

УДК 504.054

Дегтярева Т.В., Титоренко В.А.

Ставропольский государственный университет

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ЭКОСИСТЕМ ГОРОДА СТАВРОПОЛЯ

T. Degtyareva, V. Titorenko

Stavropol State University

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL STUDY OF URBAN ECOSYSTEMS OF STAVROPOL

Аннотация. Приводятся результаты почвенно-геохимических и биогеохимических исследований в пределах ландшафтной структуры и функциональных зон города Ставрополя; дается анализ распределения тяжелых металлов в почвах города, загрязнения городских почв и его динамики. Оцениваются уровни накопления микроэлементов в отдельных видах древесных и травянистых растений относительно природного фона. Выявляется зависимость между концентрациями химических элементов в дождевых червях и в почвах, их связь с отдельными почвенными характеристиками.

Ключевые слова: эколого-геохимические исследования, техногенное воздействие, загрязнение, тяжелые металлы.

Abstract. We report the results of soil geochemical and biogeochemical research within the landscape structure and functional zones of Stavropol, as well as analyze the distribution of heavy metals in soils of the city, contamination of urban soils and its dynamics. The levels of accumulation of trace elements in some species of woody and herbaceous plants with respect to the natural background are estimated. The dependence is obtained for the concentrations of chemical elements in earthworms and in soils, as well as for their relation with certain soil characteristics.

Key words: ecological and geochemical studies, anthropogenic impact, contamination, heavy metals.

В настоящее время специфика функционирования городских экосистем во многом определяется многочисленными и разнообразными процессами техногенной миграции веществ. К наиболее значимым процессам относится химическое загрязнение тяжелыми металлами (ТМ), охватывающее все основные компоненты городских ландшафтов и приводящее к резкому ухудшению экологической обстановки. Изучение миграции ТМ занимает одно из основных мест в эколого-геохимических исследованиях, так как ряд их соединений имеют токсичный, мутагенный и канцерогенный эффект для живых организмов. При этом в качестве надежных индикаторов интенсивности техногеохимического давления выступают почвы, растения, почвенные беспозвоночные.

Город Ставрополь входит в число промышленных городов, территории которых сильно подвержены техногенному воздействию. Для него остро стоит проблема сохранения оптимальных эколого-геохимических характеристик, связанных с комфортностью обитания и здоровьем населения. Эффективное решение этой задачи невозможно без осуществления прикладных исследований, направленных на выявление масштабов геохимического преобразования ландшафтов города. В современной отечественной и зарубежной литературе накоплен большой опыт анализа эколого-геохимической ситуации урбанизированных территорий. Выполнены эколого-геохимические оценки их состояния, проведено картографирование распределения отдельных загрязнителей, выявлены приоритетные техногенные источники

загрязнения и поллютанты. Большое внимание этим вопросам отведено в работах Н.С. Касимова [6], Ю.Е. Саета [4] и др. Основные методические принципы и общая технология эколого-геохимических исследований городов основаны на изучении геохимических аномалий в различных компонентах городских ландшафтов [6, 4]. В течение нескольких лет проводятся ландшафтно-геохимические и биогеохимические исследования урбанизированных и природных (фоновых) ландшафтов Ставропольского края [2].

Цель исследования - изучение особенностей распределения тяжелых металлов в почвах и живых организмах в пределах ландшафтной структуры и функциональных зон города Ставрополя, выявление степени техногенного загрязнения. Применение ландшафтного подхода и функционального зонирования позволяет одновременно учитывать неоднородность природных ландшафтно-геохимических условий и характер антропогенного воздействия на экосистемы города. В качестве эталона сравнения (фона) для городских почв и биоты выбраны параметры содержания ТМ у аналогичных объектов на территории природного музея-заповедника «Татарское городище», непосредственно прилегающего к городской территории [1, 5]. Содержание приоритетных загрязнителей (меди, цинка, свинца, кадмия) определялось методами атомно-абсорбционной спектроскопии и вольтамперометрического анализа на спектрофотометре «Квант»-АФА и потенциометре АВС 1.1. Для оценки уровня загрязнения тяжелыми металлами рассчитывался коэффициент концентрации химического вещества Кс. Для установления видовой специфики представителей биоты был использован коэффициент биологического поглощения Кб [3, 22].

Среди растений были изучены представители различных жизненных форм: робиния ложноакация *Robinia pseudoacacia* (как один из основных древесных видов, использующихся в озеленении города), пырей ползучий *Elytrigia repens*, а также мох *Pleurosium schreberi*. Выбор данных представителей был оп-

ределен их широкой распространенностью на территории города и фоновых участков. Среди крупных почвенных беспозвоночных опробовались дождевые черви *Lumbricidae*, не способные к значительному перемещению в почвенной толще и поэтому адекватно реагирующие на изменение экологической обстановки [5, 398].

Территория г. Ставрополя характеризуется неоднородностью природных условий, в ее пределах по особенностям миграции, определяемым рельефом, выделяются автономные элювиальные ландшафты верхнесарматской плакорной поверхности выравнивания и трансэлювиальные ландшафты склонов структурно-денудационных плато, пластовых эрозионно-денудационных равнин и речных долин [2, 6]. Техногенное воздействие на город проявляется в существовании более или менее четко выраженных функциональных зон: селитебной, промышленной, лесопарковой, дачной. Город располагается в подзоне обыкновенных мицелярно-карбонатных черноземов с выщелоченными глубоко-карбонатными черноземами. Антропогенная трансформация почв приводит к формированию различных типов урбаноземов с измененным микроэлементным составом, который по содержанию ТМ отличается от фоновых показателей (табл. 1).

Диапазон колебаний рН в городских почвах весьма значителен – от 6,2 до 9,0. Среднее значение рН в верхнем почвенном горизонте составляет 7,9 (примерно 55% почв территории). Нейтральные значения преобладают в зоне селитебной многоэтажной застройки, значения рН>8 выявлены в почвах промышленных зон города. Основные районы подщелачивания почв находятся в северной и центральной части города. Анализ загрязнения почв кадмием в соответствии с ландшафтной структурой города показывает повсеместное загрязнение территории, т. е. идет накопление элемента вне зависимости от положения в ландшафтном сопряжении. Среднее содержание кадмия в почвах города – 4,7 мг/кг, что составляет 7,8 фоновых значений. Наиболее крупная и интенсивная аномалия кадмия в 4

Таблица 1

Некоторые показатели почв функциональных зон г. Ставрополя

Функциональные зоны	Среднее содержание химических элементов, мг/кг				рН
	Cu	Pb	Cd	Zn	
Промышленная	104,6±10,6	114,3±20,6	16,0±4,2	82,7±22,6	8,4
Селитебная многоэтажная	52±1,4	49,4±3,4	3,7±0,45	53,2±3,3	8,2
Селитебная одноэтажная	43,3±3,4	49,6±4,4	4,1±0,83	46,5±3,7	7,9
Лесопарковая	41,3±4,7	37,0±6,8	3,1±0,5	31,3±1,3	7,7
Дачная	23,9±2,8	17,3±1,8	0,54±0,06	16,9±1,01	-
Фоновая территория	26,5±1,5	18,4±2,3	0,58±0,04	26±4,6	-

фонов приурочена к северо-западному микрорайону, к промышленным площадкам заводов Аналог, Нептун, Лисма-Люминофор. Точечные аномалии высокой интенсивности загрязнения почв кадмием на территории города встречаются довольно часто и в различных местах. Аномалии металла в почвах невысокой контрастности имеют сплошное распространение по территории города. Так, техногенные ореолы с превышением фона в 2-3 раза охватывают около 20 % города, с превышением в 3-6,5 раза – около 45 % города.

Среднее содержание свинца в почвах города составляет 54,2 мг/кг. Педогеохимические аномалии свинца относительно фона занимают практически всю территорию города. Увеличение интенсивности загрязнения наблюдается в северо-восточном направлении. Наиболее сильное и стабильное загрязнение свинцом выявлено в промышленных районах, почвы дачной зоны практически не загрязнены. Аномалии свинца в пределах селитебной многоэтажной зоны на автономных позициях плакора увязаны с крупными транспортными магистралями и несколько повторяют их вытянутую форму. Вся центральная и северо-восточная часть города представляет собой территорию с содержанием свинца, в 2,0-2,7 раза превышающем фоновые значения, на которой выявляются локальные пятна с загрязнением в 6,5-9 раз.

Превышения содержания цинка в почвах по природному фону приурочены большей частью к подчиненным транслювильным ландшафтам. Самая обширная и наиболее контрастная аномалия цинка практически

целиком охватывает селитебную зону частной и многоэтажной застройки пологих склонов структурно-денудационных плато. В западном направлении эта аномалия включает в себя многоэтажную селитебную зону с наиболее интенсивными транспортными потоками (ул. Доваторцев, ул. Ленина). Периферийные участки данной аномалии имеют среднее превышение по фону в 3-4 раза. Наиболее высокие значения загрязнения почв цинком составляют 3,2 фона и встречаются в селитебных районах, непосредственно примыкающих к урочищу Павлова дача. Автономные ландшафты плакоров имеют достаточно обширные аномалии цинка небольшой интенсивности от 1,5 до 2 фонов. Относительно чистыми в отношении загрязнения почв цинком оказались дачные и лесопарковые массивы.

Территориальное расположение аномалий меди в городских почвах характеризуется приуроченностью к крупным промышленным узлам (северо-западному, восточному и юго-восточному) и центральной части города. Значительные площади плакора и склонов структурно-денудационных плато загрязнены медью в пределах 1,6-1,9 фона. Фоновые и околофоновые значения встречаются на дачных участках, в районах с редкой многоэтажной застройкой, в центральных частях лесопарковых массивов. Довольно обширная аномалия меди со значением K_s 3,9 охватывает восточную промышленную зону, распространяясь на прилегающие селитебные районы частной и многоэтажной застройки. Максимальные концентрации обнаружены в

районе промплощадок заводов Поршневых колец, Прибороремонтного, Стеклотарного, около железнодорожного вокзала.

Имеющиеся данные позволяют проследить динамику изменения содержания ТМ в почвах города с 2002 по 2011 г. За это время в почвах лесопарковой зоны содержание меди увеличилось в среднем в 3,5 раза; значительно усилилась концентрация кадмия (в 3 раза). Изменение содержания свинца в лесных почвах произошло в 2,8 раза при максимальном увеличении в лесных почвах до уровня 1 ПДК. В почвах промышленных зон интенсивная динамика характерна для кадмия – его уровни в верхнем почвенном горизонте увеличились в 6,9 раз. Содержание меди возросло с 24,5 до 104,6 мг/кг, свинца – с 73 до 114,3 мг/кг. Почвы селитебной одноэтажной зоны в 2011 г. отличаются увеличением содержания кадмия в 8,2 раза. Положительная динамика содержания меди и цинка характерна для почв плакорных возвышенных местоположений северо-западного района – соответственно в 3,6 и 4,7 раз. В трансаккумулятивных условиях восточной части города увеличение концентраций меди по сравнению с 2002 годом произошло всего в 2 раза (до 55,8 мг/кг), а содержание цинка не изменилось. В почвах многоэтажной селитебной зоны относительно небольшое концентрирование в 2011 г. характерно для концентрации кадмия – в 2,8 и меди – в 2,5 раза.

Результаты определения химического состава растений показывают, что растения в городе отличаются от однотипных видов естественных местообитаний по уровню накопления ТМ. В условиях атмосферного загрязнения деревья значительно потребляют цинк, травы – свинец, мхи – медь, кадмий. Накопление элементов различными растениями зависит от приуроченности к отдельным функциональным зонам, определяющим однородность экологических условий и однотипность техногенных нагрузок для растительного покрова. У мхов наиболее высокие уровни содержания металлов отмечаются в промышленной зоне: меди 91,8 мг/кг (превышение фона в 13 раз), цинка 97,2 мг/кг

(загрязнение в 19 раз), свинца 172 мг/кг (36 значений фона). Уровни содержания ТМ во мхах селитебной зоны приближаются к уровням промышленной зоны. Содержание свинца в робинии ложноакации, произрастающей в промышленной зоне, превышает в 2-5 раза содержание в других функциональных зонах. Не являются единичными максимальные значения 91-139 мг/кг для свинца, 55-91,8 мг/кг – для меди, 6,2-7,2 мг/кг – для кадмия. Исторический центр г. Ставрополя имеет высокое содержание в робинии кадмия и меди (превышение фона в 1,8 раз), свинца (в 3,5 раза). Накопление тяжелых металлов растениями зависит от их вида. Древесные виды отличаются сильным накоплением цинка ($K_b=1,3$), средним биологическим захватом кадмия, меди, свинца ($K_b=0,4-0,1$). Травянистые виды имеют наибольшую интенсивность накопления свинца ($K_b=2,4$) меди, цинка ($K_b=1,9-1,7$), средний биологический захват характерен для кадмия ($K_b=0,8$). Мхи активно накапливают медь (2,8) и свинец (1,3), менее энергично поглощают цинк и кадмий ($K_b=0,9-0,2$).

Сопоставление концентрации химических элементов в почвах и в дождевых червях показывает, что содержание элементов в беспозвоночных не превышает их уровней в городских почвах. Между накоплением ТМ дождевыми червями и их концентрацией в почве выявлена сильная корреляция. Коэффициенты корреляции имеют значения от 0,79 (для меди) до 0,97 (для кадмия). Обнаруживается зависимость между накоплением элементов дождевыми червями и щелочно-кислотными условиями почв (заметная положительная корреляция для меди и свинца $r=0,56-0,58$ и отрицательная для цинка $r=-0,34$). Наибольшее накопление концентрации элементов в организмах дождевых червей выявлено преимущественно в промышленной зоне (медь - 90 мг/кг, свинец - 104,7 мг/кг, кадмий - 39 мг/кг, цинк - 92,3 мг/кг). Наименьшая аккумуляция металлов со значениями, приближенными к фоновым концентрациям, прослеживается у дождевых червей, отловленных в лесопарковой и дачной зонах. Для селитебных зон одноэтажной

и многоэтажной застройки накопление меди, кадмия и цинка дождевыми червями осуществляется приблизительно на одном уровне. Исключением является свинец, которого организмы люмбрицидов в селитебной одноэтажной зоне накапливают на 40 % больше, чем в селитебной многоэтажной. Средняя интенсивность биологического поглощения дождевыми червями всех рассматриваемых элементов относительно городских и фоновых почв музея-заповедника очень близка. В существующих пока пределах загрязнения городской среды обитания черви в целом не изменяют биологические механизмы поступления микроэлементов.

Определение коэффициентов концентрации (Кс) элементов в почвах и люмбрицидах относительно фоновых показателей территории музея-заповедника показывает, что в урбанизированных условиях Ставрополя происходит загрязнение химическими элементами и почв и обитающих в них почвенных животных. При этом накопление загрязнителей в тканях беспозвоночных по сравнению с почвами несколько меньше - загрязнение медью составляет 93 % от загрязнения почв, загрязнение свинцом находится в пределах 58 % от загрязнения почв. Цинком почвы и дождевые черви загрязнены в среднем по городу одинаково - в 2,4 раза по сравнению с природным уровнем. Наибольшая интенсивность загрязнения почв и организмов дождевых червей выявлена для кадмия - превышения над «фоновыми» значениями достигают до 70 раз. Таким образом, установлено что в верхних почвенных горизонтах г. Ставрополя ТМ образуют положительные техногенные аномалии различной контра-

стности, характер которых имеет определенную связь с ландшафтно-функциональной структурой города. Структура техногенных ореолов геохимических аномалий отличается постепенным уменьшением концентраций металлов от центра к периферии. По интенсивности преобладает загрязнение кадмием. Биогеохимическое изучение отдельных представителей растительных и животных организмов показало, что биота в черте города Ставрополя испытывает довольно значительный техногенный пресс, связанный с поступлением больших концентраций ТМ от промышленных и муниципальных источников. Закономерности распределения металлов в живых организмах четко отражают картину дифференциации загрязняющих веществ в почвах города.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Археологический и природный музей-заповедник «Татарское городище» как природное наследие / Под ред. В.А. Шальнева. Ставрополь: СГУ, 1999. 100 с.
2. Дегтярева Т.В. Геохимические особенности ландшафтов г.Ставрополя (на примере распределения тяжелых металлов в почвах и растениях): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ставрополь, 2003. 24 с.
3. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрей-2000, 2005. 764 с.
4. Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
5. Смирнов Ю.Б. Изучение почвенной мезофауны целинных степей с целью биоиндикации загрязнения почв тяжелыми металлами // Беловежская пуца на рубеже третьего тысячелетия. Матер. научн.-практ. конф. Каменюки: БГУ, 1999. С. 397-398.
6. Экогеохимия городских ландшафтов. Под ред. Н.С. Касимова. М.: Изд-во МГУ, 1995. 457с.