

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ РОЛЬ АВТОТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ¹

© 2005 Н.В. Прохорова²

В статье рассматривается эколого-геохимическая роль автодорожных геотехнических систем в условиях крупного города. На примере г. Самары показан вклад автотранспорта в геохимическую трансформацию почвенного покрова.

Введение

Одной из важнейших экологических проблем современности является техногенная трансформация экосистем под воздействием автотранспорта и связанной с его функционированием инфраструктуры, которую в совокупности с элементами отчуждаемой ими природной среды можно рассматривать как автодорожную геотехническую систему [4]. С экологической точки зрения основная особенность таких систем проявляется в том, что собственное им негативное влияние на природную среду распространяется гораздо шире их фактических размеров.

Любая автодорожная геотехническая система состоит из двух групп технических средств: стационарной и подвижной. Между ними существует зависимость, которая определяется статусом дороги: чем выше этот статус, тем больший поток автомобилей она пропускает. В зависимости от интенсивности движения и технических характеристик автомобилей дороги делят на 5 основных категорий (табл. 1).

Высшим техническим категориям (I и II), как правило, соответствуют автомобильные дороги государственного и федерального уровня, III и IV категориям — дороги краевого (областного) и районного значения, V категория — дороги местного значения [1]. Чем выше статус дороги, тем существеннее ее роль в эколого-геохимической трансформации природной среды.

¹Представлена доктором биологических наук, профессором Н.М. Матвеевым.

²Прохорова Наталья Владимировна (ecology@ssu.samara.ru), кафедра экологии, ботаники и охраны природы Самарского государственного университета, 443011, Россия, Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

Таблица 1

Классификация автомобильных дорог по техническим параметрам [1]

Параметры дороги	Технические категории дороги				
	I	II	III	IV	V
Среднесуточная интенсивность движения в обоих направлениях, единиц	> 7000	7000–3000	3000–1000	1000–200	< 200
Расчетная скорость, км/час	> 150	120	100	80	60
Ширина проезжей части, м	15 и >	7,5	7,0	6,0	4,5
Ширина полосы движения, м	3,75	3,75	3,5	3,0	2,5

Во взаимоотношениях с природной средой автодорожные геотехнические системы проявляют некоторые очень важные с эколого-геохимической точки зрения особенности. Это, прежде всего, четко выраженный разделяющий (барьерный) эффект, который влияет на перераспределение поверхностного и подземного стока, препятствует перемещению вещества в природных комплексах, может выступать границей ареала распространения некоторых животных и растений. Они выполняют также роль проводников (или каналов) распространения растений, животных, насекомых и, конечно же, различных химических веществ [5].

Эколого-геохимическая роль одного отдельно взятого транспортного средства незначительна, но при постоянной повторяемости такого воздействия, которое при современном количестве транспортных средств становится почти непрерывным, она многократно возрастает, ее экологическое воздействие уже не может игнорироваться. Транспортный поток превращается в постоянно действующий источник техногенного вещества, значительную часть которого составляют тяжелые металлы: свинец, железо, цинк, медь, ванадий, молибден, никель, хром, кадмий [10]. Особенно ярко подобные эффекты проявляются в зонах наибольшей скученности разнообразных транспортных средств, прежде всего, в крупных промышленных городах. Показано, что ширина зон свинцовых аномалий в городских почвах может достигать 100 м от полотна дороги [13].

Город Самара — крупный промышленный центр с высокой степенью обеспеченности автотранспортом и, соответственно, развитой транспортной инфраструктурой: автотранспортные магистрали федерального и областного значения, предприятия автосервиса, автозаправочные станции. Установлено, что количественные характеристики автотранспортного загрязнения в целом по Самарской области находятся в прямой зависимости от численности транспортных средств и объемов используемого топлива [13].

Состояние атмосферного воздуха в г. Самаре постоянно контролируется соответствующими службами, в том числе отслеживается и автотранспортная составляющая, результаты мониторинга в той или иной форме появляются в печати [6]. Поэтому о геохимии атмосферы города можно судить вполне объективно. На этом фоне эколого-геохимические особенности городских почв можно считать вообще не изученными, во всяком случае данные

о загрязнении почвенного покрова г. Самары в печати появляются чрезвычайно редко, территориальный охват при этом обычно фрагментарен [2]. Объективных данных о влиянии на городские почвы автотранспорта практически нет.

В связи с этим целью наших исследований было изучение эколого-геохимического состояния почв придорожных зон крупных автотранспортных магистралей в некоторых районах г. Самары.

1. Объекты и методы исследований

Объектами наших исследований служили почвы придорожных зон автотрасс по Московскому шоссе, ул. Стара-Загора и Демократическая. В качестве контроля использовали почвы городского двора и дачного участка, расположенного в Красноярском районе Самарской области.

Для оценки напряженности движения подсчитывали количество единиц автотранспорта разного типа, проходящего за 1 час в наиболее активное время суток (13–00) по каждой из магистралей.

В определенных участках, в среднем отражающих условия в зоне влияния изучаемых автомагистралей, перпендикулярно полотну дороги закладывали эколого-геохимический профиль длиной 100 м. В его пределах визуально и лабораторно изучали состояние почв.

Для изучения эколого-геохимического состояния почв в зоне влияния автотрасс отбирали почвенные образцы, начиная с 1 м от полотна дороги и далее через каждые 10 м до 100 м включительно. Почвы для лабораторного анализа брали из слоя 0–10 см.

В лаборатории в каждой почвенной пробе определяли pH водный с помощью иономера ЭВ-74, содержание гумуса по Никитину, ионов Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} полуколичественным методом из водной вытяжки, углеводов — методом ИК-спектроскопии. Количественное определение кислоторастворимых форм тяжелых металлов (1н HNO_3) осуществляли атомно-адсорбционной спектроскопией. Относительную токсичность почв оценивали методом биотестирования на проростках кресс-салата.

2. Результаты и их обсуждение

Прежде чем приступить к изучению почвенного покрова, мы провели оценку напряженности транспортного потока и особенностей состава транспортных средств для каждой из изучаемых автомагистралей. Результаты этой оценки представлены в табл. 2. Они отражают автотранспортную составляющую в общей техногенной нагрузке на изучаемые территории.

Анализ полученных данных показал, что максимальная доля в составе автотранспортных потоков на всех изученных магистралях принадлежит

Таблица 2

**Количественная и качественная характеристика напряженности
автотранспортного потока на Московском шоссе,
ул. Демократическая и Стара-Загора, единиц/час**

Улица	Легковые автомобили	Грузовые автомобили	Автобусы	Микро- автобусы	Всего за 1 час
Московское шоссе	2340	240	90	210	2880
Демократическая	1240	103	56	130	1529
Стара-Загора	1980	180	75	165	2400

легковым автомобилям; на порядок меньше грузовых автомобилей и пассажирского транспорта. Наибольшее количество автотранспортных средств всех типов характерно для Московского шоссе, среднее положение занимает ул. Стара-Загора, минимальные показатели выявлены на автотрассе по ул. Демократической. Вместе с тем по количественным характеристикам транспортных потоков все три магистрали могут быть отнесены к дорогам первой (высшей) категории, что определяет степень их экологической опасности.

Большинство анализируемых почвенных проб представляли собой легкий и средний суглинок, за исключением почв, отобранных на расстоянии 100 м от полотна дороги на Московском шоссе и ул. Демократической, а также в городском дворе, которые по результатам исследований были отнесены к тяжелым суглинкам.

Тенденция к защелачиванию почв крупных промышленных центров наглядно проявилась и в почвах г. Самары. Подавляющее большинство изученных почвенных образцов были слабощелочными с варьированием показателя рН водного от 7,4 до 8,45. Причем в меньшей степени щелочной характер почвы был выражен на ул. Стара-Загора и на фоновом дачном участке.

Важной химической и агрохимической характеристикой почв является их гумусированность, но в условиях города почвы утрачивают естественные черты из-за техногенного подавления процессов почвообразования. Поэтому существующие методы определения гумуса отражают не столько собственно гумусированность городских почв, сколько общее содержание углерода в них, в составе которого существенна техногенная составляющая (углеводороды топлива, смазочные масла и др.).

В почвах зоны влияния изучаемых автотрасс в г. Самаре выявлена только одна общая закономерность в накоплении углерода — максимальные показатели характерны для почв, отобранных на расстоянии 1 м от дороги (от 4,5% на Московском шоссе до 5,3% на ул. Стара-Загора). Причем на фоне значительной вариабельности данного показателя на эколого-геохимическом профиле по Московскому шоссе и ул. Демократической (от 1 до 6%), на ул. Стара-Загора он практически стабилен по всему горизонтальному профилю от 1 до 100 м (от 4,8 до 5,3%). Повышение содержания

углерода в почвах участков, удаленных от полотна изучаемых дорог на 90–100 м, может быть связано с созданием газонов на насыпном грунте, а также с наличием стационарных и временных автостоянок вдоль фасадов домов (рис. 1).

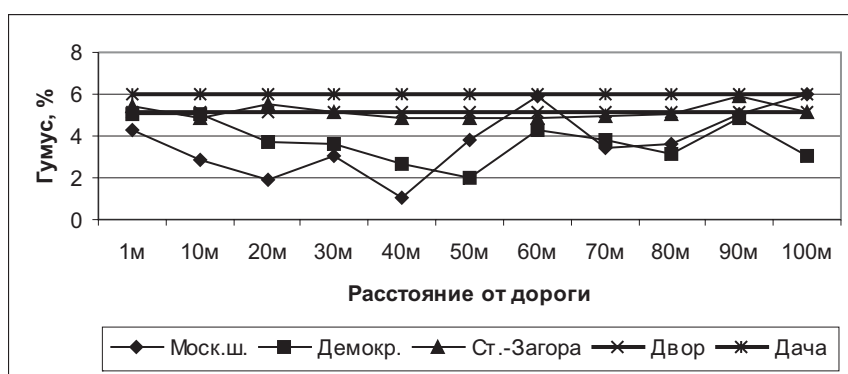


Рис. 1. Распределение гумуса в почвах придорожных зон в г. Самаре

Относительно высокий показатель накопления углерода в непосредственной близости от полотна дорог свидетельствует об автотранспортном привнесении углеродсодержащих компонентов в почвы придорожных зон. Кроме того, полученные данные показывают достаточно слабое распространение органической составляющей автотранспортного загрязнения на более дальние расстояния от дороги и их активную сорбцию компонентами почвогрунтов.

Для более аргументированного подтверждения этого вывода было проведено исследование количественного накопления углеводов в почвах, отобранных на расстоянии 1, 50 и 100 м от полотна каждой из автодорог, а также в городском дворе и на дачном участке (табл. 3).

Таблица 3

Суммарное содержание углеводов в почвах придорожных зон и контрольных участков, мг/кг воздушно-сухой почвы

Вариант	1 м	50 м	100 м
Московское шоссе	921,0	750,0	700,0
Ул. Стара-Загора	900,0	810,0	720,0
Ул. Демократическая	1000,0	710,0	620,0
Городской двор	380,0		
Дача	450,0		

Как видно из табл. 3, максимальное содержание суммы углеводов в почвах характерно для участков, непосредственно примыкающих к полотну дорог. По мере удаления от дороги показатель достоверно снижается. Городские дворы и почвы дачных загородных участков содержат в 2–2,5 ра-

за меньше углеводов, чем почвы придорожных зон, что подтверждает мнение о том, что углерод городских почв в значительной мере техногенен и большая его часть является результатом автотранспортного загрязнения.

Анализ содержания в почвах придорожных зон неорганических ионов (Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+}) показал, что накопление ионов Ca^{2+} не связано с автотранспортным загрязнением и положительно коррелирует с общей карбонатностью почвенного покрова города. Распределение ионов Cl^- и SO_4^{2-} в верхнем слое почв придорожных зон, наоборот, выявило высокую вероятность автотранспортной составляющей, так как максимальное их содержание приходится на зону, шириной 30–50 м от полотна каждой из изученных дорог с выраженным максимумом в примыкающей к дороге 10-метровой зоне.

Ионы Cl^- , вероятнее всего, поступают в почвы с талыми водами весной после зимней обработки дорог и придорожных тротуаров химическими средствами против гололеда, существенную часть которых составляет NaCl . Ионы SO_4^{2-} непосредственно входят в состав автотранспортного загрязнения, а также являются одной из составляющих общего техногенного загрязнения городской среды.

Известно, что с потоками автотранспортного загрязнения в окружающую среду поступают не только углеводороды, пыль, окислы азота, углерода и серы, но и тяжелые металлы [3]. Для придорожных зон г. Самары этот аспект был изучен слабо, что и стало основанием для более детальных исследований, в ходе которых методом атомно-адсорбционной спектроскопии во всех отобранных почвенных образцах определяли концентрацию кислоторастворимых форм Pb , Cu , Zn , Cd , Ni , Cr (рис. 2).

Свинец. ПДК подвижной формы Pb для почв составляет 6 мг/кг [12]. Как видно из рис. 2, во всех почвенных образцах содержание Pb значительно выше или равно ПДК. Сравнение полученных данных с установленным нами ранее региональным фоновым уровнем содержания кислоторастворимого Pb в почвенном покрове Самарской области (2 мг/кг) [11] показывает техногенное происхождение его в почвах города с коэффициентом техногенности от 3,85 до 18,2. Общий характер полученных кривых демонстрирует наиболее активное накопление Pb городскими почвами на расстоянии 1 м от полотна изученных дорог. Значительные повышения концентрации Pb выявлены и на расстоянии 70–80 м от дороги по ул. Стара-Загора и Московскому шоссе, что, скорее всего, связано с наличием в этих зонах временных автомобильных стоянок у фасадов жилых домов и административных зданий.

Медь. ПДК подвижной формы Cu для почв равна 3 мг/кг [12]. Как и в случае со Pb , содержание Cu в почвах придорожных зон в городе Самаре значительно превышает ПДК — в 2,5–11 раз. Максимальное содержание Cu установлено в почвах, отобранных в 1 м от полотна дорог по ул. Стара-Загора и Московскому шоссе, а также в придорожной полосе 1–10 м на ул. Демократической. Еще один пик концентрации Cu выявлен в почве участ-

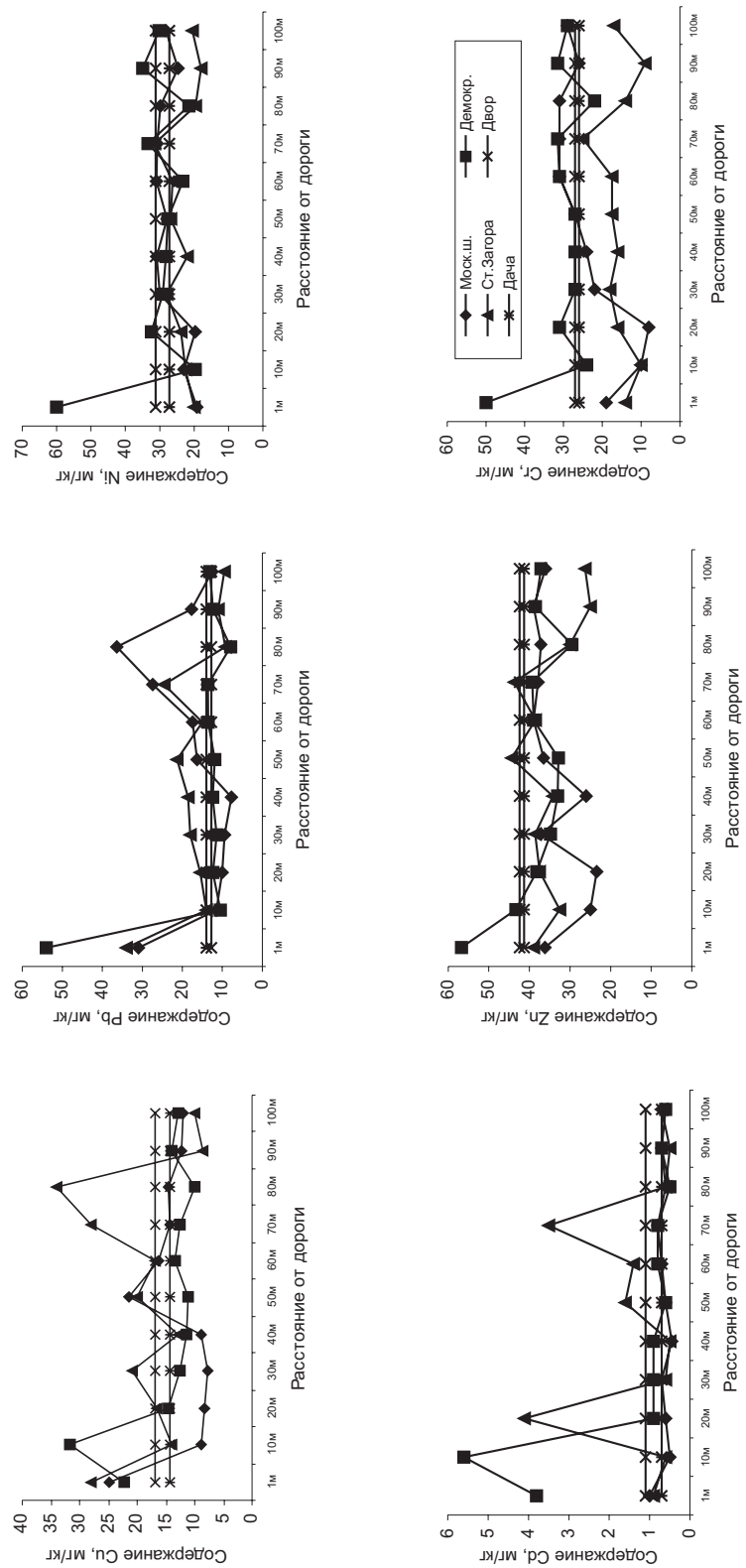


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов в почвах придорожных зон г. Самары и контрольных участков

ков на расстоянии 70–80 м от полотна дороги на ул. Стара-Загора, где располагается временная стоянка автотранспорта (рис. 2).

Цинк. ПДК подвижной формы Zn для почв составляет 23 мг/кг [12]. Во всех изученных образцах содержание Zn выше или равно ПДК. Сравнение с региональным фоновым уровнем содержания кислоторастворимого Zn показало наличие техногенной составляющей в почвах придорожных зон города Самары с коэффициентом техногенности от 1,5 до 3,4. Анализ кривых изменения содержания Zn в зависимости от расстояния до полотна дороги демонстрирует более равномерный характер его распределения в почвах придорожных зон. Повышение содержания Zn в почвах участков, непосредственно примыкающих к дороге (на расстоянии 1 м), в определенной степени проявилось, но особенно ярко — на ул. Демократической (рис. 2).

Кадмий. ПДК подвижной формы Cd для почв составляет 3 мг/кг [12]. В большинстве проанализированных почвенных образцов концентрация Cd не достигает уровня ПДК. Исключение составляют участки на расстоянии 1 и 10 м от дороги по ул. Демократической, а также на расстоянии 20 и 70 м — по ул. Стара-Загора (рис. 2).

Никель. ПДК подвижной формы Ni для почв составляет 4 мг/кг [12], что в 4,5–15 раз ниже выявленных нами концентраций кислоторастворимых форм данного элемента в придорожных зонах города Самары (рис. 2). Превышение ПДК характерно для всех обследованных участков, при этом не являются исключением почвы городского двора и загородного дачного участка. Значительное повышение концентрации Ni в непосредственной близости от полотна дороги установлено только на ул. Демократической. В целом же Ni достаточно равномерно распределяется в почвах придорожных зон.

Хром. ПДК подвижной формы Cr для почв составляет 6 мг/кг [12]. Региональный фоновый уровень содержания подвижного Cr равен 36 мг/кг [11]. Содержание Cr в изученных нами почвах равно региональному фону или несколько уступает ему. ПДК в той или иной степени превышена в почвах всех изученных участков с максимальным содержанием в придорожной зоне на ул. Демократической. Пик концентрации Cr выявлен здесь (50 мг/кг) в непосредственной близости от полотна дороги. На ул. Стара-Загора и Московском шоссе концентрация Cr слабо повышается по мере удаления от дороги (рис. 2).

Несомненная зависимость от автотранспортного загрязнения характерна для Pb и Cu, несколько слабее она прослеживается в отношении Zn, Cd и Cr. Накопление Ni демонстрирует связь с автотранспортным загрязнением только на ул. Демократической. Характерно, что автотранспорт является ведущим фактором загрязнения придорожной зоны именно этой магистрали всеми изученными тяжелыми металлами. Содержание тяжелых металлов в почвах городского двора и дачного участка в основном близко к их среднему содержанию в почвах изученных придорожных зон (табл. 4).

Несколько выше этого среднего уровня дворовые и дачные показатели для Zn и Cr.

Таблица 4

**Усредненные показатели содержания тяжелых металлов в почвах
придорожных зон и контрольных участков, мг/кг**

Элемент	Московское шоссе	Демократическая	Стара-Загора	Городской двор	Дача
Pb	17,94±2,88	15,72±3,86	17,32±2,20	12,70	14,00
Cu	13,61±1,70	15,12±1,91	19,11±2,43	16,90	14,30
Zn	33,94±1,80	38,39±2,16	35,43±1,95	42,40	41,30
Cd	0,67±0,04	1,46±0,50	1,36±0,38	1,10	0,70
Ni	26,83±1,34	30,95±3,25	23,54±1,25	31,20	27,20
Cr	23,45±2,45	30,09±2,20	15,81±1,29	27,00	26,00

Обращает на себя внимание тот факт, что концентрации кислоторастворимых форм всех изученных элементов в почвах дачи и городского двора различаются незначительно на фоне их существенного варьирования в почвах придорожных зон. В качестве примера можно привести данные по варьированию содержания Pb как наиболее "транспортно зависимого" загрязняющего элемента в почвах города Самары. В почвах двора и дачи его содержание составляет 12,7 и 14,0 мг/кг соответственно, а в почвах придорожных зон оно изменяется от 7,7 до 54,0 мг/кг. Такая зависимость сохраняется и для всех других изученных тяжелых металлов, что ясно прослеживается на кривых рис. 2.

В целом высокая вариабельность концентраций тяжелых металлов в почвах — давно установленный факт [7–9], что объясняется высокой гетерогенностью почвенной среды и факторов, влияющих на химический состав почв. В крупных промышленных городах с развитой сетью автотранспорта эта гетерогенность неизмеримо выше, чем в природных условиях. Городской двор и дачный участок не могут претендовать на сходство с естественными экосистемами, но, тем не менее, давление техногенного пресса, в том числе и автотранспорта, там сглажено и условия более выровненные, хотя бы из-за относительно небольших размеров таких участков.

Количественные показатели накопления тех или иных загрязнителей в почве не всегда являются достаточными для оценки степени ее деградации и пригодности для выращивания растений. В этом плане более информативна реакция самих растений, которые используются в качестве биотестов токсичности почв. Относительная токсичность исследуемых нами почв была определена методом биотестирования на проростках кресс-салата.

На рис. 3 показано изменение относительной токсичности почв придорожных зон в зависимости от расстояния до полотна дороги, оцениваемое по изменению длины корней проростков кресс-салата на фоне контрольных вариантов (почвы городского двора и дачи). Показано процентное отношение длины корней во всех опытных вариантах к "чистому" контролю (дистиллированная вода). Для всех изученных автотрасс максимальная ток-

сичность почв проявляется на минимальном расстоянии до дороги, в нашем случае — 1 м.

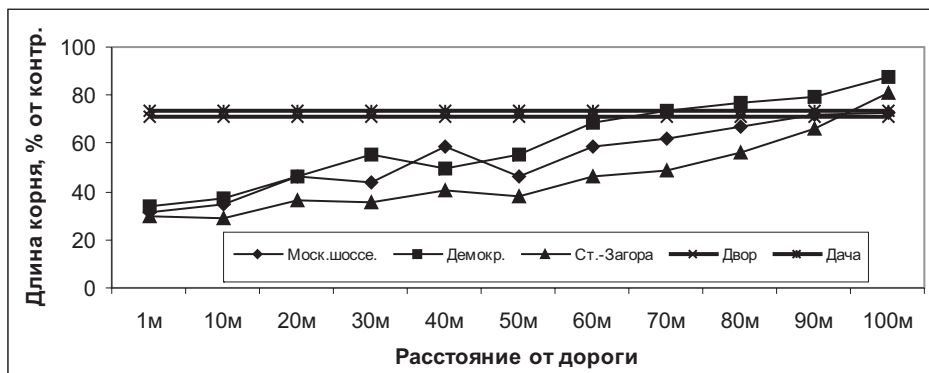


Рис. 3. Оценка относительной токсичности почв по изменению длины корня проростков кресс-салата

Достаточно токсичны почвы на расстоянии 10 и 20 м от дороги, далее, по мере удаления от трассы, токсичность почв падает и на расстоянии 90 м сравнивается с показателями городского двора и дачи, но не достигает уровня "чистого" контроля, принятого за 100%.

Эксперимент показывает, что токсичность почв трех изученных придорожных зон различается. Наиболее токсичны почвы по улице Стара-Загора. Почвы 20-метровой зоны экологических профилей по ул. Демократическая и Московскому шоссе характеризуются близкой токсичностью, а на более удаленных от полотна дорог участках токсичнее почвы на Московском шоссе. Улица Стара-Загора, по сравнению с другими изученными трассами, лучше озеленена, что, возможно, препятствует рассеянию загрязняющих веществ, задерживает их в пределах, ограниченных застройкой, что и способствует усилению токсичности почв. Токсичность почв городского двора и загородного дачного участка минимальна и близка к уровню "чистого" контроля, что в совокупности с вышеприведенными данными о загрязнении подтверждает негативную роль автотранспорта в деградации городских почв, в том числе и в г. Самаре.

Выводы

Автодорожные геотехнические системы ответственны за загрязнение городских почв хлоридами, сульфатами, тяжелыми металлами и углеводородами.

Наиболее интенсивное загрязнение всеми перечисленными ингредиентами наблюдается в придорожных зонах, особенно в 10–30-метровой полосе, примыкающей к полотну дороги.

Крупные автомагистрали в г. Самаре сходны по своему эколого-геохимическому воздействию на почвенный покров, но зона негативного влияния дороги на Московском шоссе шире, чем на ул. Стара-Загора и Демократическая.

Литература

- [1] Аксенов Н.Я. Единая транспортная система: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1991. 383 с.
- [2] Бажанова Л.М., Прокопенко И.В. Тяжелые металлы в техногенных почвах как показатель состояния экологической среды // Самарская Лука. Бюлл. Самара. 2002. №12. С. 244–248.
- [3] Воздействие выбросов автотранспорта на природную среду. Рига: Зинатне, 1989. 140 с.
- [4] Дьяконов К.Н. Становление концепции геотехнической системы // Вопросы географии. Т. 108. М.: Мысль, 1978. С. 45–63.
- [5] Геоэкологические основы территориального проектирования и планирования. М.: Наука, 1989. 144 с.
- [6] Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Самарской области в 1997 году. Экологическая безопасность и устойчивое развитие Самарской области. Вып. 7. Самара, 1998. 95 с.
- [7] Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе "почва–растение". Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
- [8] Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 229 с.
- [9] Кабата-Пендиас А, Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
- [10] Ложкин В.Н. Загрязнение атмосферы автомобильным транспортом: Справочно-методическое пособие. СПб.: НПК "Атмосфера", 2001. 297 с.
- [11] Матвеев Н.М., Павловский В.А., Прохорова Н.В. Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Изд-во "Самарский университет", 1997. 215 с.
- [12] Нормативные данные по предельно допустимым уровням загрязнения вредными веществами объектов окружающей среды. Справочный материал. СПб., 1993. 233 с.
- [13] Экологическая ситуация в Самарской области: состояние и прогноз. Тольятти, 1994. 326 с.

Поступила в редакцию 25/IV/2005;
в окончательном варианте — 25/IV/2005.

BIOGEOCHEMICAL EFFECT OF AUTOMOBILE TRANSPORT IN URBAN ENVIRONMENT CONDITIONS³

© 2005 N.V. Prokhorova⁴

The ecological effect of automobile road geotechnical systems under urban conditions is discussed. By using Samara city as an example the effect of automobile transport in geochemical transformation on soil cover is shown.

Paper received 25/IV/2005.

Paper accepted 25/IV/2005.

³Communicated by Dr. Sci. (Biology) Prof. N.M. Matveyev.

⁴Prokhorova Natalia Vladimirovna, Dept. of Ecology, Botany and Environmental Protection, Samara State University, Samara, 443011, Russia.