

**МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ
ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И РАСТЕНИЙ
(НА ПРИМЕРЕ *POTENTILLA TANACETIFOLIA* WILLD. EX SCHLECHT.)
ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ Г. ЧИТЫ**

© 2018

Самойленко Галина Юрьевна, ассистент кафедры химии и биохимии

Бондаревич Евгений Александрович, кандидат биологических наук, доцент кафедры химии и биохимии

Коцюржинская Наталья Николаевна, кандидат биологических наук, доцент,
заведующий кафедрой химии и биохимии

Читинская государственная медицинская академия (г. Чита, Российская Федерация)

Борискин Игорь Анатольевич, кандидат биологических наук, директор

*Забайкальский аграрный институт – филиал Иркутского государственного аграрного университета
имени А.А. Ежесковского (г. Чита, Российская Федерация)*

Аннотация. В статье приведены данные по содержанию валовых и подвижных форм цинка, кадмия, свинца и меди в почвах г. Читы и ее окрестностях, приведен сравнительный анализ коэффициентов накопления (K_n) и передвижения (K_m) этих микроэлементов в органах *Potentilla tanacetifolia* Willd. ex Schlecht. относительно их валового содержания и подвижных форм в почвах. Выявлено, что почвенные образцы исследуемых участков содержат неодинаковое валовое количество тяжелых металлов. В некоторых пунктах (№ 6 и № 3) содержание кадмия и цинка превысило ПДК, поэтому такие почвы были отнесены к сильнозагрязненным. Показатель индекса биологической активности по подвижным формам тяжелых металлов на всех участках значительно превышал аналогичный индекс по валовым формам. Установлено, что растения вида *P. tanacetifolia* являются накопителями ионов тяжелых металлов. Особенно интенсивно надземные органы накапливают и поглощают кадмий и медь, при этом содержание подвижных форм этих металлов в почве незначительно. Избыточная биоадсорбция микроэлементов в фитомассе растений может быть связана с поверхностным загрязнением. По содержанию цинка и свинца величины накопления в органах *P. tanacetifolia* характеризовались небольшими значениями коэффициентов, на фоне их высокой концентрации в почве.

Ключевые слова: город Чита; цинк; кадмий; свинец; медь; почва; природные экосистемы; водородный показатель; коэффициент биологического поглощения; коэффициент накопления; коэффициент передвижения; *Potentilla tanacetifolia*; индекс биогеохимической активности; корреляционная связь.

Введение

В связи с возрастающим загрязнением окружающей среды, особенно урбанизированных территорий, становится необходимым изучение трансформации тяжелых металлов в почвах и в системе «почва – растения» с учетом природно-климатических особенностей региона [1, с. 35–39]. Такие микроэлементы, как Zn, Cd, Pb и Cu, могут накапливаться, иногда в огромных количествах, в окружающей среде и живых организмах, вызывая тем самым негативные необратимые последствия в экосистемах [2, с. 24–28]. Концентрация элементов в растениях зависит не только от величины фитомассы, но и от интенсивности поглощения, потребности растения в элементах питания и экологических условий [3, с. 34–39]. Изучение поведения элементов в системе «почва – растения» является важным моментом, поскольку концентрации элементов в растениях часто проявляют положительную корреляцию с концентрациями их в почве. Большую ценность при изучении загрязнения почвенного покрова представляют данные о валовом содержании тяжелых металлов. Между тем при оценке интенсивности потока в системе «почва – растение» важной является информация о подвижных формах микроэлементов, способных к миграции [1, с. 110–115].

В почвенном покрове природной зоны, где размещается город Чита, преобладают черноземные почвы, в степной части – суглинисто-галечные выщелочные черноземы, в пониженных местах – болотные, лугово-болотные, по склонам хребтов – се-

рые и темно-серые лесные почвы, иногда дерновые слабоподзоленные. Почвы города в основном аллювиально-остепненные супесчаные и песчаные [4, с. 7–10]. Все исследованные участки характеризуются низким содержанием гумуса [5, с. 200–203].

Объект и методика исследований

Лапчатка пижмолистная (*Potentilla tanacetifolia* Willd. ex Schlecht.) – многолетнее травянистое растение семейства Розоцветные (Rosaceae Juss.). С лечебной целью используются корни, стебли, листья и цветки растения. В медицине корни и корневища применяются в виде отвара при атеросклерозе, желудочно-кишечных заболеваниях, туберкулезе легких, простудных заболеваниях, в составе средств при диабете. Наружно корни используются для полосканий, примочек (присыпок). Отвар травы назначают при дизентерии. Известно, что растение содержит в себе сесквиптерпеноиды, фитол, алколоиды и флавоноиды [6, с. 150]. Но недостаточно данных о содержании в растении микроэлементов, в том числе и тяжелых металлов [3, с. 43–46; 7, с. 58–60].

Цель исследования – определить валовое содержание и подвижные формы тяжелых металлов (Zn, Cd, Pb, Cu) в почвах и в органах *P. tanacetifolia* из природных экосистем, расположенных в условиях урбанизированной территории, и оценить степень влияния абиотических факторов на вид по величинам эколого-геохимических коэффициентов и индексов.

Образцы почв и растений для элементного анализа отбирали в трехкратной повторности, согласно

общепринятым методикам, в конце вегетационного периода 2017 г. [8, с. 12]. Почвенные образцы были взяты из корнеобитаемого слоя (0–15 см). Растения высушивали на воздухе, сортировали по отдельным частям (корневище, стебель, листья, цветки) и мелко измельчали [9, с. 9–10]. Навески проб высушивали в сушильном шкафу при температуре 105°C. Далее пробы высушивали при температуре 150–350°C в кварцевых стаканчиках в печи «ПДП-Аналитика» («ТомьАналит»). Озольнение растений и почв на валовое содержание тяжелых металлов проводили с добавлением концентрированных азотной кислоты и перекиси водорода до получения однородной золы белого, серого или рыжеватого цвета без угольных включений. Перед анализом золу растворяли в концентрированной муравьиной кислоте. Подвижные формы микроэлементов экстрагировали аммонийно-ацетатным буферным раствором с рН 4,8 [8, с. 12]. Определение валового содержания и подвижных форм тяжелых металлов в почве и их концентрацию в золе растений определяли методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе «ГА-Универсал», методом добавок. Измерение рН почвенных образцов проводили потенциометрическим методом [10, с. 467–474] на анализаторе «ГА-Универсал» со стеклянным комбинированным электродом ЭСК-10603 с разрешением ±0,2 единицы рН, с автокоррекцией масштаба шкалы, ее угла наклона и температуры.

Корневое поступление элементов из почвы определяли с помощью коэффициента накопления (K_H), который выражает отношение содержания элемента в корнях к таковому в почве: $K_H = \frac{K_{корни}}{K_{почва}}$. Для характеристики процессов передвижения ионов использовали коэффициент передвижения (K_p), равный отношению содержания элементов в листьях к таковому в корнях: $K_p = \frac{K_{листья}}{K_{корни}}$. Индекс биологического накопления ($A_{ХВС}$ и $A_{ХПФ}$) выражали через соотношение содержания микроэлемента в золе растений к его содержанию в почве (BC – валовое содержание, ПФ – подвижные формы): $A_{ХВС} = \frac{C_{зола раст.}}{C_{ВС в почве}}$ и $A_{ХПФ} = \frac{C_{зола раст.}}{C_{ПФ в почве}}$. Индекс биогеохимической актив-

сти микроэлементов в растениях рассчитывали как сумму индексов биологического накопления: $BXA = \sum A_x$ [2, с. 46–47; 11].

Для исследования были выбраны участки в г. Чита: пункт № 1 – в районе Титовской сопки, территория вблизи промзоны, пункт № 2 – южный склон хребта Черского, площадка в районе комплекса «Орбита», пункт № 3 – западный склон хребта Черского, площадка в районе комплекса «Орбита», пункт № 4 – микрорайон Сосновый бор, ул. Украинский бульвар, пункт № 5 – п. ГРЭС, ул. Энергетиков. Фоновым участком была выбрана территория с. Александровка (Читинский район) – пункт № 6.

Полученные данные были подвергнуты математико-статистической обработке с помощью статистического пакета Microsoft Excel 2010 и PAST 3.0 [12; 13].

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно литературным данным, оптимальная реакция среды, обеспечивающая необходимое поступление микроэлементов из почвы в растения, должна поддерживаться в пределах 6,9–7,1 [1, с. 37–39]. При исследовании образцов почв было установлено, что по величине рН почвы пунктов № 1, 4 и 6 относятся к слабокислым, пунктов № 2 и 3 – к слабощелочным, пункта № 5 – к щелочным (табл. 1).

При анализе содержания тяжелых металлов отмечено, что с увеличением рН подвижность ионов Zn возрастает: от 4,3 (при рН 6,47) до 7,4 мг/кг (при рН 8,1) соответственно. Валовое содержание цинка было максимальным в почве пункта № 3, однако оно не превышало ПДК. Самая высокая подвижность и валовое содержание ионов Cd, так же как и Pb, была отмечена в слабощелочных почвах в пунктах № 3, 4 и 5. У меди значительное количество подвижных ионов отмечалось в слабощелочных почвах с рН 7,1–8,1 (пункты № 2, 3 и 5).

Доля мобильных форм Zn, Cd, Pb и Cu, участвующих в формировании потока из почвы в растения, при рН 6,8 суммарно составила 11,5% от валового содержания; при рН 7,3 – 9,6%; при рН 8,1 – 17,1%.

Таблица 1 – Значения рН, валового содержания (ВС) и концентрация подвижных форм (ПФ) тяжелых металлов в почвах (мг/кг)

Пункт	рН	Металлы, $\frac{BC}{ПФ}$, мг/кг			
		Zn	Cd	Pb	Cu
№ 1	6,47	$5,1 \pm 1,3$	$0,9 \pm 0,002$	$2,4 \pm 0,8$	$3,2 \pm 1,05$
		$4,3 \pm 1,2$	$0,19 \pm 0,05$	$3,8 \pm 1,3$	$0,28 \pm 0,07$
№ 2	7,3	$40 \pm 7,4$	$10,3 \pm 4,8$	$5,0 \pm 1,6$	$12,3 \pm 4,7$
		$7,3 \pm 2,3$	$3,1 \pm 1,02$	$3,1 \pm 0,97$	$2,2 \pm 0,9$
№ 3	7,1	$200 \pm 16,4$	$42 \pm 11,3$	$11,5 \pm 4,3$	$40 \pm 11,5$
		$3,63 \pm 1,52$	$1,3 \pm 0,07$	$8,4 \pm 2,3$	$3,8 \pm 1,5$
№ 4	6,8	$12 \pm 3,56$	$3,4 \pm 0,92$	$10,2 \pm 4,03$	$5,1 \pm 2,07$
		$7,3 \pm 3,03$	$0,23 \pm 0,03$	$2,1 \pm 0,56$	$0,31 \pm 0,03$
№ 5	8,1	$15,3 \pm 6,7$	$12,1 \pm 6,3$	$2,4 \pm 0,8$	$60 \pm 25,6$
		$7,4 \pm 2,78$	$2,2 \pm 0,76$	$2,8 \pm 0,54$	$3,01 \pm 0,76$
№ 6 (фон)	6,8	$63 \pm 23,4$	$4,2 \pm 1,6$	$10,3 \pm 4,7$	$120,5 \pm 43,8$
		$4,3 \pm 1,8$	$0,91 \pm 0,05$	$2,4 \pm 0,87$	$0,03 \pm 0,002$
ПДК [2]		300–500	3–5	32–300	100
Кларк в почвах мира [14; 15]		50	0,5	10	20

В почвах исследуемых площадок превышение ПДК отмечено для кадмия (пункты 2, 3 и 5) и для меди (пункт 6). При этом концентрации подвижных форм поллютантов ни в одной из проб не превышали ПДК (табл. 1). Сравнение полученных показателей валового содержания и подвижных форм микроэлементов с кларками почв мира (табл. 1) выявило превышение в 4 раза этого показателя по цинку на площадке 3 и незначительное превышение в пункте 6. По кадмию все площадки имели превышение кларка (отличия составляли 1,8–84 кратную разность), за исключением подвижных форм тяжелых металлов в пунктах 1 и 5. По свинцу данный показатель слабо отличался от среднемировых значений, тогда как по меди для пунктов 3, 5 и 6 отмечено явное превышение по валовому содержанию (2-х и 6-ти кратная разность).

Интенсивность поглощения и количество поступивших поллютантов в органы *P. tanacetifolia* оценивали относительно валового содержания и подвижных форм тяжелых металлов по величине коэффициентов биологического поглощения (A_{xBC} и A_{xPF} соответственно), накопления (K_{NBC} и K_{NPF} соответственно) и передвижения (K_n) (табл. 2).

Валовое содержание тяжелых металлов в почвах исследуемых территорий значительно превышает содержание их подвижных форм. Согласно полученным данным, значения коэффициентов биологического поглощения и накопления относительно валового содержания в большинстве проб несколько ниже таковых, относительно подвижных форм цинка, кадмия, свинца и меди.

Было установлено, что органы *P. tanacetifolia* интенсивнее поглощают подвижные ионы Cd и Cu. На территории пункта № 6 (фоновый участок) значение A_{NPF} по меди составил 206,3 – самое высокое значение, по сравнению с другими поллютантами. Анализируя значения коэффициента накопления подвижных форм, отмечалась та же зависимость – корневое поступление кадмия и меди значительно превышало значения для цинка и свинца. Сравнение значений коэффициентов передвижения (K_n) показало, что ионы меди, в отличие от цинка, кадмия и свинца, обладают более высокой подвижностью. На территории пунктов № 1 и № 3 K_n по меди составил 3,25 и 7,7 соответственно.

Таким образом, по валовому содержанию тяжелых металлов почвы пунктов № 3 и 6 содержат высокое количество Zn и Cu (200 мг/кг и 120,5 мг/кг соответственно). В образцах почв участка, выбранного как фоновый (№ 6), валовые формы цинка и свинца (63 мг/кг и 10,3 мг/кг соответственно) были выше тех же показателей в почвах других территорий, за исключением пункта № 3 (200 мг/кг и 11,3 мг/кг соответственно). Валовое количество кадмия в почвах пункта № 6 (120, 5 мг/кг) превысило значения ПДК в 2 раза. Поскольку валовое содержание является показателем накопления поллютантов в почве и свидетельствует о степени ее загрязнения, то можно сделать вывод о том, что территория пункта № 6, выбранного как фоновый участок, не может выполнять роль такового, несмотря на удаленность от черты города. Медь и цинк являются физиологически важными для растений. Их накопление в верхних слоях почвы может свидетельствовать о том, что либо произошло изменение количества в результате

увеличения pH (6,8–7,0), либо на этих участках имеются локальные источники загрязнения [16].

Таблица 2 – Величины коэффициентов биологического поглощения (A_{xBC} и A_{xPF}), накопления (K_{NBC} и K_{NPF}) и передвижения (K_n) тяжелых металлов в органах *P. tanacetifolia*

Пункт	Коэффициенты	Zn	Cd	Pb	Cu
№ 1	A_{xBC}	7,5	6,25	3,9	2,9
	A_{xPF}	8,9	29,6	2,47	32,8
	K_{NBC}	1,5	3,7	1	0,25
	K_{NPF}	1,8	17,9	0,63	2,9
	K_n	1,5	0,01	0,58	3,25
	БХА ВС	20,55			
	БХА ПФ	73,77			
№ 2	A_{xBC}	1,08	4,8	1,75	3,3
	A_{xPF}	3,8	4,05	3,16	4,8
	K_{NBC}	0,3	0,55	0,06	0,2
	K_{NPF}	0,96	1,5	0,01	1,23
	K_n	1,5	1,4	4,66	1,2
	БХА ВС	10,93			
	БХА ПФ	15,81			
№ 3	A_{xBC}	0,17	0,15	0,9	0,3
	A_{xPF}	9,5	4,9	1,24	3,15
	K_{NBC}	0,05	0,05	0,37	0,02
	K_{NPF}	2,9	1,8	0,5	0,18
	K_n	0,84	0,6	0,8	7,7
	БХА ВС	1,52			
	БХА ПФ	18,79			
№ 4	A_{xBC}	5,1	3,23	1,13	1
	A_{xPF}	8,6	47,8	5,5	6,4
	K_{NBC}	0,6	2,08	0,03	0,4
	K_{NPF}	4,2	27,3	0,14	6,7
	K_n	0,23	0,18	13,6	0,6
	БХА ВС	10,46			
	БХА ПФ	68,3			
№ 5	A_{xBC}	3,77	0,08	5,9	0,19
	A_{xPF}	7,8	9,1	3,7	3,8
	K_{NBC}	0,6	0,46	1,3	0,04
	K_{NPF}	1,26	2,5	0,86	0,69
	K_n	1,32	1,03	0,9	2,1
	БХА ВС	9,94			
	БХА ПФ	24,4			
№ 6	A_{xBC}	0,3	1	0,7	0,05
	A_{xPF}	4,4	4,6	3	206,3
	K_{NBC}	0,11	0,35	0,11	0,01
	K_{NPF}	1,65	1,65	0,5	36,6
	K_n	0,6	0,2	2,25	0,7
	БХА ВС	2,05			
	БХА ПФ	218,3			

Согласно значениям коэффициентов биологического накопления (K_n) и поглощения (A_x) *P. tanacetifolia* является видом-аккумулятором ионов тяжелых металлов. Высокие показатели A_x и K_n для кадмия были отмечены у растений пункта № 1 и 4; для ионов меди – у растений пунктов № 1, 3 и 6. При этом количество подвижных форм этих элементов в почвах было относительно низким. Такой характер накопления ионов кадмия и меди, вероятно, связано с тем, что либо растения данных территорий испытывают дефицит микроэлементов к концу вегетаци-

онного периода, либо накопление происходит за счет поверхностного загрязнения и недостаточностью работы физиолого-биохимических механизмов защиты растения от поступления токсикантов. Цинк и свинец накапливался растениями в меньшей степени, несмотря на то, что содержание подвижных форм в почвах было значительно выше, по сравнению с кадмием и медью. Такая особенность может свидетельствовать о достаточно хорошо развитых защитных механизмах корневой системы растений относительно этих металлов [17; 18].

Сумму коэффициентов биологического поглощения (I_A) характеризует показатель биогеохимической активности вида (БХА). Этот показатель позволяет

оценить общий эффект накопления микроэлемента у определенного вида растения при определенном комплексе условий среды [17; 19, с. 32–33]. По величине этого индекса, рассчитанного по коэффициенту биологического поглощения относительно валового содержания и подвижных форм микроэлементов, выявлены следующие тенденции. Показатель БХА по подвижным формам тяжелых металлов на всех участках значительно превышал аналогичный индекс по валовым формам (табл. 2). Среднее значение БХА ВС составило 9,24, тогда как по подвижным формам 69,895, то есть разница составила 7,5 кратное различие. Максимум индекса отмечен для пункта 6, основной вклад принадлежит меди (табл. 2).

Таблица 3 – Корреляционный анализ по коэффициенту Пирсона (r_{xy}) по совокупности эколого-геохимических индексов между исследованными площадками

№ пунктов	Пункт 1	Пункт 2	Пункт 3	Пункт 4	Пункт 5	Пункт 6	
	p – уровень значимости						
Коэффициент корреляции Пирсона – r_{xy}	<i>Цинк</i>						
	Пункт 1		0,17681	0,27615	0,052275	0,022014*	0,28575
	Пункт 2	0,71254		0,023075*	0,13491	0,030134*	0,025658
	Пункт 3	0,60849	0,92771		0,096346	0,072019	$7,36 \cdot 10^{-5}$ *
	Пункт 4	0,87463	0,76126	0,81025		0,036675*	0,090948
	Пункт 5	0,92996	0,91351	0,84428	0,90128		0,078927
	Пункт 6	0,59903	0,92237	0,99845	0,81755	0,8343	
	<i>Кадмий</i>						
	Пункт 1		0,48522	0,018127*	0,000967*	0,031323*	0,009549*
	Пункт 2	0,4167		0,52888	0,57087	0,53686	0,34606
	Пункт 3	0,93852	0,37932		0,007912*	0,000687*	0,006044*
	Пункт 4	0,99133	0,34394	0,96472		0,018395*	0,011374*
	Пункт 5	0,91123	0,37256	0,9931	0,93792		0,007149*
	Пункт 6	0,95999	0,54135	0,97054	0,95502	0,96703	
	<i>Свинец</i>						
	Пункт 1		0,90604	0,28698	0,65983	$2,59 \cdot 10^{-5}$ *	0,89153
	Пункт 2	0,073861		0,19812	0,019845*	0,86548	0,065837
	Пункт 3	0,59782	0,68908		0,49241	0,26665	0,072865
	Пункт 4	-0,27051	0,93468	0,4105		0,69874	0,15535
	Пункт 5	0,99922	0,10585	0,61793	-0,2389		0,85999
	Пункт 6	0,085297	0,85346	0,84304	0,73702	0,11019	
	<i>Медь</i>						
	Пункт 1		0,085367	0,76054	0,27874	0,047467*	0,0022*
	Пункт 2	0,82523		0,93699	0,45576	0,24147	0,12812
Пункт 3	0,1892	0,049512		0,76313	0,27131	0,88297	
Пункт 4	0,60593	0,44232	-0,18713		0,41469	0,17215	
Пункт 5	0,88254	0,64342	0,61328	0,47867		0,073137	
Пункт 6	0,985	0,76954	0,092045	0,71778	0,84264		

Примечание. * – уровень значимости коэффициента Пирсона $p \leq 0,05$.

Анализ значений корреляций между площадками по отдельным микроэлементам выявил значительные связи между пунктами по содержанию и распределению в *P. tanacetifolia* цинка и кадмия (табл. 3). Тогда как достоверных взаимосвязей между площадками по свинцу и меди оказалось значительно меньшим. Высокую и весьма высокую силу корреляционной связи по цинку можно отметить для пункта 2 по отношению к 3, 5 и 6 пунктам, также между парами «пункты 1–5», «пункты 2–3», «пункты 3–6» и «пункты 4–5». Уровень значимости для них был менее 0,05. Максимальное количество корреляционных взаимосвязей отмечено по кадмию. Единственной площадкой, не имеющей сильных связей с другими,

являлся пункт № 2 (табл. 3). Данные особенности распределения значений коэффициента Пирсона указывают на значительную вариацию эколого-геохимических индексов у *P. tanacetifolia* по цинку и кадмию, тогда как свинец и медь характеризовались меньшими различиями в накоплении и распределении.

Аналогичные выводы получились и при сравнении силы корреляционной связи по распределению тяжелых металлов в сравнении площадок (рис. 1). Однако уровень корреляционной связи между кадмием и цинком оказался гораздо ниже ($r_{xy} = 0,63$), индексы по свинцу и меди имели минимальные значения (r_{xy} менее 0,2).

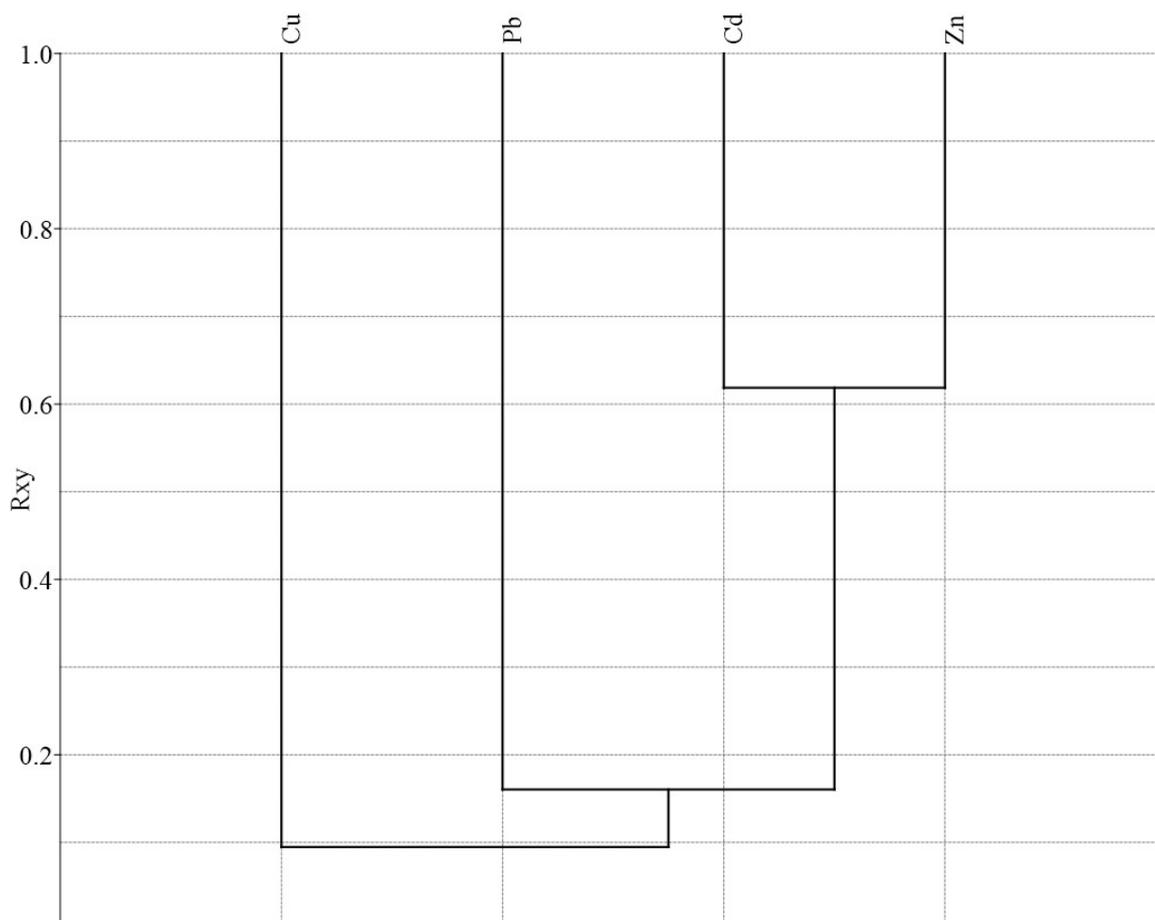


Рисунок 1 – Кластерная дендрограмма, построенная методом средней связи (pair-group method using arithmetic averages), по силе корреляционной связи между металлами по совокупности эколого-геохимических индексов

Выводы

Изученное распределение тяжелых металлов по площадкам в условиях урбанизированной территории можно охарактеризовать следующими особенностями и тенденциями:

1. Почвы природных экосистем, расположенных в городской среде, имеют высокие и очень высокие показатели загрязненности тяжелыми металлами. Однако доля биологически активных и доступных подвижных форм в большинстве проб не превышала валового содержания. Максимальные значения этого соотношения отмечены для цинка (в среднем 36,73%, максимум 84,3% (пункт 1)), минимум 1,82% (пункт 3) и для свинца (в среднем 75,64%).

2. По распределению по органам *P. tanacetifolia* наибольшими значениями эколого-геохимических индексов и коэффициентов характеризовались площадки, расположенные в условиях сильного техногенного загрязнения. Сравнение накопления и распределения тяжелых металлов выявило высокие значения показателей по цинку и кадмию (пункты 1 и 4) и по меди (пункты 1 и 6).

3. Вид *P. tanacetifolia* по совокупности параметров можно отнести к накопителям, что согласуется с ранними работами [5; 15]. Однако выяснено, что интенсивность поступления и избыточного накопления поллютантов в значительной мере зависит от pH почвы и степени загрязненности среды обитания [20, с. 25–27; 21].

Список литературы:

1. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва–растение. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 220 с.
2. Копылова Л.В., Войтюк Е.А., Лескова О.А., Якимова Е.П. Содержание тяжелых металлов в почвах и растениях урбанизированных территорий (Восточное Забайкалье). Чита: Забайкал. гос. ун-т, 2013. 154 с.
3. Прохорова Н.В. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Изд-во Самарск. ун-та, 1998. 131 с.
4. Иванов Г.М. Микроэлементы-биофилы в ландшафтах Забайкалья: монография. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2007. 239 с.
5. Самойленко Г.Ю., Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н. Содержания ионов тяжелых металлов в почвах г. Читы и Читинского района // Материалы II всерос. конф. с международным участием, посв. памяти Л.В. Бардунова (1932–2008) (Иркутск, Кырен, 11–15 сентября 2017 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2017. С. 200–203.
6. Телятьев В.В. Целебные клады. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное изд-во, 1991. С. 150.
7. Битюцкий Н.П. Необходимые микроэлементы растений. СПб.: Изд-во ДАЕН, 2005. 256 с.
8. Методическое указание 31–03/05. Количественный химический анализ проб почв, тепличных грунтов, илов, донных отложений, сапропелей, твер-

дых отходов. Методика выполнения измерений массовых концентраций цинка, кадмия, свинца, меди, марганца, мышьяка, ртути методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. Томск: НПП «Томьяналит», 2005. 47 с.

9. Методическое указание 31–04/04. Количественный химический анализ пищевых продуктов, продовольственного сырья, кормов и продуктов их переработки. Методика выполнения измерений массовых концентраций цинка, кадмия, свинца и меди методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. ФР. 1.31.2004.00986. Томск: ТПТУ, 2004. 21 с.

10. Понсю М., Готеру Ж. Анализ почвы. Справочник. Минералогические, органические и неорганические методы анализа. СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. 600 с.

11. Baker A.J.M. Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals // J. Plant Nutr. 1981. Vol. 3, № 1–4. P. 643–654.

12. Hammer Ø., Harpe D.A. T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. Vol. 4, № 1. 9 p.

13. Айвазян А.Д., Касимов Н.С. Геохимия степных ландшафтов // Вестник Московского университета, серия «География». 1979. № 3. С. 117–126.

14. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов: монография. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2013. С. 90–92.

15. Виноградов А.П. Биогеохимические провинции // Труды юбилейной сессии, посвященной 100-

летию со дня рождения В.В. Докучаева. М.-Л., 1949. С. 59–84.

16. Бондаревич Е.А., Самойленко Г.Ю., Коцюржинская Н.Н. Изучение накопления микроэлементов в некоторых дикорастущих растениях Восточного Забайкалья инверсионным вольтамперометрическим методом // Труды биогеохимической школы «Современные проблемы состояния и эволюции таксонов биосферы». М.: ГЕОХИ РАН, 2017. С. 426–433.

17. Сибгатуллина М.Ш., Александрова А.Б., Иванов Д.В., Валиев В.С. Оценка биогеохимического состояния травянистых растений и почв Волжско-Камского заповедника // Ученые записки Казанского университета, серия «Естественные науки». 2014. Т. 156, кн. 2. С. 87–102.

18. Clemens S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis // Planta. 200. Vol. 212. P. 475–486.

19. Чертко Н.К., Чертко Э.Н. Геохимия и экология химических элементов: справочное пособие. Минск: Изд-во БГУ, 2008. С. 53–56.

20. Будкина С.В. Агроэкологическая оценка фракционного состава подвижных форм тяжелых металлов дерново-подзолистой супесчаной почвы: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2011. 27 с.

21. Ильин В.Б. Фоновое содержание тяжелых металлов в почве – важный компонент экологического мониторинга // Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде: сборник докладов II международной научно-практической конференции. Семипалатинск: Изд-во Семипалатинского государственного университета, 2002. Т. 1. С. 141–146.

MONITORING OF HEAVY METAL CONTAMINATION OF SOIL AND PLANTS (FOR EXAMPLE, *POTENTILLA TANACETIFOLIA* WILLD. EX SCHLECHT.) OF NATURAL ECOSYSTEMS IN CHITA URBAN AREAS

© 2018

Samoilenko Galina Yurievna, assistant of Chemistry and Biochemistry Department

Bondarevich Evgeniy Aleksandrovich, candidate of biological sciences,
associate professor of General Chemistry and Biochemistry Department

Kotsyurzhinskaya Natalia Nikolaevna, candidate of biological sciences, associate professor,
head of General Chemistry and Biochemistry Department
Chita State Medical Academy (Chita, Russian Federation)

Boriskin Igor Anatolyevich, candidate of biological sciences, director
*Zabaykalsky Agrarian Institute – branch of Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky
(Chita, Russian Federation)*

Abstract. The paper presents data on the content of gross and mobile forms of zinc, cadmium, lead and copper in the soils of Chita and its surroundings. The paper contains a comparative analysis of the accumulation (K_n) and movement (K_p) coefficients of these microelements in organs (*Potentilla tanacetifolia* Willd. ex Schlecht.), relative to their gross content and mobile forms in soils. The authors have revealed that soil samples of the studied sites contain unequal gross amount of heavy metals. In some points (6 and 3) the content of cadmium and zinc exceeded the M_{ac} , that is why such soils have been attributed to heavily polluted. The index of biological activity on mobile forms of heavy metals in all sites significantly exceeded the same index on gross forms. It was found that *Potentilla tanacetifolia* are accumulators of heavy metal ions. Aboveground bodies accumulate and absorb cadmium and copper especially intensively, thus the content of mobile forms of these metals in the soil is insignificant. Excessive adsorption of trace elements in the phytomass of plants can be connected with surface contamination. According to the content of zinc and lead, the accumulation values in the organs of *P. tanacetifolia* were characterized by small coefficient values, against the background of their high concentration in the soil.

Keywords: Chita; zinc; cadmium; lead; copper; soil; natural ecosystems; hydrogen index; biological absorption coefficient; accumulation coefficient; movement coefficient; *Potentilla tanacetifolia*; biogeochemical activity index; correlation.