной экологической ситуации и улицы С. Лазо, где ПХЗ наименьший и находится на границе между критической и относительно удовлетворительной экологической си-

туацией. Эти данные подтверждаются и оценкой фитотоксического эффекта, который максимален на ул. Терешковой (недопустимая степень фитотоксичности) и минимален на ул. С. Лазо (низкая степень, рисунок 3). По показателям рН также отмечается чрезвычайная экологическая ситуация на ул. Терешковой, критическая экологическая ситуация на пр. Дзержинского и относительно удовлетворительная ситуация на остальных исследуемых улицах г. Оренбурга.

Таблица 5 Критерии качества территории

Показатель качества	Параметр состояния			
	экологическое бедствие	чрезвычайная экологическая ситуация	критическая экологическая ситуация	относительно удовлетворительная ситуация
рН	< 5,6	5,7 - 6,5	6,6 - 7,0	> 7,0
ПХЗ почвы	< 128	32 - 128	16 - 32	> 16

Таблица 6 Содержание и концентрации загрязняющих веществ в почве

Место отбора проб	Значение Сi и Ki загрязняющих веществ						ПХЗ	Экологическая оценка почвенного покрова
	$HCO_3^-$	$Cl^-$	$HS^-$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Zn^{2+}$		
Фон	378,3	28,3	4,4	100,2	27,9	0,01		
К (ул. Чкалова)	1,2	1,7	7,1	0,7	0,5	12,1	23,4	критическая
К (пр. Дзержинского)	1,3	1,9	8,5	0,6	0,6	14,8	27,7	критическая
К (ул. Терешковой)	1,6	2,7	9,2	0,4	0,5	18,4	32,8	чрезвычайная
К (ул. Шевченко)	0,9	0,9	7,9	0,8	0,6	9,3	20,4	критическая
К (ул. С. Лазо)	0,9	0,7	7,8	0,8	0,8	5,4	16,3	критическая
К (ул. Одесская)	0,9	0,9	8,8	0,8	0,5	9,9	21,8	критическая

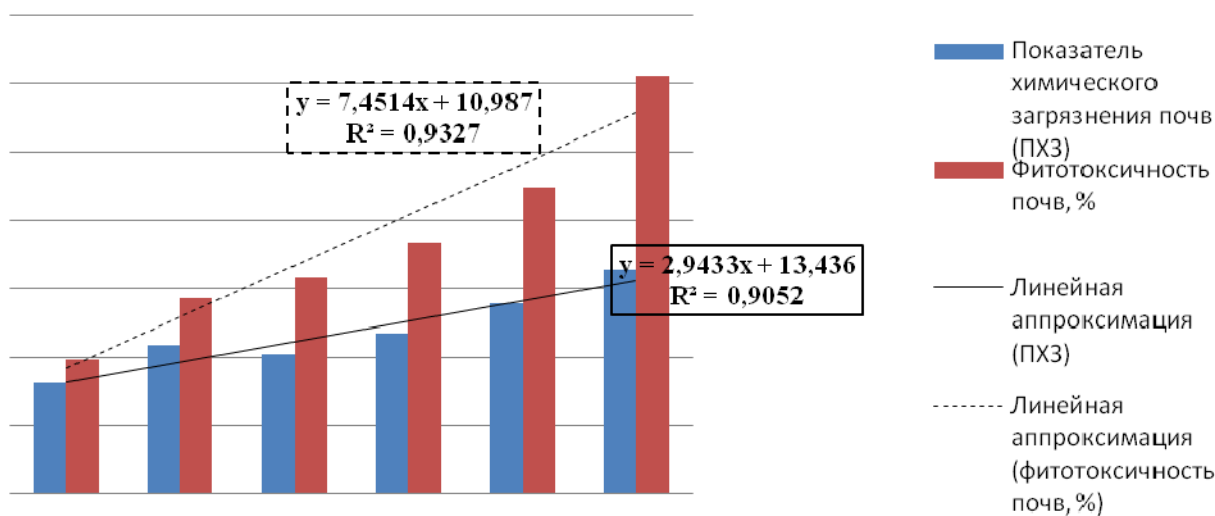


Рисунок 3

Экологическая оценка уровня загрязнения почвенного покрова придорожных территорий г. Оренбурга: 1 – ул. С. Лазо; 2 – ул. Одесская; 3 – ул. Шевченко; 4 – ул. Чкалова; 5 – пр. Дзержинского; 6 – ул. Терешковой

**Выводы.** По результатам проведенных исследований почвенного покрова придорожных территорий г. Оренбурга выявлено, что их загрязнение сопряжено с увеличением степени фитотоксичности, замедлением роста семян тест-культур и увеличением доли не проросших семян. Главными загрязнителями на участках придорожных территорий являются ионы цинка и хлорид-ионы.

Наиболее неблагоприятная (чрезвычайная) экологическая ситуация наблюдается на улице Терешковой, остальные улицы характеризуются критической экологической ситуацией, а почвы улицы С. Лазо имеют наименьшую степень фитотоксичности.

#### Библиографический список

1. Горбунов, В.В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания [Текст] / В.В. Горбунов,

Н.Н. Патрахальцев. М.: Российский университет дружбы народов, 1998. 215 с.

2. Шорина, Т.С. Оценка экологического состояния почвенного покрова придорожных территорий г. Оренбурга [Текст] / Т.С. Шорина, А.В. Тесля, А.В. Попов // Вестник ОГУ. № 6 (142). 2012. С. 106–108.

3. Шорина, Т.С. Влияние автомобильного транспорта на свойства почв придорожных территорий г. Оренбурга [Текст] / Т.С. Шорина, А.В. Попов, Б.С. Укенов // Вестник ОГУ. № 6 (155). 2013. С. 134–137.

4. Шеин, Е.В. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв [Текст] / Е.В. Шеин. М.: Московский университет, 2001. 198 с.

5. Воробьева, Л.А. Химический анализ почв [Текст]: учеб. для вузов / Л.А. Воробьева. М.: МГУ, 1998. 272 с.

6. ГОСТ 12038М84. Семена сельскохозяйственных культур. Метод определения всхожести [Текст]. Взамен ГОСТ 12038М66. Введ. с 1986 М01М07. М.: Издательство стандартов, 1985. 57 с.

#### *Сведения об авторах*

1. **Воеводина Татьяна Сергеевна**, кандидат биологических наук, доцент кафедры общей биологии. Оренбургский государственный университет. 460000, г. Оренбург, пр. Победы, 13; тел. 8 (3532) 372480; e-mail: tanusha852@rambler.ru.

2. **Русанов Александр Михайлович**, доктор биологических наук, профессор, декан химико-биологического факультета. Оренбургский государственный университет. 460000, г. Оренбург, пр. Победы, 13; тел. 8 (3532) 372480; e-mail: soilec@esoo.ru.

3. **Сулейманов Руслан Римович**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории почвоведения. Учреждение РАН Институт биологии УНЦ РАН. 450054, г. Уфа, пр. Октября, 69; тел. 8 (347) 2355362; e-mail: soils@mail.ru.

В статье приведены результаты оценки уровня загрязнения почв придорожных территорий г. Оренбурга методами фитоиндикации (определение фитотоксичности почв), химического анализа почв на содержание загрязняющих веществ и исследования рН почв. Загрязнение почв сопряжено с увеличением степени фитотоксичности, замедлением роста семян тест-культур (использовались семена универсального индикатора – кресс-салата *Lepidiumsativum*) и увеличением доли не проросших семян. Нарастание фитотоксич-

ности почв происходит по мере увеличения транспортного потока и количества пробок. Отмечено влияние загрязнения почв автотранспортом на снижение числа проростков длиной более 10 см и увеличение количества проростков длиной стебля 5–10 см и < 5 см. Прослеживается тенденция увеличения количества не проросших семян при возрастании фитотоксичности. Главными загрязнителями на участках придорожных территорий являются ионы цинка и хлорид-ионы.

T. Voevodina, A. Rusanov, R. Suleymanov

#### **ASSESSMENT OF PHYTOTOXICITY AND LEVEL OF CHEMICAL CONTAMINATION OF SOILS OF ORENBURG ROADSIDE AREA**

***Key words: soil contamination; roadside area; phytotoxicity; environmental assessment.***

#### ***Author's personal details***

1. **Voevodina Tat'yana**, Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor of the General Biology Chair. Orenburg State University. 13, Prospect Pobedy St., Orenburg, 460000. Phone: 8 (3532) 372480. E-mail: tanusha852@rambler.ru.

2. **Rusanov Aleksandr**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Dean of the Chemical and Biological Faculty. Orenburg State University. 13, Prospect Pobedy St., Orenburg, 460000. Phone: 8 (3532) 372480. E-mail: soilec@esoo.ru.

3. **Suleymanov Ruslan**, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher of the Soil Science Laboratory. Russian Academy of Sciences Institution «Institute of Biology of Ufa Scientific Centre of Russian Academy of Sciences». 69, Prospect Oktyabrya St., Ufa, 450054. Phone: 8 (347) 2355362. E-mail: soils@mail.ru.

The purpose of this work is reduced to the study of roadside areas soils of the city with the most informative methods of environmental monitoring and evaluation of their pollution levels. The chosen method of assessing the level of pollution of soils

adjacent to highways was a phytoindication method (determination of soil phytotoxicity) and the methods of chemical analysis of soils on the content of pollutants, and the study of soil pH.

© Воеводина Т.С., Русанов А.М., Сулейманов Р.Р.