

6. Одум Ю. Основы экологии. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
7. Отчет ФГБУ Среднесибирского УГМС за 2014–2015 гг. – Красноярск, 2015. – 382 с.
8. Сандимиров С.С. Современное гидрохимическое состояние озерно-речной системы р. Пасвик // Труды Кольского научного центра РАН. – 2012. – С. 88–98.
3. Badmaeva S.Je., Makushkin K.V. Jekologo-meliorativnaja ocenka poverhnostnyh vod Krasnojarskogo kraja // Jekologija Rossii: na puti k innovacijam. – Astrahan', 2013. – S. 18–21.
4. Badmaeva S.Je., Badmaeva Ju.V. Gidrohimicheskij analiz vody r. Enisej dlja celej irrigacii // Vestnik KrasGAU. – 2016. – № 7. – S. 109–113.
5. Nikolajkin N.I., Nikolajkina N.E., Melehova O.P. Jekologija: ucheb. dlja vuzov. – M.: Drofa, 2005. – 622 s.
6. Odum Ju. Osnovy jekologii. – M.: Mir, 1975. – 740 s.
7. Otchet FGBU Srednesibirskogo UGMS za 2014–2015 gg. – Krasnojarsk, 2015. – 382 s.
8. Sandimirov S.S. Sovremennoe gidrohimicheskoe sostojanie ozerno-rechnoj sistemy r. Pasvik // Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. – 2012. – S. 88–98.

Literatura

1. Badmaeva S.Je. Ocenka vodoistochnikov dlja irrigacii po jekologicheskim pokazateljam // Vestnik KrasGAU. – 2006. – № 11. – S. 129–130.
2. Badmaeva S.Je., Makushkin K.V. Ocenka kachestva irrigacionnoj vody Esaul'skoj OS Krasnojarskogo kraja // Vestnik KrasGAU. – 2013. – № 2. – S. 86–91.

УДК 502.4(571.122):574.5:54

Ю.А. Мурашко, И.В. Кравченко

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОСОКЕ ВОДЯНОЙ (*CAREX AQUATILIS* WAHLENB.) ПРИБРЕЖНО-ВОДНЫХ БИОЦЕНОЗОВ ПРИРОДНОГО ПАРКА «НУМТО»

Yu.A. Murashko, I.V. Kravchenko

THE CONTENT OF HEAVY METALS IN *CAREX AQUATILIS* WAHLENB. OF COASTAL WATER BIOCENOSSES OF NATURAL PARK "NUMTO"

Мурашко Ю.А. – канд. хим. наук, вед. науч. сотр., зав. Научной лабораторией биохимии и комплексного мониторинга окружающей среды НИИ экологии Севера Сургутского государственного университета, г. Сургут. E-mail: murashko.yu@mail.ru

Кравченко И.В. – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. Научной лаборатории биохимии и комплексного мониторинга окружающей среды НИИ экологии Севера Сургутского государственного университета, г. Сургут. E-mail: kravinessa@mail.ru

Murashko Yu.A. – Cand. Chem. Sci., Leading Staff Scientist, Head, Scientific Laboratory of Biochemistry and Complex Monitoring of Environment, Research Institute of Ecology of the North, Surgut State University, Surgut. E-mail: murashko.yu@mail.ru

Kravchenko I.V. – Cand. Biol. Sci., Leading Staff Scientist, Research Laboratory of Biochemistry and Complex Monitoring of Environment, Research Institute of Ecology of the North, Surgut State University, Surgut. E-mail: kravinessa@mail.ru

Интерес к исследованию содержания тяжелых металлов в зеленой массе растений обусловлен значительной ролью этих элементов в естественных процессах метаболизма рас-

тений. В статье представлены результаты исследования количественного содержания тяжёлых металлов (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) в пробах воды реки Казым, пойменных и

водораздельных озёр, расположенных в границах особо охраняемой территории Белоярского района Ханты-Мансийского автономного округа – Югры – Природного парка «Нумто», а также прибрежно-водной растительности обследованных водоёмов. Пробы воды и прибрежно-водной растительности собраны в ходе комплексной экспедиции на территории природного парка в июле-августе 2016 года на пробных площадках прибрежной зоны модельных водоёмов с низким уровнем техногенного воздействия. Исследование фонового содержания выбранных металлов в водных объектах и зелёной массе осоки *Carex aquatilis* Wahlenb. проводили методом атомной абсорбции. Установлено, что *Carex aquatilis* проявляет резистивные свойства по отношению к высоким естественным концентрациям железа в окружающей среде, а по отношению к никелю наблюдается эффект аккумуляции. Превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) в пробах воды по железу вплоть до 17,8 ПДК не приводит к увеличению его содержания в зелёной массе *Carex aquatilis*. При низком содержании растворённого в воде никеля (не выше 0,03 ПДК) отмечен эффект его аккумуляции в зелёной массе растений. Наибольшее превышение содержания никеля в фитомассе по сравнению с водой соответствующего водоёма составляет 5,6 раза.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, водные объекты, прибрежно-водная растительность, аккумуляция, *Carex aquatilis* Wahlenb., Природный парк «Нумто».

The interest in the research of heavy metals content in the vegetation is caused by a significant role of these elements in natural processes of plants metabolism. The results of the research of heavy metals quantitative content (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) in the water sampling of the Kazym river, inundated and water separate lakes located in borders of especially protected territory of Beloyarsky Region of Khanty-Mansy Autonomous Area Yugra Natural park "Numto" and also coastal and water vegetation of the analyzed reservoirs are presented in the study. Water and coastal-water vegetation sampling are done during complex expedition on the territory of the natural park in July-August, 2016 on trial platforms of the model reser-

*voirs coastal zone with the low level of technogenic influence. The research of the background content of the chosen metals in the water bodies and vegetation of *Carex aquatilis* Wahlenb. was carried out by the atomic absorption method. It has been established that *Carex aquatilis* reveals resistive properties in relation to high natural concentration of iron in the environment and the effect of accumulation in relation to nickel. The excess of maximum permissible concentration (MPC) in the iron water tests up to 17.8 the maximum permissible concentration limits doesn't lead to the increase in the contents of *Carex aquatilis* herbage. At low content of nickel dissolved in water (not higher than 0.03 maximum concentration limits), the effect of its accumulation in vegetation is noted. The greatest excess of nickel content in the plants biomass in comparison with the water of corresponding reservoir is 5.6 times.*

Keywords: heavy metals, water objects, coastal and water vegetation, accumulation, *Carex aquatilis* Wahlenb., Natural park "Numto".

Введение. Обязательное присутствие в растениях небольших количеств некоторых тяжёлых металлов обусловлено их участием в целом ряде естественных процессов метаболизма, роста и развития. В качестве микроэлементов тяжёлые металлы, в частности, могут входить в состав естественных биологических ферментов, которые регулируют белковый, углеводный и жировой обмен, участвовать в синтезе нуклеиновых кислот. Однако при избытке тяжёлых металлов в окружающей среде динамическое равновесие нарушается, и те же химические элементы, попадая в растение в значительно больших количествах, уже могут вызывать сильное токсическое действие [3, 4, 9].

Тяжёлые металлы поглощаются растениями, произрастающими на суше, водными растениями и растениями, обитающими на «пограничных» территориях водоёмов в разных количествах и с разной интенсивностью. Условия обитания, так или иначе, определяют механизм процесса поглощения тяжёлых металлов, его длительность и быстроту. Растения, находящиеся на суше, поглощают подвижные формы тяжёлых металлов, в основном за счёт своего корневого питания из почвы, либо попадающие на поверхность растений из атмосферы в составе

сезонных осадков, пыли и т.д. Подвижные формы тяжелых металлов, которые растворены в воде, поглощаются значительно легче, и поэтому виды растений, имеющие длительный контакт с водными объектами, в большей степени подвержены риску возникновения повышенного содержания металлов. Однако растения, постоянно находящиеся в воде и не прикрепленные к грунту, лишены возможности поглощать тяжелые металлы из донных отложений или минералов почвы и могут потреблять эти элементы только из водной среды. Растения, располагающиеся на границе водоемов или в прибрежной зоне, имеющие постоянный контакт с водой и развитую корневую систему, имеют возможность поглощать тяжелые металлы как из почвы, так и из водной среды. Кроме того, прибрежная растительность, находясь в более комфортных условиях, способна образовывать достаточно плотные заросли, превращающиеся в своеобразный накопитель веществ, которые переносятся в форме различных потоков с поверхности суши в водоем либо (в период сезонных паводков) из воды на сушу. Роль накопителя усиливается, когда в составе задерживаемых веществ находятся поллютанты разной природы. Часто в составе загрязняющих веществ присутствуют источники тяжелых металлов. Следовательно, растения, формирующие прибрежный буфер, потенциально могут находиться в условиях наиболее длительного их воздействия. В связи с этим важным является изучение степени накопления тяжелых металлов прибрежно-водной растительностью и выявление ее видов, способных к высокой аккумуляции этих элементов.

Осока является типичным представителем прибрежной растительности, и на ее примере целесообразно рассматривать степень влияния повышенного содержания тяжелых металлов в окружающей среде на их содержание в зеленой массе. Чтобы корректно оценивать фактор воздействия повышенных концентраций тяжелых металлов на растения, необходимо иметь представление о границах нормального содержания этих элементов в растениях чистых «фоновых» территорий.

В качестве чистых мест удобно использовать особо охраняемые природные территории Ханты-Мансийского автономного округа, например

Природный парк «Нумто», расположенный в Белоярском районе Югры. Прибрежно-водные биоценозы водных объектов парка «Нумто» находятся на значительном удалении от крупных промышленных объектов, транспортных магистралей и больших городских поселений и не подвержены риску техногенного загрязнения.

Цель исследования. Оценить содержание тяжелых металлов в зеленой массе надводной части прибрежно-водной растительности водных объектов на территории Природного парка «Нумто».

Задачи исследования: установить присутствие и определить концентрацию подвижных форм тяжелых металлов (хрома, марганца, никеля, железа, меди, цинка, кадмия, свинца) в водных объектах и оценить степень их загрязнения данными элементами; изучить характер накопления тяжелых металлов в органах травянистых прибрежно-водных растений на примере осоки водяной (*Carex aquatilis* Wahlenb.) Природного парка «Нумто».

Теоретическая и практическая значимость. С теоретической точки зрения полученная информация об устойчивости *Carex aquatilis* Wahlenb. к различным естественным концентрациям тяжелых металлов (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) может представлять интерес при исследовании механизма обмена микроэлементами растения с окружающей средой, установлении лимитирующих стадий этого процесса и особенностей переноса тяжелых металлов внутри растения. Индифферентное отношение *Carex aquatilis* к естественным для водоемов Югры концентрациям тяжелых металлов (Cr, Mn, Cu, Zn, Cd, Pb), ее резистивные свойства к повышенному содержанию растворимых форм железа и эффект аккумуляции по отношению к никелю позволяют лучше понять особенности движения и накопления перечисленных химических элементов в природных объектах. С практической точки зрения представленные результаты исследования могут использоваться при проведении экологического мониторинга водных объектов Природного парка «Нумто», организации рационального управления территорией, планировании и проведении природоохранных мероприятий.

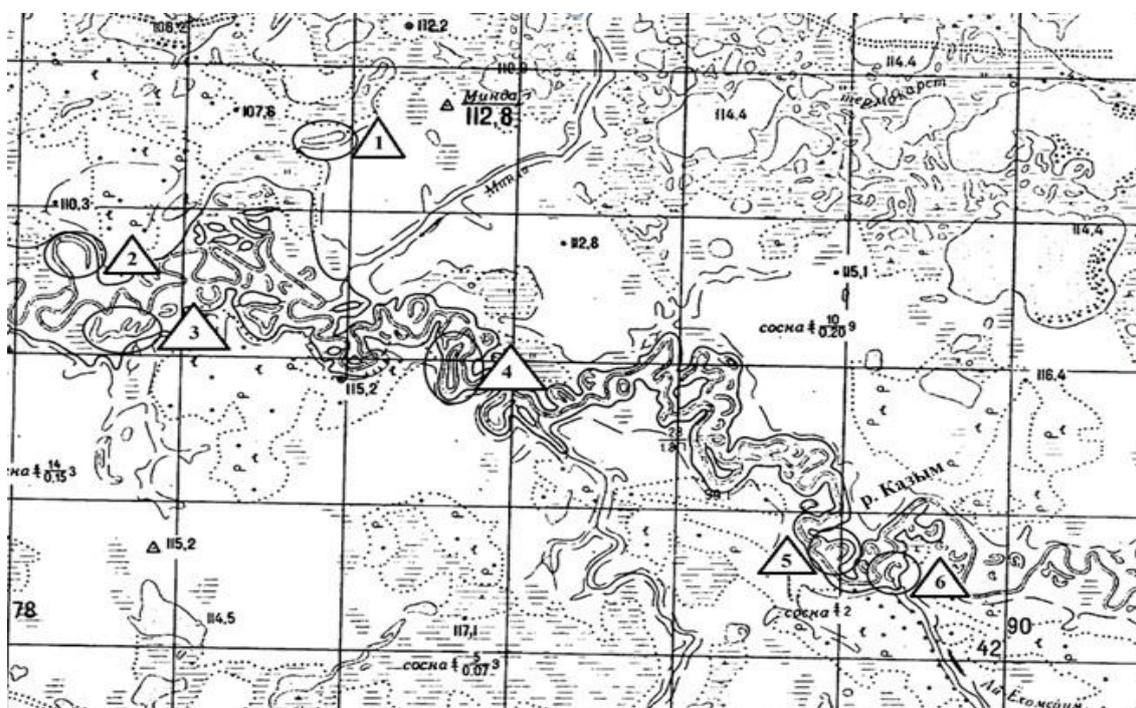
Объекты и методы исследования. Объектом исследований служила осока водяная

(*Carex aquatilis* Wahlenb.), формирующая прибрежную полосу растительности водоемов с разным гидродинамическим режимом Природного парка «Нумто» Белоярского района Ханты-Мансийского автономного округа.

Отбор растений для анализа проводился на пробных площадках (ПП), располагающихся непосредственно вдоль р. Казым (ПП 6) и вблизи двух типов озер (ПП 1–5) в границах Природного парка «Нумто» (рис.). Озера первого типа имели каналы сообщения с основным руслом реки (ПП 2–5), и прибрежная растительность могла подвергаться затоплению при сезонных паводках так же, как и береговая растительность самой реки. Озера второго типа распола-

гались на надпойменной террасе (ПП 1), на коренном берегу не имели прямого сообщения с основным руслом реки и занимали понижения на границе верховых болот и соснового бора. Прибрежная полоса растений таких озер находилась в более стабильных гидрологических условиях, так как было исключено затопление паводковыми водами реки, а их водная подпитка осуществлялась за счет болотных вод и сезонных осадков.

Из водоемов, вблизи которых были выбраны пробные площадки сбора осоки, были также отобраны пробы воды для анализа содержания в ней тяжелых металлов.



Карта-схема участка Природного парка «Нумто» с указанием мест отбора проб

Отбор проб воды из водных объектов проводили с глубины 30–100 см согласно ГОСТу [1]. Фиксацию мест отбора проб воды и растений осуществляли с помощью навигатора Garmin.

Отбор растительных образцов выполнен по существующим правилам отбора проб [8]. Анализ содержания подвижных форм тяжелых металлов (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) в пробах воды и в растительном сырье проводили методом атомной абсорбции на приборе МГА-915 МД [2, 5] в научной лаборатории биохимии и

комплексного мониторинга окружающей среды Научно-исследовательского института экологии Севера Сургутского государственного университета. Анализ фитомассы осуществляли после ее сухого воздушного озоления при температуре 550 °С и растворения золы в азотной кислоте [2].

Результаты исследования и их обсуждение. Количественные результаты содержания тяжелых металлов в воде и в сухой массе *Carex aquatilis* представлены в таблице.

Содержание тяжёлых металлов в воде (мкг/дм³) и *Carex aquatilis* (мкг/г) водных объектов поймы р. Казым на территории Природного парка «Нумто» Ханты-Мансийского автономного округа – Югры

Но- мер ПП	Объект	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
1	Вода	0,40±0,02	7,75±0,07	72,83±3,15	0,15± 0,01	0,35±0,01	32,77±1,71	0,03±0,001	0,19±0,01
	Осока	0,12±0,01	0,81±0,03	*	0,35±0,01	0,21±0,01	12,19±0,38	0,02±0,001	0,12±0,01
2	Вода	0,81±0,04	6,66±0,08	1779,35±68,07	0,17±0,01	0,34±0,01	8,09±0,71	0,03±0,001	0,24±0,01
	Осока	0,12±0,01	0,63±0,01	44,19±2,69	0,64±0,01	0,27±0,01	16,77±0,25	0,01±0,001	0,06±0,01
3	Вода	0,35±0,01	2,76±0,08	451,89±17,79	0,09±0,01	0,21±0,01	13,27±0,53	0,03±0,001	0,34±0,01
	Осока	0,13±0,01	0,68±0,02	147,55±5,48	0,50±0,01	0,15±0,01	9,35±0,23	0,01±0,001	0,11±0,01
4	Вода	0,26±0,01	12,68±0,77	41,60±0,75	0,28±0,01	0,15±0,01	-	0,03±0,001	0,11±0,01
	Осока	0,07±0,01	0,54±0,02	36,02±1,26	0,14±0,01	0,08±0,01	12,32±0,40	0,01±0,001	0,07±0,01
5	Вода	0,60±0,02	4,66±0,24	261,67±1,49	0,35±0,01	0,32±0,01	4,76±0,16	0,04±0,001	0,31±0,01
	Осока	0,08±0,01	0,43±0,01	35,33±2,42	0,85±0,01	0,27±0,01	8,07±0,23	0,01±0,001	0,04±0,01
6	Вода	0,68±0,02	7,10±0,03	1657,64±59,53	0,34±0,01	0,28±0,01	18,08±0,93	0,07±0,002	0,50±0,01
	Осока	0,11±0,01	0,43±0,01	70,90±1,19	0,33±0,01	0,20±0,01	11,51±0,46	0,10±0,002	0,05±0,01

*прочерк в таблице означает отсутствие данных.

Анализ присутствия и количественного содержания тяжелых металлов в воде исследованных водных объектов и растениях (табл.) показал, что все перечисленные тяжелые металлы в разных количествах присутствуют как в воде, так и в зеленой массе растений. При этом содержание в воде растворимых форм Cr, Mn, Ni, Cu, Cd и Pb было значительно ниже нормативных значений предельно допустимых концентраций, а концентрации Zn и Fe превышали установленные нормы для 50 и 67 % исследованных водоемов соответственно [6].

При исследовании содержания тяжелых металлов в зеленой массе осоки установлено, что по отношению к Cr, Mn, Cu, Cd и Pb эффект аккумуляции не выражен или выражен очень слабо. Содержание этих элементов в зеленой массе растений во всех случаях ниже, чем в водной среде водоема (табл.).

Диапазон содержания железа в воде исследованных водоемов достаточно широк (72,83–1779,35 мкг/дм³) (табл.). Однако, как в случае низких концентраций, так и при высоком содержании растворенного железа в водной среде (max 17,8 ПДК), это не приводит к существенному увеличению элемента в фитомассе *Carex aquatilis*. Среднее содержание железа в зеленой массе растения составляет 66,79 мкг/г.

Среднее содержание цинка в зеленой массе осоки составляет 11,7 мкг/г, при этом отмечено некоторое превышение содержания элемента в растении при его концентрации в воде ниже нормативов ПДК. При увеличении концентрации цинка в воде выше норматива (до 3,3 ПДК) увеличения его содержания в растении не наблюдается. Такое поведение растений по отношению к цинку можно объяснить его ограниченным переходом в надземную массу фитоценозов [7].

При исследовании растений на содержание никеля зафиксировано существенное превышение количества металла в растении по сравнению с водной средой. Установленный факт можно объяснить способностью *Carex aquatilis* накапливать высокие концентрации этого металла в течение жизни и выступать в роли биохимического барьера по отношению к этому элементу [7].

Выводы. Получена информация о фоновом содержании Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd и Pb в зеленой массе осоки *Carex aquatilis*, произра-

стающей в прибрежной зоне исследованных водоемов Природного парка «Нумто» Белоярского района Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, которые не подвергались техногенному воздействию. Установлено, что по отношению к высоким естественным концентрациям железа в водной среде *Carex aquatilis* проявляет резистивные свойства, а по отношению к подвижным формам никеля наблюдается эффект аккумуляции.

Литература

1. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Стандартинформ, 2008. – 45 с.
2. ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. – М.: Стандартинформ, 2010. – 10 с.
3. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.
4. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
5. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации алюминия, бария, бериллия, ванадия, железа, кадмия, кобальта, лития, марганца, меди, молибдена, мышьяка, никеля, свинца, селена, серебра, стронция, титана, хрома, цинка в пробах природной и сточных вод атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией с использованием атомно-абсорбционного спектрометра модификации МГА-915, МГА-915 М, МГА-915 МД. ПНД Ф 14.1:2.253-09 (М 01-46-2013). – М.: НПФ «Люмэкс», 2009. – 36 с.
6. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 года № 20 // Российская газета. Федеральный выпуск. – 2010. – 5 марта.

7. Тарабрин В.П. Физиология устойчивости древесных растений в условиях загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Микроэлементы в окружающей среде. – Киев: Наукова думка, 1980. – С. 17–28.
8. Титова В.И., Дабахова Е.В., Дабахов М.В. Агро- и биохимические методы исследования состояния экосистем: учеб. пособие для вузов. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2011. – 170 с.
9. Hall J., Williams E. Transition metal transporters in plants // J. Exp. Bot. – 2003. – Vol. 54. – P. 2601–2613.
6. Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnyh ob#ektov rybohozajstvennogo znachenija, v tom chisle normativov predel'no dopustimyh koncentracij vrednyh veshhestv v vodah vodnyh ob#ektov rybohozajstvennogo znachenija: Prikaz Federal'nogo agentstva po rybolovstvu ot 18 janvarja 2010 goda № 20 // Rossijskaja gazeta. Federal'nyj vypusk. – 2010. – 5 marta.
7. Tarabrin V.P. Fiziologija ustojchivosti drevesnyh rastenij v uslovijah zagrjaznenija okružhajushhej sredy tjazhelymi metallami // Mikrojelementy v okružhajushhej srede. – Kiev: Naukova dumka, 1980. – S. 17–28.
8. Titova V.I., Dabahova E.V., Dabahov M.V. Aгро- i biохимические методы исследования состояния экосистем: учеб. пособие для вузов. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2011. – 170 с.
9. Hall J., Williams E. Transition metal transporters in plants // J. Exp. Bot. – 2003. – Vol. 54. – P. 2601–2613.

Literatura

1. GOST R 51592-2000. Voda. Obshhie trebovanija k otboru prob. – M.: Standartinform, 2008. – 45 s.
2. GOST 30178-96. Syr'e i produkty pishhevye. Atomno-absorbcionnyj metod opredelenija toksichnyh jelementov. – M.: Standartinform, 2010. – 10 s.
3. Il'in V.B., Syso A.I. Mikrojelementy i tjazhelye metally v pochvah i rastenijah Novosibirskoj oblasti. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2001. – 229 s.
4. Kabata-Pendias A., Pendias H. Mikrojelementy v pochvah i rastenijah. – M.: Mir, 1989. – 439 s.
5. Kolichestvennyj himicheskij analiz vod. Metodika izmerenij massovoj koncentracii aljuminija, barija, berillija, vanadija, zheleza, kadmija, kobal'ta, litija, marganca, medi, molibdena, mysh'jaka, nikelja, svinca, selena, serebra, stroncija, titana, hroma, cinka v probah prirodnoj i stochnyh vod atomno-absorbcionnym metodom s jelektrotermicheskoj atomizaciej s ispol'zovaniem atomno-absorbcionnogo spektrometra modifikacii MGA-915, MGA-915 M, MGA-915 MD. PND F 14.1:2.253-09 (M 01-46-2013). – M.: NPF «Ljumjeks», 2009. – 36 s.
7. Tarabrin V.P. Fiziologija ustojchivosti drevesnyh rastenij v uslovijah zagrjaznenija okružhajushhej sredy tjazhelymi metallami // Mikrojelementy v okružhajushhej srede. – Kiev: Naukova dumka, 1980. – S. 17–28.
8. Titova V.I., Dabahova E.V., Dabahov M.V. Aгро- i biохимические методы исследования состояния экосистем: учеб. пособие для вузов. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2011. – 170 с.
9. Hall J., Williams E. Transition metal transporters in plants // J. Exp. Bot. – 2003. – Vol. 54. – P. 2601–2613.

