

## ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ КОМПОНЕНТОВ ЛУГОВЫХ ЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Булохов А.Д., Анищенко Л.Н., Панасенко Н.Н., Семенищенков Ю.А.,  
Сковородникова Н.А.

ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского», Брянск, Россия (241036, Брянск, ул. Бежицкая, 14), e-mail: [eco\\_egf@mail.ru](mailto:eco_egf@mail.ru)

Изучено содержание элементов группы тяжелых металлов (ТМ) в образцах 28 луговых видов растений и почве прикорневого пространства. В почвах прикорневого пространства определены значительные колебания валовых концентраций тяжелых металлов. Выявлены аккумулятивные возможности луговых видов по отношению к ТМ на естественных лугах в условиях высокой техногенной нагрузки. На основе коэффициентов накопления установлены виды «индикаторы», «накопители» (которые можно рекомендовать как эффективные фиторемедиаторы) и «исключители». Для луговых видов подтверждена видовая специфика накопительных возможностей растений по отношению к ТМ: *Filipendula ulmaria*, *Scirpus sylvaticus* (гигрофитные виды), *Agrostis tenuis* и *Helichrysum arenarium* (ксерофитные виды). Гигрофитные виды на пойменных лугах, ксерофитные виды на суходольных накапливает химические элементы одинаково, независимо от географического расположения луговых экосистем. Для этих растений характерно накопление подвижных эссенциальных элементов стронция, меди, марганца.

Ключевые слова: тяжелые металлы, луговые виды, естественные луга, техногенная нагрузка, Брянская область.

## HEAVY METALS COMPONENTS OF MEADOW COMMUNITIES IN THE CONDITIONS OF TECHNOGENIC LOAD

Bulokhov A.D., Anishchenko L.N., Panasenko N.N., Semenishchenkov Y.A.,  
Skovorodnikova N.A.

Bryansk State Academician I. G. Petrovsky University, Bryansk, Russia (241036, Bryansk, street Bezhitskaya, 14), e-mail: [eco\\_egf@mail.ru](mailto:eco_egf@mail.ru)

Examine the contents of the elements of the group of heavy metals in samples 18 meadow plant species and soil basal space. In soils root space is determined by significant fluctuations of total concentrations of heavy metals. Identified accumulative opportunities meadow species relative to the TM in natural meadows in the conditions of high technogenic load. Based on the coefficients of accumulation established types of «indicators» and «exclusive», which can be recommended as effective phytoremediation. For grassland species confirmed the species specificity of accumulative opportunities plants relative to the TM: *Filipendula ulmaria*, *Scirpus sylvaticus* (hygrophytic species), *Agrostis tenuis* and *Helichrysum arenarium*. Hygrophytic species of floodplain meadows, xerophytic species in dry accumulate chemical elements the same, regardless of the geographical location of meadow ecosystems. For these plants is characterized by the accumulation of mobile essential elements strontium, copper, manganese.

Keywords: heavy metals, meadow grasses, natural grasslands, technogenic load, Bryansk region.

### Введение

Элементы группы тяжелых металлов (ТМ) – приоритетные и опасные загрязнители, мигрирующие по пищевым цепям. Луговые экосистемы староосвоенных регионов, в том числе и Брянской области, находятся в зоне аэротехногенного загрязнения ТМ, поэтому необходимо контролировать экологическую ситуацию на естественных и сеяных лугах, уделяя внимание качеству пищевой и лекарственной растительной продукции, организовывая фиторемедиационные мероприятия. Выявление количественного химического состава луговых растений – одна из актуальных задач, решение которой

обеспечит сохранение здоровья человека, нормирование антропогенных нагрузок на окружающую среду, осуществление экомониторинга.

Цель работы – выявить накопление тяжелых металлов доминантными видами растений естественных лугов Брянской области в условиях повышенной техногенной нагрузки (загрязнение радионуклидами).

Исследования химических показателей фитомассы растений на пойменных и суходольных лугах проведено в Новозыбковском, Климовском, Клинцовском, Севском, Суражском, Мглинском, Гордеевском районах и республике Беларусь. Дополнительно изучались луговые лекарственные виды растений, преобладающие по числу видов среди спектра лекарственной флоры и интенсивно используемые при массовых сборах местным населением.

### **Материалы и методики исследований**

В полевых условиях с площади 1 м<sup>2</sup> в 4-кратной повторности собирались пробы почвы и биомассы растений. Образцы почв отбирались в момент сбора растительного материала в соответствии с методическими документами [2] с глубины 2-20 см от поверхности. Собранные образцы подвергались общепринятой камеральной обработке для пробоподготовки к работе на спектрометре «Спектроскан-Макс» фирмы Spectron [6]. Подготовку проб к анализу валового содержания ТМ осуществляли в соответствии с ОСТ 10259-2000. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) элементов группы тяжелых металлов в почве определялись по ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.2042-06 [8]. Видовые названия растений указаны по С.К. Черепанову (1995).

Анализировались данные для отдельных видов и смешанных образцов фитомассы растений. Для анализа отбирались доминантные виды на пойменных и суходольных лугах. Собранные виды принадлежат к экологическим группам ксерофитов и ксеромезофитов (*Agrostis tenuis* Sibth., *Agrostis vinealis* Schreb., *Festuca arundinacea* Schreb., *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv., *Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert, *Achillea vulgaris* Hill, *Dactylis glomerata* L., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Helichrysum arenarium* (L.) Moench, *Festuca pratensis* Huds., *Centaurea jacea* L., *Phleum pratense* L., *Thymus serpyllum* L., *Achillea millefolium* L.), гигрофитов, гигромезофитов и гигрогидрофитов (*Typha latifolia* L., *Typha angustifolia* L., *Carex praecox* Schreb., *Agrostis stolonifera* L., *Equisetum fluviatile* L., *Equisetum palustre* L., *Menyanthes trifoliata* L., *Scirpus sylvaticus* L., *Glyceria fluitans* (L.) R. Br., *Glyceria maxima* (C. Hartm.) Holmb., *Mentha longifolia* (L.) Huds., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Nardus stricta* L., *Leersia oryzoides* (L.) Sw.). Эти виды представляют основные хозяйственно-ценные группы луговых растений: злаков, осок, разнотравья.

Рассчитаны коэффициенты накопления (Кн) – как отношение концентрации элемента в биомассе растений к концентрации его в почве [5].

### **Результаты исследования и обсуждение**

Анализ результатов по содержанию ТМ в почве луговых экосистем различного происхождения показал, что образцы почв прикорневого пространства растений характеризуются колебаниями элементного состава ТМ. Валовая концентрация свинца превышает ОДК (32,0 мг/кг) в почвенных образцах д. Новое Место, г. Новозыбкова (Новозыбковский район), д. Турсна (Клинцовский район), заболоченного луга в 5 км от г. Новозыбкова (54,85 мг/кг – наибольшая концентрация свинца), д. Оболешево (Клинцовский район), с. Великая Топаль и с. Чернооково (Климовский район).

Анализ результатов валового содержания ТМ в прикорневой зоне луговых растений показал, что исследуемые образцы почв характеризуются значительными колебаниями элементного состава. Валовая концентрация мышьяка превышает ОДК (2,0 мг/кг) почти во всех почвенных образцах, кроме почвы около д. Першиков (Суражский район), г. Костюковичи (Беларусь). Наибольшие значения концентрации мышьяка определены в почвенных образцах д. Турсна и заболоченного луга в 5 км от г. Новозыбкова (12,3 и 13,8 мг/кг соответственно). Содержание цинка в почвенных образцах различно и в большей части исследованных почв превышает ОДК (55,0 мг/кг), кроме почв д. Доброводье, д. Кабановка (Мглинский район), д. Турсна, д. Оболешево, д. Первомайская (Клинцовский район), с. Займище (Климовский район). Наибольшее содержание цинка зарегистрировано в почве района турбазы (Новозыбковский район). Валовая концентрация никеля превышает ОДК (20,0 мг/кг) в почвенных пробах д. Новое Место, д. Доброводье, района турбазы, г. Новозыбкова, д. Первомайский (Клинцовский район), д. Оболешево и Великая Топаль. Велики значения концентрации никеля в почве д. Доброводье (под щучкой дернистой, 25,7 мг/кг), д. Першиков (под полевицей тонкой, 25,85 мг/кг), г. Новозыбкова (25, 8 и 23,5 мг/кг).

Валовое содержание меди превышает ОДК (33,0 мг/кг) в почвенных образцах, собранных в районе д. Новое Место, д. Доброводье, района турбазы, г. Новозыбкова, д. Кабановка. Самая значительная концентрация меди определена в почве д. Новое Место (36,9 мг/кг), г. Новозыбкова (43, 95 мг/кг). Валовая концентрация марганца и ванадия ни в одном из анализируемых образцов почвы не превышает ОДК (1500 мг/кг – для марганца и 150 мг/кг – для ванадия).

Распределение валового содержания ТМ, для которых не установлена ОДК, в почвах прикорневой зоны растений следующее. Наибольшая валовая концентрация стронция определена в почвенных образцах д. Новое Место, района турбазы, д. Казаричи (Гордеевский район), д. Оболешево, д. Первомайский, с. Займище, с. Чернооково –

превышает 100,0 мг/кг. Наибольшее содержание железа зарегистрирована для почвенных проб д. Новое Место, д. Доброводье, д. Першиков, г. Новозыбкова (22738,6 мг/кг – наибольший показатель), д. Туросна (23483,0 мг/кг – наибольший показатель), в заболоченной почве в 5 км от г. Новозыбкова, д. Оболешево. Концентрация железа тесно связана с концентрацией марганца прямой зависимостью. Наибольшая валовая концентрация хрома определена в почвенных образцах в д. Доброводье (87,95 мг/кг – наибольшая), д. Першиков, в районе турбазы (71,1 мг/кг – наибольшая), д. Первомайский. Таким образом, общий обзор валового содержания ТМ показал превышение ОДК некоторых элементов (как биогенных, так и небιοгенных) в почвах г. Новозыбкова, д. Новое Место, д. Туросна, с. Великая Топаль, д. Оболешево, в 5 км от г. Новозыбкова в условиях интенсивной техногенной нагрузки.

Валовое содержание ТМ в фитомассе луговых растений различно. Валовые концентрации биогенных элементов железа, меди, цинка, марганца в надземной биомассе растений соответствуют литературным данным [7, 10]. Содержание всех ТМ в луговых видах по абсолютным значениям сходны в адвентивными видами синантропных сообществ в Брянской области [9].

Анализ коэффициентов накопления для видов луговых растений позволил выделить ТМ, аккумулируемые растениями, также разделить луговые виды на «индикаторы» и «исключители» в зависимости от значений коэффициентов накопления:  $K_n < 1$  – ТМ не накапливаются,  $K_n > 1$  – накапливаются [4, 10]. Данные представлены в таблицах 1-4. Эффективно поглощаются видами лугов подвижные элементы – стронций, марганец, хром, биогенный элемент – медь, что соответствует литературным данным [1, 3, 4, 7, 10].

К растениям «индикаторам» стронция отнесены все исследованные виды. Наиболее эффективно накапливают стронций ксерофитные полевица тонкая и осока ранняя ( $K_n = 2,0$ ; 2,79), гигрофитные виды: *Mentha longifolia* ( $K_n = 3,5$ ), *Filipendula ulmaria* ( $K_n = 2,0$ ).

«Индикаторы» меди – все виды, наиболее эффективные аккумуляторы эссенциального элемента: *Achillea vulgaris* ( $K_n = 1,56$ ) и *Agrostis tenuis* ( $K_n = 1,58$ ), *Agrostis vinealis* ( $K_n = 1,85$ ), *Helichrysum arenarium* ( $K_n = 1,55$ ), *Typha latifolia* ( $K_n = 1,53$ ), *Filipendula ulmaria* ( $K_n = 1,56$ ), *Mentha longifolia* ( $K_n = 1,57$ ). Цинк аккумулируют *Agrostis tenuis* и *Agrostis vinealis* ( $K_n = 1,24$ ), *Phalaroides arundinacea* и *Dactylis glomerata* ( $K_n = 1,22$ ), *Menyanthes trifoliata* ( $K_n = 2,31$ ), *Polygonum bistorta* ( $K_n = 3,08$ ), яркий «индикатор» – *Helichrysum arenarium* ( $K_n = 4,50$ ). *Helichrysum arenarium* (ксерофит), *Typha angustifolia* и *Menyanthes trifoliata* (гигрофиты) накапливают никель ( $K_n = 1,0$ ), выступая видами «индикаторами». Остальные исследованные растения по отношению к никелю – «исключители». В основном гигрофитные и гидрофитный виды пойменных и заболоченных

лугов накапливают марганец, который активно переносится в растениях [10]: *Polygonum bistorta* – марганец (Кн = 2,99) *Filipendula ulmaria* (Кн = 2,5), *Typha latifolia* (Кн = 3,63). Их рекомендовано отнести к видам «индикаторам». «Индикатором» по отношению к малоподвижному свинцу выступает *Calamagrostis epigeios* (Кн = 1,0), *Phalaroides arundinacea* (Кн = 1,2), *Polygonum bistorta*, *Agrostis tenuis* (Кн = 1,3), остальные виды – «исключители» при валовой концентрации свинца, превышающей ОДК в почве. При избыточном валовом содержании в почве кобальта *Festuca arundinacea* и *Dactylis glomerata* (Кн=2,17), *Polygonum bistorta* (Кн=1,48), *Helichrysum arenarium* (Кн=1,1) аккумулирует кобальт и отнесены к видам «индикаторам».

Таблица 1 – Коэффициенты накопления ТМ луговыми растениями

ТМ	Пробы и коэффициенты накопления*							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Sr	1,63	1,15	1,24	2,79	1,54	1,46	1,77	2,09
Pb	0,20	0,51	0,53	0,93	0,74	1,02	0,40	0,72
As	0,39	0,38	0,28	0,64	0,62	0,29	0,26	0,32
Zn	1,01	0,81	0,74	0,69	1,19	0,74	0,93	0,91
Cu	1,27	1,56	1,38	1,58	1,36	1,27	1,26	1,55
Ni	0,87	1,32	0,75	0,56	0,72	0,76	0,73	0,55
Fe	0,16	0,56	0,38	0,20	0,51	0,46	0,33	0,29
Mn	0,17	0,87	1,48	0,69	0,37	0,97	0,22	0,99
Cr	0,55	0,73	0,45	1,02	0,64	0,70	0,63	0,90

\*Коэффициенты накопления для растений: 1 – д. Н.Место, *Agrostis stolonifera* и *Beckmannia eruciformis*; 2 – д. Доброводье, *Achillea millefolium*; 3 – д. Доброводье, *Deschampsia cespitosa*; 4 – д. Першиков, *Agrostis tenuis*; 5 – г. Костюковичи, *Festuca arundinacea*; 6 – д. Доброводье, *Calamagrostis epigeios*; 7 – д. Н. Место, *Agrostis stolonifera*; 8 – *Agrostis tenuis* и *Carex praecox*.

Таблица 2 – Коэффициенты накопления ТМ луговыми растениями

ТМ	Пробы и коэффициенты накопления						
	1	2	3	4	5	6	7
Sr	1,35	0,80	3,55	1,36	0,87	0,60	1,06
Pb	1,198	0,89	0,65	0,51	0,91	0,57	0,897
As	0,67	0,46	0,50	0,18	0,42	0,29	0,45
Zn	0,89	0,88	1,12	0,92	0,99	1,22	1,24
Cu	1,14	1,48	1,32	1,02	1,39	1,12	1,26
Ni	0,897	0,85	0,699	0,70	0,66	0,77	0,88

Co	0,61	0	0	4,12	3,09	1,6	0
Fe	0,43	0,39	0,37	0,13	0,44	0,15	0,27
Mn	0,65	0,43	0,93	0,21	0,41	0,18	0,30
Cr	1,30	1,08	1,33	0,62	0,73	1,40	1,04

\*Коэффициенты накопления для растений: 1 – д. Доброводье, *Phalaroides arundinacea*; 2 – д. Казаричи, *Calamagrostis epigeios*; 3 – д. Доброводье, *Agrostis vinealis* и *Agrostis tenuis*; 4 – г. Новозыбков, *Festuca arundinacea* и *Dactylis glomerata*; 5 – д. Доброводье, *Carex praecox*; 6 – г. Новозыбков, *Festuca arundinacea* и *Dactylis glomerata*; 7 – д. Кабановка, *Festuca arundinacea* и *Dactylis glomerata*.

Таблица 3 – Коэффициенты накопления ТМ луговыми растениями

ТМ	Пробы и коэффициенты накопления						
	1	2	3	4	5	6	7
Sr	1,00	0,99	1,03	1,56	0,85	1,05	1,69
Pb	0,26	0,48	0,59	0,42	1,12	1,29	1,10
As	0,87	0,70	1,0	1,40	1,60	0,90	1,10
Zn	0,93	1,12	1,32	2,31	3,08	1,32	1,14
Cu	1,38	1,86	0,89	0,78	1,39	0,86	0,85
Ni	0,83	0,75	1,02	1,0	0,80	0,54	0,67
Co	2,17	0	0	1,48	0,03	0,56	0,07
Fe	0,13	0,20	0,29	0,35	0,96	0,23	0,78
Mn	0,17	0,66	0,72	0,48	2,99	0,41	0,48
Cr	0,67	0,98	0,58	0,88	1,0	0,44	0,63

\*Коэффициенты накопления для растений: 1 – г. Новозыбков, *Festuca arundinacea* и *Dactylis glomerata*; 2 – д. Новое Место, *Agrostis vinealis*; 3 – Туросна, *Typha angustifolia*; 4 – 5 км от г. Новозыбкова, *Menyanthes trifoliata*; 5 – д. Оболешево, *Polygonum bistorta*; 6 – д. Первомайский, *Agrostis tenuis*; 7 – с. Займище, виды р. осока.

Таблица 4 – Коэффициенты накопления ТМ луговыми растениями

ТМ	Пробы и коэффициенты накопления					
	1	2	3	4	5	6
Sr	1,41	1,14	3,5	1,54	1,68	1,99
Pb	0,23	0,18	0,52	0,47	0,2	0,46
As	0,18	0,16	0,15	0,82	0,22	0,17
Zn	4,31	4,98	0,77	0,79	0,77	0,73
Cu	1,55	1,43	1,57	1,35	1,53	1,56

Ni	1,06	0,90	0,86	0,59	0,77	0,50
Co	1,10	0	0	0	0	0
Fe	0,51	0,33	0,499	0,44	0,23	0,54
Mn	1,33	1,83	1,67	2,63	3,63	2,01
Cr	0,64	0,76	0,52	0,94	0,65	0,52

\*Коэффициенты накопления для растений: 1 – д. Турсна, *Helichrysum arenarium*; 2 – д. Оболешево, *Helichrysum arenarium*; 3 – с. Великая Топаль, *Mentha longifolia*; 4 – с. Чернооково, *Filipendula ulmaria*; 5 – с. Великая Топаль, *Typha latifolia*; 6 – с. Великая Топаль, *Filipendula ulmaria*.

Максимальные значения коэффициентов накопления ТМ у адвентивных растений синантропных сообществ меньше по всем элементам по сравнению с луговыми растениями [9]. Для *Filipendula ulmaria*, *Scirpus sylvaticus* (гигрофитные виды), *Agrostis tenuis* и *Helichrysum arenarium* (ксерофитные виды) из лугов в разных географических точках (с высокой степенью техногенной нагрузки) коэффициенты накопления ТМ сходны. Гигрофитные виды на пойменных лугах, ксерофитные виды на суходольных накапливают химические элементы одинаково, независимо от географического расположения луговых экосистем. Для этих растений характерно накопление подвижных эссенциальных элементов стронция, меди, марганца, что согласуется с литературными данными [3, 7, 10]. *Helichrysum arenarium* в наибольших количествах концентрирует биогенный элемент – цинк. Эти данные не согласуются с литературными источниками, так как на сухих почвах подвижность цинка понижена [10].

### **Заключение**

Таким образом, рассчитанные коэффициенты накопления подтвердили эффективную аккумуляцию надземной фитомассой растений легкоподвижных ТМ стронция, меди, марганца, отсутствие накопления малоподвижных свинца, железа, в ряде случаев цинка. Выявлены «индикаторы» (их можно рекомендовать как эффективные фиторемедиаторы) и «исключители» по отношению к ТМ. Для луговых видов из различных по географическому расположению местообитаний, установлены одинаковые значений коэффициентов накопления ТМ, что подтверждает видовую специфику накопительных возможностей растений. Эссенциальные элементы железо, марганец, медь, цинк накапливаются растительной биомассой ввиду значительной роли этих ТМ в биохимических процессах клетки.

Также почвенный режим увлажнения, богатства азотом, кислотность почв определяют степень поглощения ТМ: легкоподвижного биогенного марганца, малоподвижного биогенного цинка.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-04-90350 РБУ\_а «Состояние и оценка техногенного загрязнения естественных и сеяных лугов, их рациональное использование и охрана на приграничных территориях Брянской (Россия), Гомельской (Республика Беларусь) и Черниговской (Украина) областей в постчернобыльский период»*

### Список литературы

1. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
2. ГОСТ 28168-89. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. – М., 1989. – 5 с.
3. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1991. – 151с.
4. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
5. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / В.А. Ипатьев, В.Ф. Багинский, И.М. Булавик, А.М. Дворник, В.Е. Волчков, Г. Г. Гончаренко и др. Под ред. В.А. Ипатьева. – Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 1999. – 396 с.
6. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошкообразных пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа. М 049-П/04. – СПб.: ООО НПО «Спектрон», 2004. – 20 с.
7. Микроэлементы в растениях: поступление, транспорт и физиологические функции / Под ред. Островской Ю.М. – Киев: Наук думка, 1987. – 181 с.
8. ПДК и ОДК химических веществ в почве (ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.2042-06).
9. Поцепай Ю.Г., Анищенко Л.Н. Накопление тяжелых металлов адвентивными растениями синантропных сообществ // Проблемы экологии и агрохимии. – 2013. - № 1. – С. 35-40.
10. Рэуце К., Кырстя С. Борьба с загрязнением почвы. – М., 1986.

#### Рецензенты:

Зайцева Е.В., д.б.н., профессор, зав. кафедрой зоологии и анатомии ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского», г. Брянск.

Кононов А.С., д.б.н., профессор кафедры ботаники ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского», г. Брянск.