

# ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

**Ю.Ю. Серегина, И.Н. Семенова, Я.Т. Суюндуков, Р.Ф. Хасанова,  
Г.Ш. Кузина, Ю.С. Рафикова**

**Сибайский филиал ГАНУ "Институт стратегических исследований Республики Башкортостан"**

Исследовано загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами (ТМ) Cu, Zn, Fe, Mn, Cd и Pb в зоне влияния Белорецкого металлургического комбината и Сибайской обогатительной фабрики (Республика Башкортостан). Установлена прямая зависимость фитотоксичности почв от содержания в ней ТМ при их относительно высоких концентрациях.

*Ключевые слова: Белорецкий металлургический комбинат, Сибайская обогатительная фабрика, тяжелые металлы, токсичность, биотестирование, *Lepidium sativum*, *Triticum aestivum**

## Assessment of Soil Phytotoxicity under the Conditions of Technogenic Impact of Enterprises of the Mining and Metallurgical Complex of the Republic of Bashkortostan

**Yu.Yu. Seregina, I.N. Semenova, Ya.T. Suyundukov, R.F. Khasanova, G.Sh. Kuzhina,  
Yu.S. Rafikova**

**Sibay Branch of the GANU "Institute for Strategic Studies of the Republic of Bashkortostan", 453837  
Sibay, Russia**

The soil contamination with heavy metals (HM) Cu, Zn, Fe, Mn, Cd and Pb was studied in the zone of influence of the Beloretsk Metallurgical Plant and the Sibay Beneficiating Plant (Republic of Bashkortostan). The direct dependence of phytotoxicity of soils on the content of HM in it at their relatively high concentrations has been established.

*Key words: Beloretsk Metallurgical Plant, Sibay Beneficiating Plant, heavy metals, toxicity, biotesting, *Lepidium sativum*, *Triticum aestivum**

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-07-67-71

**Ю**жный Урал характеризуется наличием большого количества полиметаллических месторождений, что обусловило развитие горнодобывающей промышленности. Многие предприятия расположены на территории Республики Башкортостан (РБ). К числу наиболее крупных относятся АО "Белорецкий металлургический комбинат", АО "Учалинский горно-обогатительный комбинат" и его Сибайский филиал, АО "Бурibaевский горно-обогатительный комбинат", ООО "Башкирская медь" и др.

Особенности геологического строения юго-востока территории обусловили обогащенность горных пород аномальными концентрациями многих химических элементов, в том числе и тяжелых металлов (ТМ) [1], что способствовало повышенному их содержанию в почвах региона. Кроме того, для почвенного покрова характерно техногенное загрязнение, что связано и с функционированием многочисленных горнорудных предприятий [2], являющихся одним из наиболее мощных источников поступления ТМ в окружающую среду. Накапливаясь в

больших количествах, ТМ могут привести к существенным изменениям химических, биологических и физических свойств почвы, вплоть до ее деградации. Положительная или отрицательная реакция живых организмов на различные позитивные и негативные изменения в почве позволяет использовать их в качестве индикатора оценки состояния экологических систем.

Для интегральной оценки экологического состояния природных объектов в исследованиях все чаще применяется метод биотестирования [3].



**Карта-схема расположения пробных площадок (ПП1-ПП9) (▲) в г. Белорезке (а) и г. Сибай (б)**  
**The map of the location of test sites (TS1-TS9) (▲) in the city of Beloretsk (a) and the city of Sibay (b)**

С целью изучения экологического состояния почвенного покрова в зоне влияния горно-металлургического производства нами проведено исследование степени токсичности методом биотестирования. Исследование включало решение следующих задач: определение содержания ТМ в исследуемых почвах; биотестирование техногенно загрязненных почв; оценка чувствительности различных тест-откликов к содержанию ТМ в почве с использованием растительных тест систем.

### Материалы и методы

Объектом исследования являлись почвы в зоне влияния предприятий горнорудной промышленности, являющихся источниками загрязнения (ИЗ), — Белорезцкого металлургического комбината (ИЗ1) и Сибайской обогатительной фабрики (ИЗ2).

АО "Белорезцкий металлургический комбинат" (АО "БМК"), представляющее собой единственное предприятие черной металлургии в республике, расположено в г. Белорезке — одном из крупнейших промышленных центров РБ. АО "БМК" является основой экономики Белорезцкого района. В Белорезском районе находится Южно-Уральский государственный природный заповедник и ряд других особо охраняемых природных территорий. В связи с этим специфика экологического состояния города Белорезка и района определяется двумя факторами: с одной стороны, деятельностью металлургического комбината, с другой — большим объемом особо охраняемых территорий [4].

Сибайская обогатительная фабрика (СОФ) входит в состав Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината (СФ УГОК), градообразующего предприятия г. Сибай, являющегося промышленным, культурным и образовательным центром Башкирского Зауралья. С позиции опасности загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами в г. Сибай наиболее значительны два объекта: обогатительная фабрика и карьер. Территория относится к Зауральской степной зоне РБ [5].

Полевые исследования были проведены в 2012–2013 гг. Пробные площадки (ПП1–ПП9) закладывали на расстоянии 0,5–15 км от ИЗ (см. рисунок).

В качестве контроля были заложены пробные площадки на удалении 15 км от ИЗ, не подвергавшиеся техногенному воздействию, имеющие сходный тип почв, гранулометрический состав и содержание гумуса.

В составе почвенного покрова г. Белорезка преобладающими являются горно-лесные почвы и черноземы горные. Эти почвы имеют кислую реакцию среды, содержание гумуса составляет 6–13 % [6]. Почвенный покров ландшафтов горнодобывающей промышленности городского округа г. Сибай представлен черноземом обыкновенным, среднemosным среднегумусным (7–8 %), легкосуглинистым и тяжелосуглинистым. Кислотность почв окрестностей г. Сибай соответствует кислотности зональных черноземов обыкновенных, для которых характерна слабощелочная (рН 7,2–7,5) реакция почвенного раствора [5].

Образцы почв были взяты из верхнего слоя (0–10 см) методом "конверта" согласно общепринятой методике отбора почв для проведения почвенного мониторинга [7]. В образцах почв определяли валовое содержание ТМ (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd,) и их подвижные формы, извлекаемые из почвы аммонийно-ацетатным буфером при рН 4,8 с помощью метода атомно-абсорбционной спектроскопии в центральной химической лаборатории СФ УГОК.

Для экологической оценки почв использовали общепринятые в экологии значения ПДК для валовых [8] и подвижных форм [9], а для Fe — значение кларка в земной коре [10].

Уровень техногенного загрязнения почв оценивали с помощью суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ), который рассчитывался по формуле  $Z_c = \sum K_c \cdot (n - 1)$ , где  $K_c = C/C_{\phi}$  — коэффициент концентрации отдельных компонентов загрязнения;  $n$  — число суммируемых веществ, коэффициент концентрации  $K_c$  которых выше 1,0. Критические значения, позволяющие охарактеризовать суммарное загрязнение по степени опасности, таковы: при  $Z_c < 16$  загрязнение считается не опасным, при  $16 < Z_c < 32$  — умеренно опасным, при  $32 < Z_c < 128$  — опасным, а при  $Z_c > 128$  — чрезвычайно опасным [4].

Для характеристики состояния почвы как биологической системы и оценки степени ее деградации при техногенном загрязнении было проведено биотестирование и оценка чувствительности различных тест-откликов к содержанию ТМ в почве с использованием различных растительных тест систем

(кресс-салата — *Lepidium sativum* L. и пшеницы мягкой — *Triticum aestivum* L.) [11]. В ходе биотестирования фиксировалось несколько тест-откликов на одном растительном тест-объекте: всхожесть семян, %, длина корня и проростка. Суммарную степень фитотоксичности почв определяли по изменению всхожести семян и длины корня проростков относительно контроля с использованием следующей шкалы [12]:

V степень — практически не токсичные — снижение всхожести семян по сравнению с контрольной пробой ( $N_1$ , %) —  $0 < N_1 \leq 20$  % и угнетение корней по сравнению с контрольной пробой ( $N_2$ , %) —  $0 < N_2 \leq 20$  %;

IV степень — малотоксичные — снижение всхожести семян по сравнению с контрольной пробой ( $N_1$ , %) —  $0 < N_1 \leq 20$  % и угнетение корней по сравнению с контрольной пробой ( $N_2$ , %) —  $20 < N_2 \leq 50$  %;

III степень — умеренно токсичные — снижение всхожести семян по сравнению с контрольной пробой ( $N_1$ , %) —  $20 < N_1 \leq 70$  % и угнетение корней по сравнению с контрольной пробой ( $N_2$ , %) —  $50 < N_2 \leq 70$  %;

II степень — опасно токсичные — снижение всхожести семян по сравнению с контрольной пробой ( $N_1$ , %) —  $70 < N_1 \leq 100$  % и угнетение корней по сравнению с контрольной пробой ( $N_2$ , %) —  $70 < N_2 \leq 100$  %;

I степень — высоко опасно токсичные — отсутствие всхожести семян  $N_1 = N_2 = 100$  %.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью пакета компьютерных программ "Statistica 6.0" Достоверность различий средних сравниваемых величин оценивалась по *t*-критерию Стьюдента для малых выборок. За достоверное принималось различие при уровне значимости  $p < 0,05$ . Для выявления связей между содержанием ТМ и биологическими показателями проростков испытуемых тест-систем использовалась корреляционный анализ, в котором при  $r < 0,30$  связь оценивалась как слабая,  $r = 0,31 \div 0,70$  — средняя,  $r > 0,70$  — сильная.

### Результаты и обсуждение

Исследование валового содержания ТМ в почвах в зоне влия-

**Таблица 1. Содержание ТМ в техногенно загрязненных почвах в зоне влияния АО "БМК"**

**Table 1. The content of TM in technologically polluted soils in the zone of influence of JSC "BMC"**

Элемент	Валовое содержание, мг/кг			Содержание подвижных форм (ААБ, рН 4,8), мг/кг		
	min-max	$\bar{X} \pm SD$	ПДК/РГФ	min-max	$\bar{X} \pm SD$	ПДК/РГФ
Cu	29,7–104,2	56,1 ± 32,7	55/49	12,0–30,7	21,4 ± 7,4	3/0,2
Zn	48,5–277	134,5 ± 92,9	100/223	14,5–197,0	74,8 ± 73,4	23/9,7
Fe	18720–232700	63411,4 ± 94694,2	25000/27533	4280–49675	15219 ± 19314	–/3,2
Mn	907,5–4822	1950,7 ± 1638,5	1500/525,4	219–1055	524,4 ± 375,1	140/29
Cd	0,75–1,75	1,25 ± 0,39	2/0,22	0,25–0,5	0,3 ± 0,11	0,22/0,01
Pb	4,75–7,0	6,0 ± 0,88	32/21,8	0,25–0,25	0,25 ± 0	6/0,3

Примечание.  $\bar{X}$  – среднее арифметическое; SD – стандартное отклонение.

**Таблица 2. Содержание ТМ в техногенно загрязненных почвах, прилегающих к СОФ**

**Table 2. The content of TM in technologically polluted soils adjacent to the SC**

Элемент	Валовое содержание ТМ, мг/кг			Содержание подвижных форм (ААБ, рН 4,8), мг/кг		
	min-max	$\bar{X} \pm SD$	ПДК/РГФ	min-max	$\bar{X} \pm SD$	ПДК/РГФ
Cu	22,6–157,5	59,5 ± 42,39	55/49	6,4–73,5	22,2 ± 21,4	3/0,2
Zn	104,0–583,2	260,9 ± 200,13	100/223	15,8–88,2	39,4 ± 22,4	23/9,7
Fe	23590–29356	25641,1 ± 1970,3	25000/27533	697–3921	1410,0 ± 999,1	–/3,2
Mn	907,0–1180,2	1065,1 ± 140,14	1500/525,4	132,1–268,5	216,1 ± 41,7	140/29
Cd	2,7–5,2	4,07 ± 0,88	2/0,22	0,001–0,9	0,39 ± 0,33	0,22/0,01
Pb	9,8–33,3	19,1 ± 6,4	32/21,8	0,001–5,3	2,1 ± 2,1	6/0,3

Примечание: см. табл. 1.

ния "БМК" показало, что наибольшее превышение ПДК отмечено для Cu (1,8 ПДК), Zn (2,7 ПДК), Fe (9,3 ПДК) и Mn (3,2 ПДК). По мере удаления от ИЗ наблюдается уменьшение содержания валовых концентраций ТМ. Содержание подвижных форм Cu, Mn и Cd во всех случаях превышало ПДК. Для цинка и марганца максимальные значения отмечены на ПП1: 8,5 ПДК и 7,5 ПДК соответственно. Наибольшее количество подвижных форм меди и кадмия выявлено на ПП2 (10,2 ПДК и 2,2 ПДК соответственно). Концентрации валовых и подвижных форм свинца в почвах исследуемых территорий не превышали значения ПДК (табл. 1).

Наибольшее превышение ПДК по валовому содержанию меди, равное 2,8 раз, было зафиксировано в непосредственной близости от СОФ. Превышение ПДК валовых форм цинка отмечено на всех пробных площадках. Концентрации валовых форм кадмия на всех исследуемых участках, свинца — в большинстве участков превышают предельно допустимые значения. Участок с наиболее высоким содержанием свинца находился в 0,5 км от ИЗ (1,04 ПДК), наиболь-

шее превышение по кадмию отмечено в ПП2 (2,6 ПДК). Превышений ПДК по валовому содержанию марганца не зафиксировано, а концентрации подвижных форм в ряде случаев превышали ПДК и в почвах всех ПП — фоновые значения. Концентрация подвижных форм меди в почвах изучаемой территории в значительной степени превышала ПДК. Повышенное содержание подвижного цинка, превышающее значение ПДК, было выявлено в почвах 7 пробных площадок из 9 изученных. Концентрация подвижных форм свинца не превышала предельно допустимых значений (табл. 2).

Расчет суммарного индекса загрязнения выявил, что изучаемые почвы в зоне влияния АО "БМК" относятся к допустимой категории загрязнения, за исключением почв с умеренно опасной категорией загрязнения ( $Z_c = 22,2$ ), находящихся непосредственно возле ИЗ (0,5 км).

По степени загрязнения почвы в зоне влияния Сибайской обогатительной фабрики, а именно почвы ПП1, ПП2 и ПП5, относятся к умеренно опасной категории загрязнения, все остальные образ-

**Таблица 3. Оценка степени фитотоксичности почв в зоне влияния АО "БМК" с использованием кресс-салата *Lepidium sativum* L.**

**Table 3. Estimation of the degree of phytotoxicity of soils in the zone of influence of JSC "BMC" using watercress *Lepidium sativum* L.**

Пробная площадка	Степень				
	изменения всхожести семян	токсичности по всхожести	изменения длины корня	токсичности по длине корня	суммарная
ПП1	83	II	32	IV	III
ПП2	73	II	36	IV	III
ПП3	41	III	12	V	IV
ПП4	66	III	-20	V	IV

\* , \*\* – по сравнению с контролем N1 и N2 соответственно, %.

**Таблица 4. Оценка степени фитотоксичности почв в зоне влияния СОФ**

**Table 4. Estimation of the degree of phytotoxicity of soils in the zone of influence of SC**

Пробная площадка	Степень				
	изменения всхожести семян	токсичности по всхожести	изменения длины корня	токсичности по длине корня	суммарная
ПП1	17	V	26	IV	IV
ПП2	38	III	24	IV	III
ПП3	24	III	17	V	IV
ПП4	36	III	22	IV	III
ПП5	27	III	16	V	IV
ПП6	22	III	21	IV	III
ПП7	37	III	51	III	III
ПП8	36	III	21	IV	III
ПП9	21	III	27	IV	III

\* , \*\* – см. табл. 3.

цы — к допустимой категории загрязнения.

Для установления токсичности почвы в зоне влияния АО "БМК" использовали в качестве теста реакцию семян проростков кресс-салата *Lepidium sativum* L. Кресс-салат — однолетнее травянистое растение, имеет повышенную чувствительность к загрязнению окружающей среды ТМ. Этот биоиндикатор отличается быстрым прорастанием семян, а также является чувствительным к загрязнению почв синцом [11].

В ходе проведенного биотестирования установлено, что всхожесть семян кресс-салата в пробных площадках ПП1–ПП4 изменялась в диапазоне от 13 до 47 %, в контроле этот показатель составлял 80 %. Наименьшее значение всхожести отмечено при выращивании семян в образце почвы, удаленной на 0,5 км от ИЗ (ПП1). Длина подземной части изменялась в пределах 16–30 мм, в контроле равнялась 25 мм. В результате наблюдений было установлено,

что содержание в почве загрязняющих веществ оказывает прямое воздействие на морфологические признаки исследуемого тест-объекта. Замеры длины надземной части проростка и корня показали, что чем ближе к ИЗ, тем меньше их линейные размеры. Длина надземной части проростка кресс-салата варьировала в пределах 15–24 мм, не достигая уровня контроля — 32 мм.

В качестве наиболее информативных параметров для определения токсичности почвенных образцов нами были выбраны показатели изменения всхожести семян и длины корня растительной тест-системы по сравнению с контрольной (табл. 3).

Таким образом, степень загрязнения почв, находящихся в зоне влияния БМК на расстоянии до 1500 м, следует отнести к умеренно токсичной, а свыше 1500 м — к малотоксичной.

Влияние концентраций ТМ на всхожесть, длину подземной и надземной части проростка кресс-салата *Lepidium sativum* L. было изучено с помощью корреляционного анализа, который позволил установить, что наибольшее отрицательное воздействие на изучаемые показатели растения оказывает цинк — коэффициенты корреляции между его содержанием и длиной корня проростков и всхожестью семян составляют:  $r = -0,80$  и  $r = -0,65$  соответственно. Положительная корреляционная связь зафиксирована между длиной подземной части модельного растения и содержанием свинца и кадмия ( $r = 0,68$  и  $r = 0,62$  соответственно). Это позволило предположить, что при низких концентрациях в почве свинец и кадмий проявляют стимулирующее действие по отношению к длине корня кресс-салата. По степени фитотоксичности по отношению к кресс-салату изученные металлы образуют следующий убывающий ряд:  $Zn > Mn > Fe > Cu$ .

Так как пшеница является менее изученным тест-объектом для биотестирования по отношению к содержанию ТМ в почве [13], представлялось интересным использовать ее для оценки фитотоксичности почв в зоне влияния СОФ (табл. 4).

Из представленных данных следует, что почвы, находящиеся в

зоне воздействия СОФ, относятся к умеренно токсичным по отношению к всхожести семян, кроме почв ПП1, которые оказались практически нетоксичными. По отношению к длине корня проростка почвы пробных площадок характеризовались как практически нетоксичные или малотоксичные, кроме почв ПП7, где наблюдалась умеренная токсичность. На основании полученных результатов и в соответствии с Методикой измерений изучаемые почвенные образцы были классифицированы как "умеренно токсичные", за исключением ПП1, ПП3 и ПП5, которые были отнесены к "малотоксичным" [12].

Характер связи между показателями всхожести, длиной корня проростка пшеницы и содержанием ТМ в почве был сходен с таковым для кресс-салата: между показателями всхожести и содержанием свинца, длиной корня и содержанием кадмия в почве выявлена положительная корреляция средней степени ( $r = 0,65$  и  $r = 0,47$  соответственно).

### Заключение

В почвенном покрове в зоне влияния АО "БМК" отмечено превышение ПДК валовых и подвижных форм Cu, Zn, Fe, Mn и Cd. В зоне воздействия "СОФ" наблюдается превышение допустимых концентраций валовых форм Cu, Zn, Cd, Pb и подвижных форм Cu, Zn, Fe, Cd. По показателю  $Z_c$  уровень суммарного загрязнения изучаемых почв относится к допустимой и умеренно опасной категориям. По результатам биотестирования техногенно загрязненные почвы в зоне влияния АО "БМК" и "СОФ" проявляют фитотоксичность от малотоксичной до умеренной степени. Установлена прямая зависимость фитотоксичности почвы от содержания в ней металлов при их относительно высоких концентрациях. По степени фитотоксичности изученные металлы образуют следующий убывающий ряд: цинк > марганец > железо > медь. По мере удаления от источника загрязнения наблюдается уменьшение содержания концентраций ТМ и степени фитотоксичности почв, что наиболее характерно для почв в зоне влияния "БМК".

Исследование выполнено в рамках госзадания ГАНУ ИСИ РБ.

## Литература

1. Баранов Э.Н. Эндогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений М., Наука, 1987. 296 с.
2. Васильев А.В., Заболотских В.В. Экологический мониторинг токсического загрязнения почвы нефтепродуктами с использованием методов биотестирования. Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". 2012. № 4. С. 242–250.
3. Бубнов А.Г. и др. Биотестовый анализ интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды. Под общ. ред. В.И. Гриневича. Иваново, ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2007. С. 5–59.
4. Памятники природы Белорецкого района. [Электронный ресурс]. URL: //http://dog.myl.ru/publ/1-1-0-4. (дата обращения 04.05.2019).
5. Суюндуков Я.Т., Семенова И.Н., Зулкарнаев А.Б., Хабиров И.К. Антропогенная трансформация почв города Сибай в зоне влияния предприятий горнорудной промышленности (Южный Урал). Уфа: АН РБ, Гилем, 2014. 157 с.
6. Хазиев Ф.Х. Почвы республики Башкортостан и регулирование их плодородия. Уфа, Гилем, 2007. 288 с.
7. ГОСТ 17.4.3.01–83. Общие требования к отбору проб (СГ СЭВ3347-82). М., Изд-во Стандарт, 1983. 44 с.
8. Опекунова М.Г., Алексеева-Попова Н.В., Арестова И.Ю. и др. Тяжелые металлы в почвах и растениях Южного Урала: экологическое состояние фоновых территорий. Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2001. Вып.4. (№ 31). С.45–53.
9. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. От 23 января 2006 г. № 1. [Электронный ресурс]. URL: files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850511.htm (дата обращения 20.05.2019).
10. Виноградов А.П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой. Микроэлементы в жизни растений и животных. М., Наука, 1975. С. 7–20.
11. Багдасарян А.С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов. Дисс. ... канд. биол. наук. Ставрополь, 2005. 159 с.
12. Методика измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв (М-П-2006 ФР.1.39.2006.02264). СПб, 2009. 19 с.
13. Жданов Д.Н., Сорокин С.Е. Массовый метод контроля токсичности водных растворов. Успехи современного естествознания. 2011. №7. С. 110–111.

## References

1. Baranov E.N. Endogennye geokhimicheskie oreoly kolchedannykh mestorozhdenii M., Nauka, 1987. 296 s.
2. Vasil'ev A.V., Zabolotskikh V.V. Ekologicheskii monitoring toksicheskogo zagryazneniya pochvy nefteproduktami s ispol'zovaniem metodov biotestirovaniya. Elektronnyi nauchnyi zhurnal "Neftegazovoe delo". 2012. № 4. S. 242–250.
3. Bubnov A.G. i dr. Biotestovyi analiz integral'nyi metod otsenki kachestva ob'ektov okruzhayushchei sredy. Pod obshch. red. V.I. Grinevicha. Ivanovo, GOU VPO Ivan. gos. khim.-tekhno. un-t., 2007. S. 5–59.
4. Pamyatniki prirody Beloretskogo raiona. [Elektronnyi resurs]. URL: //http://dog.myl.ru/publ/1-1-0-4. (data obrashcheniya 04.05.2019).
5. Suyundukov Ya.T., Semenova I.N., Zulkarnaev A.B., Khabirov I.K. Antropogennaya transformatsiya pochv goroda Sibai v zone vliyaniya predpriyatii gornorudnoi promyshlennosti (Yuzhnyi Ural). Ufa: AN RB, Gilem, 2014. 157 s.
6. Khaziev F.Kh. Pochvy respubliky Bashkortostan i regulirovanie ikh plodorodiya. Ufa, Gilem, 2007. 288 s.
7. GOST 17.4.3.01–83. Obshchie trebovaniya k otboru prob (SG SEV3347-82). M., Izd-vo Standart, 1983. 44 s.
8. Opekunova M.G., Alekseeva-Popova N.V., Arestova I.Yu. i dr. Tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh Yuzhnogo Urala: ekologicheskoe sostoyanie fonovykh territorii. Vestnik SPbGU. Ser. 7. 2001. Vyp.4. (№ 31). S.45–53.
9. Gigienicheskie normativy GN 2.1.7.2041-06. Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve. Ot 23 yanvarya 2006 g. № 1. [Elektronnyi resurs]. URL: files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850511.htm (data obrashcheniya 20.05.2019).
10. Vinogradov A.P. Osnovnyye zakonomernosti v raspredelenii mikroelementov mezhdurasteniyami i sredoi. Mikroelementy v zhizni rastenii i zhivotnykh. M., Nauka, 1975. S. 7–20.
11. Bagdasaryan A.S. Biotestirovanie pochv tekhnogennykh zon gorodskikh territorii s ispol'zovaniem rastitel'nykh organizmov. Diss. ... kand. biol. nauk. Stavropol', 2005. 159 s.
12. Metodika izmerenii vskhozhesti semyan i dliny kornei prorstkov vysshikh rastenii dlya opredeleniya toksichnosti tekhnogenno zagryaznennykh pochv (M-P-2006 FR.1.39.2006.02264). SPb, 2009. 19 s.
13. Zhdanov D.N., Sorokin S.E. Massovyi metod kontrolya toksichnosti vodnykh rastvorov. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2011. №7. S. 110–111.

Ю.Ю. Серегина – соискатель, Сибайский филиал ГАНУ «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», 453837 Россия, Республика Башкортостан, г. Сибай, ул. Кутузова 1, e-mail: sergei\_seregin@bk.ru • И.Н. Семенова – д-р биол. наук, профессор, e-mail: alexa-94@mail.ru • Я.Т. Суюндуков – д-р биол. наук, профессор, e-mail: yalil\_s@mail.ru • Р.Ф. Хасанова – д-р биол. наук, вед. науч. сотрудник, e-mail: rezeda78@mail.ru • Г.Ш. Кужина – канд. биол. наук, доцент, e-mail: kuzhina\_gsh77@mail.ru • Ю.С. Рафикова – ст. науч. сотрудник, e-mail: ifaganu@mail.ru

Yu.Yu. SerEGINA – Applicant, Sibay Branch of the GANU "Institute for Strategic Studies of the Republic of Bashkortostan", 453837 Russia, Republic of Bashkortostan, Sibay, Kutuzov Str. 1, e-mail: sergei\_seregin@bk.ru • I.N. SEMENOVA – Dr. Sci. (Biol.), Professor, e-mail: alexa-94@mail.ru • Ya.T. SUYUNDUKOV – Dr. Sci. (Biol.), Professor, e-mail: yalil\_s@mail.ru • R.F. KHASANOVA – Dr. Sci. (Biol.), Leading Research Fellow, e-mail: rezeda78@mail.ru • G.Sh. KUZHINA – Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, e-mail: kuzhina\_gsh77@mail.ru • Yu.S. RAFIKOVA – Senior Research Fellow, e-mail: ifaganu@mail.ru