

УДК 581.5 (571.55)

АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ РАСТЕНИЙ ВИДА *POTENTILLA TANACETIFOLIA*, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ЧИТЫ И ЧИТИНСКОГО РАЙОНА

© *Г.Ю. Самойленко**, *Е.А. Бондаревич*, *Н.Н. Коцюржинская*

*Читинская государственная медицинская академия, ул. Горького, 39а,
Чита, 672000 (Россия), e-mail: g.s.311278@mail.ru*

Применение биогеохимических методов исследования является необходимым при изучении техногенной миграции токсичных элементов в урбозкосистемах. Используя значения эколого-геохимических индексов, в данной работе провели оценку степени накопления и перемещения цинка, свинца, кадмия и меди из почвы в органы растений вида *Potentilla tanacetifolia*. Определение содержания элементов осуществляли методом инверсионной вольтамперометрии. По результатам проведенных исследований и по значениям эколого-геохимических коэффициентов установлено, что по уровню загрязнения почвы г. Читы и Читинского района были отнесены к территориям с низким уровнем загрязнения. По значениям эколого-геохимических индексов для растений вида *P. tanacetifolia* отмечено интенсивное поглощение кадмия корневой системой и активное перемещение цинка и меди из корнеобитаемого слоя почв. Значения коэффициента транслокации (ТФ) указывали на поступление в надземные органы меди, свинца и кадмия практически на всех исследуемых площадках. По значению коэффициента дискриминации установлено, что данный вид интенсивно накапливает кадмий. Представленные нами результаты свидетельствуют о том, что растения вида *P. tanacetifolia* можно отнести к видам-аккумуляторам с достаточно высокой степенью накопления тяжелых металлов при низкой концентрации в среде.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почва, Забайкалье, биогеохимические методы.

Введение

Усиление регулярной антропогенной нагрузки на окружающую среду приводит к неизбежному ухудшению состояния урбозкосистем и, в частности, почвенно-растительного покрова. Как известно, почва – это специфический компонент экосистем, выступающий как природный буфер, контролирующий перенос химических элементов в остальные компоненты (поверхностные и грунтовые воды, атмосферу, растительные сообщества). Растения, с одной стороны, получая элементы из почвы и атмосферы, характеризуют степень загрязнения окружающей среды, но, с другой стороны, они должны обладать достаточной степенью устойчивости и механизмами защиты от избыточного поступления техногенных загрязнителей [1]. Многолетние травянистые растения являются и аккумуляторами, и инактиваторами многих токсических элементов. Их надземные органы и корневые системы чувствительны к изменениям окружающих условий жизни [2].

Высокая концентрация промышленных предприятий и интенсивный поток транспорта на городских улицах являются основными причинами повышенного загрязнения природных объектов и нарушения баланса содержания в них биофильных элементов [3, 4]. В условиях Забайкалья данная проблема остается не менее актуальной. На территории г. Читы основными источниками загрязнения окружающей среды являются: теплоэлектростанции и котельные, их золошлакоотвалы, автомобильный и железнодорожный транс-

Самойленко Галина Юрьевна – ассистент кафедры химии и биохимии, e-mail: g.s.311278@mail.ru

Бондаревич Евгений Александрович – кандидат биологических наук, доцент кафедры химии и биохимии, e-mail: bondarevich84@mail.ru

Коцюржинская Наталья Николаевна – кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой химии и биохимии, e-mail: nata_nik_k@mail.ru

порт, аэродромы, частный сектор с печным отоплением, воинские части, близкорасположенная городская свалка твердых бытовых отходов и т.д. [5]. Антропогенные ландшафты города включают в себя кроме кварталов городской застройки дачные массивы, пашни, сенокосы и несколько озер [6].

* Автор, с которым следует вести переписку.

Актуальность экологических проблем городов вызывает необходимость изучения техногенной миграции токсичных элементов, одними из которых являются тяжелые металлы. В связи с этим особое внимание уделяется исследованиям с использованием биогеохимических методов [7].

В качестве одного из информативных объектов изучения степени поглощения и накопления тяжелых металлов нами выбрана лапчатка пижмолистная (*Potentilla tanacetifolia* Willd. ex. Schltld., сем. Rosaceae). Данный вид относится к группе многолетних растений, мезоксерофит, с широкой экологической амплитудой, входит в рудеральные сообщества [8, 9]. Является классическим представителем флоры юга Восточной Сибири.

Первые сведения о накоплении Cd, Pb и других элементов в условиях Забайкалья (Шерловогорский горнорудный район) у растений данного вида имеются в опубликованной литературе [10–12]. В работах одним из объектов изучения выбрана лапчатка скученная (*Potentilla acervata* Sojak), произрастающая в условиях техногенного ландшафта. Приведены сведения о том, что максимальное содержание Cd и Pb обнаружено в листьях, значительно ниже содержание в корневой системе, и минимальное накопление было характерно для генеративных органов [10, 11]. Полученные авторами данные свидетельствуют о том, что K_n свинца лапчаткой скученной достаточно высок. Максимальное значение K_n характерно для листьев, существенно меньше для цветков и стеблей. Поглощение свинца корнями незначительно. В работах приведены ссылки на исследования разных авторов, опубликованных в 1970–1980 гг., согласно которым, содержание свинца в надземных органах растения составляют 0.00–0.08 мг/кг влажной массы, 0.05–3.0 мг/кг сухой массы и 2.7–94.0 мг/кг золы. Пределы варьирования содержания свинца в степной растительности Забайкалья – 0.59–2.70 мг/кг. Токсичная концентрация в листьях составляет 30–300 мг/кг [11, 12].

Работы В.К. Кашина и Г.М. Иванова посвящены изучению содержания Li, Sr, V в органах различных представителей рода *Potentilla*, произрастающих на территории Западного Забайкалья [13–15]. Согласно представленным данным, указанные элементы для растений этого вида относятся к группе повышенного накопления, независимо от их содержания в почвах.

Цель – оценить степень накопления и перемещения некоторых тяжелых металлов (Zn, Cd, Pb, Cu) из почвы в органы растения вида *P. tanacetifolia* в условиях города Читы, используя значения различных эколого-геохимических коэффициентов.

Материалы и методики исследования

Образцы почв и растений для элементного анализа отбирали в трехкратной повторности в июне и августе в период с 2014 по 2017 г. Почвы отбирались методом прикопок, в соответствии с принятыми в геохимии и почвоведении методами. Растительные образцы отбирались параллельно с почвенными.

Перед анализом растения высушивали на воздухе, разделяли на органы и после высушивания подвергали мокрому озолению с добавлением концентрированной HNO_3 и 30%-ного раствора H_2O_2 . Перед анализом золу растворяли в концентрированной HCOOH [16].

Для отбора образцов почв закладывались площадки размером $10 \times 10 \text{ м}^2$ по общепринятым методикам. Почву отбирали методом прикопок из корнеобитаемого слоя (0–15 см). Пробы высушивали в сушильном шкафу. Для извлечения подвижных форм металлов образцы обрабатывали ацетатно-аммонийным буферным раствором с $\text{pH}=4.8$ и выпаривали при $450 \text{ }^\circ\text{C}$. Перед анализом золу растворяли в концентрированной HCOOH [17].

Определение Zn, Cd, Pb и Cu в почве и в золе растений проводили методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе «ГА-Универсал», методом добавок.

Для исследования выбраны следующие участки в г. Чите и Читинском районе (рис. 1): пункт №1 – в районе горы Титовская сопка, восточный склон; пункт №2 – южный склон хребта Черского, площадка в районе спортивного комплекса «Орбита»; пункт №3 – западный склон хребта Черского, площадка в районе спортивного комплекса «Орбита»; пункт №4 – микрорайон Сосновый бор, ул. Украинский бульвар (вблизи автотрассы); пункт №5 – пос. ГРЭС, ул. Энергетиков; пункт №6 – п. Атамановка (Читинский район), вблизи автотрассы; пункт №7 – п. Антипиха (Читинский район) (вблизи автомагистрали); пункт №8 – территория рекреационной зоны Парка Победы; пункт №9 – лесостепной участок в урочище Сенная падь; пункт №10 – юго-восточный склон Яблонового хребта, рядом с автодорогой Чита-Романовка; пункт №11 – лесостепной южный склон левого борта долины р. Никишиха. Фоновым участком выбрана наиболее удаленная от города территория пункта №12 (с. Елизаветино).

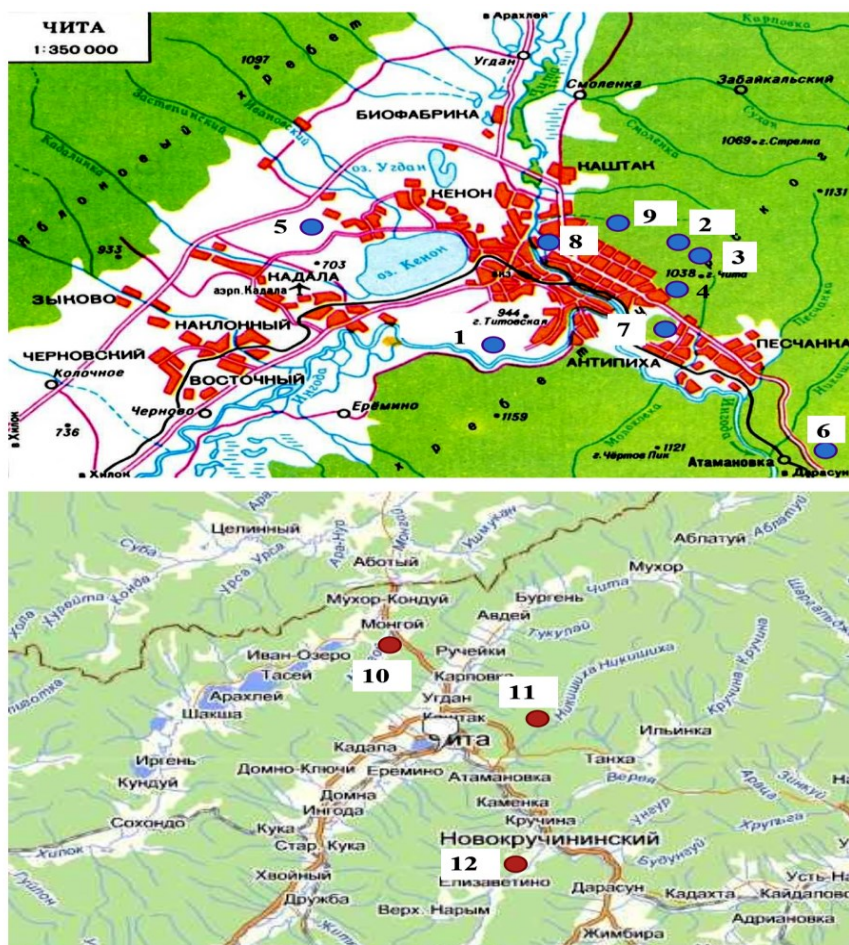


Рис. 1. Карта-схема расположения точек отбора проб образцов почв и растений

Для почвенных образцов коэффициент техногенной концентрации элементов (K_c) определяли согласно формуле

$$K_c = \frac{K_{\text{общ}}}{K_{\text{фон}}}$$

Опасность загрязнения почв тем выше, чем больше K_c превышает единицу. Суммарный показатель загрязнения (Z_c) рассчитывали по формуле

$$Z_c = \sum nK_c - (n-i),$$

где $i=1$ [10].

По значению суммарного показателя загрязнения выделяют следующие уровни загрязнения почвенных образцов: $Z_c < 16$ – низкий уровень; $16 < Z_c < 32$ – средний, умеренно опасный; $32 < Z_c < 64$ – высокий, опасный; $64 < Z_c < 128$ – очень высокий, очень опасный; $Z_c > 128$ – максимальный, чрезвычайно опасный. Для растительных образцов определяли индекс биологического поглощения (B_x) через соотношение содержания микроэлемента в золе растений к его подвижным формам в почве:

$$B_x = \frac{C_{\text{зола раст.}}}{C_{\text{ПФ в почве}}} \quad [11].$$

Интенсивность корневого поступления элементов из почвы рассчитывали с помощью коэффициента накопления (K_H), который выражает отношение содержания элемента в корнях к таковому в почве:

$$K_H = \frac{K_{\text{корни}}}{K_{\text{почва}}}.$$

Для характеристики процессов передвижения элементов по органам растений использовали коэффициент передвижения (K_H), равный отношению содержания элементов в листьях к таковому в корнях:

$$K_H = \frac{K_{\text{листья}}}{K_{\text{корни}}}.$$

Показатель биогеохимической активности микроэлементов в растениях рассчитывали как сумму индексов биологического поглощения подвижных форм тяжелых металлов: $BXA = \sum B_x$ [3, 18].

Для характеристики процессов перехода тяжелых металлов из корней в надземные органы растений рассчитывали коэффициент транслокации (TF) по формуле

$$TF = \frac{C_{\text{shoot}}}{C_{\text{root}}},$$

где C_{shoot} – концентрация элемента в надземной фитомассе, мг/кг; C_{root} – концентрация элемента в тканях корня, мг/кг [19].

Коэффициент дискриминации Zn/Cd (DF):

$$DF = \frac{Zn_{\text{plant}} / Cd_{\text{plant}}}{Zn_{\text{soil}} / Cd_{\text{soil}}},$$

где Zn_{plant} и Zn_{soil} – концентрация цинка в фитомассе и в почве (подвижная форма), в мг/кг; Cd_{plant} и Cd_{soil} – то же для кадмия [19].

Коэффициент дискриминации позволяет судить о том, как изменяется почвенное соотношение Zn/Cd в растении. При $DF \gg 1$ происходит активное избирательное поглощение Zn, $DF \approx 1$ указывает на пассивный характер поглощения Zn и Cd из почвы. Значения $DF < 1$ свидетельствуют о преимущественном (по сравнению с почвой) накоплении Cd и характерны для органов, выполняющих барьерную функцию [19]. Динамика значений биогеохимических коэффициентов для растений представлена в виде логарифмических диаграмм.

Полученные данные были подвергнуты статистической обработке с помощью методов описательной и вариационной статистики с использованием статистического пакета Microsoft Excel 2010 и PAST 3.0 [20].

Результаты исследования и обсуждение

Суммарный показатель загрязнения (Z_c) отражает степень загрязнения почв химическими веществами, в том числе и тяжелыми металлами. При анализе полученных данных для почв исследуемых участков установлено, что большинство образцов имели значения Z_c менее 15 единиц и были отнесены к территориям с низким уровнем загрязнения (табл.).

Пункт №4 (ул. Украинский бульвар, вблизи автотрассы) характеризовался величиной коэффициента, равной 15.14, поэтому отнесен к среднему по уровню загрязнения. Самое низкое значение коэффициента характерно для фоновой территории, которая в силу своей удаленности от территории города не испытывает регулярной и значительной техногенной нагрузки. По величине коэффициента концентрации (K_c) почвы участков на территории г. Читы и Читинского района также характеризовались низкой степенью загрязненности корнеобитаемого слоя. Значения коэффициента концентрации относительно всех элементов значительно превышали единицу в пунктах, территории которых расположены вблизи автодорог либо городского, либо междугороднего сообщения: для Zn – пункты № 3, 4 и 5; для Cd – пункт №10; для Pb – пункт № 4, 7; для Cu – пункт №3 (табл.).

При анализе эколого-геохимических коэффициентов для *P. tanacetifolia* выявлены следующие особенности. Значения коэффициента накопления (K_H) тяжелых металлов указывали на активное поступление подвижных форм поллютантов (рис. 2). На всех участках отмечена активная абсорбция кадмия корневой системой растения. Также высокие значения K_H зафиксированы по свинцу для растений пункта №4 (12.03). Вследствие того, что K_H является критерием оценки количества металлов, перешедших из почвы в растения, можно предположить об отсутствии защитных механизмов в корневой системе лапчатки по отношению к кадмию и свинцу.

Средние значения коэффициента концентрации (K_c) и суммарного показателя загрязнения (Z_c) для почв Читы

Пункт	K_c				Z_c
	Zn	Cd	Pb	Cu	
1	1.32	1.49	4.28	2.55	6.64
2	2.51	0.73	3.41	5.93	9.85
3	3.29	0.59	2.85	8.40	8.28
4	5.47	1.26	8.92	2.49	15.14
5	5.98	0.73	2.59	3.41	9.98
6	1.86	0.79	4.43	1.49	5.78
7	3.39	1.35	7.63	2.49	11.86
8	2.79	0.63	3.16	3.28	7.23
9	1.93	1.36	7.73	2.55	10.57
10	1.41	2.02	4.04	3.17	7.64
11	1.22	0.31	2.03	2.71	5.07

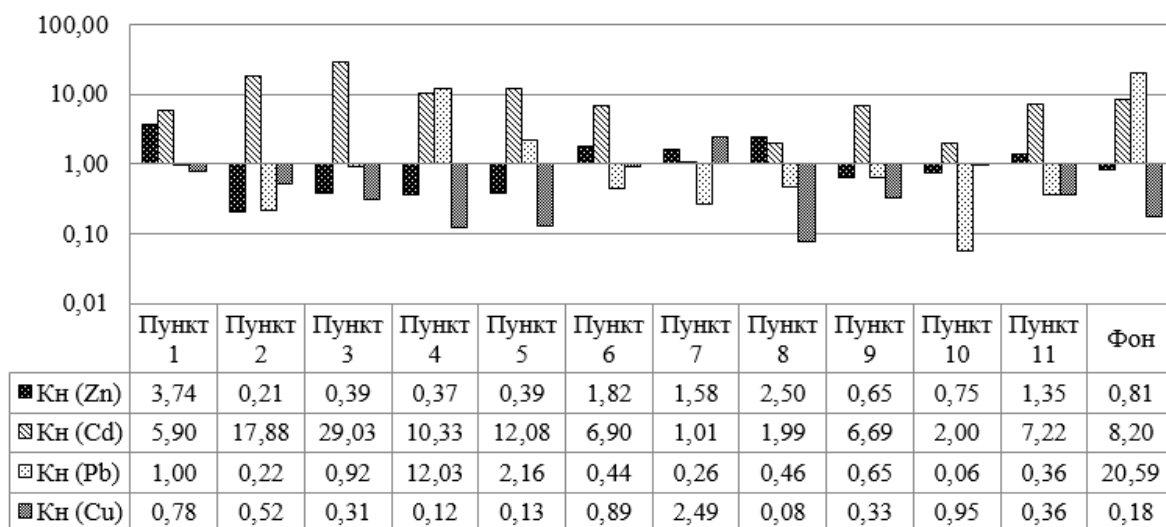


Рис. 2. Средние значения коэффициента накопления (K_n)

Оценивая значения K_n , можно судить о том, что наибольшей подвижностью обладали свинец, медь и кадмий (рис. 3). Максимальные значения коэффициента для кадмия зарегистрированы в пункте №7 (8.10) и №10 (3.24), на территории которых основными источниками загрязнения являются автотрассы с высокой автомобильной нагрузкой. Для меди значительный скачок в передвижении фиксировался в пункте и №4 (34.4), но вместе с тем показатели для цинка, кадмия и свинца на этом участке оставались низкими. Для цинка максимальные значения K_n отмечены на территории пункта №3 (1.98), а для свинца – в пункте №10 (13.0). В почвах указанных территорий, за исключением участка №4, Z_c достигал невысоких значений (от 10.3 до 11.2 единиц). Возможно, такая динамика в процессах передвижения связана с повышенной потребностью растений в данных элементах в период вегетации [1, 21, 22]. Высокие показатели для кадмия, вероятно, обусловлены поверхностным загрязнением листьев растений на указанных площадках [19, 23].

По величине B_x для растений всех пунктов отмечено активное поглощение ионов кадмия, а в пунктах №4, 6 и фонового участка – еще и свинца (рис. 4). Анализ значений коэффициента показал, что он максимален для кадмия – 15.02 в пункте №3 и цинка – 6.69 в пункте №1. Минимальные показатели отмечены для меди – 0.14 в пункте №8. Для участков, расположенных вблизи крупных автотрасс, почвы которых характеризовались высоким значением Z_c (пункты № 4, 7, 9), активное поглощение кадмия, возможно, также указывало на безбарьерное поступление этого токсиканта через корневую систему растений. Высокие значения B_x у растений участков, почвы которых характеризовались средними величинами Z_c (пункты № 1, 3, 6), возможно, связаны с фолитарным загрязнением надземных органов растений [23].

Значения БХА достигали максимума на участке №3 – 16.96, при этом основной вклад внесли коэффициенты по кадмию, так же, как и на территориях пунктов № 1, 2, 5, 9. Самый низкий показатель БХА отмечен у растений участка №8 и составил 3.10 единиц. Для растений всех исследуемых территорий показатель B_x

по кадмию оставался выше таковых по другим металлам, что, в свою очередь, повлияло на величину БХА. Вероятно, такая избирательная аккумуляция металлов связана с биохимической ролью кадмия, с особенностями клеточного строения и защитными механизмами корневой системы данного вида [19, 24].

Анализ показателей коэффициента перехода (TF) показал, что для *P. tanacetifolia* наиболее высокую степень транслокации из корневой системы в надземные органы имеют Cd, Zn и Cu (рис. 5). Значение TF по этим металлам на восьми участках из 12 превышал единицу. Самые высокие показатели по кадмию (17.5) и по свинцу (2.21) отмечены в пункте №7; по меди (2.7) в пункте №10. Обе исследуемые площадки, как уже было сказано выше, расположены вблизи крупных автодорог. По цинку $TF \gg 1$ для всех участков, кроме пункта №8, что составляет 92% всех выбранных территорий, с максимальным значением 101.3 (пункт №2). Оценивая величину TF, можно судить об активной аккумуляции тяжелых металлов в надземной фитомассе растений, особенно в условиях интенсивного техногенного воздействия (участки № 3, 4, 6, 9, 10) (табл.).

Величина коэффициента дискриминации свидетельствовала о преимущественном накоплении Cd у растений исследованных пунктов – $DF < 1$ в 93% случаев. Исключение составил пункт №1, где $DF > 1$ (1.2), что указывало на слабое избирательное поглощение цинка на этой территории (рис. 5).

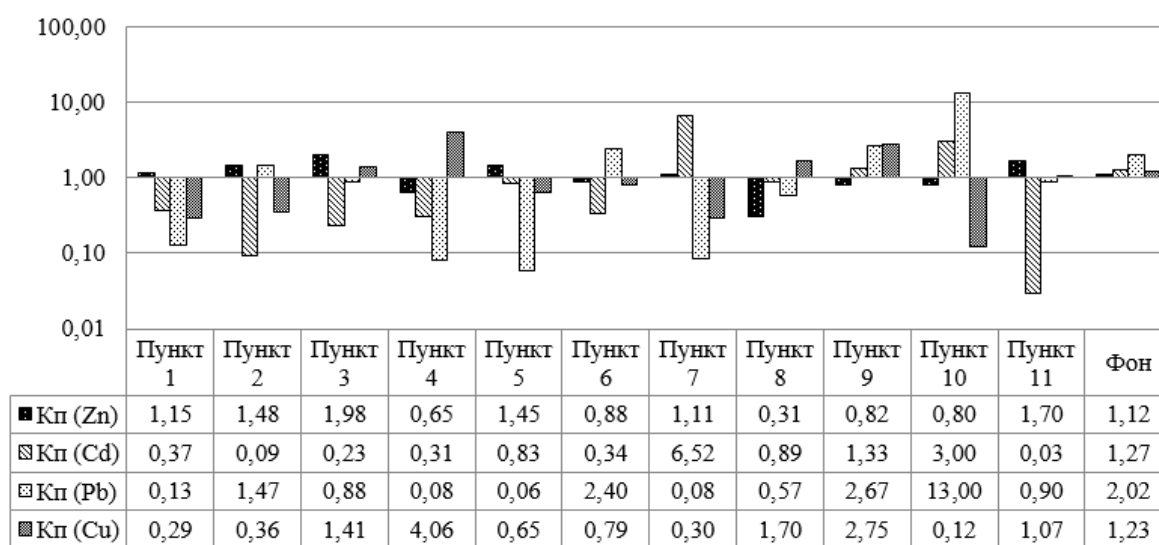


Рис. 3. Средние значения коэффициента передвижения ($K_{п}$)

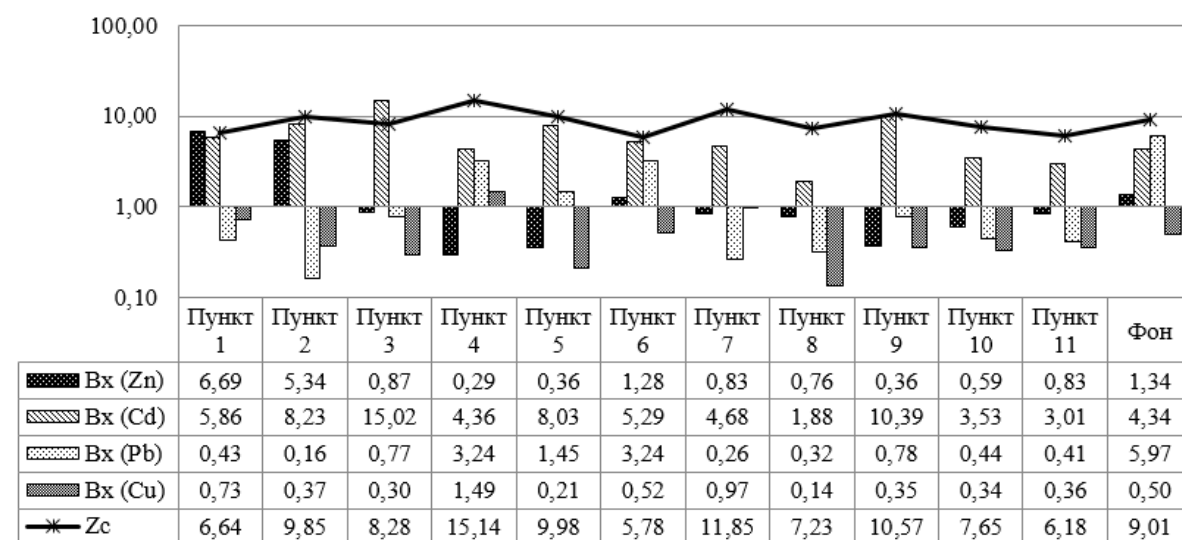


Рис. 4. Средние значения коэффициента биогеохимической подвижности (B_x)

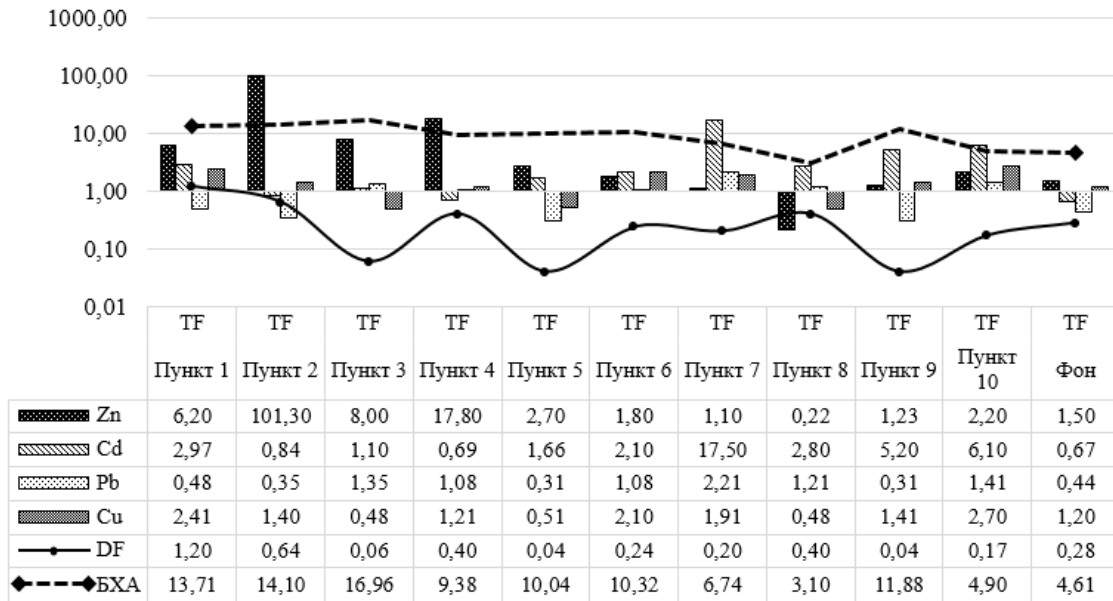


Рис. 5. Средние значения коэффициента транслокации (TF), коэффициента дискриминации (DF) и коэффициента биогехимического передвижения (БХА)

Выводы

Большинство выбранных территорий сбора почвенных и растительных образцов расположены в условиях значительной автотранспортной нагрузки (пункты № 4, 5, 6, 7, 9, 10). При анализе величин эколого-геохимических индексов для *P. tanacetifolia* установлено высокое содержание Pb и Cd в надземных органах, особенно на участках № 3, 4, 6, 9 и 10. По значению коэффициента накопления (K_n) отмечено интенсивное поглощение кадмия корневой системой растений на территории практически всех исследованных участков. Сравнение величин K_n указывало на активное перемещение свинца, меди и кадмия из корнеобитаемого слоя почв в растения, при этом на участках как с высоким, так и со средним значением Z_c . По расчетам величины V_x установлено, что для *P. tanacetifolia* он максимален для кадмия и минимален для меди. Сопоставление коэффициента V_x с суммарным показателем загрязнения почв исследуемых территорий позволило предположить либо о слабовыраженных защитных механизмах корневой системы растений вида *P. tanacetifolia*, либо о значительном пылевом поверхностном загрязнении надземных органов растений. Значения коэффициента транслокации (TF) указывали на поступление в надземные органы меди, свинца и кадмия практически на всех исследуемых площадках. По значению коэффициента дискриминации установлено, что данный вид интенсивно накапливает кадмий.

Представленные нами результаты свидетельствуют об избирательном поглощении тяжелых металлов представителями рода *Patentilla*. Корневая система этих растений не задерживает Pb и Cd, пропуская их в стебли и листья, где интенсивно происходит процесс фотосинтеза. Можно предположить, что аккумуляция элементов надземными органами растений свидетельствует об интенсивной пылевой нагрузке и активном фолитарном поступлении загрязнителей.

Таким образом, сравнивая эколого-геохимические индексы для *P. tanacetifolia*, данный вид можно отнести к видам-аккумуляторам с достаточно высокой степенью накопления тяжелых металлов при низкой концентрации в среде.

Список литературы

1. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение. Новосибирск, 2012. 220 с.
2. Гудкова О.В., Юргенсон Г.А., Солодухина М.А., Будкина А.Ю., Голубева Е.М. Биогехимические исследования в районе Шерловогорского горнорудного района // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: труды I Всероссийского симпозиума с международным участием и VII Чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана. Чита, 2006. С. 114–118.

3. Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М., 1990. 335 с.
4. Kabata-Pendias, A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Paris, 2011. 505 p.
5. Гениатулин Р.Ф., Константинов М.В., Корсун О.В. и др. Природная среда как национальное наследие // Энциклопедия Забайкалья: Читинская область. Общий очерк. Новосибирск, 2002. Т. 1. С. 24–26.
6. Сосорова С.Б., Меркушева М.Г., Убугунова Л.Л. Содержание микроэлементов в лекарственных растениях разных экосистем озера Котокельского (Западное Забайкалье) // Химия растительного сырья. 2016. № 2. С. 53–59. DOI: 10.14258/jcrpm.201602697.
7. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск, 2014. 194 с.
8. Иванов Г.М., Кашин В.К. Ванадий в ландшафтах Западного Забайкалья // Геохимия. 2010. №3. С. 311–316.
9. Моторыкина Т.Н. Экологическая дифференциация и адаптивные признаки у лапчаток (*Potentilla*, Rosaceae) флоры Приморья и Приамурья // Вестник КрасГАУ. 2011. №2. С. 87–92.
10. Филенко И.М., Филенко Р.А., Юргенсон Г.А. Особенности распределения цинка и кадмия в органах лапчатки скученной (*Potentilla ascvata* Sojak) в природном и геотехногенном ландшафте месторождения Шерловая Гора // Вопросы естествознания. Иркутский государственный университет путей сообщения. 2015. №3 (7). С. 149–153.
11. Юргенсон Г.А., Горбань Д.Н. Свинец в лапчатке скученной (*Potentilla ascvata* Sojak) в природно-техногенном ландшафте Шерловогорского горнорудного района // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий: XIII Всероссийские чтения памяти академика А.Е. Ферсмана «Современное минералообразование»: материалы VI Всероссийский симпозиум. Чита, 2016. С. 325–331.
12. Солодухина М.А., Юргенсон Г.А., Лушникова А.Ю. Мышьяк в растениях природной геохимической аномалии Забайкальского края (на примере Шерловогорского рудного района) // Ученые записки ЗабГУ. Серия: Естественные науки. 2012. №1. С. 79–86.
13. Кашин В.К., Иванов Г.М. Литий в растениях Забайкалья // Агрохимия. 2007. №4. С. 55–61.
14. Кашин В.К. Стронций в растениях Забайкалья // Агрохимия. 2009. №8. С. 65–71.
15. Кашин В.К. Особенности накопления микроэлементов степной растительностью Западного Забайкалья // Агрохимия. 2014. №6. С. 69–76.
16. Методическое указание 31–04/04. Количественный анализ пищевых продуктов, продовольственного сырья, кормов и продуктов их переработки. Методика выполнения массовых концентраций цинка, кадмия, свинца и меди методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. Томск, 2004. 21 с.
17. Методическое указание 31–03/05. Количественный химический анализ проб почв, тепличных грунтов, илов, донных отложений, сапропелей, твердых отходов. Методика выполнения массовых концентраций цинка, кадмия, свинца, меди, марганца, мышьяка, ртути методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. Томск, 2005. 47 с.
18. Байбеков Р.Ф., Савич В.И., Овчаренко М.М., Габбасова И.М., Афзалов Р.Ш. Методы исследования городских почв: учеб. пособие. М., 2007. 202 с.
19. Железнова О.С., Черных Н.А., Тобратов С.А. Цинк и кадмий в фитомассе древесных растений лесных экосистем: закономерности транслокации, аккумуляции и барьерных механизмов // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. №2. С. 253–270. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-2-253-270.
20. Hammer Ø. Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. Vol. 4. N1. Pp. 9–14.
21. Costa G., Morel J.L. Cadmium uptake by *Lupinus albus* (L.): cadmium excretion, a possible mechanism of cadmium tolerance // J. Plant Nutr. 1993. Vol. 16. Pp. 1921–1929. DOI: 10.1080/01904169309364661.
22. Krämer U. Transition metal transport // FEBS Lett. 2007. Vol. 581. Pp. 2263–2272. DOI: 10.1016/j.febslet.2007.04.010.
23. Uraguchi S. Cadmium transport and tolerance in rice: perspectives for reducing grain cadmium accumulation // Rice. 2012. Vol. 5. Pp. 1–8. DOI: 10.1186/1939-8433-5-5.
24. Verbruggen N. Mechanisms to cope with arsenic or cadmium excess in plants // Curr. Opin. Plant Biol. 2009. Vol. 12. Pp. 364–372. DOI: 10.1016/j.pbi.2009.05.001.

Поступила в редакцию 22 июня 2020 г.

После переработки 8 февраля 2021 г.

Принята к публикации 15 февраля 2021 г.

Для цитирования: Самойленко Г.Ю., Бондаревич Е.А., Коцоржинская Н.Н. Анализ эколого-геохимических индексов для растений вида *Potentilla tanacetifolia*, произрастающих в условиях Читы и Читинского района // Химия растительного сырья. 2021. №2. С. 281–290. DOI: 10.14258/jcrpm.2021028097.

*Samoilenko G.Yu.**, *Bondarevich E.A.*, *Kotsyurzhinskaya N.N.* ANALYSIS OF ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL INDICES FOR PLANTS OF THE SPECIES *POTENTILLA TANACETIFOLIA* GROWING IN THE CONDITIONS OF THE CITY OF CHITA AND THE CHITA REGION

Chita State Medical Academy, ul. Gor'kogo, 39a, Chita, 672000 (Russia), e-mail: g.s.311278@mail.ru

The use of biogeochemical research methods is necessary when studying the technogenic migration of toxic elements in urban ecosystems. Using the values of the ecological and geochemical indices, we assessed the degree of accumulation and movement of zinc, lead, cadmium, and copper from the soil to the organs of plants of the species *Potentilla tanacetifolia*. The content of elements was determined by the method of inverse voltammetry on a «TA-Universal» analyzer. According to the results of the studies and the values of environmental and geochemical coefficients, it was found that, according to the level of soil pollution, the studied areas of the city of Chita and the Chita region were classified as territories with a low level of pollution. According to the values of ecological and geochemical indices for plants of the *P. tanacetifolia* species, intense absorption of cadmium by the root system and active movement of zinc and copper from the root layer of soils were noted. The translocation coefficient (TF) values indicated the intake of copper, lead, and cadmium into the aboveground organs in almost all the studied sites. According to the value of the discrimination coefficient, it was found that this species intensively accumulates cadmium. The results presented by us indicate that plants of the *P. tanacetifolia* species can be attributed to accumulator species with a rather high degree of accumulation of heavy metals at a low concentration in the medium.

Keywords: heavy metals, the soil, Transbaikalia, biogeochemical methods.

References

1. Il'in V.B. *Tyazhelyye metally i nemetally v sisteme pochva-rasteniye*. [Heavy metals and non-metals in the soil-plant system]. Novosibirsk, 2012, 220 p. (in Russ.).
2. Gudkova O.V., Yurgenson G.A., Solodukhina M.A., Budkina A.Yu., Golubeva Ye.M. *Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh territoriy. Sovremennoye mineraloobrazovaniye: trudy I Vserossiyskogo simpoziuma s mezhdunarodnym ucha-stiyem i VII Chteniy pamyati akad. A.Ye. Fersmana*. [Mineralogy and geochemistry of the landscape of mining territories. Modern mineral formation: Proceedings of the I All-Russian Symposium with international participation and the VII Readings in memory of Acad. A.E. Fersman]. Chita, 2006, pp. 114–118. (in Russ.).
3. Sayet Yu.Ye., Revich B.A., Yanin Ye.P. i dr. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy*. [Geochemistry of the environment]. Moscow, 1990, 335 p. (in Russ.).
4. Kabata-Pendias, A. *Trace elements in soils and plants. 4th ed.* Paris, 2011, 505 p.
5. Geniatulin R.F., Konstantinov M.V., Korsun O.V. i dr. *Entsiklopediya Zabaykal'ya: Chitinskaya oblast'. Obshchiy ocherk*. [Encyclopedia of Transbaikalia: Chita region. General outline]. Novosibirsk, 2002, vol. 1, pp. 24–26. (in Russ.).
6. Sosorova S.B., Merkusheva M.G., Ubugunova L.L. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2016, no. 2, pp. 53–59. DOI: 10.14258/jcpm.201602697. (in Russ.).
7. Titov A.F., Kaznina N.M., Talanova V.V. *Tyazhelyye metally i rasteniya*. [Heavy metals and plants]. Petrozavodsk, 2014, 194 p. (in Russ.).
8. Ivanov G.M., Kashin V.K. *Geokhimiya*, 2010, no. 3, pp. 311–316. (in Russ.).
9. Motorykina T.N. *Vestnik KrasGAU*, 2011, no. 2, pp. 87–92. (in Russ.).
10. Filenko I.M., Filenko R.A., Yurgenson G.A. *Voprosy yestestvoznaniya. Irkutskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya*, 2015, no. 3 (7), pp. 149–153. (in Russ.).
11. Yurgenson G.A., Gorban' D.N. *Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh ter-ritoriy» XIII Vserossiyskiye chteniya pamyati akademika A.Ye. Fersmana «Sovremennoye mineraloobrazovaniye»: materialy VI Vserossiyskiy simpozium (24-27 avgusta, 2016 g. Chita)*. [Mineralogy and geochemistry of the landscape of mining areas "XIII All-Russian readings in memory of academician A.E. Fersman "Modern mineral formation": materials of the VI All-Russian Symposium (August 24-27, 2016 Chita)]. Chita, 2016, pp. 325–331. (in Russ.).
12. Solodukhina M.A., Yurgenson G.A., Lushnikova A.Yu. *Uchenyye zapiski ZabGU. Seriya: Yestestvennyye nauki.*, 2012, no. 1, pp. 79–86. (in Russ.).
13. Kashin V.K., Ivanov G.M. *Agrokhimiya*, 2007, no. 4, pp. 55–61. (in Russ.).
14. Kashin V.K. *Agrokhimiya*, 2009, no. 8, pp. 65–71. (in Russ.).
15. Kashin V.K. *Agrokhimiya*, 2014, no. 6, pp. 69–76. (in Russ.).
16. *Metodicheskoye ukazaniye 31–04/04. Kolichestvennyy analiz pishchevykh produktov, prodovol'stvennogo syr'ya, kormov i produktov ikh pererabotki. Metodika vypolneniya massovykh kontsentratsiy tsinka, kadmiya, svintsya i medi metodom inversionnoy vol'tamperometrii na analizatorakh tipa TA*. [Guideline 31-04/04. Quantitative analysis of food products, food raw materials, feed and products of their processing. Methods for performing mass concentrations of zinc, cadmium, lead and copper by stripping voltammetry on TA-type analyzers]. Tomsk, 2004, 21 p. (in Russ.).
17. *Metodicheskoye ukazaniye 31–03/05. Kolichestvennyy khimicheskiy analiz prob pochv, teplichnykh gruntov, ilov, donnykh otlozheniy, sapropeley, tverdykh otkhodov. Metodika vypolneniya massovykh kontsentratsiy tsinka, kadmiya, svintsya, medi, margantsa, mysh'yaka, rtuti metodom inversionnoy vol'tamperometrii na analizatorakh tipa TA*. [Guideline 31-03/05. Quantitative chemical analysis of soil samples, greenhouse grounds, silts, bottom sediments, spropels, solid waste. Methods for performing mass concentrations of zinc, cadmium, lead, copper, manganese, arsenic, mercury by stripping voltammetry on TA-type analyzers]. Tomsk, 2005, 47 p. (in Russ.).

* Corresponding author.

18. Baybekov R.F., Savich V.I., Ovcharenko M.M., Gabbasova I.M., Afzalov R.Sh. *Metody issledovaniya gorodskikh pochv: ucheb. posobiye*. [Methods for the study of urban soils: textbook. allowance]. Moscow, 2007, 202 p. (in Russ.).
19. Zheleznova O.S., Chernykh N.A., Tobratov S.A. *Vestnik RUDN. Ser. Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2017, vol. 25, no. 2, pp. 253–270. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-2-253-270. (in Russ.).
20. Hammer Ø. *Palaeontologia Electronica*, 2001, vol. 4, no. 1, pp. 9–14.
21. Costa G., Morel J.L. *J. Plant Nutr.*, 1993, vol. 16, Pp. 1921–1929. DOI: 10.1080/01904169309364661.
22. Krämer U. *FEBS Lett.*, 2007, vol. 581, pp. 2263–2272. DOI: 10.1016/j.febslet.2007.04.010.
23. Uraguchi S. *Rice*, 2012, vol. 5, pp. 1–8. DOI: 10.1186/1939-8433-5-5.
24. Verbruggen N. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 2009, vol. 12, pp. 364–372. DOI: 10.1016/j.pbi.2009.05.001.

Received June 22, 2020

Revised February 8, 2021

Accepted February 15, 2021

For citing: Samoilenko G.Yu., Bondarevich E.A., Kotsyurzhinskaya N.N. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 2, pp. 281–290. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2021028097.