УДК 632.15:504.53(476)

СОВРЕМЕННОЕ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ В ДОЛИНЕ р. СВИСЛОЧИ В г. МИНСКЕ

С. В. Савченко, Е. В. Санец, В. А. Рыжиков, Г. М. Бокая
Институт природопользования НАН Беларуси,
ул. Ф. Скорины 10, 220114 Минск, Республика Беларусь; geosystem1@rambler.ru

Исследования почв долины р. Свислочи в г. Минске показали, что избыточного накопления в них тяжёлых металлов не отмечается. Исключение составляет Cd, содержание которого превышает среднее для города значение в 1,7 раза. Среднее содержание HCO_3^-, Ca и Mg выше среднего для города значения в 2,1–2,6 раза, концентрации Cl^-, Na и K ниже в 1,6–4,1 раза, сумма солей – в 1,7 раза.

По линии ландшафтно-геохимического профиля 1 в почвах наблюдаются повышенные концентрации Cd; в почвах элювиального ландшафта – также Ni, SO_4^{2-}, Na и K; в почвах трансэлювиального ландшафта – Pb; супераквального ландшафта – HCO_3^-, Ca, Mg и суммы солей.

Почвы по линии ландшафтно-геохимического профиля 2 отличаются повышенным содержанием Cd; почвы элювиального ландшафта – SO_4^{2-}; трансэлювиального ландшафта – Mg и K; элювиального и транссупераквального – Mn; транссупераквального ландшафта – Zn, Na и суммы солей.

Ключевые слова: Долина реки; почвы; тяжёлые металлы; нефтепродукты; водорастворимые вещества; содержание химических веществ.

Введение. Одним из направлений эколого-геохимического исследования городов является изучение городских водных объектов, которые в условиях города имеют важную рекреационную функцию, т. к. к водоёмам и водотокам приурочены значительные по площади природные комплексы. В г. Минске самым крупным природным комплексом, включающим разные по статусу ландшафтно-рекреационные территории, является долина р. Свислочи. Река протекает по территории г. Минска с северо-запада на юго-восток на протяжении 40 км.

С точки зрения геохимии главной особенностью долинных комплексов является формирование отложений, связанных с эрозионной и аккумулятивной деятельностью рек, распространением речных песчаных осадков, наличием различных, присущих только речным долинам, особенных форм рельефа. В соответствии с особенностями геоморфологического строения, характера и направленности аллювиальных процессов на разных участках долины реки формируются различные геохимические обстановки и условия миграции и аккумуляции химических элементов. Данные особенности строения долин рек необходимо учитывать при оценке латеральной и радиальной миграции химических элементов и их соединений в почвах долинного комплекса.

Методы исследований. Полевые исследования почв долины р. Свислочи в пределах существующей и перспективной городской черты г. Минска проводились в 2019 г. Они включали комплексное визуальное обследование прибрежной территории и отбор почвенных образцов, который проводился методом продольного и поперечного профилирования. Продольное ландшафтно-геохимическое профилирование осуществлялось путём опробования верхнего почвенного горизонта в наиболее хорошо выраженных элементах речной долины (пойма, надпойменная терраса, коренной берег) на всем протяжении реки. Поперечное ландшафтно-геохимическое профилирование включало отбор верхнего горизонта почв сопряжённого геохимического ряда элементарных ландшафтов [2].

В лабораторных условиях в пробах почв определялись кислотность (pH), содержание нефтепродуктов, валовое содержание Cd, Pb, Zn, Cu, Ni и Mn, а также водорастворимые вещества: анионы – HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-} и катионы – Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+. Проведение измерений содержания химических веществ и показателей осуществлялось в соответствии с ТНПА и МВИ в области охраны окружающей среды, действующими на момент исследований.

Оценка эколого-геохимического состояния почв проводилась для каждой пробной площадки путём сравнения фактических значений содержания химических веществ, полученных в результате измерений, со значениями их фонового содержания и действующими на момент обследования гигиеническими нормативами.

Обсуждение результатов.

pH. Опробование показало, что показатель pH почв долины р. Свислочи в границах г. Минска в среднем составляет 6,7, что позволяет отнести почвы к нейтральным. Пределы изменения pH – от 5,2 (кислые почвы) до 7,8 (слабощелочные почвы). Почти половина исследованных почв (48 %) относится к слабощелочным, около 27 % – к нейтральным и близким к нейтральным, 24 % – к кислым и слабокислым. Такие высокие показатели pH являются весьма характерными для городских территорий, что также отмечено в работах [3, 8]. В то же время естественные почвы, в минимальной степени подверженные техногенной нагрузке, имеют более кислую реакцию среды [1, 4].

Тяжёлые металлы и нефтепродукты. В табл. 1 представлены основные статистические параметры, характеризующие содержание тяжёлых металлов (ТМ) и нефтепродуктов (НП) в исследованных почвах.

Таблица 1 – Основные статистические параметры валового содержания ТМ и НП в верхнем (0–20 см) горизонте почв долины р. Свислочи в г. Минске

Показатель	Химическое вещество						
	НП	Cd	Pb	Cu	Ni	Zn	Mn
Минимальное содержание, мг/кг	5,0	0,15	3,94	1,78	0,20	10,2	40,3
Максимальное содержание, мг/кг	146,9	0,52	29,0	15,8	65,0	116,0	535,5
Среднее для выборки, мг/кг	31,6	0,33	12,1	8,16	2,82	37,5	165,1
Встречаемость значений выше ПДК (ОДК), %	6,9	Ед. сл.	–	–	Ед. сл.	13,8	–
Максимальное превышение ПДК (ОДК), раз	1,47	1,04	–	–	3,25	2,11	–
Среднее для г. Минска (фон) [5]	134	0,19	20,4	17,1	6,30	57,1	217
ПДК (ОДК) [7]	100	0,5	32,0	33,0	20,0	55,0	1 500

Оценка валового содержания ТМ в образцах почв, отобранных в долине р. Свислочи (за исключением точек отбора по линии профилей), показала, что средние концентрации большинства из них ниже, чем среднее значение, установленное для г. Минска в целом. Исключение составляет Cd, среднее содержание которого превышает фон в 1,7 раза. Обращают на себя внимание крайне низкие концентрации в почвах Ni, что не характерно для городских почв и почв Беларуси в целом.

Так, среднее содержание Cd в исследованных почвах составляет 0,33 мг/кг, Pb – 12,1, Cu – 8,13, Ni – 2,82, Zn – 37,5, Mn – 165,1, НП – 31,6 мг/кг. Разброс значений для исследованных химических веществ составляет от 3,5 раза для Cd до 29 раз для НП.

Превышение установленных нормативов содержания химических веществ в почвах наблюдается на отдельных локальных участках для Zn и НП, в единичных случаях – для Cd и Ni. Наибольшая встречаемость проб с превышением допустимого уровня зафиксирована для Zn – 13,8 % проб. Для НП данный показатель составляет 6,9 %.

Анализ водных вытяжек из верхнего горизонта почв показал, что в пределах природных комплексов долины р. Свислочи среди анионов преобладают HCO_3^- – 97 %-экв, среди катионов – Ca^{2+} (65 %-экв) и Mg^{2+} (21 %-экв) (табл. 2). Исходя из имеющихся данных можно предположить, что основная масса HCO_3^- связана с ионами Ca^{2+} и Mg^{2+}, образуя соли $Ca(HCO_3)_2$ и $Mg(HCO_3)_2$.

Таблица 2 – Основные статистические параметры содержания водорастворимых веществ в верхнем (0–20 см) горизонте почв долины р. Свислочи в г. Минске

Показатель	Водорастворимое вещество, мг/кг							
	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Σ_M
Минимальное содержание, мг/кг	244	18,0	4,0	32,0	12,0	4,5	1,5	360,0
Максимальное содержание, мг/кг	1 830	18,2	29,3	541,0	134,0	17,5	89,0	2 864
Среднее для выборки, мг/кг	909,7	18,0	10,6	201,6	64,0	9,3	36,1	1 249
Встречаемость значений выше фона, %	73,9	–	–	65,2	95,7	–	13,0	65,2
Максимальная превышение фона, раз	4,1	0,4	0,8	6,3	5,4	0,5	1,5	3,9
Среднее для г. Минска (фон) [6]	443,5	40,9	37,6	85,9	24,9	38,3	58,4	732

Так, среднее содержание HCO_3^- достигает 909,7 мг/кг, ионов Cl^- – 18,0, SO_4^{2-} – 10,6, Ca^{2+} – 201,6, Mg^{2+} – 64, Na^+ – 9,3, K^+ – 36,1 мг/кг. Разброс значений составляет от 3,9 раза для ионов Na^+ до 59 раз для K^+. Различия в содержании суммы солей (Σ_M) в разных точках отбора проб почв составляют 8 раз с разбросом значений от 360,0 до 2 864 мг/кг.

По отношению к величинам, рассчитанным для почв г. Минска, согласно [6], среднее содержание HCO_3^- в почвах долины р. Свислочи выше в 2,1 раза, Ca^{2+} – в 2,3, Mg^{2+} – в 2,6 раза. Концентрации Cl^-, Na^+ и K^+ ниже – от 1,6 до 4,1 раза. Сумма солей также превышает среднее для города значение в 1,7 раза. Это может быть обусловлено гипсометрически пониженным местоположением обследованных участков, в результате чего в почвы идёт поступление водорастворимых веществ с поверхностным и подземным стоком с вышележащих территорий.

Заложенные на территории исследований поперечные ландшафтно-геохимические профили характеризуют содержание химических веществ в почвах долины р. Свислочи в сопряжённом ряду геохимических ландшафтов.

В ландшафтно-геохимическом профиле 1 почвы имеют кислотность, понижающуюся по линии профиля – от слабокислой с рН 6,0 в почвах элювиального ландшафта до нейтральной с рН 6,6 в почвах супераквального ландшафта.

Исследование содержания ТМ и НП в почвах по линии профиля выявило наименьшие концентрации всех исследованных химических веществ в почвах супераквального ландшафта. Здесь содержание Cd и Cu в 1,3 раза ниже, чем на участках с наибольшей концентрацией, Zn – в 2,7, Mn – в 2,8, Pb – в 4,1 раза. Наибольшая концентрация Cd и Mn характерна для элювиального ландшафта, Pb, Cu, Zn и нефтепродуктов – трансэлювиального.

Особенностью накопления Ni является его высокое содержание в почвах элювиального ландшафта, где концентрация Ni в сотни раз выше, чем на нижележащих участках, и крайне низкие его значения в почвах супераквального ландшафта. При этом в почвах элювиального ландшафта концентрация Ni в 10,3 раза выше фона и в 3,3 раза выше норматива.

Анализ водных вытяжек из почв показал, что почвы элювиального ландшафта характеризуются повышенным по сравнению с нижележащей территорией содержанием SO_4^{2-}, Na^+ и K^+. В супераквальном ландшафте происходит накопление HCO_3^-, Ca^{2+} и Mg^{2+}. Минимальными значениями всех показателей характеризуются почвы трансэлювиального ландшафта, для которого характерен транзит водорастворимых веществ с их последующим накоплением в почвах нижележащей территории. Это подтверждается данными о сумме солей, находящихся в почвах – их содержание в нижней части профиля в 1,7 раза выше, чем в почвах трансэлювиального ландшафта, и в 1,4 раза выше, чем элювиальном ландшафте.

По сравнению со средними значениями для г. Минска, почвы в пределах профиля 1 обогащены HCO_3^-, содержание которых превышает фон в 1,5–2,8 раза, Ca^{2+} – в 1,4–2,3 и Mg^{2+} – в 2,9–4,9 раза. По сумме солей почвы исследованной территории также превышают фоновое значение в 1,3–2,2 раза.

В сопряжённом геохимическом ряду по линии профиля 2 показатель pH вниз по профилю увеличивается от 6,6 (нейтральные почвы) до 7,6 (слабощелочные почвы).

Наименьшими значениями большинства исследованных металлов характеризуются почвы трансэлювиального ландшафта, наибольшими – транссупераквального. По сравнению с почвами трансэлювиального ландшафта, почвы транссупераквального ландшафта обогащены Cd в 1,4 раза, Ni – в 1,8, Cu – в 1,9, Zn – в 2,4, Pb – в 2,7, Mn – в 3,5 раза. При этом в почвах транссупераквального ландшафта концентрация Zn в 1,1 раза превышает установленный норматив, содержание Cd находится на уровне норматива, что позволяет говорить об избыточном накоплении данных элементов.

Анализ водных вытяжек из почв по линии профиля 2 показал, что почвы элювиального ландшафта в пределах коренного берега характеризуются повышенным по сравнению с нижележащей территорией содержанием SO_4^{2-}. В транссупераквальном ландшафте происходит накопление ионов Na^+. В почвах трансэлювиальных ландшафтов повышенное по сравнению с другими участками по линии профиля содержание ионов Mg^{2+} и K^+. Сумма солей в нижней части профиля в 1,2–2,2 раз выше, чем на вышележащих территориях, что обусловлено гипсометрически пониженным расположением участка.

По сравнению со среднегородскими значениями, почвы в пределах профиля 2 обогащены HCO_3^-, содержание которых превышает фон в 2,1–4,8 раза, Ca^{2+} – в 3,0–6,8 и Mg^{2+} – в 1,9–4,9 раза. Сумма солей в почвах в пределах профиля также превышает фоновое значение для г. Минска в 1,8–3,9 раза.

Выводы. Исследования широкого спектра показателей в почвенном покрове долины р. Свислочи в пределах г. Минска показали следующее.

Величина pH почв в среднем нейтральная и изменяется от 5,2 (кислой) до 7,8 (слабощелочной).

Избыточного накопления ТМ в почвах исследованной территории не отмечается, за исключением Cd, содержание которого превышает среднее для города значение в 1,7 раза. Обращают на себя внимание крайне низкие концентрации в почвах Ni, что не характерно для почв Беларуси в целом.

Среднее содержание гидрокарбонатов в почвах долины р. Свислочи выше среднего для города значения в 2,1 раза, Ca^{2+} – в 2,3, Mg^{2+} – в 2,6 раза. Концентрации Cl^-, Na^+ и K^+ ниже в 1,6–4,1 раза, сумма солей – в 1,7 раза.

В почвенном покрове по линии поперечного профиля 1 идёт накопление Cd, в почвах элювиального ландшафта – также Ni, из водорастворимых веществ – SO_4^{2-}, Na^+ и K^+, в почвах трансэлювиального ландшафта – Pb. В супераквальном ландшафте происходит накопление HCO_3^-, Ca^{2+} и Mg^{2+}. Сумма солей в нижней части профиля в 1,7 раза выше, чем в почвах трансэлювиального ландшафта и в 1,4 раза выше, чем элювиальном ландшафте.

Почвы по линии поперечного профиля 2 отличаются повышенным содержанием Cd, почвы элювиального ландшафта – содержанием SO_4^{2-}, элювиального и транссупераквального – Mn, транссупераквального – Zn и ионов Na^+. В почвах трансэлювиального ландшафта повышенное по сравнению с другими участками содержание Mg^{2+} и K^+. Сумма солей в нижней части профиля в 1,2–2,2 раз выше, чем на вышележащих территориях.

Библиографические ссылки

1. Геохимическое изучение ландшафтов Березинского биосферного заповедника / Под ред. К. И. Лукашёва. Минск : Наука и техника, 1985.

2. *Глазовская М. А.* Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. Смоленск : Ойкумена, 2002.

3. Городская среда: геоэкологические аспекты: монография / В. С. Хомич [и др.]. Минск : Беларус. навука, 2013.

4. *Натаров В. М., Лукашёв О. В., Савченко В. В.* Комплексный геохимический фоновый мониторинг в Березинском биосферном заповеднике. Минск : Белорус. Дом печати, 2013.

5. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС) [Электрон. ресурс]. URL: http://www.ecoinfo.by/uploads/archive/Book2015/1-soil-25-11.pdf (дата доступа: 11.10.2017).

6. *Рыжиков В. А., Романкевич Ю. А., Городецкий Д. Ю., Бокая Г. М.* Распределение минеральных водорастворимых веществ в почвах функциональных зон городов с различной техногенной нагрузкой // Природопользование. 2011. № 20. С. 68–75.

7. ТКП 17.03-06-2019 (33140) Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Порядок выполнения работ по дифференцированному нормированию содержания химических веществ в землях (включая почвы). Минск, 2019.

8. *Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И.* Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Минск : Минсктиппроект, 2004.

УДК 574.424.6(476)

ВЫЯВЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННОГО НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ г. СЛУЦКА

А. А. Карпиченко
Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; karpi@bsu.by

В статье рассмотрено влияние техногенных факторов на почвенный покров г. Слуцка. Определение валового содержания химических элементов (Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr) выполнялось эмиссионно-спектральным методом. Среднее содержание Cu в верхних горизонтах почв г. Слуцка составляет 4,3 мг/кг, Pb – 4,7, Mn – 110, Ni – 1,18, Sn – 0,31, Ti – 475, Cr – 9,5 мг/кг. Содержание почти всех исследуемых элементов отличается высокой вариабельностью (коэффициенты вариации достигают 31,2–50,5 %), аномальная – у Cu и Pb (178,7 и 146,1 %). Выявлено два случая превышения ПДК.

Ключевые слова: геохимия почв; техногенез; тяжёлые металлы; загрязнение почв; геохимическая оценка.

Геохимия почв урболандшафтов в заметной степени отличается от геохимии природных и агроландшафтов, что связано с существенно большим техногенным влиянием в городских условиях [1]. Строительные работы, накопление культурного слоя, прокладка коммуникаций (наземных и подземных), выбросы производства, коммунального хозяйства и транспорта, подсыпка грунта, применение противогололедных реагентов и даже удаление опавшей листвы в парках – всё это существенным образом изменяет естественные геохимические потоки вещества и энергии, протекающие в экосистемах. В результате в городе формируются геохимические аномалии различной степени контрастности в зависимости от размера города, специализации промышленного производства, конфигурации транспортных магистралей и т. д., в городе формируется другая, отличная от природных ландшафтов, геохимическая структура [2].

Для установления техногенного накопления элементов в верхних горизонтах г. Слуцка летом 2020 г. был произведен отбор проб по городу с учётом функциональных зон, размещения промышленных предприятий и транспортной загрузки. Всего было отобрано 50 образцов почв, преимущественно супесчаного гранулометрического состава. Отобранные образцы почв высушивались до воздушно сухого состояния, просеивались через сито диаметром 1 мм, взвешивались, после чего проводилось сухое озоление пробы в муфельной печи при температуре 440–450 °С. После озоления проба охлаждалась в эксикаторе, взвешивалась для определения потерь при прокаливании, и растирались до пудрообразного состояния. Потери от про-