

© 2007 Л.С. Ермолаева*, Н.В.Строкина*,

Н.В. Прохорова**

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ БОТАНИЧЕСКОГО САДА САМАРСКОГО ГОСУНИВЕРСИТЕТА

В статье рассматриваются результаты эколого-биогеохимических исследований, проведенных на территории ботанического сада Самарского государственного университета и позволивших выявить уровень накопления тяжелых металлов в почвах и растениях данной территории.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почва, растения, Самарский ботанический сад.

Ermolayeva L.S., Strokina N.V., Prokhorova N.V. HEAVY METALS IN SOILS AND PLANTS OF SAMARA STATE UNIVERSITY BOTANICAL GARDEN.

In clause the results ecology-geochemical of the researches carried out in territory of a botanical garden Samara state university and which have allowed to reveal a level of accumulation of heavy metals in grounds and plants the given territory are considered.

Key words: heavy metals, ground, plants, Samara botanical garden.

ВВЕДЕНИЕ

Характер эколого-биогеохимической трансформации городской среды во многом определяется ее выраженной гетерогенностью, в формировании которой особенно заметна роль зеленых насаждений, которые перераспределяют и аккумулируют токсиканты, тем самым, выступая в качестве барьера на пути их распространения. В г. Самаре до последнего времени эта роль системы озеленения в достаточной степени не была изучена. Поэтому в качестве модели для наших исследований был выбран ботанический сад Самарского государственного университета (СамГУ), представляющий собой не просто огромный парк, но и учебно-исследовательское учреждение, в котором уже на протяжении 75 лет ведутся работы по интродукции и акклиматизации растений разных континентов и природных зон.

Ботанический сад СамГУ расположен в Октябрьском районе г. Самары, его площадь составляет 39,6 га. За время своего существования эта территория постоянно испытывала существенное техногенное воздействие,

* Ботанический сад Самарского государственного университета, г. Самара.

** Самарский государственный университет, г. Самара.

особенно сильное со стороны самой крупной транспортной магистрали города, проходящей по ул. Московское шоссе и примыкающей к восточной стороне ботанического сада. Кроме того, источниками загрязнения атмосферы в Октябрьском районе являются ЗАО «СПЗ-4», ГПП «Завод им. Масленникова», автотранспортные предприятия, ОАО «Завод имени Тарасова», ОАО «Самарское производство силикатного кирпича», которые также могут быть поставщиками загрязнителей для его территории.

УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Среди многообразия токсичных веществ, поступающих в атмосферу и почвы г. Самары, нами были выбраны тяжелые металлы, доля которых в техногенных потоках загрязнения Октябрьского района весьма существенна. Экспериментальные эколого-биогеохимические исследования на территории ботанического сада СамГУ проводились нами в период 2005-2006 гг. на 8-10 модельных участках (элементарных ландшафтах), при выделении которых исходили из экологического сходства и контрастности местности, учитывали рельеф, режим увлажнения, характер почвенного покрова, фитоценологические условия, хозяйственное использование участков и направление техногенных потоков загрязнения (рис. 1).

Особенностью территории ботанического сада является разнообразие рельефа (склоны, овраги, пруды, равнинные участки), общий уклон местности направлен от Московского шоссе в сторону р. Волги, что может отражаться на миграции тяжелых металлов в атмосфере и почвенном покрове.

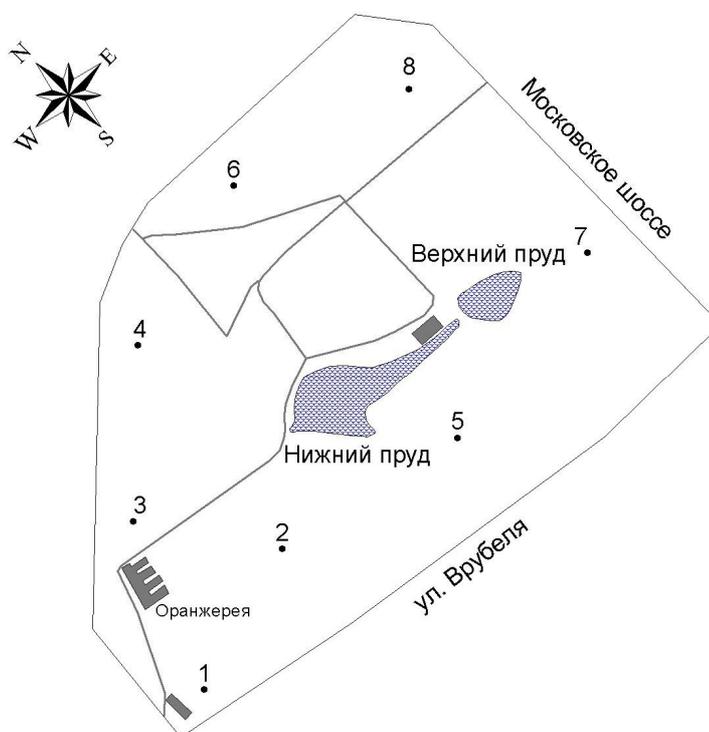


Рис. 1. План-схема ботанического сада с указанием точек отбора растительных образцов

Объектами исследований служили почвы из корнеобитаемого горизонта 10 модельных участков, одновозрастные деревья клёна ясенелистного (*Acer negundo*) и растения цикория обыкновенного (*Cichorium intybus*) в стадии цветения – с 8 модельных участков. Выбор растений-биоиндикаторов определялся их широким распространением не только на исследуемых участках, но и на всей территории г. Самары.

Оценку полиметаллического загрязнения почв района исследований проводили прямым отбором почвенных проб на изучаемой территории с последующим химическим анализом в лаборатории Агрохимслужбы Ульяновской области методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Суммарную аккумуляцию металлов в растительных тканях выявляли с помощью гистохимической дитизоновой реакции, предложенной И.В. Серегиным и В.Б. Ивановым (1997) для модельных экспериментов, а затем успешно опробованной нами в натуральных исследованиях (Прохорова и др., 2003; Прохорова, Воржева, 2004).

Результаты атомно-абсорбционного анализа почв послужили основой для изолинейного компьютерного картирования распределения тяжелых металлов в почвенном покрове ботанического сада, для чего использовали компьютерную программу ArcView GIS 3.2. Полученные картосхемы не только раскрывают пространственные закономерности загрязнения почв ботанического сада тяжелыми металлами, но и позволяют прогнозировать их эколого-геохимические изменения в будущем.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 представлены данные о фоновом содержании валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвенном покрове ботанического сада. Как показал сравнительный анализ, для всех изученных элементов средние величины их валовых и подвижных форм не превышают ПДК.

Известно, что доступность для растений ионов металлов зависит не только от их концентрации в почвах, но и от целого ряда почвенных характеристик (рН, механического состава, карбонатности, гумусированности и др.). В ботаническом саду СамГУ содержание валовых форм тяжелых металлов в верхнем слое почв возрастает с утяжелением их механического состава и увеличением гумусированности при нейтральной или щелочной реакции почвенной среды. В кислой среде большинство металлов более подвижны, чем в нейтральной или щелочной, поэтому на модельных участках у Московского шоссе и у Нижнего пруда, где закисление почв ясно выражено, содержание подвижной формы тяжелых металлов несколько повышается (рис. 2, 3).

Ранее мы оценивали распределение потенциально подвижных кислоторастворимых форм тяжелых металлов в почвенном покрове г. Самары (Прохорова, 2005). Для сравнительного анализа были привлечены данные для разных функциональных зон города – городских улиц с интенсивным движением автотранспорта, промышленных зон, крупных городских парков. Оказалось, что по содержанию кислоторастворимых форм тяжелых

металлов территории города с разной техногенной нагрузкой различаются незначительно. Фактором нивелирования этих показателей, очевидно, являются некоторые свойства городских почво-грунтов и, прежде всего, защелачивание и поступление в них тяжелых металлов в техногенных формах – в виде чистых металлов или сложных сплавов, оксидов, комплексов с техногенной органикой и др. В самом общем плане можно отметить, что в почвах парков преобладают кислоторастворимые Cr, Pb, Ni, в почвах городских автомагистралей (улицы) – Cu, Zn, в почвах промзон – Co.

Таблица 1

Фоновое содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвенном покрове ботанического сада СамГУ

Элемент	n	Валовая форма, мг/кг	Подвижная форма, мг/кг	Подвижность, %
Zn	10	20,90±0,93	6,68±0,25	32,0
Cu	10	12,00±0,69	3,26±0,14	27,2
Pb	10	7,16±0,72	1,31±0,20	18,3
Cd	10	0,42±0,05	0,21±0,02	50,0
Ni	10	14,55±0,71	2,53±0,09	17,4
Cr	10	11,75±0,70	1,37±0,07	11,7

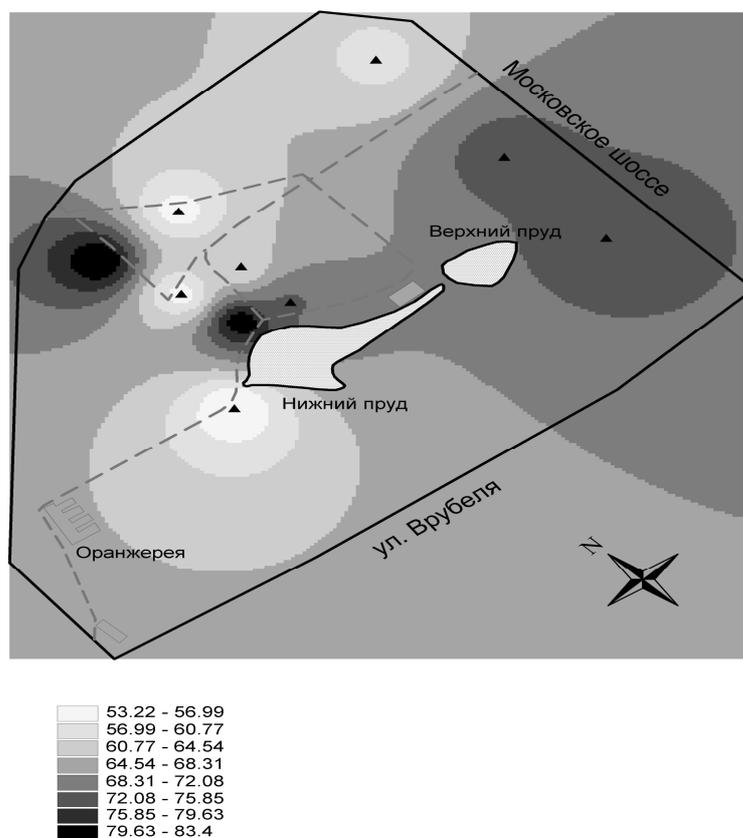


Рис. 2. Суммарное распределение валовых форм тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr) в почвах ботанического сада СамГУ

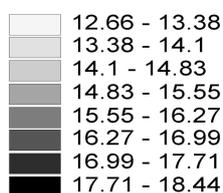
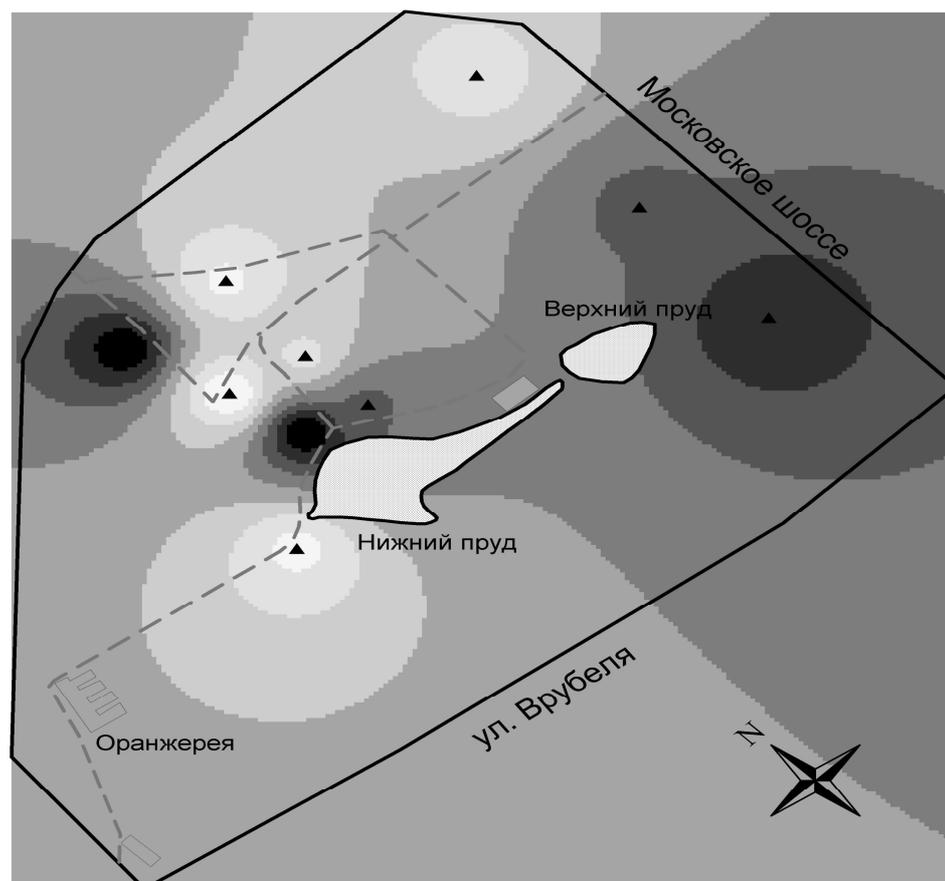


Рис. 3. Суммарное распределение подвижной формы тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr) в почвах ботанического сада СамГУ

Потенциальная подвижность, оцениваемая в процентах от содержания валовых форм, продемонстрировала более дифференцированную картину по разным функциональным зонам города. Это подтверждено и нашими исследованиями в ботаническом саду (рис. 3). При этом анализируемые элементы существенно отличаются по степени подвижности. Максимальная подвижность (до 50%) характерна для Cd, средний уровень - у Zn и Cu (27-32%), более низкая подвижность выявлена у Pb, Ni и Cr (от 11,7 до 18,3%) (табл. 1). Снижение подвижности Pb, Ni и Cr в почвах ботанического сада, возможно, связано с относительно высоким содержанием в них гумуса.

Изолинейное картирование выявило характер пространственного распределения валовых и потенциально подвижных кислоторастворимых

форм всех шести изученных элементов в почвах ботанического сада (рис. 2, 3).

При определенной индивидуальности в распределении каждого элемента, тем не менее, следует отметить преобладание черт несомненного сходства в расположении полей их накопления и рассеяния. Поэтому в данной работе мы не останавливаемся на анализе распределения каждого элемента в отдельности, а анализируем их суммарное распределение в почвах района исследований.

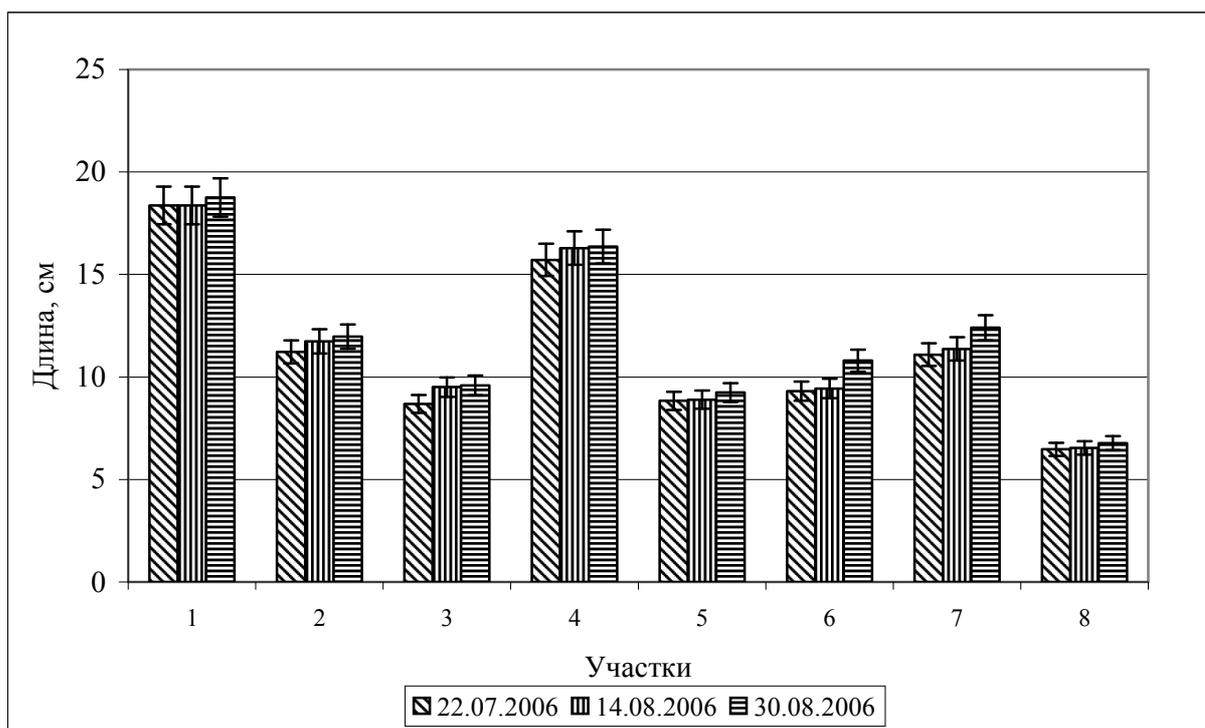


Рис. 4. Динамика длины годичных побегов клёна ясенелистного в вегетационный период 2006 г

Относительно высокие суммарные валовые концентрации анализируемых тяжелых металлов характерны для модельных участков и прилегающих к ним зон, расположенных ближе к Московскому шоссе, что указывает на существенное и преобладающее влияние автотранспорта. Ближе к центру сада содержание тяжелых металлов в целом снижается, но оно максимально в почвах двух локальных участков - рядом с Нижним прудом, и в березовой роще, граничащей с жилым районом в частном секторе. Причинами такого резкого и локального увеличения суммарной концентрации металлов в центральной части ботанического сада является внутренняя автодорога, попадающая в небольшое понижение рельефа возле Нижнего пруда, а также аккумуляция металлов кронами хвойных растений, которые окружают этот участок. Увеличение суммарной валовой концентрации металлов в березовой роще может быть связано с поступлением их из жилого массива и последующей аккумуляцией листовой подстилкой (рис. 2).

Анализ распределения подвижных форм тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr) в почвенном покрове ботанического сада выявил его существенное сходство с распределением валовых форм (рис. 3). Различия касаются суммарных концентраций (валовые существенно выше) и в некоторой степени размеров полей концентрирования и рассеяния металлов. Наиболее освобожденными от тяжелых металлов являются почвы северной части ботанического сада и территории за Нижним прудом в районе производственных и коллекционных участков (рис. 2,3).

Эколого-геохимические особенности почвенного покрова находят свое отражение в морфологическом и биогеохимическом состоянии растений-биоиндикаторов. В условиях ботанического сада СамГУ изучали динамику роста годичных побегов клена ясенелистного в длину и толщину в вегетационном сезоне 2006 г. в зависимости от условий произрастания на 8 модельных участках (рис. 4, 5). На этих же участках отбирали годичные побеги клена для гистохимического анализа суммарного распределения тяжелых металлов в их тканях (табл. 2).

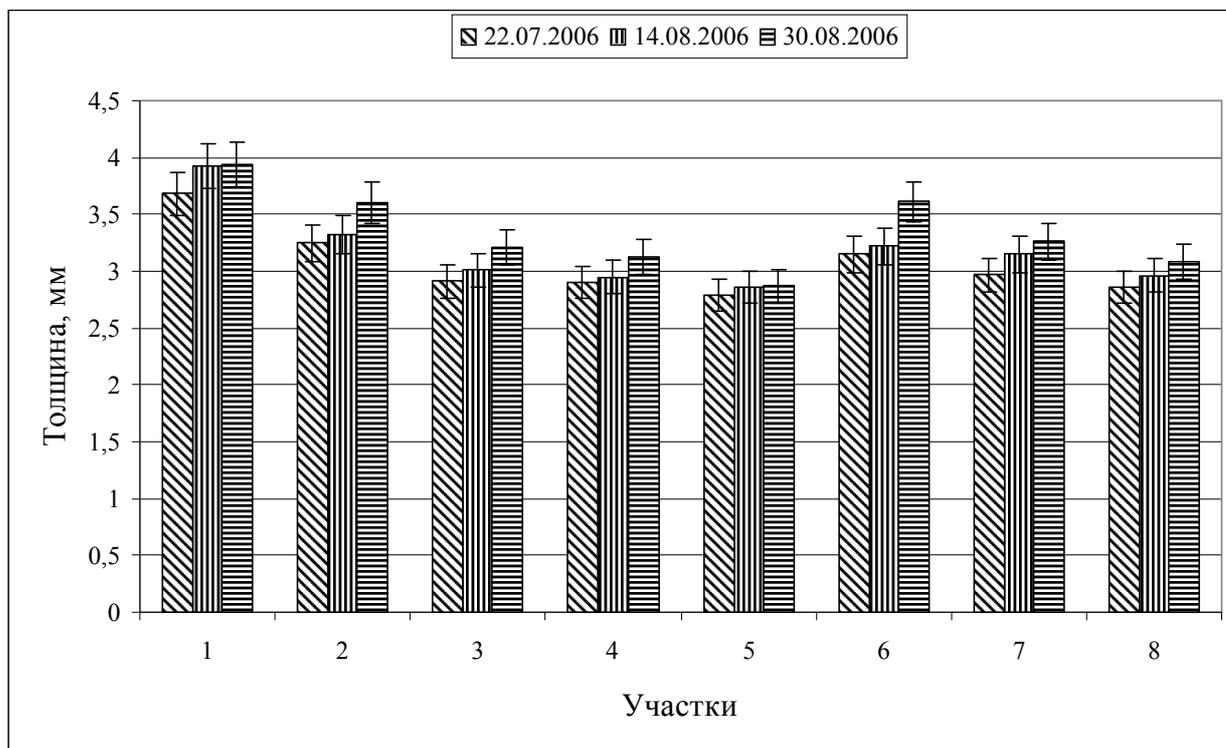


Рис. 5. Динамика толщины годичных побегов клёна ясенелистного в вегетационный период 2006 г.

На всех модельных участках наблюдали закономерное увеличение длины годичных побегов, при этом наибольший прирост был отмечен на участках 3, 6 и 7, где он составил 0,9, 1,5 и 1,3 см соответственно. Наименьший прирост был выявлен на участках 1, 5 и 8. На участках 6 и 7 отмечен скачкообразный рост побегов, у растений с других участков он был

постепенным (рис.1, 4). Самые длинные побеги были характерны для клёнов с участков 1 и 4, самые короткие – с участка 8.

Толщина годовичных побегов клёна ясенелистного в период наблюдений также увеличилась на всех модельных участках. Наиболее интенсивный прирост в толщину за это время был характерен для побегов на участке 6, наименьший - на участке 5 (рис. 1, 5). Самые толстые годовичные побеги были установлены у годовичных побегов с участка 1, самые тонкие – с участка 5.

Таким образом, самые длинные и толстые годовичные побеги образовались у клёна ясенелистного, произрастающего на модельном участке 1, который расположен в наиболее защищенной от техногенных потоков зоне и характеризуется почвами, существенно не загрязненными тяжелыми металлами.

Фитоаккумуляция тяжёлых металлов оценивалась при помощи дитизоновой гистохимической реакции, при этом для более объективной оценки использовали древесные и травянистые растения-биоиндикаторы.

Таблица 2

Распределение тяжелых металлов в тканях годовичных побегов клёна ясенелистного в зависимости от условий произрастания, баллы

Участок	Перидерма	Первичная кора	Лубяные волокна	Флоэма	Ксилема	Перимедуллярная зона	Сердцевина
1	0,17	0,06	0,06	0,44	0,11	0	0,11
2	0	0,22	0	1,78	0,33	0,11	0,06
3	0	0,22	0	2,22	0,67	0	0
4	0,11	0,22	0,11	2,33	0,33	0,11	0,22
5	0,11	0,67	0	1,67	0,22	0,06	0
6	0	0,72	0	1,72	0,39	0	0
7	0	0,33	0	2,22	0,22	0,28	0
8	0,17	0	0	1,72	0,39	0,17	0,17

Годовичные побеги клёна были отобраны в конце августа 2006 г. Гистохимический анализ проводили сразу же в лаборатории экспериментальной ботаники Самарского госуниверситета. Поперечные срезы годовичных побегов обрабатывали дитизоновым реактивом и рассматривали под световым микроскопом, отмечая по 4-балльной шкале интенсивность окраски отдельных тканей (табл.2). Наибольшая концентрация тяжёлых металлов в годовичных побегах клёна на всех участках наблюдалась во флоэме, средняя концентрация - в ксилеме и первичной коре. Ко времени наблюдения наименее нагружены металлами были перидерма, лубяные волокна, перимедуллярная зона и паренхима сердцевин. Больше всего тяжёлых металлов обнаружено в побегах, отобранных с участков 3, 4 и 7. Наиболее интенсивное загрязнение растений, очевидно, происходило аэральным путем, на что указывают высокие концентрации металлов в флоэмном соке (табл. 2). Отсутствие или очень низкое содержание металлов в перидерме объясняется их вымыванием осадками.

Образцы цикория обыкновенного были отобраны на всех 8 модельных участках в начале августа 2006 г. Для гистохимического анализа использовали срезы средней и прикорневой части стебля (табл. 3, 4).

Таблица 3

Распределение тяжелых металлов в тканях средней части стебля цикория в зависимости от условий произрастания, баллы

Участок	Эпидермис	Первичная кора	Колленхима	Хлоренхима	Склеренхима	Флоэма	Ксилема	Сердцевина
1	0	0,67	0,42	0,42	1,75	0,83	1,75	0,42
2	0	0,25	0,33	0	1,5	0,5	1,17	0,5
3	0,75	0	0	0	1,08	0,33	0,17	0
4	0	0,5	0,33	0,17	2,17	1,5	1,5	0
5	0,08	0,25	0,08	0	0,5	0,08	0,08	0
6	0	0,33	0,17	0,8	1	0,33	0,33	0
7	1,17	0,67	0,58	0,5	1,33	0,83	0,83	0
8	0,92	0,75	0,67	0,33	1	0,33	0	0

Таблица 4

Распределение тяжелых металлов в тканях прикорневой части стебля цикория в зависимости от условий произрастания, баллы

Участок	Эпидермис	Первичная кора	Колленхима	Хлоренхима	Склеренхима	Флоэма	Ксилема	Сердцевина
1	0,5	0,5	0	0	1,17	0,17	0,67	0
2	0	0,92	0	0	1,67	0,67	1,17	0
3	0,83	0	0	0	1	1,17	0	0
4	0	0,5	0,33	0,33	2,5	0,67	1,5	0
5	0	0,58	0,08	0	0	0,08	0,17	0
6	0	1	0	0	1,33	0,83	0,33	0,33
7	2,33	1	0,25	0,25	1,83	0,42	1,5	0
8	2,17	1,17	0	0	2	0,33	1,17	0,17

На всех участках концентрация тяжёлых металлов была наибольшей в склеренхимном кольце средней и прикорневой части стебля цикория, наименьшей - в сердцевине и хлоренхиме. Поступление тяжёлых металлов в ткани растений осуществлялось как с восходящим ксилемным (из почвы), так и с нисходящим флоэмным (из атмосферы) током. В целом, в стебель цикория основная масса тяжёлых металлов поступала из почвы, что подтверждалось их относительно высоким содержанием в ксилеме. На участках 7 и 8 высокое содержание металлов в эпидермисе стебля цикория выявляло существенную загрязненность атмосферы на территории ботанического сада, примыкающей к Московскому шоссе (табл. 3, 4).

Наибольшее загрязнение растений тяжёлыми металлами как травянистых, так и древесных наблюдалось на участках 4 и 7, на которых было выявлено максимальное загрязнение почвы. В минимальной степени древесные и травянистые растения аккумулировали тяжелые металлы на участке 1 и 5, где почвы характеризуются средним уровнем их содержания и

защищены древесными посадками от аэрального загрязнения. Относительно высокое содержание тяжелых металлов в флоэме годичных побегов клена на всех участках, кроме участка 1, свидетельствует о существенном транзите загрязненных масс воздуха через всю территорию ботанического сада. Слабая загрязненность флоэмы цикория объясняется его расположением в подкroновом пространстве древесных насаждений, атмосфера которого в значительной мере очищена осадением загрязнителей кронами деревьев.

Таким образом, проведенные исследования показали связь загрязнения почв ботанического сада СамГУ тяжелыми металлами с внешними источниками (Московское шоссе), установили зависимость фитоаккумуляции тяжелых металлов древесными и травянистыми растениями от уровня их концентрации в почве и атмосфере мест произрастания, выявили защитную роль древесных насаждений в распространении аэральных потоков техногенных веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Прохорова Н.В., Воржева С.А. Эколого-биогеохимические исследования в парках г. Самары // Проблемы лесопаркового комплекса в свете сохранения и восстановления природного и культурного наследия в современных условиях: Сб. докл. научно-практ. конф. М., 2004. - С. 78-82. – **Прохорова Н.В., Аксютин Ю.В., Козлов А.Н., Коротков И.В., Бакланов И.А.** Перспективы использования гистохимических методов в биогеохимии тяжелых металлов // Современные методы эколого-геохимической оценки состояния и изменений окружающей среды: Доклады Междунар. школы. Новороссийск, 2003. С.117-123. – Прохорова Н.В. Экологические принципы биогеохимического анализа ландшафтов лесостепного и степного Поволжья. Автореф. ... д-ра биол. наук. Тольятти, 2005. 36 с.

Серегин И.В., Иванов В.Б. Гистохимические методы изучения распределения кадмия и свинца в растениях// Физиология растений. - 1997. - Т.44. - №6. - С. 915-916.

Поступила в редакцию
23 мая 2007 г.