

УДК 631.81

*Л. И. Леонтьева, к.с.-х.н.*

*Б. Б. Корнилов, научный сотрудник*

*П. С. Прудников, к.с.-х.н.*

*Е. В. Леоничева, к.б.н.*

*ФГБНУ ВНИИ селекции плодовых культур, Россия, Орел, agro@vniispk.ru*

## **НАКОПЛЕНИЕ СВИНЦА И НИКЕЛЯ В ОРГАНАХ И ТКАНЯХ МАЛИНЫ (*RUBUS IDAEUS L.*) ПРИ РАЗНОМ УРОВНЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ**

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №14-04-32113 мол-а)*

### **Аннотация**

В полевом опыте изучено накопление свинца (Pb) и никеля (Ni) в органах и тканях малины (*Rubus idaeus L.*) сорта Спутница, выращиваемых без удобрений и при внесении N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>. Растения малины отбирали в фазу плодоношения и разделяли на органы: корень, корневище, двулетние (плодоносящие) побеги, однолетние побеги (побеги текущего года), латералы (плодовые веточки), плоды. У побегов кору и флоэму отделяли от древесины (ксилемы) и анализировали эти ткани отдельно. Также отдельно анализировали листья плодоносящих и однолетних побегов. Максимальное накопление Pb наблюдалось в корнях (0,511±0,056 мг/кг сух. в-ва), минимальное – в плодах (0,033±0,005 мг/кг сух. в-ва). Концентрация Pb в тканях побегов возрастала пропорционально их возрасту: самая высокая была в многолетних подземных корневищах, самая низкая – в однолетних побегах. Среднее содержание Pb в растениях, выращиваемых при внесении N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>, было достоверно выше, чем без минеральных удобрений. Ni был распределён в растениях малины более равномерно, чем Pb. Органы и ткани различались по концентрации Ni не более чем в 2...3 раза. Наблюдалась аккумуляция Ni в корнях (0,294±0,038 мг/кг сух. в-ва). При этом на фоне N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> в корнях накапливалось на 20% больше Ni, чем без внесения удобрений. В отсутствие удобрений Ni накапливался прежде всего в корнях, а также в коре и флоэме двулетних побегов. При внесении N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> растения накапливали больше элемента в подземных органах, а его распределение в надземной части было более равномерным. Содержание Ni в плодах малины было на уровне других надземных органов (0,136±0,028 мг/кг сух. в-ва).

**Ключевые слова:** малина, тяжёлые металлы, свинец, никель, минеральное питание

UDC 631.81

*L. I. Leont'eva, candidate of agricultural sciences*

*B. B. Kornilov, research worker*

*P. S. Prudnikov, candidate of agricultural sciences*

*E. V. Leonicheva, candidate of biological sciences*

*Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Russia, Orel, agro@vniispk.ru*

## LEAD AND NICKEL ACCUMULATION IN RASPBERRY (*RUBUS IDAEUS L.*) ORGANS AND TISSUES UNDER VARIOUS LEVELS OF MINERAL NUTRITION

*The research has been done under the financial support of RFBR (Project № 14-04-32113mol-a)*

### Abstract

In the field experiment the lead (Pb) and nickel (Ni) accumulation has been studied in Sputnitsa raspberry (*Rubus idaeus L.*) organs and tissues. Plants were cultivated without fertilizing but with N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> application. At the stage of fruiting the raspberry plants were picked out and divided into organs: root, rhizome, florican stems, primocane stems, laterals (fruiting branchlets) and berries. Stem bark and phloem were detached from a xylem and those tissues were analyzed separately. Leaves of florican and primocane stems were also analyzed separately. The maximum Pb accumulation was observed in roots (0,511±0,056 ppm dry wt), the minimum – in fruits (0,033±0,005 ppm dry wt), respectively. Pb concentration in tissues of stems increased in proportion to their age: the highest Pb concentration was in perennial rhizomes and the lowest one was in primocane stems. An average Pb content in the plants cultivated with N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> application was positively higher than without mineral fertilizing. Ni was distributed in raspberry plants more evenly than Pb. The organs and tissues differed in Ni concentration not more than by 2...3 times. Ni accumulation was observed in roots (0,294±0,038 ppm dry wt). For all this Ni was accumulated in roots 20% more on the N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> background than without fertilization. In absence of fertilizers, Ni was accumulated first of all in roots, as well as in bark and phloem of florican stems. Under N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> application the plants accumulated larger content of the element in the underground organs and its distribution in the above-ground part of the plants was more evenly. Ni content in raspberry fruits was on the level of other above-ground organs (0,136±0,028 ppm dry wt).

**Key words:** *Rubus idaeus L.*, heavy metals, lead, nickel, mineral nutrition

### Введение

Выяснение роли различных органов и тканей в передвижении и накоплении тяжёлых металлов (ТМ) в растительном организме – один из важных вопросов экологической физиологии растений. Проблема компартментации тяжёлых металлов в растении является определяющей при изучении их токсического действия и механизмов устойчивости растений [21].

Накопление и тканевое распределение тяжёлых металлов в растениях различных видов широко изучается, прежде всего, в лабораторных экспериментах. Значительно меньше исследований по этой проблеме проводится непосредственно в природных условиях. В то же время, показано существенное влияние эдафических и

агротехнических факторов на поступление тяжёлых металлов в корни и дальнейшую транслокацию их в надземную часть растений [12].

В большинстве исследований, проводимых с целью изучения роли органов и тканей в процессах поступления, накопления и транспорта тяжёлых металлов в растительном организме, объектами исследования являются однолетние травянистые растения (культурные или дикорастущие). Сведения о содержании тяжёлых металлов в древесных и кустарниковых растениях (преимущественно – в надземных органах) получены, большей частью, в исследованиях прикладного характера, проводимых для оценки функциональных возможностей древесно-кустарниковых насаждений в городской среде [2, 4, 20].

Удобным объектом для изучения компартментации тяжёлых металлов в органах многолетних растений могут служить ягодные культуры. Преимущественно они представляют собой многолетние кустарники и полукустарники, отличаются сравнительно небольшими размерами, проходят те же этапы онтогенеза и фенофазы, что и более крупные кустарники и деревья, давно введены в культуру, особенности их биологии, морфологии и агротехники достаточно хорошо изучены.

Малина красная (*Rubus idaeus* L.) широко распространена у садоводов-любителей, садовые участки которых часто расположены вблизи шоссе и дорог и в зоне влияния промышленных центров, где велик риск накопления тяжёлых металлов в ягодах. В промышленных насаждениях эта культура может получать дополнительные количества тяжёлых металлов с пестицидами, так как медь- и цинк-содержащие препараты присутствуют в современных системах защиты.

Ягоды малины используют в пищу в свежем и переработанном виде. Кроме того, в качестве лекарственного сырья широко используются другие органы растения (листья, побеги, соцветия и пр.) [18]. Следовательно, не только плоды, но и вегетативные органы малины нуждаются в контроле за накоплением токсичных элементов.

К настоящему времени имеется мало сведений о содержании тяжёлых металлов в растениях малины. Ряд исследователей приводит сведения о содержании тяжёлых металлов в плодах и листьях [9, 10, 23, 24]. С. G. Kowalenko [24] изучено распределение микроэлементов (бора, цинка, марганца и железа) в надземных органах малины сорта Willamette. Накопление тяжёлых металлов в подземных органах практически не исследовано.

Показано статистически достоверное влияние минеральных удобрений на накопление тяжёлых металлов в плодах и листьях ягодных культур [10]. Достоверные различия в содержании микроэлементов (меди, железа, цинка и марганца) в листьях малины в зависимости от субстрата и некорневых подкормок выявили Ž. Karaklajić-Stajić et al. [23]. Таким образом, влияние условий минерального питания на поступление тяжёлых металлов в растения малины доказано, но механизмы его не изучены.

Целью настоящей работы было исследовать накопление свинца и никеля в надземных и подземных органах малины и выявить возможное влияние минеральных удобрений на поступление этих элементов в растения.

### **Объекты и методы исследования**

Накопление свинца и никеля в органах и тканях малины сорта «Спутница» изучалось на плантации, расположенной в садовом массиве ФГБНУ ВНИИ селекции плодовых культур (Орловская область). Почва опытного участка – серая лесная

среднесуглинистая, хорошо окультуренная. Агрохимическая характеристика почвы представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Агрохимическая характеристика почвы опытного участка

Агрохимические показатели	Слой почвы	
	0...20 см	20...40 см
pH <sub>KCl</sub>	5,01±0,05	5,05±0,04
H гидр., мг-экв/100 г	4,77±0,20	4,60±0,18
Содержание подвижного P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	193,89±11,21	184,59±16,67
Содержание обменного K <sub>2</sub> O, мг/кг	127,29±13,34	90,89±12,92
Содержание обменного Ca <sup>2+</sup> , мг-экв/100 г	15,79±0,71	15,01±0,21
Содержание обменного Mg <sup>2+</sup> , мг-экв/100 г	6,14±0,46	5,80±0,17
Гумус, %	4,07±0,07	3,84±0,08

Плантация заложена в 2004 г. Растения выращивались на двух агрохимических фонах: без удобрений и при внесении N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>. Выбор доз удобрений обусловлен рекомендациями для культуры [22]. Минеральные удобрения вносили ежегодно рано весной в виде аммиачной селитры, двойного суперфосфата и сульфата калия. Повторность опыта трехкратная, расположение опытных делянок на участке – рендомизированное, площадь делянки 5 м<sup>2</sup>.

Для изучения особенностей накопления и распределения Pb и Ni целые растения малины отбирались в 2012 и 2013 гг. в фазу плодоношения. Далее, отобранные растения разделяли на органы: корень, корневище, двулетние (плодоносящие) побеги, однолетние побеги (побеги текущего года), латералы (плодовые веточки), плоды. У побегов кору и флоэму отделяли от древесины (ксилемы) и анализировали эти ткани отдельно. Также отдельно определяли содержание Pb и Ni в листьях плодоносящих и однолетних побегов, плодоложе и, собственно, в плодах.

Содержание Pb и Ni в растительных пробах определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии по МУК 4.1.053-96. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве (в вытяжке CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>, pH=4,8) определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре в пламени ацетилен-воздух; валовое содержание ТМ – рентгенфлуоресцентным методом. Агрохимические показатели почвы определяли по стандартным методикам.

Математическая обработка результатов проводилась методом двухфакторного дисперсионного анализа с использованием программы TVA.

### Результаты и обсуждение

Земли опытного хозяйства ФГБНУ ВНИИСПК используются в садоводстве (то есть в условиях интенсивной пестицидной нагрузки) более пятидесяти лет. В ряде исследований для этой территории показано превышение допустимых уровней содержания ТМ в почве и плодовой продукции [5, 15]. В качестве приоритетных загрязнителей, как правило, называют Zn и Cu, входящие в состав средств защиты растений, хотя также отмечены и случаи загрязнения ягодных культур Ni [13].

По результатам наших исследований, почва на плантации малины не содержала опасных количеств Pb и Ni, хотя валовое содержание Ni было в два раза выше регионально-фоновому уровню, установленного для серых лесных почв Орловской области (таблица 2).

Внесение минеральных удобрений повлияло на подвижность Pb в почве. Содержание подвижных форм элемента было достоверно (на 8%) выше на неудобренных делянках (таблица 3).

Таблица 2 – Содержание Pb и Ni в почве опытного участка, мг/кг

Показатель	Pb		Ni	
	0...20 см	20...40 см	0...20 см	20...40 см
Валовое содержание	10,27±3,76	9,66±3,50	30,31±1,05	30,67±1,47
Регионально-фоновое содержание вал. [19]	12,7		15,0	
ОДК вал. [16]	65,0		40,0	
Содержание подвижных форм	0,682±0,021	0,647±0,042	0,510±0,017	0,502±0,022
ПДК подв. [17]	6,0		4,0	

Таблица 3 – Влияние агрофона на содержание подвижных соединений Pb и Ni в почве (мг/кг)

Элемент	Фактор А Агрофон	Фактор В – Слой почвы		Средние по фактору А (НСР <sub>05</sub> А=0,04)
		0...20 см	20...40 см	
Pb	Без удобрений	0,703	0,662	0,683
	N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	0,661	0,599	0,630
	Средние по фактору В (НСР <sub>05</sub> В =0,04)	0,682	0,630	НСР <sub>05</sub> АВ=0,06
				(НСР <sub>05</sub> А=0,03)
Ni	Без удобрений	0,508	0,510	0,509
	N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	0,512	0,493	0,502
	Средние по фактору В (НСР <sub>05</sub> В =0,03)	0,510	0,501	НСР <sub>05</sub> АВ=0,04

Достоверных различий по содержанию в почве подвижного Ni в зависимости от агрохимического фона мы не наблюдали.

Известно, что минеральные удобрения оказывают влияние на растворимость и биодоступность соединений ТМ. Систематическое применение минеральных удобрений вызывает в пахотных горизонтах изменения почвенно-химических условий, контролирующей подвижность элементов [6]. Под влиянием минеральных удобрений изменяются условия химического равновесия в почвенном поглощающем комплексе, вследствие чего может усиливаться конкуренция катионов за сорбционные места, а это сказывается на доступности катионов растениям. Р. Р. Кинжаевым [7] показано, что в условиях длительного применения агрохимических средств содержание в почве подвижных форм фосфора оказывает значимое влияние на доступность растениям Cd, Pb, Zn и Cu. Установлено, что внесение минеральных удобрений является эффективным приемом усиления физиологических барьерных функций растений по отношению к ТМ на границе «корень – надземные органы» [11].

Внесение удобрений улучшило обеспеченность растений малины элементами минерального питания. Содержание подвижного фосфора и обменного калия в почве удобренных делянок по окончании вегетационных периодов было выше, чем на неудобренных делянках на 10% и 20% соответственно. Содержание в почве минерального азота (аммиачного и нитратного) в течение периода вегетации было в 3...5 раз больше при внесении минеральных удобрений.

Растения малины относят к особому типу листопадного кустарника с сокращённым циклом жизни надземной части. Подземная часть растения многолетняя, состоит из корневища (подземного стебля) и многочисленных придаточных корней. Надземная часть имеет двухлетний цикл развития: в первый год отрастают однолетние побеги, на них на следующий год формируется урожай, после чего они отмирают [18].

Выращиваемые при фоновом уровне содержания Pb в почве, растения малины накапливали элемент, прежде всего, в подземных органах (таблица 4). На удобренном

фоне и без удобрений содержание Pb в корнях было достоверно больше, чем в других органах и тканях. Корневища содержали достоверно меньше Pb, чем корни, но достоверно больше, чем надземные органы.

Таблица 4 – Содержание Pb в органах и тканях малины в зависимости от агрофона (мг/кг сух.в-ва) 2012...2013 гг.

Фактор А Органы и ткани растения	Фактор В Агрофон		Средние по фактору А (НСР <sub>05</sub> А=0,03)
	Без удобрений	N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	
Корни	0,452	0,570	<b>0,511</b>
Корневища	0,333	0,347	<b>0,340</b>
Кора и флоэма двулетних побегов	0,214	0,220	<b>0,217</b>
Древесина двулетних побегов	0,221	0,264	<b>0,242</b>
Листья двулетних побегов	0,165	0,223	<b>0,194</b>
Кора и флоэма однолетних побегов	0,151	0,123	<b>0,137</b>
Древесина однолетних побегов	0,196	0,205	<b>0,201</b>
Листья однолетних побегов	0,261	0,249	<b>0,255</b>
Латералы (плодовые веточки)	0,114	0,122	<b>0,118</b>
Плодоложе	0,090	0,093	<b>0,091</b>
Плоды	0,028	0,038	<b>0,033</b>
Средние по фактору В (НСР <sub>05</sub> В =0,01)	<b>0,202</b>	<b>0,233</b>	НСР <sub>05</sub> АВ=0,04

Уровень содержания Pb в проводящих тканях побегов зависел от их возраста. Независимо от агрохимического фона, кора и флоэма молодых побегов содержали достоверно меньше Pb, чем аналогичные ткани двулетних. В древесине молодых побегов также содержалось меньше элемента, по сравнению с древесиной плодоносящих стеблей, однако это различие было достоверным только на фоне N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>.

Независимо от уровня минерального питания, у однолетних побегов листья содержали больше Pb, чем проводящие ткани, а у двулетних побегов – меньше.

На неудобренном фоне листья однолетних побегов содержали достоверно больше Pb, чем листья плодоносящих побегов. При внесении удобрений, это различие было на уровне тенденции.

В латералах содержание Pb было достоверно ниже, чем в проводящих тканях и листьях двулетних побегов. Концентрация Pb в плодоложах существенно не отличалась от его концентрации в плодовых веточках.

Концентрация Pb в плодах была минимальной: в 2,0...2,5 раза ниже чем в плодоложах, в 3...6 раз ниже, чем в побегах и листьях и на порядок ниже, чем в подземных органах.

Таким образом, изучая распределение Pb в растениях малины, мы наблюдали наличие корневого барьера, а также накопление элемента в тканях побегов.

Исследователи, изучающие компартментацию ТМ в однолетних растениях, считают проводящие ткани побега ответственными за дальний транспорт и не сообщают об аккумуляции в них металлов. В нашем опыте концентрация Pb в тканях побегов была пропорциональна их возрасту: самая высокая - в многолетних подземных корневищах, самая низкая – в однолетних побегах. Это позволяет предположить накопление Pb в проводящих тканях в течение жизни растения.

Среднее содержание Pb в растениях, выращиваемых при внесении N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>, было достоверно выше, чем без минеральных удобрений. Более высокое значение этого показателя достигнуто за счёт достоверного увеличения при внесении удобрений

концентрации Pb в корнях, а также древесине и листьях двулетних побегов. Более низкое содержание подвижного Pb в почве удобренных участков отчасти можно объяснить повышенным выносом элемента растениями.

Содержание подвижных соединений Ni в почве опытного участка было на 30% ниже, чем подвижных форм Pb (таблица 2). Средний уровень содержания Ni в органах и тканях малины также был на 30% меньше, чем средний уровень накопления Pb (таблицы 4 и 5). Аналогичное соотношение концентраций Pb и Ni мы наблюдали для листьев на двулетних побегах. В листьях однолетних побегов концентрация Pb была на 80% больше, чем концентрация Ni.

Таблица 5 – Содержание Ni в органах и тканях малины в зависимости от агрофона, (мг/кг сух. в-ва) 2012...2013 гг.

Фактор А Органы и ткани растения	Фактор В Агрофон		Средние по фактору А (НСР <sub>05</sub> A=0,04)
	Без удобрений	N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	
Корни	0,257	0,330	<b>0,294</b>
Корневища	0,170	0,240	<b>0,205</b>
Кора и флоэма двулетних побегов	0,231	0,190	<b>0,211</b>
Древесина двулетних побегов	0,190	0,140	<b>0,165</b>
Листья двулетних побегов	0,146	0,140	<b>0,143</b>
Кора и флоэма однолетних побегов	0,148	0,112	<b>0,130</b>
Древесина однолетних побегов	0,114	0,132	<b>0,123</b>
Листья однолетних побегов	0,118	0,166	<b>0,142</b>
Латералы (плодовые веточки)	0,170	0,128	<b>0,149</b>
Плодоложе	0,187	0,149	<b>0,168</b>
Плоды	0,123	0,149	<b>0,136</b>
Средние по фактору В (НСР <sub>05</sub> B=0,02)	<b>0,168</b>	<b>0,170</b>	НСР <sub>05</sub> AB=0,06

Ni считается необходимым микроэлементом для бактерий и высших растений [1, 21]. Вероятно, с этим может быть связана его относительно высокая подвижность в растительном организме. Многие исследователи наблюдали слабую фиксацию элемента корнями и более равномерное (по сравнению с другими ТМ) распределение Ni по органам разных видов растений [1, 3]. Результаты наших исследований согласуются с этими данными. В то время как, минимальный и максимальный уровни концентрации Pb в растениях различались на порядок (таблица 4), по концентрации Ni органы и ткани малины различались не более чем в 2...3 раза (таблица 5).

На обоих агрохимических фонах мы наблюдали аккумуляцию Ni в корнях. При этом на фоне N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> в корнях накапливалось достоверно больше Ni, чем без внесения удобрений.

На этом же фоне отмечена высокая концентрация Ni в корневищах, достоверно превышающая содержание элемента почти во всех надземных органах, за исключением коры и флоэмы двулетних побегов. При выращивании малины без удобрений, содержание Ni в корневищах достоверно не отличалось от его концентрации в надземных органах.

На неудобренном фоне кора, флоэма и древесина двулетних побегов содержали достоверно больше Ni, чем аналогичные ткани однолетних. При внесении N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> такое различие наблюдалось только для коры и флоэмы.

При выращивании малины без удобрений содержание Ni в плодах было достоверно меньше, чем в плодоложах и проводящих тканях двулетних побегов. На фоне N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> плоды накапливали Ni на уровне других надземных органов.

Хотя растения малины, выращенные без удобрений, по среднему уровню накопления Ni достоверно не отличались от выращенных на удобренных участках, мы наблюдали значимое влияние агрохимического фона на особенности распределения Ni по органам и тканям. В отсутствие удобрений Ni накапливался прежде всего в корнях, а также в коре и флоэме двухлетних побегов. Также отличались высокой концентрацией Ni плодовые веточки и плодоложе. При внесении удобрений растения накапливали больше элемента в подземных органах, а его распределение в надземной части было более равномерным.

### Выводы

Изучение особенностей накопления Pb и Ni в растениях малины показало, что:

- накопление Pb происходило прежде всего в подземных органах – корнях и корневищах, которые содержали в 2...4 раза больше элемента, чем надземные вегетативные органы;

- плоды малины были хорошо защищены от попадания избыточных количеств Pb и содержали его в 15 раз меньше, чем корни и в 4...9 раз меньше, чем вегетативные органы;

- концентрация Pb в тканях побегов зависела от их возраста: самая высокая была в многолетних подземных корневищах, самая низкая – в однолетних побегах, что позволяет предположить накопление Pb в проводящих тканях в течение жизни растения;

- концентрация Pb в корнях, а также древесине и листьях двухлетних побегов была достоверно выше при внесении N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>, чем без удобрений;

- Ni был распределён в растениях малины более равномерно, чем Pb: органы и ткани различались по концентрации Ni не более чем в 2...3 раза, наблюдалась аккумуляция Ni в корнях, а содержание Ni в плодах было на уровне надземных вегетативных органов;

- в отсутствие удобрений Ni сильнее всего накапливался в корнях, в коре и флоэме двухлетних побегов, высокая концентрация элемента отмечена также в древесине двухлетних побегов, плодовых веточках и плодоложах;

- внесение удобрений оказало значимое влияние на распределение Ni по органам и тканям: при внесении N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> растения накапливали больше элемента в подземных органах, а его распределение в надземной части было более равномерным.

### Литература

1. Бакланов И. А., Серегин И. В., Иванов В. Б. Гистохимический анализ распределения никеля в гипераккумуляторе и исключателе из рода *Alyssum L.* // Доклады РАН. – 2009. – №429 (5). – С.698-700.

2. Валеева, Г. Р. Роль отдельных факторов в формировании элементного состава растений / Автореф. дис.... канд. химич. наук, специальность 03.00.16. «Экология»: - Казань, 2004. – 24 с.

3. Ветрова О. А., Кузнецов М. Н., Леоничева Е. В., Мотылёва С. М., Мертвищева М. Е. Накопление тяжёлых металлов в органах земляники садовой в условиях техногенного загрязнения // Сельскохозяйственная биология. – 2014. – №5. – С. 113-119.

4. Войтюк Е. А. Аккумуляция тяжелых металлов в почве и растениях в условиях городской среды (на примере г. Чита) / Автореф. дис.... канд. биол. наук. 03.02.08 – «Экология»: – Улан-Удэ, 2011. – 24 с.

5. Громова В.С. Влияние длительного применения минеральных удобрений на агроэкологические характеристики почвы и плодов яблоневого сада // Плодоводство и ягодоводство России: Сб. – М.: ВСТИСП, 1995. – С. 153-157.
6. Карпова, Е. А. Подвижные соединения тяжелых металлов в пахотных горизонтах дерново-подзолистых почв в условиях длительного применения удобрений // Экологическая агрохимия. – М.: МГУ, 2008. – С.12-29.
7. Кинжаев Р. Р. Влияние длительного применения удобрений на состояние биогенных и токсичных элементов в агроценозе на дерново-подзолистой почве / Автореф. дис.... канд. биол.наук. специальность 06.01.04. «Агрохимия»: Москва, 2004. – 20 с.
8. Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур: учебник. – М.: Дрофа, 2010. – 638 с.
9. Кузнецов М. Н., Леоничева Е. В., Роева Т. А., Мотылёва С. М., Леонтьева Л. И. Формирование микроэлементного состава ягодных растений при использовании цеолитсодержащей породы в качестве мелиоранта загрязнённых тяжёлыми металлами почв // Современное садоводство. – 2010. – №2. – С. 39-43.
10. Леоничева Е. В., Мотылёва С. М., Кузнецов М. Н., Роева Т. А., Леонтьева Л. И. Формирование состава микроэлементов у ягодных растений в условиях повышенного содержания тяжёлых металлов в почве // Сельскохозяйственная биология. – 2010. – №5. – С. 31-34.
11. Маджугина Ю. Г., Кузнецов В. В., Шевякова Н. И. Растения полигонов захоронения бытовых отходов мегаполисов как перспективные виды для фиторемедиации // Физиология растений. – 2008. – Т.55. – №3. – С. 453-463.
12. Минеев В. Г., Лебедева Л. А., Арзамасова А. В. Влияние последствия систем удобрения на барьерные функции растений ячменя на дерново-подзолистой почве, загрязнённой свинцом и кадмием // Агрохимия. – 2009. – №9. – С. 60-68.
13. Мотылева С. М., Соснина М. В. Накопление никеля некоторыми плодово-ягодными культурами. Селекция и сорторазведение садовых культур / Сборник. – Орел: ВНИИСПК, 1996. – С. 227.
14. Мотылева С. М., Кузнецов М. Н. Методические рекомендации по определению Pb и Ni в органах плодовых растений – Орел: ВНИИСПК, 2009. – 23 с.
15. Мотылева С. М. Особенности содержания тяжёлых металлов (Pb, Ni, Zn, Fe, Cu) в плодах, ягодах и атмосферных осадках в связи с оценкой сортов для использования в селекции. /Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: – Орёл, 2000.
16. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжёлых металлов и мышьяка в почвах (Дополнение №1 к перечню ПДК и ОДК № 6229-91): Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.020-94. – М.: Изд. Госкомсанэпиднадзора России, 1995. – 8 с.
17. Перечень предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно-допустимых количеств (ОДК) химических веществ в почве. Издание специальное – М.: Изд. Госкомсанэпиднадзора России, 1991. – 18 с.
18. Помология. В 5т. Том V: Земляника, малина. Орехоплодные и редкие культуры / под ред. Седова Е. Н., Грюнер Л. А. – Орёл: ВНИИСПК, 2014.
19. Регионально-фоновое содержание химических веществ в почвах Орловской области. – Орёл: Государственный комитет по охране окружающей среды Орловской обл., 1999. – 5 с.
20. Рогулева Н. О. Некоторые особенности накопления тяжелых металлов почвами и растениями парков г. Самары. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского.– Тамбов: Издательско-полиграфический центр

Тамбовского Государственного Технического университета, 2007. – №4(10) . – Том 1. – С.23-27

21. Серёгин И. В. Распределение тяжёлых металлов в растениях и их действие на рост // Автореферат дис. докт. биол. наук. – М., 2009. – 53с.

22. Система производства, переработки и доведения до потребителя ягод в Нечернозёмной зоне России. – М.: ВСТИСП, 2005. – 172 с.

23. Karaklajić-Stajić Ž., Glišić I. S., Ružić Dj., Vujović T., Pešaković M.. Microelements content in leaves of raspberry cv. Willamette as affected by foliar nutrition and substrates // Hort. Sci. 2012. – Vol.39. – No2. – P. 67-73.

24. Kovalenko C. G. Accumulation and distribution of micronutrients in Willamette red raspberry plants. // Can. J. Plant Sci. – 2005. – V.85. – P. 179-191.

### References

1. Baklanov I.A., Seregin I.V., Ivanov V.B. (2009): Histochemical analysis of nickel distribution in the hyperaccumulator and excluder in the genus *Alyssum L.* Doklady Biological Sciences, **429**(1): 548-550. (in Russian).

2. Valeeva G.R. (2004): A role of individual factors in the formation of plant element composition. [Chem. Sci. Cand. Thesis]. V. I. Ulyanov-Lenin Kazan State University, Kazan. (in Russian).

3. Vetrova O.A., Kuznetsov M.N., Leonicheva E.V., Motyleva S.M., Mertvishcheva M.E. (2014): Accumulation of heavy metals in strawberry plants grown in conditions of antropogennic pollution. Agricultural Biology, **5**: 113-119. (in Russian).

4. Voityuk E.A. (2011): Heavy metal accumulation in soil and plants in conditions of the urban environment (by way in Chita). [Biol. Sci. Cand. Thesis]. N. G. Chernyshevsky Trans-Baikal State University for Humanities and Pedagogics, Chita. (in Russian).

5. Gromova V.S. (1995): The influence of continuous application of mineral fertilizers on the agroecological characteristics of apple orchard soil and fruit. Plodovodstvo i jagodovodstvo rossii [Fruit and berry-culture of Russia], **2**: 153-157. (in Russian).

6. Karpova E.A. (2008): Mobile compounds of heavy metals in plough layers of soddy podzolic soils in conditions of the continuous fertilization. In: Ecological Agrochemistry [Ekologicheskaja agrokhemija]. MGU, Moscow, 12-29. (in Russian).

7. Kinzhaev R.R. (2004): The influence of durable fertilization on the condition of biogenic and toxic elements in agrophytocenosis on the soddy podzolic soils. [Biol. Sci. Cand. Thesis]. M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow. (in Russian).

8. Koshkin E.I. (2010): Physiology of agricultural crop resistance: course. Drofa, Moscow. (in Russian).

9. Kuznetsov M.N., Leonicheva E.V., Roeva T.A., Motyleva S.M., Leont'eva L.I. (2010): Berry plant microelement composition formation under application of zeolite containing rock as a meliorant of soils polluted with heavy metals. Sovremennoe sadovodstvo [Contemporary Horticulture], **2**: 39-43. (in Russian).

10. Leonicheva E.V. Motyleva S.M., Kuznetsov M.N., Royeva T.A., Leontyeva L.I. (2010): Formation of microelement composition in berry plants in conditions of higher content of heavy metals in the soil. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural biology], **5**: 31-34. (in Russian).

11. Madzhugina Yu.G., Kuznetsov V.I., Shevyakova N.I. (2008): Plants inhabiting polygons for megapolis waste as promising species for phytoremediation. Russian Journal of Plant Physiology, **55**: 410-419. (in Russian).

12. Mineev V.G., Lebedeva L.A., Arzamazova A.V. (2009): Aftereffect of Fertilizing Systems on the Barrier Functions of Barley Plants Grown on Soddy-Podzolic Soils Contaminated with Lead and Cadmium. *Agrochemistry*, **9**: 60-68. (in Russian).
13. Motyleva S.M., Sosnina M.V. (1996): Nickel accumulation by some fruit and berry crops. In: Breeding and variety cultivation of orchard crops. VNIISPK, Orel, 227. (in Russian).
14. Motyleva S.M., Kuznetsov M.N. (2009): Methodical recommendations on Pb and Ni quantifying in fruit plant organs. VNIISPK, Orel. (in Russian).
15. Motyleva S.M. (2000): Features of heavy metal content Pb, Ni, Zn, Fe and Cu) in fruits, berries and rainfalls in connection with variety assessment for use in breeding. [Agr. Sci. Cand. Thesis]. Russian research institute for fruit crop breeding, Orel. (in Russian).
16. Tentative allowable concentrations (TAC) of heavy metals and arsenic in soils (Addendum №1 to the list of MAC and TAC № 6229-91): Hygienic standards. HS 2.1.7.020-94 (1995): Publ. Goskomsanepidnadzor of Russia, Moscow. (in Russian).
17. List of MAC and TAC of chemical substances in soil. Special edition (1991): Publ. Goskomsanepidnadzor of Russia, Moscow. (in Russian).
18. Pomology. Strawberries. Raspberries. Nut and rare crops, Vol.5. (2014): VNIISPK, Orel. (in Russian).
19. Regionally underground content of chemical substances in soils of Orel region (1999): State committee for environmental protection in Orel region, Orel. (in Russian).
20. Rogulyova N.O. (2007): Concerning the features of heavy metals accumulation by soils and plants in some parks of Samara city. *Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University*, **4**(10): 23-27. (in Russian).
21. Seregin I.V. (2009): Distribution of heavy metals in plants and their effect on growth. [Biol. Sci. Doc. Thesis]. K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology Russian Academy of Sciences, Moscow. (in Russian).
22. System of berry production, processing and bringing to consumers in the Nechernozem zone of Russia (2005): VSTISP, Moscow. (in Russian).
23. Karaklajić-Stajić Ž., Glišić I.S., Ružić Dj., Vujović T., Pešaković M. (2012): Microelements content in leaves of raspberry cv. Willamette as affected by foliar nutrition and substrates. *Hort. Sci.*, **39**: 67-73.
24. Kovalenko C.G. (2005): Accumulation and distribution of micronutrients in Willamette red raspberry plants. *Can. J. Plant Sci.*, **85**: 179-191.