

УДК 504.5: 581.5

**Галина Юрьевна Самойленко<sup>1</sup>,**  
ассистент,

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

**Евгений Александрович Бондаревич<sup>2</sup>,**  
кандидат биологических наук, доцент,

Читинская государственная медицинская академия  
(672000, Россия, г. Чита, ул. Горького, 39а),  
e-mail: bondarevich84@mail.ru

**Наталья Николаевна Коцюржинская<sup>3</sup>,**  
кандидат биологических наук, доцент,

Читинская государственная медицинская академия  
(672000, Россия, г. Чита, ул. Горького, 39а),  
e-mail: nata\_nik\_k@mail.ru

#### **Изучение содержания тяжёлых металлов в почвах и дикорастущих растениях инверсионно-вольтамперометрическим методом**

Приведена оценка степени загрязнения почв и некоторых дикорастущих растений ионами цинка, свинца, кадмия и меди в условиях города Читы. Для определения использовался инверсионно-вольтамперометрический метод с трёхэлектродной системой, с амальгамным электродом. Абсолютные значения массовых концентраций указывали на низкий и средний уровень загрязнённости почв и растений. Были вычислены коэффициенты техногенной концентрации элементов ( $K_c$ ), накопления ( $K_n$ ) и суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ). По результатам исследования установлено, что загрязнённость подвижными формами тяжёлых металлов почвенного покрова ни на одном из исследованных участков не превышала предельно допустимую концентрацию. По величине  $Z_c$  большая часть пунктов (№ 1, 3 и 4) характеризуются высоким уровнем загрязнения по сумме абсолютных показателей. Относительную оценку загрязнённости растений проводили по величине коэффициента накопления ( $K_n$ ), и по этому значению *Stellera chamaejasme*, *Potentilla tanacetifolia* и *Artemisia gmelinii* энергично накапливали в течение вегетационного периода тяжёлые металлы. Изучение фолиарного пути поступления тяжёлых металлов показало, что среди изученных дикорастущих видов в большей степени цинк накапливался в листьях *Artemisia gmelinii*, кадмий – листьями *Stellera chamaejasme*, свинец – листьями *Oxytropis myriophylla*. Избыточного поступления меди не отмечено. Исследование соотношений коэффициентов техногенной концентрации элементов и накопления показывает, что пыль и другие аэрозольные формы тяжёлых металлов являются существенными источниками загрязнения растений в условиях городской среды.

**Ключевые слова:** инверсионно-вольтамперометрический метод, тяжёлые металлы, коэффициент техногенной концентрации элементов, коэффициент суммарного показателя загрязнения, коэффициент накопления

<sup>1</sup> Г. Ю. Самойленко – сбор материала, литературный обзор, выполнение практической части работы, обработка и оформление результатов.

<sup>2</sup> Е. А. Бондаревич – руководитель, осуществляющий сбор материала, литературный обзор, выполнение практической части работы, обработку и оформление результатов.

<sup>3</sup> Н. Н. Коцюржинская – руководитель.

**Galina Yu. Samoylenko<sup>1</sup>,**

Assistant,

Chita State Medical Academy

(39a Gorkogo st., Chita, 672000, Russia),

e-mail: g.s.311278@mail.ru

**Evgenii A. Bondarevich<sup>2</sup>,**

Candidate of Biology, Associate Professor,

Chita State Medical Academy

(39a Gorkogo st., Chita, 672000, Russia),

e-mail: bondarevich84@mail.ru

**Natalia N. Kotsyurzhinskaya<sup>3</sup>,**

Candidate of Biology, Associate Professor,

Chita State Medical Academy

(39a Gorkogo st., Chita, 672000, Russia),

e-mail: nata\_nik\_k@mail.ru

### Studying the Quantitative Indices of Heavy Metals in Soils and Wild-Growing Plants by an Inversion-Voltamperometric Method

We have studied the pollution degree of soils and some wild plants by ions of zinc, lead, cadmium and copper in the city of Chita. An inversion – voltamperometric method with three-electrode system with amalgam electrode was used for the research. Absolute values of the mass concentration indicate low and medium level of contamination of soils and plants. Calculation of relative ratios reflecting the ratio between various toxicants in soil and plants by conventional methods revealed a more complicated dependence on the “soil-plant” system. Anthropogenic factors of element concentrations ( $K_c$ ), accumulation ( $K_H$ ) and total pollution index ( $Z_c$ ) were calculated. The study revealed that contamination of the soil cover by mobile forms of heavy metals does not exceed the maximum permissible concentration on any of the investigated sites. The magnitude  $Z_c$  for most of the items (№ 1, 3 and 4) is characterized by a high level of contamination by the sum of absolute values. The relative evaluation of plant contamination carried out according to the value of the accumulation factor ( $K_H$ ) and the present value *Stellera chamaejasme*, *Potentilla tanacetifolia* and *Artemisia gmelinii* vigorously accumulated heavy metals during the growing season. At the same time the plant did not show signs of pathological changes. Study of foliar ways of heavy metals showed that zinc was accumulated most intensively in the leaves of *Artemisia gmelinii*, cadmium – in leaves of *Stellera chamaejasme*, lead – in leaves of *Oxytropis myriophylla*. The excess copper revenues were observed. The study of relations between man-made elements concentration and accumulation of factors shows that dust and other aerosol forms of heavy metals are a significant source of plant pollution in the urban environment.

**Keywords:** inversion-voltamperometric method, heavy metals, concentration factor of technological elements, ratio of the total indicator of pollution, accumulation rate

**Введение.** В связи с ростом урбанизации происходит изменение городской среды, которая во многих отношениях отличается от природной. Загрязнение тяжёлыми металлами окружающей среды городов существенно ухудшает экологическое состояние территорий, вызывает изменение химического состава всех природных компонентов урбоэкосистемы [4]. Технологические выбросы поступают в атмосферу, затем, выпадая на почвенную поверхность, накапливаются в её верхних горизонтах и вновь включаются в природные и техногенные циклы [11]. Одним из критериев оценки степени техногенной трансформации окружающей среды является изучение содержания и миграции тяжёлых металлов в системе «почва-растение» [6; 12]. В естественных условиях почвы и растения адаптировались к природным геохимическим зонам, содержат определённое количество тяжёлых металлов, чрезмерное накопление которых может оказаться причиной новых аномалий [3; 9].

<sup>1</sup> G. Yu. Samoylenko collected the material, made literary review, implemented the practical part of the work, processed and presented the results.

<sup>2</sup> E. A. Bondarevich, is a supervisor, who collected the material, made literary review, implemented the practical part of the work, processed and presented the results.

<sup>3</sup> N. N. Kotsyurzhinskaya is a supervisor.

Проблема накопления и миграции химических элементов требует значительного внимания и изучения, несмотря на достаточное количество литературных данных по характеру загрязнения городских территорий [1].

**Цель.** На основе расчёта суммарного показателя загрязнения почв подвижными формами тяжёлых металлов ( $Z_c$ ) и коэффициентов накопления ( $K_n$ ) и техногенной концентрации ( $K_c$ ) определить степень загрязнения почв и некоторых дикорастущих растений в условиях городской среды.

**Материалы и методы исследования.** Объектами исследования были образцы почв ( $n = 16$ ) и растения ( $n = 56$ ), которые отбирали согласно общепринятым методикам [6] в июне и августе 2015 г. Почвенные образцы были взяты из корнеобитаемого слоя (0–15 см) и высушены в сушильном шкафу при 105 °С. Далее навески воздушно-сухой пробы массой  $5,00 \pm 0,01$  г помещали в коническую колбу вместимостью 100 мл. Мерным цилиндром к пробе приливали 50,0 мл ацетатно-аммонийного буферного раствора с  $pH=4,8$  (соотношение проба : раствор – 1 : 10). Колба с пробой перемешивалась и в закрытом виде выдерживалась 24 ч при комнатной температуре (при этом 5–7 раз также происходило перемешивание). Затем пробы отфильтровывали с бумажным складчатым фильтром «белая лента» (предварительно отмытого  $CH_3COO^- / NH_4^+$  – буферным раствором). Фильтрат собирали в мерную колбу вместимостью 50,0 мл и доводили до метки буферным раствором.

Фильтрат объёмом 2,00 мл вносили в кварцевые стаканчики (проверенные на чистоту и обработанные на озонаторе «Чисто-ТА»). Полученные вытяжки выпаривали в камере выпаривания печи «ПДП-Аналитика» при температуре 160–180 °С до сухого остатка. Если зола содержала угольные включения, то сухой остаток в кварцевых стаканчиках выдерживали в муфельной печи «ПДП-Аналитика» в течение 30 мин при 450 °С. Перед анализом золу растворяли в 0,20 мл концентрированной муравьиной кислоты и добавляли 1,8 мл дистиллированной воды. Для анализа использовали аликвоту раствора объёмом 200,0–400,0 мкл [7].

Объектами исследования были следующие виды многолетних травянистых растений: лапчатка пижмолистная (*Potentilla tanacetifolia* Willd. ex Schltl.), стеллера карликовая (*Stellera chamaejasme* L.), остролодочник тысячелистный (*Oxytropis myriophylla* (Pall.) DC.) и полынь Гмелина (*Artemisia gmelinii* Web.). Выбранные виды являются широкораспространёнными растениями в фитоценозах региона.

На площадках отбирались растения, не имеющие повреждений, находящиеся в генеративной фазе, не крупные, одновозрастные.

Растительный материал разделяли на отдельные органы: листья, стебли, корни, генеративные органы (цветки или плоды). Органы растений высушивали на воздухе и мелко измельчали. Навеску пробы массой 1,0 г высушивали в выпаривателе печи «ПДП-Аналитика» при температуре 150–350 °С до прекращения выделения дыма. После этого к золе добавляли 2,5–3,0 мл концентрированной азотной кислоты и подвергали выпариванию при температуре 150–250 °С до образования влажного осадка. Для более полного окисления органических веществ в конце мокрого озоления в кварцевые стаканы добавляли 30 %-ный раствор пероксида водорода.

Для полного удаления угольных включений пробу помещали в муфельную печь и выдерживали 30 мин при 450 °С. Если после озоления осадок имел угольные включения, все этапы мокрого озоления повторялись.

Перед анализом золу растворяли в 1,0 мл концентрированной муравьиной кислоты и далее добавляли 9,0 мл дистиллированной воды. Для анализа проб из полученного раствора отбирали аликвоту объёмом 500 мкл [8].

Биологическая повторность – 2-кратная, аналитическая – 3-кратная.

Выполнение измерений массовых концентраций Zn, Cd, Pb и Cu во всех пробах проводили на вольтамперометрическом анализаторе «ТА-Универсал». Трёхэлектродная электрохимическая ячейка составлялась из двух хлорсеребряных электродов (вспомогательного и сравнения, заполненных раствором KCl с молярной концентрацией 1 моль/л) и рабочего амальгамного электрода. Получение вольтамперограмм и обработка результатов измерений выполнялись в программе «ТА-Lab», согласно стандартной методике, загруженной из программы.

Для оценки интенсивности и степени опасности загрязнения почвы химическими веществами был рассчитан коэффициент техногенной концентрации элемента ( $K_c$ ), полученный отношением концентрации элемента в исследуемой почве к концентрации элемента в фоновой почве, общая формула имеет вид:

$$K_c = \frac{K_{\text{общ.}}}{K_{\text{фак.}}}$$

Расчёт суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ) производили согласно следующей формуле:

$$Z_c = \sum_n K_c - (n - i),$$

где  $i = 1$ .

Корневое поступление элементов из почвы определяли с помощью коэффициента накопления ( $K_H$ ), который выражает отношение содержания элемента в корнях к таковому в почве:

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

Для исследования были выбраны участки в окрестностях г. Чита: пункт № 1 – в районе горы Титовская сопка, урочище «Сухотино»; пункт № 2 – в востoku от спортивной базы «Орбита», верхняя часть остепнённого склона с южной экспозицией; пункт № 3 – в востoku от спортивной базы «Орбита», верхняя часть остепнённого склона с западной экспозицией; пункт № 4 – мкр. Сосновый бор, ул. Украинский бульвар, вблизи автомагистрали.

Полученные данные обрабатывались общепринятыми методами статистического анализа.

**Результаты и их обсуждение.** Важным показателем загрязнения почв тяжёлыми металлами является содержание их подвижных форм (табл. 1).

Таблица 1

Среднее содержание подвижных форм тяжёлых металлов (ПФ ТМ) (в мг/кг) в почвах г. Чита, ( $M \pm m$ ), средние коэффициенты техногенной концентрации тяжёлых металлов ( $K_c$ ) и суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) для почв г. Чита (июнь и август 2015 г.)

Район исследования	Среднее содержание ПФ ТМ (мг/кг) / $K_c$				$Z_c$
	Zn	Cd	Pb	Cu	
Пункт № 1 (июнь)	(4 ± 1) / 1,14	(0,011 ± 0,003) / 11,22	(0,26 ± 0,07) / 8,84	(0,35 ± 0,09) / 2,18	18,38
Пункт № 1 (август)	(6,3 ± 1,2) / 1,829	(0,018 ± 0,002) / 19,38	(0,3 ± 0,001) / 7,89	(1,3 ± 0,07) / 14,37	40,47
Пункт № 2 (июнь)	(1,9 ± 0,5) / 1,45 · 10 <sup>-4</sup>	(0,01 ± 0,003) / 0,704	(0,29 ± 0,07) / 0,081	(0,26 ± 0,07) / 3,43 · 10 <sup>-3</sup>	–
Пункт № 2 (август)	(6,6 ± 0,51) / 1,88	(0,047 ± 0,003) / 47,959	(0,38 ± 0,07) / 10	(0,41 ± 0,04) / 2,56	59,4
Пункт № 3 (июнь)	(0,31 ± 0,08) / 0,54	(1 ± 0,3) / 10,24	(0,44 ± 0,11) / 7,63	0 / 1,62	17,49
Пункт № 3 (август)	5,09 ± 0,81 / 1,457	0,029 ± 0,0003 / 30,61	0,24 ± 0,11 / 6,32	0,41 ± 0,005 / 2,56	37,95
Пункт № 4 (июнь)	(1,3 ± 0,3) / 0,37	(0,19 ± 0,05) / 193,8	(0,63 ± 0,16) / 16,57	(0,28 ± 0,07) / 1,75	210,12
Пункт № 4 (август)	0	0	(0,03 ± 0,16) / 16,57	(0,23 ± 0,03) / 1,437	–
ПДК [1]	23	5	32	100	

По результатам проведённых исследований нами было установлено, что содержание цинка в июне на исследуемых участках составило 0,00051–4 мг/кг сухой почвы, что не превышает ПДК. Высокая концентрация цинка отмечалась в районе горы Титовская сопка – 4 мг/кг. К августу уровень цинка на всех территориях увеличивается: максимальное его коли-

чество (5,09 мг/кг) было отмечено в пробах из пункта № 2. Наибольшая концентрация кадмия в июне была зафиксирована в районе мкр. Сосновый бор (пункт № 4), вблизи автомагистрали (0,19 мг/кг). В августе отмечается уменьшение содержания этого металла в пробах всех исследуемых пунктов. Количество свинца в почвах в июне составляло 0,0031–0,63 мг/кг сухой почвы, но в августе также наблюдалось снижение его концентрации. Медь в почвах накапливалась в пределах от  $5,5 \cdot 10^{-4}$  до 0,35 мг/кг, в августе её наибольшее количество отмечено на территории пункта № 1 – «Сухотино» (2,3 мг/кг).

Следует отметить, что ПДК изучаемых элементов не была превышена ни на одной из исследуемых территорий.

Коэффициенты техногенной концентрации (табл. 1) отражают особенности накопления тяжёлых металлов в почвах. Опасность загрязнения тем выше, чем больше  $K_c$  превышает единицу [6]. На территории пункта № 1 за летний период коэффициент значительно возрастает по кадмию и меди. На территории пункта № 2 в июне коэффициент не превышал единицу для всех исследуемых тяжёлых металлов. Но к августу  $K_c$  по кадмию возрастает до 47,96, по свинцу – до 10, по меди – до 2,56. В почве пункта № 3 коэффициент техногенной концентрации достиг максимума по содержанию кадмия (193,8). Следует отметить, что пробы в этом пункте отбирались на территории бывшей котельной. Вероятно, это и привело к формированию локальной геохимической аномалии. Поэтому в пробах почвы содержание кадмия и цинка в десятки (иногда сотни) раз выше, чем в почвах других пунктов. Наличие одного из дополнительных источников загрязнения автотранспортом способствует увеличению исследуемого показателя за анализируемый период времени [2; 5].

Оценку степени опасности загрязнения почв по показателю  $Z_c$  проводили по общепринятой методике [6]. На основании полученных данных почвы пунктов № 1 и № 4 относятся к категории умеренно опасных, почва пункта № 3 – к категории чрезвычайно опасных. Загрязнение тяжёлыми металлами, действуя длительное время, способно вызвать серьёзные сдвиги в биологическом равновесии. Наиболее опасной является подвижная форма тяжёлых металлов. В результате высокой подвижности поступление катионов перестаёт регулироваться клеточными механизмами, что приводит к накоплению их в растениях [4]. Высшие растения без каких-либо признаков отравления и патологических изменений могут содержать опасные для животных и человека концентрации химических элементов.

Наибольшую опасность в этой связи представляют лекарственные растения, произрастающие на урбанизированных территориях. Вместо ожидаемого положительного эффекта организму можно нанести непоправимый вред при использовании загрязнённого лекарственного сырья [10]. Поглощение ионов осуществляется, главным образом, молодой частью корней. Поступившие в корни ионы затем направляются в наземные органы, которые в большей степени являются сырьём для приготовления настоек и отваров [11].

С целью оценки риска попадания тяжёлых металлов в наземные органы растений, был изучен коэффициент накопления ( $K_H$ ), который характеризует корневое поступление элементов из почвы (табл. 2 и 3).

Таблица 2

Коэффициент накопления тяжёлых металлов в травянистых растениях в условиях городской среды (июнь, 2015 г.)

Растение	№ пункта	Металлы и коэффициент накопления ( $K_H$ )			
		Zn	Cd	Pb	Cu
<i>S. chamaejasme</i>	1	1,35	0,47	1,27	5,7
	2	–	–	–	–
	3	1,78	1,34	1,75	3,24
	4	960,8	1,6	90,32	0
<i>A. gmelinii</i>	1	0,02	0,17	0,07	0,4
	2	13,7	6	6,89	0
	3	–	–	–	–
	4	13,68	4	6,8	0,08

Окончание табл. 2

Растение	№ пункта	Металлы и коэффициент накопления ( $K_H$ )			
		Zn	Cd	Pb	Cu
<i>P. tanacetifolia</i>	1	4,95	0	11,1	8,8
	2	0	0	0,04	8,4
	3	50,76	0	0,95	7,85
	4	0	0	164,5	872,7
<i>O. myriophylla</i>	1	0,85	0	1,38	6,85
	2	0	0	0,093	0
	3	–	–	–	–
	4	960,8	1,59	90,32	0

Примечание: знак «–» означает, что растение на данной территории не обнаружено

Таблица 3

Коэффициент накопления тяжёлых металлов  
в травянистых растениях в условиях городской среды (август, 2015 г.)

Растение	№ пункта	Коэффициент накопления ( $K_H$ ) отдельных элементов			
		Zn	Cd	Pb	Cu
<i>S. chamaejasme</i>	1	0,86	0,29	1,1	0,87
	2	0,49	1,06	1,1	0,02
	3	–	–	–	–
	4	0,24	0,14	2,1	3,2
<i>A. gmelinii</i>	1	0,015	0,11	0,06	0,07
	2	1,11	0,68	0,74	10,7
	3	0	0	1,03	2,3
	4	1,03	2,45	1,71	6,12
<i>P. tanacetifolia</i>	1	3,14	0	9,66	1,34
	2	0	0	1,34	11,7
	3	10,0	0	20	9,5
	4	0	0	304,2	1,15
<i>O. myriophylla</i>	1	0,54	0	1,2	1,04
	2	1,56	0,17	0,1	0,0012
	3	2,36	0	91,7	0
	4	0	0	17,1	4,38

Примечание: знак «–» означает, что растение на данной территории не обнаружено

Коэффициент накопления цинка в пункте № 4 достигал максимального значения (960,8) у *S. chamaejasme*, свинца  $K_H$  – 164,5, отмечен у *P. tanacetifolia*; меди – 872,7 так же у *P. tanacetifolia*, что превышает предел даже для элементов группы энергичного накопления. У *A. gmelinii*, произрастающей на территории пунктов № 2 и № 4, происходило значительное накопление Zn, Cd и Pb (табл. 2 и 3). Аналогичная динамика по содержанию тяжёлых металлов наблюдалась в различных органах *A. gmelinii*, произрастающей в условиях значительной техногенной нагрузки на территории Шерловогорского рудного района [12]. Возможно, это связано с тем, что данные металлы находятся в почве в подвижном состоянии и наиболее доступны растениям. Резкое возрастание подвижности тяжёлых металлов, таких как Pb и Zn, как правило, связано с изменением pH почвы [2]. С другой стороны, такое увеличение  $K_H$  может так же объясняться тем, что либо растения на данной территории испытывают дефицит этих элементов для метаболизма, либо нарушены защитные механизмы корневой системы [14].

На основании данных, представленных в табл. 4, был проведён поэлементный сравнительный анализ по накоплению тяжёлых металлов в листьях исследуемых видов растений.

Таблица 4

Среднее содержание тяжёлых металлов в листьях растений, мг/кг

Металл	№ пункта сбора	<i>S. chamaejasme</i>	<i>A. gmelinii</i>	<i>P. tanacetifolia</i>	<i>O. myriophylla</i>	Норма, ПДК [10]
Zn	1	3,1±0,24	152±34,2	19±1,23	0,11±0,0035	ПДК 150,0–300,0
	2	3,4±0,05	7,4±0,65	0	3,5±0,053	
	3	10,1±1,57	4,8±0,89	8,2±0,86	0	
	4	3,5±0,07	6,1±0,91	7,8±0,54	0,56±0,0006	
Cd	1	0	0	0	0	ПДК 5,0
	2	0,008±0,0032	0,3±0,0005	0,0062±4·10 <sup>-4</sup>	0	
	3	4,3±0,32	0,03±0,00002	0,016±0,0001	0,024±0,0001	
	4	2,4±0,53	1,8±0,00023	0,022±0,0003	1,7±0,0037	
Pb	1	0,29±0,0005	0,27±0,0002	0,38±0,002	0,084±0,0003	ПДК 32,0
	2	0,03±0,00004	3,5±0,032	0	416±19,54	
	3	0,02±0,00002	0,08±0,0004	0	10,5±0,99	
	4	0,31±0,00031	0,07±0,00003	0,23±0,0004	8,4±1,07	
Cu	1	0	6,3±0,95	2,6±0,078	0	ПДК 15,0–20,0
	2	5,4±0,64	1,9±0,043	16±2,54	0	
	3	0,078±0,00003	1,02±0,007	1,2±0,056	0,03±0,0003	
	4	1,78±0,0002	3,8±0,56	0,84±0,00076	0,39±0,00057	

Анализируя полученные данные, следует отметить, что металлы накапливаются в листьях травянистых лекарственных растений неодинаково (табл. 4). Максимальное количество цинка накапливается в листьях *A. gmelinii* – 152 мг/кг сухого вещества на территории урочища «Сухотино», вблизи промзоны, что в десятки раз превышает показатели других пунктов № 2, 3, 4. Значительное накопление кадмия (4,3 мг/кг сухого вещества) листьями *S. chamaejasme* было отмечено на территории пункта № 3. Количество свинца в листьях *O. myriophylla* на площадке пункта № 2 достигало 416 мг/кг сухого вещества, при значении ПДК 32 мг/кг. Такое значительное увеличение содержания свинца в листьях, вероятно, обусловлено высокой степенью загрязнения атмосферного воздуха и осадков на данной территории, которое обуславливает фолиарное поступление этого элемента. На этой же территории было отмечено высокое содержание меди в листьях *A. gmelinii*.

Таким образом, полученные данные позволяют сделать выводы о том, что почвы исследуемых территорий характеризуются высоким значением суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ) тяжёлыми металлами и, согласно оценочной шкале [6], могут быть отнесены к категории умеренно и чрезвычайно опасных. Произрастающие на таких почвах растения без каких-либо признаков патологических изменений активно поглощают ионы, которые далее поступают в наземные органы и могут поступать по трофическим цепям в организмы животных и человека, оказывая токсическое действие [16]. При оценке содержания тяжёлых металлов не следует оставлять без внимания их поверхностное поступление [14]. Источниками поллютантов выступают атмосферные осадки и тонкая почвенная пыль [2]. Но фолиарное накопление тяжёлых металлов не так опасно для человека, поскольку перед употреблением листья растения моются и очищаются, при этом основная часть поллютантов удаляется [3]. Полученные результаты могут быть использованы при оценке накопления тяжёлых металлов травянистыми растениями в условиях городской среды, а также в биоиндикации экологического состояния почв и растений.

#### Список литературы

1. Алексеев Ю. В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 328 с.
2. Водяницкий Ю. Н. Состояние и поведение природных и техногенных форм As, Sb, Se, Te в рудных отвалах и загрязнённых почвах (обзор литературы) // Почвоведение. 2010. № 1. С. 37–46.
3. Воронкова И. П., Чеснокова Л. А. Содержание токсичных микроэлементов в сопряжённых средах // Гигиена и санитария. 2009. № 4. С. 17–19.

4. Ильин В. Б. Тяжёлые металлы и неметаллы в системе почва-растение. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 220 с.
5. Колесников С. И. Ранжирование химических элементов по степени их экологической опасности // Современные проблемы загрязнения почв. М., 2010. С. 362–365.
6. Копылова Л.В, Войтюк Е. А., Лескова О. А., Якимова Е. П. Содержание тяжёлых металлов в почвах и растениях урбанизированных территорий (Восточное Забайкалье). Чита: Забайкал. гос. ун-т, 2013. 154 с.
7. Методическое указание 31-03/05. Количественный химический анализ проб почв, тепличных грунтов, илов, донных отложений, сапропелей, твёрдых отходов. Методика выполнения измерений массовых концентраций цинка, кадмия, свинца, меди, марганца, мышьяка, ртути методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. Томск: Томаналит, 2005. 47 с.
8. Методическое указание 31–03/04. Количественный химический анализ проб природных, питьевых и сточных вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций цинка, кадмия, свинца и меди методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. ПНД Ф 14.1:2:4.222-06. Томск: Центр ризографии и копирования ЧП Тисленко, 2011. 24 с.
9. Понсю М., Готеру Ж. Анализ почвы. Справочник. Минералогические, органические и неорганические методы анализа. СПб.: Профессия, 2014. 600 с.
10. Прохорова Н. В. Аккумуляция тяжёлых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Изд-во Самар. ун-та, 1998. 131 с.
11. Реутова Н. В. Определение мутагенного потенциала неорганических соединений ряда тяжёлых металлов // Гигиена и санитария. 2011. № 5. С. 55–57.
12. Солдохудина М. А. Микроэлементы в растениях Шерловогорского рудного района Забайкальского края на примере полыни Гмелина (*Artemisia gmelinii* Weber ex Stechm) // Современные проблемы геохимии: материалы конф. молодых учёных. 2013. С. 103–104.
13. Трофимова А. А. Исследования содержания и динамики тяжёлых металлов в системе «Снег-Почва» // Современное состояние и проблемы естественных наук: сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. молодых учёных, аспирантов и студентов, г. Юрга. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. С. 195–198.
14. Чимитдоржиева Э. О., Давыдова Т. В., Цыбенков Ю. Б. С-биомассы целинных чернозёмов и каштановых почв Забайкалья // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. 16 с.
15. Wang M., Markert B., Shen W., Peng C., Ouyang Z. Microbiol biomass carbon and enzyme activities of urban soils in Beijing // Environm. Sci. Pollut. Res. 2011. Vol. 18, No. 6. PP. 958–967.
16. Iqbal N., Masood A., Iqbal R., Khan M., Syeed S., Khan N. A. Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation // Amer. J. Plant Sci. 2012. Vol. 3. PP. 1476–1489.

#### References

1. Alekseev Yu. V. Tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh. L.: Agropromizdat, 1987. 328 s.
2. Vodyanitskii Yu. N. Sostoyanie i povedenie prirodnykh i tekhnogennykh form As, Sb, Se, Te v rudnykh otvalakh i zagryaznennykh pochvakh (obzor literatury) // Pochvovedenie. 2010. № 1. S. 37–46.
3. Voronkova I. P., Chesnokova L. A. Soderzhanie toksichnykh mikroelementov v sopryazhennykh sredakh // Gigiena i sanitariya. 2009. № 4. S. 17–19.
4. Il'in V. B. Tyazhelye metally i nemetally v sisteme pochva-rastenie. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2012. 220 s.
5. Kolesnikov S. I. Ranzhirovanie khimicheskikh elementov po stepeni ikh ekologicheskoi opasnosti // Sovremennyye problemy zagryazneniya pochv. M., 2010. S. 362–365.
6. Kopylova L.V, Voityuk E. A., Leskova O. A., Yakimova E. P. Soderzhanie tyazhelykh metallov v pochvakh i rasteniyakh urbanizirovannykh territorii (Vostochnoe Zabaikal'e). Chita: Zabaikal. gos. un-t, 2013. 154 s.
7. Metodicheskoe ukazanie 31–03/05. Kolichestvennyi khimicheskii analiz prob pochv, teplichnykh gruntov, ilov, donnykh otlozhenii, sapropelai, tverdykh otkhodov. Metodika vypolneniya izmerenii massovykh kontsentratsii tsinka, kadmiya, svintsya, medi, margantsya, mysh'yaka, rtuti metodom inversionnoi vol'tamperometrii na analizatorakh tipa TA. Tomsk: Tom'analit, 2005. 47 s.
8. Metodicheskoe ukazanie 31–03/04. Kolichestvennyi khimicheskii analiz prob prirodnykh, pit'evykh i stochnykh vod. Metodika vypolneniya izmerenii massovykh kontsentratsii tsinka, kadmiya, svintsya i medi metodom inversionnoi vol'tamperometrii na analizatorakh tipa TA. PND F 14.1:2:4.222–06. Tomsk: Tsentr rizoграфии i kopirovaniya ChP Tislenko, 2011. 24 s.
9. Ponsyu M., Goteru Zh. Analiz pochvy. Spravochnik. Mineralogicheskie, organicheskie i neorganicheskie metody analiza. SPb.: Professiya, 2014. 600 s.
10. Prokhorova N. V. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov dikorastushchimi i kul'turnymi rasteniyami v lesostepnom i stepnom Povolzh'e. Samara: Izd-vo Samar. un-ta, 1998. 131 s.
11. Reutova N. V. Opredelenie mutagenogo potentsiala neorganicheskikh soedinenii ryada tyazhelykh metallov // Gigiena i sanitariya. 2011. № 5. S. 55–57.
12. Solodukhina M. A. Mikroelementy v rasteniyakh Sherlovogorskogo rudnogo raiona Zabaikal'skogo kraja na primere polyni Gmelina (*Artemisia gmelinii* Weber ex Stechm) // Sovremennyye problemy geokhimii: materialy konf. molodykh uchennykh. 2013. S. 103–104.
13. Trofimova A. A. Issledovaniya sodержaniya i dinamiki tyazhelykh metallov v sisteme «Sneg-Pochva» // Sovremennoe sostoyanie i problemy estestvennykh nauk: sb. tr. Vseros. nauch.-prakt. konf. molodykh uchennykh, aspirantov i studentov, g. Yurga. Tomsk: Izd-vo TPU, 2014. S. 195–198.
14. Chimitdorzhieva E. O., Davydova T. V., Tsybenov Yu. B. S-biomassy tselinnykh chernozemov i kashtanovykh pochv Zabaikal'ya // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. № 6. 16 s.
15. Wang M., Markert B., Shen W., Peng C., Ouyang Z. Microbiol biomass carbon and enzyme activities of urban soils in Beijing // Environm. Sci. Pollut. Res. 2011. Vol. 18, No. 6. PP. 958–967.



16. Iqbal N., Masood A., Iqbal R., Khan M., Syeed S., Khan N. A. Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation // Amer. J. Plant Sci. 2012. Vol. 3. PP. 1476–1489.

**Статья поступила в редакцию 26.12.2016; принята к публикации 15.01.2017**

**Received: December 26, 2016; accepted for publication: January 15, 2017**

***Библиографическое описание статьи***

*Самойленко Г. Ю., Бондаревич Е. А., Коцюржинская Н. Н.* Изучение содержания тяжёлых металлов в почвах и дикорастущих растениях инверсионно-вольтамперометрическим методом // Ученые записки ЗабГУ. Сер. Биологические науки. 2017. Т. 12, № 1. С. 31–39.

***Reference to the article***

*Samoylenko G. Yu., Bondarevich E. A., Kotsyurzhinskaya N. N.* Studying the Quantitative Indices of Heavy Metals in Soils and Wild-Growing Plants by an Inversion – Voltamperometric Method // Scholarly Notes of Transbaikal State University. Series Biological sciences. 2017. Vol. 12, No. 1. PP. 31–39.