

Содержание тяжёлых металлов в дикорастущих растениях на выработанных торфяниках

© 2021. Е. С. Новосёлова¹, ст. преподаватель,
Л. Н. Шихова¹, д. с.-х. н., профессор,
Е. М. Лисицын^{1,2}, д. б. н., профессор, зав. лабораторией,
¹Вятская государственная сельскохозяйственная академия,
610007, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, д. 133,
²ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого,
610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, д. 166 а,
e-mail: gonina-elena@mail.ru, shikhova-l@mail.ru, edaphic@mail.ru

В статье представлены результаты исследования содержания тяжёлых металлов (ТМ) (цинка, меди, свинца и кадмия) в вегетативной массе некоторых видов растений, произрастающих в антропогенно трансформированных болотных биогеоценозах торфомассива «Зенгинское», расположенного в центральной части Кировской области. Болотные почвы и биогеоценозы, которые на них сформировались, характеризуются, как правило, очень низким содержанием ТМ. Содержание меди в вегетативной массе исследуемых видов растений варьирует от 5,78 до 15,10; цинка – от 8,04 до 33,50; кадмия – от 0,02 до 0,61; свинца – от 0,16 до 0,79 мг/кг сухого вещества. На основе полученных данных выявлено, что среди исследуемых видов растения *Rosa majalis* меньше всего накапливали цинк (8,04–9,76 мг/кг), свинец (0,16–0,27 мг/кг) и кадмий (0,02–0,08 мг/кг). Растения *Betula pubescens* и *Salix caprea* активнее других накапливали все изучаемые ТМ. В листьях *S. caprea* выявлено наибольшее содержание всех четырёх исследуемых элементов (Cu – 10,65–15,10; Zn – 26,08–33,50; Cd – 0,48–0,61; Pb – 0,58–0,79 мг/кг). По сравнению с усреднёнными величинами содержания элементов исследуемые виды, произрастающие на осушенных торфяных почвах, накапливают в надземной массе незначительные количества цинка, меди, свинца и кадмия и поэтому не должны испытывать токсичного влияния ТМ. В целом величины содержания элементов близки к средним показателям содержания ТМ в растениях, произрастающих на автоморфных почвах Кировской области. Однако отдельные элементы в растениях болотных почв накапливаются в гораздо меньших количествах: для меди – это все виды (в 1,5–2,5 раза), за исключением *Rubus idaeus*; для цинка – *Pyrola rotundifolia* в 2,0–2,5 раза (10,34–14,50 мг/кг); для кадмия и свинца – *P. rotundifolia* в 2–3 раза (соответственно 0,11–0,23 и 0,27–0,40 мг/кг) и *R. majalis* в 3–6 раз (соответственно 0,02–0,08 и 0,16–0,27 мг/кг).

Ключевые слова: цинк, медь, свинец, кадмий, торф, предельно допустимые концентрации, фитомасса.

Heavy metal content in wild plants on worked-out peatlands

© 2021. E. S. Novoselova¹ ORCID: 0000-0001-8288-4847³
L. N. Shikhova¹ ORCID: 0000-0001-7371-7588³
E. M. Lisitsyn^{1,2} ORCID: 0000-0002-3125-3604³
¹Vyatka State Agricultural Academy,
166 a, Lenina St., Kirov, Russia, 610007,
²Federal Agricultural Research Center of the North-East
named after N. V. Rudnitsky,
133, Oktyabrsky Prospekt, Kirov, Russia, 610017,
e-mail: gonina-elena@mail.ru, shikhova-l@mail.ru, edaphic@mail.ru

The article presents result of the study of heavy metals (HM) content (zinc, copper, lead, and cadmium) in the vegetative mass of some plant species growing in anthropogenically transformed bog biogeocenoses of peatland “Zenginskoe” located in the central part of the Kirov region. Content of copper in vegetative mass of tested plant species varies from 5.78 to 15.10, zinc – from 8.04 to 33.50, cadmium – from 0.02 to 0.61, lead – from 0.16 to 0.79 mg/kg of dry matter. On the basis of the obtained data, the plants of *Rosa majalis* accumulated zinc (8.04–9.76 mg/kg), lead (0.16–0.27 mg/kg)

and cadmium (0.02–0.08 mg/kg) in lowest concentration among the test species. *Betula pubescens* and *Salix caprea* plants have accumulated all the studied HM more actively than other species. *S. caprea* leaves show the highest content of all four studied elements (Cu – 10.65–15.10; Zn – 26.08–33.50; Cd – 0.48–0.61; Pb – 0.58–0.79 mg/kg). Compared to the averaged values of elements content in leaf tissues of terrestrial plants, the studied species growing on dried peat soils accumulate minor amounts of zinc, copper, lead and cadmium in the aboveground mass and therefore should not experience toxic effects of HM. In general, the values of element content are close to the average values of HM content in plants growing on automorphic soils of the Kirov region. However, individual elements in plants growing on bog soil are accumulated in much lower concentrations: for copper in all species (by 1.5–2.5 times), with the exception of *Rubus idaeus*; for zinc – in *Pyrola rotundifolia* by 2.0–2.5 times (10.34–14.50 mg/kg); for cadmium and lead – in *P. rotundifolia* by 2–3 times (0.11–0.23 and 0.27–0.40 mg/kg, respectively), and in *R. majalis* by 3–6 times (0.02–0.08 and 0.16–0.27 mg/kg, respectively).

Keywords: zinc, copper, lead, cadmium, peat, maximum allowance concentrations, phytomass.

Несмотря на то, что термин «тяжёлые металлы» (ТМ) активно используется в экологической литературе, строгого определения этого понятия до сих пор не существует. Так, например, выражая официальное мнение, IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) приводит около 40 различных определений этого термина из 13 научных словарей и статей, подтверждая отсутствие единого мнения по этому вопросу [1]. В этой же и других работах [2] специалисты пишут о том, что этот термин часто ошибочно ассоциируют с загрязнением и токсичностью. Некоторые ТМ необходимы живым организмам в очень малых количествах, являясь необходимыми и незаменимыми компонентами биокатализаторов и биорегуляторов важнейших физиологических процессов [3]. Угнетающее и даже токсическое действие на живые организмы оказывает избыточное или недостаточное содержание ТМ в различных природных объектах [4]. Поэтому в нашей работе термин «тяжёлые металлы» используется для химических элементов, образующих простые вещества с плотностью выше 5 г/см³ [5].

Растения выполняют важную роль в геохимическом круговороте химических элементов, в том числе и ТМ. В системе «почва – растение» формируется поток минеральных компонентов, которые дальше передаются организмам-консументам. Именно поэтому расширение знаний о поведении ТМ в системе «почва – растение» представляется особенно важным [6].

Одним из важнейших факторов, который влияет на содержание ТМ в растениях, является геохимическая обстановка территории, где они произрастают, и свойства почвы [7]. Болотные почвы и биогеоценозы, которые на них формируются, характеризуются, как правило, очень низким содержанием ТМ. Однако в течение длительного времени своего формирования они способны аккумулировать различные химические вещества, поступаю-

щие как с атмосферными осадками, так и с грунтовыми и поверхностными водами.

В результате антропогенной деятельности происходит нарушение целостности болотных экосистем [8]. Внешне это проявляется в постепенной смене типично болотных фитоценозов на фитоценозы, где преобладают виды, произрастающие на автоморфных почвах. Типичными представителями переходных и верховых болот являются виды росянок (*Drosera*), различные виды осок (*Carex*), багульник болотный (*Ledum palustre* L.), мирт болотный (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench.) и ряд других видов, а также развитый моховой покров. При этом видовое разнообразие высших растений болотных фитоценозов невелико [9]. Видовая специфичность играет важную роль в накоплении растениями ТМ [10]. Накопление кадмия видами дикорастущих растений, произрастающих в одном биотопе, может различаться на порядок и более [11]. Выявлено наличие определённых видовых особенностей у древесных растений к накоплению ТМ в листьях [12]: наибольшей аккумулирующей способностью обладают листья берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.), а наименьшей – листья липы сердцелистной (*Tilia cordata* Mill.). Для листьев берёзы характерно повышенное (по сравнению с другими ТМ) содержание наиболее токсичных ТМ – кадмия, свинца, никеля, марганца. В сухой массе листьев тополя чёрного (*Populus nigra* L.) обнаружены относительно повышенные концентрации цинка, кадмия и никеля. В сухой массе листьев рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.) – повышенные концентрации меди, железа, свинца.

В современной научной литературе практически отсутствуют данные о содержании ТМ в фитомассе растений, произрастающих на территории болот. Поскольку болотные почвы характеризуются незначительным содержанием ТМ, оценка содержания ТМ в растениях, произрастающих на таких почвах, и сравнение

его с содержанием в растениях тех же видов, но растущих на автоморфных территориях, представляет научный и практический интерес. Практическая сторона проблемы заключается в возможности использования выработанных торфяников в сельском хозяйстве, что требует оценки допустимых концентраций элементов в среде роста корней. На основании соотношения содержания ТМ в субстрате и в растениях, выросших на нём, рассчитывается коэффициент накопления ТМ [13, 14], который некоторые авторы предлагают использовать для обоснования величины нормативов предельно допустимых концентраций этих металлов для конкретных типов почв [11].

В любом случае, с научной и практической точек зрения накопление первичных данных о содержании ТМ в растениях, произрастающих на торфяной почве, является необходимой предпосылкой научно-обоснованного использования таких почв в народном хозяйстве.

Цель работы – оценить содержание тяжёлых металлов (Zn, Cu, Pb и Cd) в фитомассе некоторых видов растений, произрастающих в антропогенно трансформированных болотных биогеоценозах.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в 2011–2016 гг. на территории торфомассива «Зенгинское», расположенного в центральной части Кировской области на первой надпойменной террасе р. Вятки. Преобладающим типом торфообразования является низинный. В середине XX века торфомассив был осушен и использовался для добычи торфа. В настоящее время добыча торфа прекращена. Незначительная часть выработанного торфяника используется в сельском и лесном хозяйстве. Основная часть массива зарастает естественным образом. Мощность остаточных торфяных слоёв на обследованных участках варьирует от 1,5–2,0 до 0,1–0,5 м.

Для изучения содержания ТМ были выбраны следующие наиболее часто встречающиеся на торфомассиве «Зенгинское» дикорастущие виды растений: берёза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), ива козья или ива Хультена (*Salix caprea* L.), малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.), шиповник майский (*Rosa majalis* Herrm.), грушанка круглолистная (*Pyrola rotundifolia* L.).

Всего было обследовано 28 ключевых участков. На каждом ключевом участке были заложены пробные площади, проведено геоботаническое описание, отобраны пробы фито-

массы в соответствии с [15]. Для определения содержания ТМ отбирали средние пробы листьев каждого вида растения, всего 62 средние пробы. Средняя проба формировалась из 5–10 индивидуальных проб.

Аналитическую обработку собранного растительного материала проводили на кафедре экологии и зоологии Вятской государственной сельскохозяйственной академии и в лаборатории эдафической устойчивости растений ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого (г. Киров). Содержание цинка, меди, свинца и кадмия определяли методом инверсионной вольтамперометрии по методикам разработчиков аппаратуры (ТомьАналит), внесённых в Федеральный реестр методик измерений [16, 17].

Результаты и обсуждение

Полученные в ходе исследования данные по видовому составу фитоценозов на неосвоенном участке торфомассива «Зенгинский» дают примерное представление о составе растений болотных фитоценозов до осушения и добычи торфа. Доминирующими видами на данном участке являются багульник болотный (*L. palustre* L.), мирт болотный (*C. calyculata* (L.) Moench.), брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), голубика топяная (*Vaccinium uliginosum* L.), черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.). Хорошо развит моховой ярус, состоящий преимущественно из сфагновых мхов – *Sphagnum magellanicum* Brid., *S. angustifolium* (Warnst.) C.E.O. Jensen, *S. fuscum* (Schimp.) H. Klinggr. и некоторых других. Также встречается и *Pleurozium schreberi* (Willd. Ex Brid.) Mitt. Как правило, данные виды характерны для переходных и верховых болот [9].

После осушения болота и добычи торфа растительный покров радикально меняется. Доля участия болотных видов в фитоценозе значительно снижается. Наряду с типично болотными видами появляются виды-рудералы: кошачья лапка двудомная (*Antennaria dioica* (L.) Gaertn.), ястребинки зонтичная (*Hieracium umbellatum* L.) и волосистая (*H. pilosella* L.), лапчатки норвежская (*Potentilla norvegica* L.) и Гольдбаха (*P. goldbachii* Rupr.), льнянка обыкновенная (*Linaria vulgaris* Mill.).

На более поздних стадиях естественного зарастания выработанных торфяников при незначительной мощности остаточного торфяного слоя (до 50 см) в составе фитоце-

нозов появляются древесные виды, под пологом которых в последующем формируется новое растительное сообщество. В составе травяно-кустарникового яруса преобладают светлюбивые виды растений – земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), подмаренник мягкий (*Galium mollugo* L.), чистотел большой (*Chelidonium majus* L.), крапива двудомная (*Urtica dioica* L.), малина обыкновенная (*R. idaeus* L.). При доминировании в составе древостоя *Pinus sylvestris* L. и *Picea abies* (L.) H. Karst. произрастают грушанка круглолистная (*P. rotundifolia* L.), майник двулистный (*Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt) и другие виды, характерные для хвойных лесов.

В болотных почвах торфомассива «Зенгинский» содержится незначительное количество ТМ [18]. Растения, произрастающие на таких почвах, также не накапливают значительных количеств меди, цинка, свинца и кадмия. Оценка содержания и степени накопления ТМ дикорастущими растениями болотных биогеоценозов осложняется отсутствием разработанной нормативной базы.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) содержания ТМ в дикорастущих растениях, как и в торфе, в настоящее время не разработаны. Также практически отсутствуют литературные данные о содержании ТМ в растениях, произрастающих на торфяных почвах. В связи с этим для оценки содержания ТМ в вегетативной массе исследуемых растений были использованы данные о нормальных, токсичных для растений уровнях содержания ТМ согласно [6], а также сведения о содержании ТМ в вегетативной массе растений, произрастающих на автоморфных почвах (табл. 1), в том числе полученных нами ранее (табл. 2).

Медь и цинк относятся к группе биофильных элементов, необходимых для нормальной жизнедеятельности растений в определённых концентрациях. Растения накапливают их в относительно больших количествах по сравнению с другими элементами.

Среди исследуемых видов растений наименьшее содержание меди выявлено у *R. idaeus*, оно колебалось в пределах от 5,90–7,80 мг/кг сухого вещества. Содержание меди в вегетативной массе *P. rotundifolia* варьировало от 5,78 до 8,10, *R. majalis* – от 6,04 до 8,10, *B. pubescens* – от 8,39 до 13,32 мг/кг сухого вещества. Наибольшее содержание меди выявлено в вегетативной массе *S. caprea* – 10,65–15,10 мг/кг сухого вещества. Сравнение с данными таблицы 1 позволяет заключить, что содержание меди в листьях исследуемых видов

растений, произрастающих на торфяной почве, может быть оценено как «нормальное» и, за исключением *R. idaeus*, значительно меньше, чем при произрастании на автоморфных почвах Кировской области (табл. 2). Растения *R. idaeus*, произрастающие на автоморфных почвах области, также накапливают меди меньше, чем другие исследуемые виды. На автоморфных почвах области больше всего меди накапливает *P. rotundifolia*, чуть меньше – растения *S. caprea*.

Наименьшее содержание цинка среди исследуемых видов выявлено в вегетативной массе *R. majalis* – 8,04–9,76 мг/кг сухой массы. Содержание цинка в вегетативной массе *R. idaeus* варьирует от 8,98 до 15,00, *P. rotundifolia* – от 10,34 до 14,50 мг/кг. Наибольшее содержание цинка выявлено в листьях *S. caprea* – 26,08–33,50 и *B. pubescens* – от 26,41 до 33,50 мг/кг сухого вещества. За исключением этих двух последних видов, содержащих «нормальное» количество элемента, у остальных видов проявляется достаточно сильный недостаток цинка (в 2–3 раза ниже нижней границы нормального содержания, табл. 1). Только в листьях грушанки круглолистной содержание цинка вдвое ниже, чем у растений автоморфных почв, у остальных видов содержание цинка на обоих типах почв статистически не отличается.

На автоморфных почвах Кировской области растения *R. majalis* накапливают меньше цинка, чем другие исследуемые виды (в среднем 10,20 мг/кг сухого вещества). Активно элемент накапливают листья *B. pubescens* и *S. caprea* (в среднем 33,00 и 31,20 мг/кг сухого вещества соответственно) (табл. 2).

Кадмий и свинец являются элементами-токсикантами, роль которых в метаболизме растений до конца не определена. Растения, произрастающие на незагрязнённых почвах, накапливают эти элементы в относительно меньших количествах.

Среди исследованных видов растений самое низкое содержание кадмия отмечено в вегетативной массе *R. majalis*, оно варьирует в пределах от 0,02 до 0,08 мг/кг сухого вещества. Содержание кадмия в вегетативной массе растений *P. rotundifolia* колеблется в пределах от 0,11 до 0,23 мг/кг сухого вещества, в листьях *R. idaeus* и *B. pubescens* отличается незначительно и составляет 0,20–0,37 и 0,26–0,38 мг/кг соответственно. Среди исследуемых видов растений наибольшее содержание кадмия выявлено в листьях *S. caprea* – 0,48–0,61 мг/кг сухого вещества. По содержанию этого элемен-

Таблица 1 / Table 1

Уровни содержания тяжёлых металлов (Zn, Cu, Pb и Cd) в дикорастущих растениях
Heavy metal (Zn, Cu, Pb, and Cd) content in wild plants

Элемент Element	Содержание элемента в зрелых тканях листьев ¹ , мг/кг сухого вещества / Content of element in mature leaf tissue ¹ , mg/g of dry matter		Среднее содержание элементов в вегетативной массе растений ² , мг/кг сухого вещества Average content of element in vegetative mass of plants ² , mg/g of dry matter
	достаточное или нормальное sufficient or normal	избыточное или токсичное excessive or toxic	
Zn	27,0–150,0	100,0–400,0	15,00–150,00
Cu	5,0–30,0	20,0–100,0	2,00–14,00
Pb	5,0–10,0	30,0–300,0	0,10–5,00
Cd	0,05–0,20	5,0–30,0	0,05–0,50

Примечание: 1 – по [6]; 2 – по [19–22].

Note: 1 – according to [6]; 2 – according to [19–22].

Таблица 2 / Table 2

Среднее содержание Zn, Cu, Pb и Cd в вегетативной массе исследуемых видов растений, произрастающих на автоморфных почвах фоновых территорий Кировской области, мг/кг сухого вещества [23] / Average content of Zn, Cu, Pb, and Cd in vegetative mass of investigated plant species growing on automorphic soils of background lands of Kirov region, mg/kg of dry matter [23]

Элемент Element	Малина обыкновенная (<i>R. idaeus</i> L.) Red raspberry	Берёза пушистая (<i>B. pubescens</i> Ehrh.) Downy birch	Ива козья (<i>S. caprea</i> L.) Goat willow	Грушанка круглолистная (<i>P. rotundifolia</i> L.) Round-leaved wintergreen	Шиповник майский (<i>R. majalis</i> Herrm.) Cinnamon rose
Zn	16,00±0,81	33,00±0,97	31,20±1,87	27,00±1,51	10,20±1,22
Cu	7,10±0,28	12,00±1,68	13,70±0,82	18,60±0,97	8,00±0,24
Pb	0,60±0,11	0,70±0,06	0,80±0,06	0,80±0,05	0,78±0,09
Cd	0,30±0,03	0,42±0,05	0,60±0,06	0,40±0,05	0,20±0,03

та изучаемые растения несколько превышают «норму содержания» (согласно табл. 1), за исключением *R. majalis*. Растения *R. majalis* и *P. rotundifolia* накапливают в 2–3 раза меньшее количество кадмия, чем растения этих же видов на автоморфных почвах.

Растения *R. majalis*, произрастающие на автоморфных почвах области, также накапливают меньше кадмия по сравнению с другими исследуемыми видами (в среднем 0,20 мг/кг сухого вещества) (табл. 2). На автоморфных почвах области растения *S. caprea* активно накапливают кадмий по сравнению с другими исследуемыми видами растений (в среднем 0,60 мг/кг сухого вещества) (табл. 2).

Наименьшее содержание свинца среди исследуемых видов выявлено в вегетативной массе растений *R. majalis* – 0,16–0,27 мг/кг сухого вещества. В растениях *P. rotundifolia* содержание свинца варьирует в пределах от 0,27 до 0,40 мг/кг, в листьях *R. idaeus* и *B. pubescens* – 0,44–0,58 и 0,45–0,62 мг/кг сухого вещества соответственно. Наибольшее содержание свинца среди исследуемых видов растений отмечено в листьях *S. caprea*, и ва-

рирует от 0,58 до 0,79 мг/кг сухого вещества. Накопление элемента в листьях всех изученных видов значительно меньше нижней границы «нормального» содержания свинца в листьях растений, а для *R. majalis* и *P. rotundifolia* этот уровень содержания в 2,0–2,5 раза ниже, чем при произрастании на автоморфных почвах Кировской области. На автоморфных почвах содержание свинца в вегетативной массе исследуемых видов растений отличается незначительно: несколько ниже в растениях *R. idaeus* (в среднем 0,60 мг/кг сухого вещества), незначительно выше содержание элемента отмечается в растениях *S. caprea* и *P. rotundifolia* (в среднем 0,80 мг/кг сухого вещества) (табл. 2).

Заключение

На основе полученных данных можно оценить видовую специфичность накопления ТМ растениями. Выявлено, что среди исследуемых наборов видов растения *R. majalis* в наименьшей степени накапливали цинк (8,04–9,76 мг/кг), свинец (0,16–0,27 мг/кг) и кадмий (0,02–0,08 мг/кг). Растения *B. pu-*

bescens и *S. caprea* активнее других накапливали все изучаемые ТМ. Вероятно, большая по объёму корневая система этих видов позволяет им «добывать» элементы с большей глубины, из большего объёма почвы. В листьях *S. caprea* выявлено наибольшее содержание всех четырёх исследуемых элементов (Cu – 10,65–15,10; Zn – 26,08–33,50; Cd – 0,48–0,61; Pb – 0,58–0,79 мг/кг).

По сравнению с усреднёнными величинами содержания элементов исследуемые виды, произрастающие на осушенных торфяных почвах, накапливают в надземной массе незначительные количества цинка, меди, свинца и кадмия и поэтому не должны испытывать токсичного влияния ТМ, что может быть связано как с низким содержанием химических элементов в болотных почвах, так и с тем, что основным барьером поступления ТМ в надземные органы является корневая система, развитая у кустарников и деревьев гораздо сильнее, чем у травянистых видов.

Полученные в ходе исследований величины содержания элементов близки к средним показателям содержания цинка, меди, свинца и кадмия в растениях, произрастающих на автоморфных почвах Кировской области. В то же время, отдельные элементы в растениях болотных почв накапливаются в гораздо меньших количествах, чем при произрастании на автоморфных почвах: для меди – это все виды (в 1,5–2,5 раза), за исключением *R. idaeus*; для цинка – *P. rotundifolia* (соответственно 10,34–14,50 и 27,00 мг/кг); для кадмия и свинца – *P. rotundifolia* (соответственно 0,11–0,23 и 0,40; 0,27–0,40 и 0,80 мг/кг) и *R. majalis* (соответственно 0,02–0,08 и 0,20; 0,16–0,27 и 0,78 мг/кг).

References

1. Duffus J.H. “Heavy metal” – a meaningless term? // Pure Appl. Chem. 2002. V. 74 (5). P. 793–807. doi: 10.1351/pac200274050793
2. Appenroth K.-J. Definition of “heavy metals” and their role in biological system // Soil Heavy Metals, Soil Biology / Eds. I. Shemareti, A. Varna. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. V. 19. P. 19–29. doi: 10.1007/978-3-642-02436-8_2
3. Hansch R., Mendel R.R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl) // Curr. Opin. Plant Biol. 2009. No. 12. P. 259–266. doi: 10.1016/j.pbi.2009.05.006
4. Viehweger K. How plants cope with heavy metals // Botanical Studies. 2014. V. 55. Article No. 35. doi: 10.1186/1999-3110-55-35

5. Yu M.-H., Tsunoda H., Tsunoda M. Environmental toxicology: biological and health effects of pollutants. CRC Press LLC, 3rd Edition, Boca Raton, USA. 2011. 397 p. doi: 10.1201/b11677
6. Kabata-Pendias A. Trace elements in soil and plants. Fourth edition. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2011. 548 p. doi: 10.1201/b10158
7. Kebede A.A., Olani D.D., Edesa T.G., Damte Y.T. Heavy metal content and physico chemical properties of soil solid waste disposal sites // Am. J. Sci. Ind. Res. 2016. V. 7 (5). P. 129–136. doi: 10.5251/ajsir.2016.7.5.129.136
8. Perennial cultural pasture on drained peat soils / Ed. A.N. Ulanov. Kirov: OOO VESI, 2015. 124 p. (in Russian).
9. Beadle J.M., Brown L.E., Holden J. Biodiversity and ecosystem functioning in natural bog pools and those created by rewetting schemes // WIREs Water. 2015. V. 2. P. 65–84. doi: 10.1002/wat2.1063
10. Zhou H., Yang W.-T., Zhou X., Liu L., Gu J.-F., Wang W.-L., Zou J.-L., Tian T., Peng P.-Q., Liao B.-H. Accumulation of heavy metals in vegetable species planted in contaminated soils and the health risk assessment // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2016. V. 13. P. 289. doi: 10.3390/ijerph13030289
11. Plekhanova V.A. Problem of fixing maintenance of cadmium in soil // Vestnik Kazanskogo energeticheskogo universiteta. 2010. No. 2 (5). P. 55–59 (in Russian).
12. Vetchinnikova L.V., Kuznecova T.Yu., Titov A.F. Features of heavy metal accumulation in leaves of wood plants in urban territories under condition of North // Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAS. 2013. No. 3. P. 68–73 (in Russian).
13. El'kina G.Ya., Deneva S.V., Lapteva E.M. Heavy metals in soil-plant system in biogeocenoses of the Bolshezemelskaya Tundra // Theoretical and Applied Ecology. 2019. No. 3. P. 41–46 (in Russian). doi: 10.25750/10.25750/1995-4301-2019-3-041-047
14. 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 // Uchenye zapiski Zabaikal'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya Biologicheskie nauki. 2017. V. 12. No. 1. P. 31–39 (in Russian).
15. Methods of studying of forests communities / Eds. V.T. Yarmishko, I.V. Lyanguzova. Sankt-Peterburg: NII Khimii SPb GU, 2002. 240 p. (in Russian).
16. MD 31–04/04. Quantitative chemical analysis of food samples, food raw materials, fodders and products of their processing. Methods of carrying out estimation of mass concentrations of zinc, cadmium, lead, and copper in foodstuff, food raw materials, forage and products of its processing by method of inversion voltamperometry with analyzer TA type. Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo Politehnicheskogo Universiteta, 2004. 23 p. (in Russian).
17. MD 31-11/05 (PND F 16.1:2.2:3.48-06). Quantitative chemical analysis of soil samples, greenhouse soils, silts, bottom sediments, sapropels, solid waste. Methods of carrying out estimation of mass concentra-

tions of zinc, cadmium, lead, copper, manganese, arsenic, and mercury in soils, greenhouse grounds, spropels, silts, ground deposits, solid waste by method of inversion voltampermetry with analyzer TA. Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo Politekhnicheskogo Universiteta, 2006. 44 p. (in Russian).

18. Shikhova L.N., Gonina E.S., Ulanov A.N. Content of biophyllic elements (zinc and copper) in soil component of bog biocenoses (on example of peatland "Zenginski", Kirov region // *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka*. 2016. No. 2 (51). P. 44–47 (in Russian).

19. Alekseev Yu.V. Heavy metals in soils and plants. Leningrad: Agropromizdat, 1987. 142 p.

20. Il'in V.B., Syso A.I. Microelements and heavy metals in soils and plants of Novosibirsk region. Novosibirsk: Izdatel'stvo Sibirskogo Otdeleniya RAN, 2001. 209 p. (in Russian).

21. Heavy metals in system soil-plant-fertilizer / Ed. M.M. Ovcharenko. Moskva: Proletarskiy svetoch, 1997. 290 p. (in Russian).

22. Kuznecova T.Yu., Vetchinnikova L.V., Titov A.F. Heavy metals accumulation in various organs and tissues of birch trees depending on growth conditions // *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAS*. 2015. No. 1. P. 86–94 (in Russian). doi: 10.17076/eco27

23. Egoshina T.L., Shikhova L.N., Lisitsyn E.M. Features of heavy metals accumulation in vascular plants // *Heavy metals and other pollutants in the environment: biological aspects* / Eds. G.E. Zaikov, L.I. Waisfeld, E.M. Lisitsyn, S.A. Becuzarova. Toronto: Apple Academic Press, 2017. P. 193–213. doi: 10.1201/9781315366029