

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЭЛЕМЕНТОВ В УРБАНИЗИРОВАННЫХ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Дегтярева Т.В.¹, Патюта М.Б.², Федюнина Д.Ю.¹

¹ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставрополь, Россия (355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, СКФУ), e-mail: dtb.70@mail.ru

²ФГБУ Ставропольская межобластная ветеринарная лаборатория, Ставрополь (355035 г. Ставрополь, ул. Старомарьевское шоссе 34), e-mail: minka10@yandex.ru

Проведен анализ дифференциации концентраций свинца, кадмия, цинка и меди между почвенными горизонтами и ярусами древесной, травянистой и моховой растительности города Ставрополя в соответствии с функциональной структурой. Выявлено, что биогеохимическая специфика элементарных эколого-геохимических систем города проявляется в характерном типе вертикальной дифференциации концентраций элементов. Наиболее встречающимися типами распределения концентраций элементов в системе «почва—растения» являются почвенно-моховой, мохово-почвенный и почвенно-древесный. Самым представленным выявлен почвенно-моховой тип, характеризующийся сильным накоплением микроэлемента в почве и моховом покрове. Для элементарных эколого-геохимических систем с меньшей антропогенной нагрузкой (дачной и лесопарковой зон) характерна дифференциация в распределении концентраций элементов: почвенно-древесный и мохово-почвенный типы для свинца, мохово-древесный для цинка. Более интенсивная антропогенная нагрузка в промышленной и транспортной зоне города сглаживает биогеохимические различия в перераспределении концентраций элементов по почвенным и растительным ярусам.

Ключевые слова: биогеохимические исследования, эколого-геохимические системы, концентрации элементов

BIOGEOCHEMICAL COMMUNICATIONS AND RELATIONSHIPS IN ECOSYSTEMS OF THE CITY OF STAVROPOL

Degtyareva T.V.¹, Patyuta M.B.², Fedjunina D.Y.¹

¹FGAOU VPO «North Caucasian Federal University», Stavropol, Russia (355009, Stavropol, Pushkin St., 1, SKFU), e-mail: dtb.70@mail.ru

²Stavropol Interregional Veterinary Laboratory, Stavropol (355035 of Stavropol, Staromaryevskoye Highway St. 34), e-mail: minka10@yandex.ru

The analysis of differentiation of concentrations of lead, cadmium, zinc and copper between soil horizons and layers of woody, herbaceous and moss vegetation of the city of Stavropol in accordance with the functional structure. It is revealed that biogeochemical specificity of basic ecological and geochemical systems of the city manifests itself in the characteristic type vertical differentiation element concentrations. The most common types of distribution of elements in the system "soil-plants are the soil-moss, moss-soil and soil-wood. The presented identified soil-moss type, characterized by a strong accumulation of trace element in soil and the moss cover. For basic ecological and geochemical systems with less anthropogenic pressure (suburban and forested areas) characteristic differentiation in the distribution of element concentrations in soil and woody and moss-soil types for the lead, moss and wood for zinc. More intensive anthropogenic load in the industrial and transport area of the city smoothes biogeochemical differences in the distribution of concentrations of elements in soil and vegetation layers.

Keywords: biogeochemical studies, ecological-geochemical system, concentrations of elements

В настоящее время города — сложные территориальные геосистемы, являющиеся разновидностью культурно-техногенных ландшафтов [7]. Для них характерно наличие функциональных зон, формирующих специфическую среду жизни человека со сложной вертикальной и горизонтальной структурой [5, 6]. При этом значительное антропогенное воздействие в городах приводит к значительной техногенной геохимической трансформации качества среды жизни. Так как важнейшие средообразующие и средозащитные функции выполняются почвой и растительностью, то изучение вертикального перераспределения

концентраций элементов в пространстве элементарных эколого-геохимических систем позволяет судить об интенсивности процессов техногенеза в городских территориях.

Целью исследования является выявление особенностей вертикального перераспределения концентраций элементов между почвенными и растительными компонентами в элементарных эколого-геохимических системах города Ставрополя.

Материал и методы исследования

Эколого-геохимическое исследование города Ставрополя включало в себя определение концентраций химических элементов в почвах и растениях в различных функциональных зонах города [3]. Среди растений были изучены представители различных жизненных форм и семейств: робиния ложноакация (как один из основных видов, используемых в озеленении города), пырей ползучий *Elytrigia repens* (семейство *Gramineas*), а также мох *Pleurosium schreberi* [4]. В функциональных зонах г. Ставрополя рассмотрено распределение элементов в верхнем почвенном горизонте (117 проб), моховом, травяном и древесном ярусах (102 пробы). Содержание микроэлементов (меди, цинка, свинца, кадмия) определялось методом вольт-амперометрического анализа. Пробы отбирались в пределах элементарных эколого-геохимических систем, которые выделяются единством почвы и растительного сообщества в пределах элементарной формы рельефа, с сохранением одних и тех же основных условий жизнедеятельности биоты [2].

Радиальная структура элементарных эколого-геохимических систем характеризуется рядом геохимических коэффициентов, используемых при рассмотрении вертикально взаимодействующих подсистем: горной породы, почвы, растений и др. [1]. В настоящей работе для анализа интенсивности вертикального перераспределения элементов в пространстве фаций общепринятые геохимические коэффициенты (радиальной дифференциации R, биологического поглощения Кб) используются под общим названием «коэффициент вертикальной миграции» (Вм). Для каждого фитояруса фаций коэффициент вертикальной миграции определяет интенсивность накопления и рассеивания элементов по отношению к среднему содержанию в почвах. Для почвенного яруса коэффициент вертикальной миграции определяет интенсивность накопления и рассеивания элементов по отношению к кларку горных пород.

Результаты исследования и их обсуждение

Распределение элементов по ярусам элементарных эколого-геохимических систем промышленной зоны города происходит по почвенно-моховому типу. Свинец характеризуется значительными концентрациями в верхнем почвенном горизонте и мхах (114 и 65,8 мг/кг соответственно) и более низкими значениями в древесном ярусе (45,2 мг/кг). Коэффициент вертикальной миграции максимальный для почвенного яруса $V_m=7,1$.

Минимальное поглощение элемента происходит древесной и травянистой растительностью $V_m=3,4-3,5$. Выраженное накопление кадмия наблюдается в почве промышленных районов – до 16 мг/кг. Минимальное содержание элемента характерно для древесного яруса – 1,9 мг/кг. Наибольшая интенсивность накопления кадмия отмечена для почвенного ($V_m=53$) и травяного ($V_m=15,6$) ярусов.

Повышенные концентрации меди приурочены к почвенным горизонтам — 114 мг/кг, по остальным ярусам распределение относительно равномерное (74–76 мг/кг). Медь более интенсивно накапливается моховым ярусом ($V_m=5,1$). Для травяного и древесного ярусов интенсивность концентрирования элемента относительно породы одинакова ($V_m 4,6-4,8$). Коэффициент вертикальной миграции максимальный для мхов и древесной растительности. Распределение цинка также отличается накоплением в пределах почвенных горизонтов и мохового ярусов. Коэффициент вертикальной миграции цинка максимальный для почвенного яруса ($V_m=2,3$). Коэффициенты для остальных ярусов находятся в пределах 1,15–1,46.

Для разных ярусов вертикального пространства элементарных биоэкосистем промышленной зоны можно говорить о своеобразном характере накопления и рассеяния изучаемых элементов относительно почвообразующей породы. Почвенный ярус является зоной вовлечения (в порядке убывания) кадмия, свинца, меди, цинка. В травяном, моховом и древесном ярусах ряд убывания интенсивности поглощения идентичен: кадмий>медь>свинец>цинк. Интенсивнее других элементов в миграционный оборот вовлекается кадмий.

В вертикальном профиле элементарных эколого-геохимических систем лесопарковой зоны города более распространенным является распределение элементов по мохово-почвенным ярусам, характерное для свинца и кадмия. Накопление свинца характеризуется его локализацией в пределах мохового (60,3 мг/кг) и почвенного (51,1 мг/кг) ярусов. Коэффициент вертикальной миграции максимальный для почв (3,2), для представителей травяного и древесного ярусов показатели такие коэффициенты сопоставимы – 0,4 и 0,6. Для кадмия характерна достаточно значительная концентрация в моховом ярусе и почвах лесопарковой зоны (3,3 и 2,9 мг/кг соответственно). Наименьшие содержания присущи древесному и травяному ярусам, которые с одинаковой интенсивностью поглощают элемент из почвы ($V_m=0,48-0,5$). Коэффициенты вертикальной миграции максимальны для почвенного яруса: $V_m=9,6$.

Для меди наибольшие концентрации определены в древесной растительности (44,3 мг/кг), для травяного яруса отмечена наименьшая концентрация – 19,7 мг/кг. Коэффициент вертикальной миграции максимальный для почвенных горизонтов (1,4), незначительный для

травянистой растительности и мхов – 0,46–0,63 соответственно. Вертикальная ярусность перераспределения концентраций меди происходит по древесно-почвенному типу. Максимальные концентрации цинка характерны для мхов. Травы накапливают меньше всего – 15,1 мг/кг. Коэффициенты вертикальной миграции самые значительные в ярусе мхов – 1,34. По вертикальному перераспределению элемента в пространстве элементарных эколого-геохимических систем лесопарковой зоны цинк относится к мохово-древесному типу. В целом, в почвенном ярусе биоэкосистем лесопарковой зоны элементы образуют следующий ряд по убыванию интенсивности вертикальной миграции: кадмий>свинец>медь>цинк; в травяном: кадмий>медь>цинк, свинец; в древесном: цинк>медь>свинец>кадмий.

Вертикальная дифференциация содержания элементов в элементарных эколого-геохимических системах селитебной многоэтажной зоны характеризуется почвенно-моховым типом для большинства элементов. Свинец значительно концентрируется в почвенном ярусе (49 мг/кг), для остальных ярусов концентрации элемента примерно одинаковые (14,6–16,5 мг/кг). Коэффициент вертикальной миграции свинца имеет наибольшее значение в почве. Значительные концентрации кадмия сосредоточены также в почвенном горизонте – 4,1 мг/кг, травяной и древесный ярусы концентрируют его приблизительно в равной степени (0,4–0,7 мг/кг). Наибольшие концентрации цинка характерны для почв и мхов (46–39 мг/кг соответственно). Наименьшее содержание элемента в пределах древесного яруса. Коэффициент вертикальной миграции цинка максимальный в почвенном ярусе ($B_m=1,3$), минимальный в древесном ($B_m=0,4$). Перераспределение меди характеризуется наибольшим содержанием в почвенных горизонтах (43 мг/кг) и древесной растительности (25,7 мг/кг), поэтому вертикальная дифференциация меди происходит по почвенно-древесному типу. Травы и мхи накапливают элемент на одинаковом уровне (24,1–25,7 мг/кг).

В элементарных эколого-геохимических системах селитебной коттеджной зоны вертикальная дифференциация содержания элементов аналогична распределению в селитебной многоэтажной зоне с преобладанием почвенно-мохового типа. Накопление свинца характерно для почвенного яруса (49 мг/кг), для трав и древесной растительности — до 22,5 и 19,0 мг/кг соответственно. Относительно породы идет накопление элемента в почвенных горизонтах ($B_m=3,0$). Миграционная активность свинца в фитоярусах невысокая, коэффициент вертикальной миграции не превышает 1. Минимальный коэффициент вертикальной миграции зафиксирован для яруса древесной растительности (0,38). Зона концентрации кадмия также наблюдается в почвенном ярусе (3,7 мг/кг). Меньше всего кадмия содержит травянистая и древесная растительность (0,6 мг/кг). Максимальная

интенсивность вертикальной миграции кадмия характерна для почв, в которых превышение содержания относительно породы составило 12,3 раза.

Для меди и цинка максимальные уровни концентраций также приурочены к почвенным горизонтам (52,1 и 53 мг/кг соответственно). Содержание меди в древесном ярусе более высокое (34,5 мг/кг), чем в травяном (22 мг/кг). Максимальные значения коэффициента вертикальной миграции меди характерны для почв ($B_m=1,7$). Наименьшие значения коэффициента определены для укоса трав (0,42). Концентрация цинка наиболее значительная в почве и мхах – 53 и 36,5 мг/кг соответственно. Древесная растительность поглощает его слабо, коэффициент миграции для древесной растительности и трав одинаково низкий — 0,29–0,41. Вертикальная ярусность перераспределения содержания меди происходит по почвенно-древесному типу, цинка — по почвенно-моховому.

Дифференциация концентраций элементов в эколого-геохимических системах селитебной коттеджной зоны отличается концентрированием в почвенных горизонтах кадмия, в моховом ярусе более интенсивно поглощаются цинк и медь, в травяном на одном уровне идет биологический захват свинца, меди и цинка, в древесном интенсивнее других элементов поглощается медь.

В дачной зоне наибольшие концентрации свинца обнаружены во мхах (29,3 мг/кг), также относительное накопление его идет в почвенных горизонтах (17,3 мг/кг). В древесной и травянистой растительности концентрации элемента близки (11,0–12,3 мг/кг). Коэффициент вертикальной миграции превышает 1,0 для мохового и почвенного ярусов. Вертикальная дифференциация свинца в дачной зоне происходит по мохово-почвенному типу. Кадмий значительно накапливается в почвах (16,9 мг/кг) и древесном ярусе (13,9 мг/кг) дачной зоны, минимальное накопление происходит в укосе трав (3,9 мг/кг). Коэффициент вертикальной миграции наибольший для почвы ($B_m=1,8$). Травы, древесная растительность и мхи захватывают кадмий слабо ($B_m=0,37-0,55$). Вертикальное перераспределение кадмия в дачной зоне происходит по почвенно-древесному типу.

Наибольшие концентрации меди приурочены к почвенному и древесному ярусам, т.е. медь в эколого-геохимических системах дачной зоны перераспределяется по почвенно-древесному типу. Вертикальная миграция меди характеризуется слабым поглощением элемента всеми фитоярусами ($B_m=0,47-0,79$). Распределение цинка, так же как и распределение меди, идет с большим накоплением в почвенных горизонтах и древесной растительности. Коэффициент вертикальной миграции элемента наибольший в древесном и моховом ярусах (0,82–0,78). Вертикальная дифференциация содержаний цинка относится также к почвенно-древесному типу.

Выводы

Проведенный анализ расположения наиболее высоких концентраций химических элементов по вертикальным ярусам элементарных эколого-геохимических систем города Ставрополя дал возможность выделить наиболее встречающиеся типы распределения концентраций элементов в системе «почва—растения»: почвенно-моховой, мохово-почвенный и почвенно-древесный. Самым представленным является почвенно-моховой тип, характеризующийся сильным накоплением микроэлемента в почве и моховом покрове. Для почвенно-древесного типа вертикального распределения концентраций тяжелых металлов отличительным признаком являются наиболее высокие концентрации в почвенных горизонтах и деревьях. Достаточно редко наблюдается почвенно-травяной тип с самым большим содержанием элемента в почве и газонных травах. Только для распределения цинка характерен мохово-древесный тип вертикальной дифференциации содержания элемента.

Для меди в элементарных эколого-геохимических системах селитебной, лесопарковой и дачной зон города характерен почвенно-древесный тип вертикальной дифференциации содержания элемента. В промышленной зоне тип вертикальной дифференциации содержания меди – почвенно-моховой. По этому же типу в селитебных и промышленной зонах идет распределение свинца и цинка. При этом для элементарных эколого-геохимических систем с меньшей антропогенной нагрузкой (дачной и лесопарковой) характерна широкая дифференциация в распределении концентраций элементов: почвенно-древесный и мохово-почвенный типы для свинца, мохово-древесный для цинка.

Особенностями биогеохимической специфики элементарных эколого-геохимических систем территории Ставрополя является определенный тип перераспределения концентраций химических элементов. При этом более сильное антропогенное воздействие в промышленных районах городской территории нивелирует различия в распределении концентраций элементов в системе «почва—растения».

Список литературы

1. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.
2. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. – М.: Изд. центр «Академия», 2003. – 400 с.
3. Дегтярева Т.В., Титоренко В.А. Эколого-геохимические исследования урбанизированных экосистем города Ставрополя // Вестник Московского государственного областного университета. Серия «Естественные науки». № 5. 2011. – С. 44–48.

4. Дегтярева Т.В., Титоренко В.А. Накопление элементов растениями в соответствии с ландшафтно-функциональной структурой города Ставрополя // *Фундаментальные исследования. Географические науки*. 2014, № 9. С. 585–589.
5. Федюнина Д.Ю. Развитие учения о географической среде / *Вестник Московского государственного областного университета. Серия «Естественные науки»*. – М.: МГОУ, 2012. — № 2. – 108 с.
6. Федюнина Д.Ю. Территориальная дифференциация и кадастр сред ландшафтов Ставропольского края / *Современные наукоемкие технологии*. — М.: Академия естествознания, 2006. № 7. — 126 с.
7. Шальнев В.А., Дегтярева Т.В. Географическая среда: спорные вопросы и пути их решения // *Вестник Ставропольского государственного университета*, № 74. 2011. — С. 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.