

УДК 504.054

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВЯЗИ И ОТНОШЕНИЯ В ЭКОСИСТЕМАХ ГОРОДА СТАВРОПОЛЯ

Титоренко В.А., Дегтярева Т.В.

ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
Ставрополь, e-mail: dtb.70@mail.ru, Titorenko-valya@yandex.ru

Проведен анализ загрязнения почвенного покрова города Ставрополя тяжелыми металлами в соответствии с ландшафтной структурой и функциональным зонированием. Проведено сопоставление распределения химических элементов по ярусам вертикального профиля элементарных биоекосистем города. Выявлено, что биогеохимическая специфика элементарных биоекосистем города проявляется в характерном типе вертикальной дифференциации концентраций элементов. Более интенсивная антропогенная нагрузка в промышленной и транспортной зоне города сглаживает биогеохимические различия в ярусном перераспределении концентраций элементов. По значению коэффициента корреляции сделана сравнительная оценка тесноты связей между биотическими (растительность) и биокосными (почвы) компонентами городских ландшафтов. На плакорных поверхностях городской территории складываются более прочные межкомпонентные связи между почвами и ярусами растительности. В трансэлювиальных склоновых условиях более сильными становятся внутрикомпонентные связи (между древесными, травяным и моховым ярусами фитоценоза), т.е. в условиях выноса и относительной аккумуляции элементов увеличивается степень автономности растительности по отношению к литогенной основе.

Ключевые слова: биоекосистема, вертикальная дифференциация элементов, межкомпонентные отношения

BIOGEOCHEMICAL COMMUNICATIONS AND RELATIONSHIPS IN ECOSYSTEMS OF THE CITY OF STAVROPOL

Titorenko V.A., Degtyareva T.V.

FGAOU VPO «North-Caucasian Federal University», Stavropol, e-mail: dtb.70 @ mail.ru

The analysis of soil contamination with heavy metals in Stavropol in accordance with the landscape structure and functional zoning. A comparison of the distribution of chemical elements on the tiers of elementary bioecosystem vertical profile of the city. Revealed that specific biogeochemical elementary bioecosystem city manifested in the characteristic style of vertical differentiation element concentrations. More intense human pressure in the industrial zone of the city and traffic smooths out differences in biogeochemical longline redistribution element concentrations. From the value of the correlation coefficient is made a comparative assessment of tightness links between biotic (vegetation) and bio-inert (soil) components of the urban landscape. On the upland surfaces of urban areas add up stronger inter-component communication between tiers of soils and vegetation. In transeluvial slope conditions become stronger vnutrikomponentnye connection (between the wood, grass and moss layer phytocenosis), ie in terms of withdrawal and the relative accumulation of elements increases the degree of autonomy in relation to vegetation lithogenous basis.

Keywords: bioecosistema, vertical differentiation elements interconnect relationships

Изучая ландшафт как саморегулирующуюся незамкнутую систему взаимосвязанных компонентов, необходимо рассматривать качественные и количественные характеристики связей и отношений, в которых находятся компоненты друг с другом. Биогеохимические отношения в ландшафтах могут быть выявлены при изучении миграции химических элементов, приводящей к геохимической неоднородности субстрата компонентов. При этом межкомпонентные и внутрикомпонентные отношения количественно выражаются через показатели вертикального перераспределения химических элементов, корреляционные причинные зависимости между различными компонентами. Наличие высоких корреляционных зависимостей биогеохимических параметров косвенно свидетельствует о тесноте (степени связи) взаимоотношений компонентов. Так как ключевые средообразующие и средозащитные функ-

ции в городских экосистемах выполняют почвенные и растительные компоненты, то изучение процессов перераспределения элементов в системах «почва-растения» и «растения-растения» позволяет оценить интенсивность процессов техногенеза на урбанизированных территориях.

Цель исследования – выявление особенностей складывающихся биогеохимических связей и отношений в биоекосистемах города Ставрополя. В связи с этим проведено изучение микроэлементного состава почвенного и растительного компонентов городских ландшафтов, выполнены количественные оценки тесноты межкомпонентных и внутрикомпонентных связей в городских ландшафтах.

Материал и методы исследования

Объектами биогеохимического исследования в городе послужили естественные и антропогенно-преобразованные почвы и растения, доминирующие

в фитоценозах: древесном – робиния ложноакация (*Robinia pseudoacacia*), травяном – пырей ползучий (*Elytrigia repens*), моховом – *Pleurosium schreberi*. Полученные выводы базируются на аналитических данных по содержанию меди, цинка, свинца, кадмия, полученных методом вольтамперометрического элементного анализа проб почв (117 пробы), древесной и травянистой растительности (102 пробы). Отбор происходил в пределах элементарных биоэкосистем (элементарных эколого-геохимических систем), характеризующихся единством почвы и растительного сообщества в пределах элементарной формы рельефа, где сохраняются одни и те же основные условия жизнедеятельности биоты [6]. В качестве фоновых (природных) показателей для городских почв выбраны параметры содержания химических элементов в почвах природного музея-заповедника «Татарское городище», непосредственно прилегающего к городской территории [1, 4].

Город Ставрополь располагается в пределах Верхнегорлыкского ландшафта типичных лесостепей [8], занимающего наиболее приподнятые участки Ставропольской возвышенности с абсолютными отметками от 350 до 650 м. Эти высоты связаны с выходом на поверхность относительно стойких пластов песчаника и известняка-ракушечника среднесарматского возраста. Рельеф отличается ярусностью строения и преобладанием останцово-склоново-балочной скульптуры. Умеренно континентальный климат ландшафта определил произрастание лесостепей с буково-дубово-грабовыми лесами в верховьях балок и злаково-богаторазнотравной степной растительностью. Особенности климата и растительность определили формирование в степных участках предкавказских мощных черноземов. С учетом современных биоклиматических и геоморфологических условий миграции химических элементов в пределах города выделяются: элювиальные ландшафты плакора структурно-денудационных плато верхнесарматской поверхности выравнивания; трансэлювиальные ландшафты склонов структурно-денудационных плато, сложенных песками и глинами среднего сармата; трансаккумулятивные ландшафты эрозионно-денудационных равнин ачкагыльской поверхности выравнивания, сложенные глинами и мергелями среднего сармата; трансэлювиальные ландшафты эрозионных склонов речных долин, крупных балок, сложенные глинами сармата и четвертичными делювиально-аллювиальными отложениями.

Техногенное воздействие на город проявляется в существовании более или менее четко выраженных функциональных зон: жилой (одноэтажной и многоэтажной), промышленной, транспортной, лесопарковой и дачной. Для Ставрополя, где на сравнительно небольших территориях сосредоточены крупные производства, продолжает оставаться высоким уровень загрязнения природных компонентов. С выбросами от стационарных источников загрязнения в атмосферу города в 2011 году поступило до 4121 тыс. т загрязняющих веществ, что составило 6,1 % от общих выбросов в атмосферу Ставропольского края [5]. Многоаспектный характер комплексного техногенного воздействия приводит к трансформации потоков вещества и их иному перераспределению в пределах отдельных ярусов и компонентов городских ландшафтов.

Результаты исследования и их обсуждение

По лабораторным исследованиям городских почв на содержание Cu, Cd, Zn, Pb были сделаны выводы об их концентрациях в почвах обследуемой территории. В пробах было выявлено превышение ОДК Cu до 1,3 раза, Cd – до 24 раза, Zn – 1,5 и Pb – 2,6 раз. Анализ загрязнения городских почв химическими элементами обнаруживает определенную связь распределения техногенных аномалий химических элементов с ландшафтной структурой города (рис. 1). 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.

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. Среднее содержание свинца в почвах города – 54,2 мг/кг. Педогеохимические аномалии свинца относительно фона занимают практически всю территорию города. Увеличение интенсивности загрязнения наблюдается в северо-восточном направлении. Аномалии свинца на автономных позициях плакора увязаны с крупными транспортными магистралями и несколько повторяют их вытянутую форму. Превышения содержания цинка в почвах по природному фону приурочены большей частью к подчиненным трансэлювиальным ландшафтам.

Особенности химического состава почв различных функциональных зон г. Ставрополя устанавливались путем его сравнения с показателями для фоновой территории (рис. 2). Анализ полученного геохимического спектра показал, что в почвах промышленной зоны высока интенсивность накопления всех рассматриваемых элементов: Cd ($K_c = 7,5$), Pb ($K_c = 6,0$), Cu ($K_c = 3,6$), Zn ($K_c = 2,5$). В почвах транспортной зоны интенсивность концентрирования элементов несколько ниже: Cd ($K_c = 6,7$), Pb ($K_c = 5,9$), Cu ($K_c = 3,9$), Zn ($K_c = 1,1$). В почвах жилых (многоэтажной и одноэтажной) зон происходит аккумуляция Pb ($K_c = 2,2$ – $2,4$), дачной – деконцентрация Cu ($K_p = -1,7$).

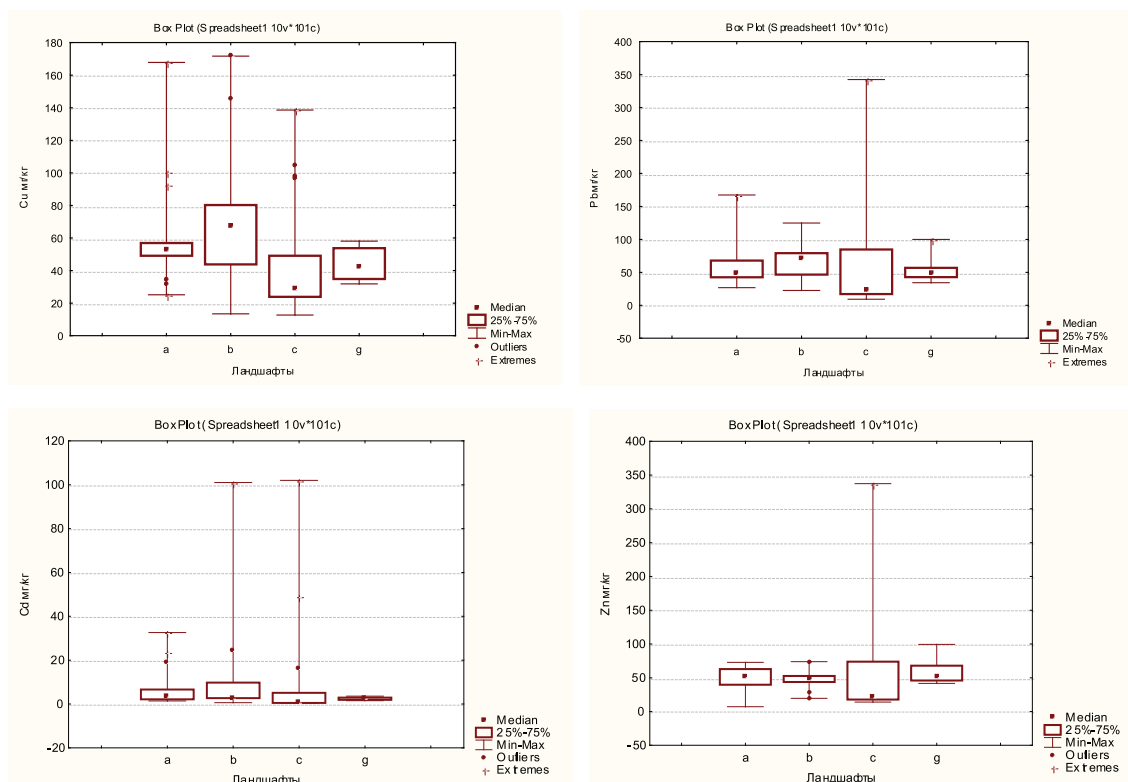


Рис. 1. Составные диаграммы размаха для концентраций микроэлементов в почвах городских ландшафтов:
a – элювиальных плакора; *b* – трансэлювиальных склонов; *c* – трансаккумулятивных равнин;
g – склонов речных долин и балок

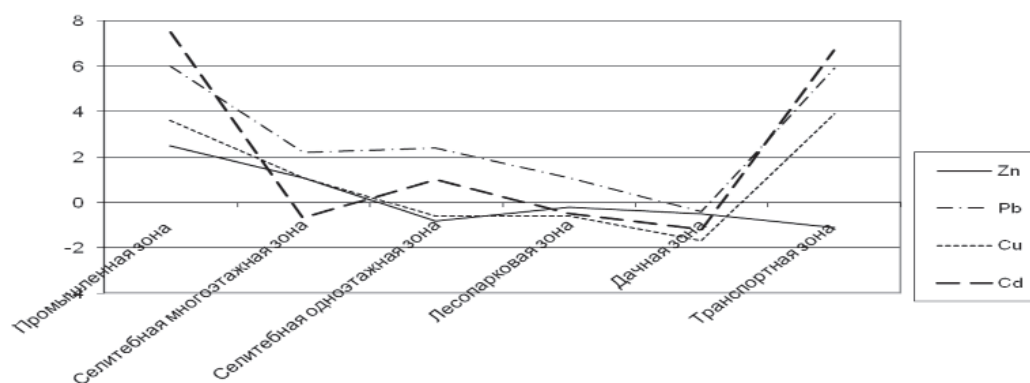


Рис. 2. Геохимический спектр элементов почвах функциональных зон г. Ставрополя.
 Коэффициенты концентраций (K_c) и коэффициенты рассеяния (K_p) рассчитаны относительно концентраций в почвах фоновой территории

Особенности миграции элементов между компонентами и ярусами городских ландшафтов, их коллективное геохимическое взаимодействие приводят к формированию определенного инварианта биогеохимических связей и отношений. В пределах биосистем различных функциональных зон города проведено сопоставление распределения химических элементов по почвенному, моховому, травяному и древесному ярусам. Учет приуроченности зон макси-

мального содержания элементов к ярусам вертикального профиля элементарных биосистем города позволил выделить три типа вертикальной дифференциации концентраций элементов: почвенно-древесный, почвенно-моховой, почвенно-травяной. Наиболее распространенным типом вертикального распределения концентраций элементов является почвенно-моховой тип, выделяющийся максимальным накоплением элемента в почвенных горизонтах

и во мхах. Почвенно-древесный тип дифференциации содержаний элемента отличается самыми большими его концентрациями в почве и в древесном ярусе. Почвенно-травяной тип имеет максимальное накопление элемента в почвенном и травяном ярусах и встречается редко.

Для меди преобладает почвенно-древесный тип распределения по вертикальному профилю биоекосистем селитебной, лесопарковой и дачной зон. И только в биоекосистемах промышленной и транспортной зон тип распределения сменяется на почвенно-моховой. Свинец в ярусах вертикального профиля биоекосистем различных функциональных зон распределяется по почвенно-моховому типу. Большая дифференциация в перераспределении наблюдается для цинка: в биоекосистемах селитебной и промышленной зон элемент распределяется по почвенно-моховому типу, а в менее антропогенно нагруженных биоекосистемах дачной и лесопарковой зон – по почвенно-древесному типу.

Изучение складывающихся биогеохимических связей и отношений в биоекосистемах города также возможно с использованием моделей субъект-объектных и объект-объектных отношений в ландшафтах [7]. Модель субъект-объектных отношений исследовалась в системе «почва-растение» с рассмотрением межкомпонентных связей между почвой как субъектом и ярусами растительного компонента городских ландшафтов как объектами. При этом в эоцентрической системе субъект-объектных отношений в качестве «структурного центра», определяющего связи, единство и управление, выступает почва. В почве «встречаются и взаимодействуют потоки вещества и энергии, связывающие все компоненты ландшафта в единое целое» [2]. Древесный, травяной и моховой ярусы

растительного компонента городских ландшафтов по отношению к почве выступают в качестве внешней (окружающей) среды, находящейся как в прямых, так и обратных взаимоотношениях со «структурным центром» модели. Модель объект-объектных отношений рассматривалась в пределах системы «растение-растение» с анализом внутрикомпонентных (внутрифитоценоотических) связей между древесными, травяным и моховым ярусами растительного компонента городских ландшафтов.

Проведение корреляционного анализа позволило установить тесноту связей в моделях субъект-объектных и объект-объектных отношений в зависимости от ландшафтной структуры. Межкомпонентные связи между почвой и ярусами растительного компонента городских ландшафтов сильнее всего выражены в элювиальных условиях плакора верхнесарматской поверхности выравнивания (таблица). Для меди в системе «почва-растение» коэффициент корреляции $r = 0,71$ ($p = 0,05$, $n = 50$), причем интенсивнее связи почвы с древесным и травяным ярусами. Для цинка теснота связи в системе «почва-растение» оценивается значением $r = 0,89$, и обнаруживаются высокие значения коэффициента корреляции почвы со всеми ярусами растительного компонента. У свинца ($r = 0,57$) и кадмия ($r = 0,60$) в плакорных условиях приблизительно одинаково выражена теснота связи почв с растительными ярусами, особенно с древесным и моховым. В целом почвы ландшафтов плакора структурно-денудационных плато более значимо коррелируют с древесным ярусом ($r = 0,41$), что свидетельствует о складывающихся более тесных геохимических взаимоотношениях почв с многолетней древесной растительностью, чем с однолетней травянистой.

Коэффициенты корреляции в системах «почва-растение» (П-Р) и «растение-растение» (Р-Р)

Городские ландшафты	Цинк		Медь		Кадмий		Свинец	
	П-Р	Р-Р	П-Р	Р-Р	П-Р	Р-Р	П-Р	Р-Р
Элювиальные плакора ($n = 50$)	0,89	0,51	0,71	0,53	0,62	0,57	0,57	0,37
Трансэлювиальные склонов плато ($n = 13$)	0,37	0,57	0,37	0,13	0,12	0,48	0,13	0,88
Трансаккумулятивные равнин ($n = 30$)	0,23	0,53	0,15	0,63	0,37	0,51	0,14	0,37
Трансэлювиальные склонов речных долин, балок ($n = 24$)	0,17	0,18	0,43	0,60	0,17	0,25	0,18	0,27
Городская территория в целом ($n = 117$)	0,42	0,45	0,41	0,48	0,22	0,44	0,26	0,47

В трансэлювиальных и трансаккумулятивных ландшафтах городской территории отмечается относительное ослабление межкомпонентных связей между почвой и ярусами растительности для всех элементов. В то же

время по сравнению с плакорными условиями отмечается тенденция к увеличению значения коэффициента корреляции, определяющего значимость и тесноту внутрифитоценоотических связей в системе «растение-растение».

Выводы

– В верхних почвенных горизонтах г. Ставрополя образуются положительные техногенные аномалии химических элементов различной контрастности, характер которых имеет определенную связь с ландшафтно-функциональной структурой города. Структура техногенных ореолов геохимических аномалий отличается постепенным уменьшением концентраций металлов от центра к периферии.

– Биогеохимическая специфика элементарных биосистем города проявляется в характерном типе вертикальной дифференциации концентраций элементов. Более интенсивная антропогенная нагрузка в промышленной и транспортной зоне города сглаживает биогеохимические различия ярусного перераспределения концентраций элементов, и тип становится одним для всех элементов – почвенно-моховой.

– На плакорных поверхностях городской территории более прочные межкомпонентные связи между почвами и ярусами растительности. В трансэлювиальных склоновых условиях более сильными становятся внутрикомпонентные связи (между древесными, травяным и моховым ярусами фитоценоза), т.е. в условиях выноса и относительной аккумуляции элементов увеличивается степень автономности растительности по отношению к литогенной основе.

Список литературы

1. Археологический и природный музей-заповедник «Татарское городище» как природное наследие / под ред. В.А. Шальнева. – Ставрополь: СГУ, 1999. – 100 с.
2. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.
3. 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.
4. Дегтярева Т.В., Титоренко В.А. Динамика содержания тяжелых металлов в почвах г. Ставрополя // Актуаль-

ные вопросы экологии и природопользования: материалы II Международной научно-практической конференции. – Ставрополь, 2011. – С. 74–78.

5. Доклад о состоянии окружающей среды Ставропольского края в 2011 г.

6. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. – М.: Изд. центр «Академия», 2003. – 400 с.

7. Шальнев В.А., Дегтярева Т.В. Географическая среда: спорные вопросы и пути их решения // Вестник Ставропольского государственного университета. – 2011. – № 74. – С. 145–154.

8. Шальнев В.А. Эволюция ландшафтов Северного Кавказа. – Ставрополь: Изд-во СГУ, 2007. – 310 с.

References

1. Archaeological et naturale Museum-Subsidium «Tatar Conlocationem» ut naturalem hereditas / Ed. VA Shalnev. Stavropol: SSU, MCMXCIX. C p.
2. Glazovskaya MA Geochemistry ex naturali et homono landscapes de USSR. M.: High scholam, MCMLXXXVIII. CCCXXVIII p.
3. Degtyareva TV Geochemical characteres landscapes Stavropol (exempli gratia distributio gravis metalla in inquinant et plantis). Auctorem. dis. Candidatum. Geographiae. Scientia. Stavropol, MMIII. XXIV p.
4. Degtyarev TV, Titorenko VA Fringilla et geochemical studium urbana ecosystems de Stavropol // Bulletin deque Moscua rei publicae Regionalis University. Series «Naturalis Scientiarum». Number Vol. MMXI. pp. 44–XLVIII.
5. Report on the state of the environment of the Stavropol Territory in 2011.
6. Dobrovolsky VV Fundamentals of biogeochemistry. Moscow: Publishing Center «Academy», 2003. 400 p.
7. Shalnev VA Evolutione landscapes Borealium Caucasi. Stavropol Publishing Domus of SSU, MMVII. CCCIX p.
8. Shalnev VA Degtyarev TV Geographical environment: exitibus et solutiones // Bulletin de Stavropol State University. MMXI. no. LXXIV. pp. 145–154.

Рецензенты:

Лысенко А.В., д.г.н., доцент, заведующий кафедрой физической географии и ландшафтоведения ИМЕН Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь;

Мишвелов Е.Г., д.г.н., профессор кафедры экологии и природопользования ИМЕН Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь.

Работа поступила в редакцию 03.09.2013.