

DOI 10.22363/2313-2310-2021-29-2-138-146

УДК 633.16:57.045:631.81:631.811.9:631.811.93

Научная статья / Research article

Агроэкологическая оценка изменения содержания кадмия в растениях ярового ячменя под влиянием селена и кремния

А.А. Лапушкина¹, А.Д. Аленичева², И.В. Верниченко³,
О.А. Щуклина², И.Н. Ворончихина²

¹Московский центр агрохимической службы,

Российская Федерация, 127550, Москва, ул. Прянишникова, д. 31А

²Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН,

Российская Федерация, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 4

³Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,

Российская Федерация, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

✉ Noisia4u@yandex.ru

Аннотация. Большое количество сельскохозяйственных угодий находится в непосредственной близости к крупным городам, а значит, промышленным предприятиям и магистральным дорогам, что приводит к неизбежному загрязнению почв тяжелыми металлами, из которых наиболее токсичными являются кадмий, ртуть, свинец. Растениеводческая продукция, полученная с подобных площадей, все чаще содержит тяжелые металлы, которые делают ее непригодной для употребления в пищу человеком или животными. Исследования показали, что предпосевная обработка семян ярового ячменя селеном и кремнием позволяет смягчить негативное влияние абиотических стрессов на рост и развитие растений и реализовать уровень урожайности, заложенный биологией культуры в данных условиях – 3,7–3,9 т/га. Кроме того, такой агротехнический прием снижает уровень накопления кадмия в готовой продукции (зерне) на 11–12 % при выращивании ярового ячменя на почвах с высокой концентрацией кадмия.

Ключевые слова: тяжелые металлы, кадмий, селен, кремний, яровой ячмень, загрязнение почв, антропогенная нагрузка, урожайность

Благодарности и финансирование. Работа выполнена в рамках ГЗ ГБС РАН (№ 19-119012390082-6).

Вклад авторов. А.А. Лапушкина, А.Д. Аленичева – концептуализация исследований, выполнение лабораторных опытов и сбор данных; И.В. Верниченко – концептуализация исследования, критический анализ текста; О.А. Щуклина, И.Н. Ворончихина – анализ данных и их интерпретация.

История статьи: поступила в редакцию 10.01.2021; принята к публикации 30.01.2021.

Для цитирования: Лапушкина А.А., Аленичева А.Д., Верниченко И.В., Щуклина О.А., Ворончихина И.Н. Агроэкологическая оценка изменения содержания кадмия в растении-

ях ярового ячменя под влиянием селена и кремния // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2021. Т. 29. № 2. С. 138–146. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-2-138-146>

Agroecological assessment of changes in cadmium content in spring barley plants under the influence of selenium and silicon

Anastasia A. Lapushkina¹  , Anastasia D. Alenicheva² ,
Igor V. Vernichenko³ , Olga A. Schuklina², Irina N. Voronchikhina² 

¹Moscow Center of Agrochemical Service,

31A Pryanishnikova St, Moscow, 127550, Russian Federation

²Main Botanical Garden named after N. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences,
4 Botanicheskaya St, Moscow, 127276, Russian Federation

³Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev,
Timiryazevskaya st., 49, 127559, Moscow, Russian Federation

✉ Noisia4u@yandex.ru

Abstract. A large amount of agricultural land is located in close proximity to the metropolitan areas, it means near industrial enterprises and highways which giving rise the inevitable soil pollution by heavy metals, the most toxic of them are cadmium, mercury and lead. The plant products harvested from such areas are most frequently contains heavy metals which make them unsuitable for human or animal consumption. Studies have shown that pre-sowing treatment of spring barley seeds by selenium and silicon allows to mitigate the negative impact of abiotic stresses on plant growth and development, deliver the crop yield level, laid down by crop biology under these conditions – 3,7–3,9 t/ha. Moreover, this agricultural method reduces the level of cadmium accumulation in the finished products (grain) on 11–12% when growing of spring barley on soils with high concentration of cadmium.

Keywords: heavy metals, cadmium, selenium, silicon, spring barley, soil pollution, anthropogenic load, yield

Acknowledgements and Funding. The work was carried out with the support of Institutional Research Project No 16-119012390082-6.

Authors' contributions. Anastasia A. Lapushkina, Anastasia D. Alenicheva – conceptualization of research, laboratory experiments and data collection; Igor V. Vernichenko – conceptualization of research, critical analysis of the text; Olga A. Schuklina, Irina N. Voronchikhina – data analysis and interpretation.

Article history: received 10.01.2021; revised 30.01.2021.

For citation: Lapushkina AA, Alenicheva AD, Vernichenko IV, Schuklina OA, Voronchikhina IN. Agroecological assessment of changes in cadmium content in spring barley plants under the influence of selenium and silicon. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2021;29(2):138–146. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-2-138-146>

Введение

Кадмий наряду с ртутью и свинцом относится к политропным ядам, негативно влияющим на многие функции и системы живых организмов [1; 2]. Высокая концентрация этого элемента в почве оказывает токсическое дей-

ствие на растения, заключающееся в нарушении синтеза и функции ферментов, витаминов, гормонов и т. д., приводящему к дисбалансу питательных компонентов в растениях, что в итоге провоцирует образование хлороза листьев, повреждение корневой системы, задержку роста и, как следствие, снижение урожайности и качества сельскохозяйственной продукции. Кадмий способен накапливаться в растениеводческой продукции, такой как зерно, солома, сено, зеленая масса и особенно в корнеплодах и клубнеплодах и далее поступать в организм животных и человека, вызывая различные виды заболеваний [3–5]. Избыточные концентрации кадмия обнаружены во многих почвах РФ. Увеличение насыщенности почв сельскохозяйственного назначения тяжелыми металлами, в том числе кадмием, также приводит к необходимости частичного или полного их вывода из оборота. Естественное содержание кадмия в почвах зависит от концентрации его в материнской породе и может меняться под воздействием почвообразовательных процессов и таких характеристик почв, как механический состав, реакция среды, содержание гумуса и органического вещества и т. д. Поэтому различные типы почв содержат разное фоновое количество кадмия: дерново-подзолистые – 0,01–0,6 мг/кг, серые лесные – 0,03–0,7 мг/кг, чернозем – 0,01–1,0 мг/кг. Среднее содержание кадмия в почвах других стран составляет 0,07–1,1 мг/кг, в России от 0,01 до 1,0 мг/кг. В почву кадмий также ежегодно поступает вместе с пылевыми выбросами металлургических предприятий, электронной и электротехнической промышленности, автотранспорта и тепловых электростанций [6; 7]. Еще одним источником его поступления в почвенный покров являются осадки сточных вод, широко применяемые в последнее время в качестве удобрений [8]. По оценке ВОЗ, за последние 100 лет техногенное загрязнение окружающей среды кадмием выросло примерно в 5 раз.

В России 185 тыс. га почв различного назначения необратимо загрязнены кадмием. Сократить его валовое содержание в них невозможно. Наиболее уязвимыми становятся растения, выращиваемые на загрязненных территориях и подвергающиеся дополнительным абиотическим стрессам, в частности засухе [9; 10]. Существует мнение, что применение препаратов, в состав которых входит селен и кремний, в качестве предпосевного удобрения приводит к стресс-протекторному (защитному) действию. Данные элементы обладают способностью к увеличению устойчивости растений к абиотическим стрессам, выражающуюся в утолщении эпидермальных тканей, ускорении роста и развития корневой системы. Однако механизмы положительного влияния селена и кремния на растения в условиях загрязнения почв тяжелыми металлами еще недостаточно изучены. **Целью исследования** стало изучение действия селена и кремния на урожайность ярового ячменя при разных уровнях загрязнения почвы кадмием.

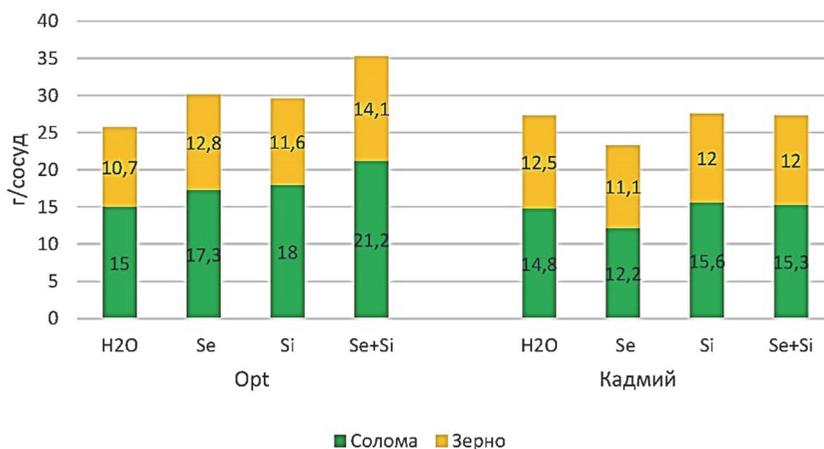
Методы и материалы

Для выявления механизмов положительного действия селена и кремния на рост и развитие ярового ячменя в условиях загрязнения почвы кадмием был проведен вегетационный опыт на кафедре агрономической, биологической химии и радиологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Для закладки опыта была отобрана дерново-подзолистая почва из пахотного

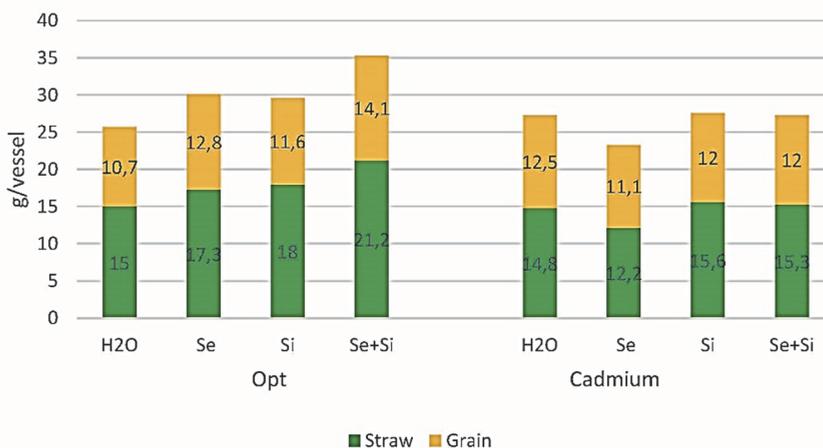
горизонта с Долгопрудной агрохимической опытной станции имени академика Д.Н. Прянишникова (ДАОС). Агрохимическая характеристика почвы показала, что она хорошо обеспечена фосфором (P_2O_5 – 93 мг/кг сухой почвы) и калием (K_2O – 82 мг/кг сухой почвы), определенных по Кирсанову (ГОСТ 26207–91), содержание гумуса – 2,1 %, по Тюрину (ГОСТ 26213–91), $pH_{КСГ}$ -4,5 (ГОСТ 26483–85). Семена высевали в сосуды Митчерлиха с массой абсолютно сухой почвы 5 кг, в 4-кратной повторности. При набивке сосудов в почву вносили растворы солей NH_4NO_3 , KH_2PO_4 и $NH_4H_2PO_4$ для создания уровня минерального питания растений фосфором и калием – 200 мг/кг почвы, азотом – 300 мг/кг почвы. Негативное влияние кадмия при высокой его концентрации в почве изучалось с помощью внесения раствора $CdSO_4$ в дозе 25 мг/кг почвы. Объект исследования – ячмень яровой, сорт Надежный. В день посева проводили обработку семян селенитом натрия (Na_2SeO_3) и силикатом натрия ($Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$), путем смачивая соответствующими растворами (5 % от веса семян) в норме 2,5 и 50 г элемента на гектарную норму семян соответственно. В качестве контроля семена обрабатывали дистиллированной водой. Растения ячменя выращивались до полной спелости зерна. После анализа урожайности и структуры урожая образцы зерна и соломы размалывались для определения содержания в них основных макроэлементов питания (NPK).

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты эксперимента показали, что повышенная концентрация кадмия в почве незначительно повлияла на урожайность зерна ячменя, на контроле (оптимальный фон без предпосевной обработки семян) в среднем получено зерна 12,3 г/сосуд, в сосудах с кадмием – 11,9 г/сосуд, что, вероятно, обусловлено биологией культуры. При анализе массы соломы наблюдались следующие закономерности: предпосевная обработка семян кремнием, селеном и совместно двумя элементами в оптимальных условиях достоверно увеличивала прибавку массы соломы, по сравнению с контролем – от 15 до 41 % (рисунок). На почвах с повышенной концентрацией кадмия эффект от применения предпосевной обработки наблюдался только при применении кремния – от 10 до 16 % к контролю.



Влияние предпосевной обработки селеном и кремнием на урожайность зерна и соломы ярового ячменя при повышенной концентрации кадмия в почве



The influence of pre-sowing treatment with selenium and silicon on the grain and straw yield of spring barley with the high cadmium concentration in the soil

Повышенное содержание кадмия в почве сказалось на таком важном показателе, как масса 1000 зерен – отмечалось снижение полученных значений в среднем на 3 г по данному варианту. Однако применение предпосевной обработки семян селеном и кремнием при высокой концентрации кадмия в почве не отразилось на качестве зерна (при обработке водой масса 1000 семян составила 38 г, при обработке селеном – 35 г, при обработке кремнием – 38,5 г, при совместной обработке селеном и кремнием – 35,4 г).

Вынос основных элементов питания (NPK) – важная агрохимическая характеристика всех сельскохозяйственных культур, которая необходима для определения их потребности в макроэлементах и расчетов доз минеральных удобрений и их оптимального соотношения при внесении удобрений, а также отражает влияние изучаемых факторов на условия питания опытных культур. Вместе с урожаем зерна и его побочной продукцией – соломой – зерновые выносят около 20–40 кг/га азота, 8–15 кг/га фосфора и 20–40 кг/га калия [4]. Значительная концентрация кадмия в почве (25 г/кг) в целом не повлияла на вынос азота зерном ярового ячменя. В среднем по опыту на оптимальном фоне содержание азота составило 2,6 %, а с повышенным содержанием кадмия в почве – 2,8 %. В соломе азота содержалось 1,4 и 1,5 % соответственно. Предпосевная обработка селеном и кремнием при оптимальных условиях выращивания ярового ячменя не внесла корректив в вынос азота по сравнению с вариантом без обработки семян. Однако на фоне с высокой концентрацией кадмия в почве применение селена и кремния, увеличили вынос азота зерном ярового ячменя на 7,4 %. При совместном использовании двух элементов увеличение выноса азота зерном составило 3,7 %. При этом обработка семян микроэлементами не повлияла на процентное содержание азота в соломе на обоих изучаемых фонах.

Фосфор в растительных клетках входит в состав нуклеиновых кислот, из которых состоит генетический аппарат ядра, в состав фосфолипидов, а также соединений, определяющих свойства клеточных мембран. Фосфор является вторым элементов по количественному содержанию атомов в сухом веществе типичного растения после азота [4]. При проведении исследований установ-

лено, что процентное содержание фосфора в зерне ярового ячменя на оптимальном фоне составило в среднем 0,6 %, при этом вынос фосфора с урожаем был наиболее высоким при обработке семян микроэлементами: селеном – 82 мг/сосуд, кремнием – 80 мг/сосуд, селен+кремний – 103 мг/сосуд. Кремний и совместное применение селена и кремния положительно отразились на величине накопления фосфора зерном ярового ячменя при повышенной концентрации кадмия в почве. Вынос фосфора по сравнению с контролем увеличился на 5,2 и 6,7 % соответственно. При этом применение селена в предпосевную обработку снизило накопление фосфора в растениях, что связано с более низкой урожайностью зерна на этом варианте. Достоверного влияния изучаемых факторов на накопление фосфора в соломе отмечено не было.

Высокая концентрация ионов калия (50–100 мМ) является характерной особенностью всех растительных и животных клеток, благодаря им осуществляются процессы биосинтеза белка, фотосинтез, дыхание, синтез крахмала, жиров и углеводов. При этом в зерне содержится примерно в 4 раза больше азота и фосфора, чем в соломе, а калия и кальция в соломе в 2–3 раза больше, чем в зерне [4]. При оптимальных условиях выращивания ярового ячменя изменений в содержании калия от предпосевного применения микроэлементов в зерне и соломе не наблюдалось. В среднем оно составило 0,3 % в зерне и 1 % в соломе. Обработка семян селеном на фоне повышенного содержания кадмия в почве увеличила содержание калия в зерне на 33,3 %, а селеном – на 16,7 %, по сравнению с вариантом без обработки семян. Совместное применение обоих микроэлементов не повлияло на содержание калия в зерне, но при этом увеличился вынос калия с соломой. При оптимальных условиях выращивания и совместном применении микроэлементов вынос калия с соломой составил 157–180 г/сосуд, вынос без обработки семян – 147 г/сосуд. На фоне повышенной концентрации кадмия вынос калия увеличился только при обработке семян кремнием и при совместном применении кремния и селена. Это связано с положительным влиянием кремния на накопление калия в соломе и практически не связано с увеличением ее урожайности. Вынос калия составил при применении кремния – 374 мг/сосуд, при совместной обработке селеном и кремнием – 390 мг/сосуд, что на 11 и 16 % выше, чем на контроле.

Согласно некоторым исследованиям, повышенная концентрация кадмия в почве снижает содержания фосфора, кальция, магния, железа и цинка в растениях [3]. Накопление тяжелых металлов растениями на фоне загрязнения почвы кадмием еще недостаточно изучено. В результате экспериментальной работы получены данные, согласно которым загрязнение почвы кадмием, в 41 раз превышающее фоновое значения для дерново-подзолистых почв, увеличивало его содержание в растениях в 35 раз. Это превышает максимально допустимый уровень (МДУ) тяжелых металлов в растениях в 25 раз (таблица). При этом предпосевная обработка семян селеном и кремнием незначительно способствовала накоплению кадмия в растениях, но снижала накопление свинца. В оптимальных условиях выращивания содержание свинца в среднем по опыту составило 2,95 мг/кг почвы, при этом наблюдалось повышенное накопление кадмия растениями при обработке семян кремнием, практически доходящее до уровня МДУ – 4,9 мг/кг почвы. Применение предпо-

севной обработки семян микроэлементами на фоне высокой концентрации кадмия в почве способствовало значительному сокращению накопления свинца в растениях. Обработка семян только селеном снижала этот показатель на 51,7 %, только кремнием на 17,2 %, совместное применение селена и кремния – на 27,6 % относительно контроля. Все показатели были в 2–3 раза ниже МДУ. В опыте не наблюдалось значительного снижения накопления растениями цинка на почвах, загрязненных кадмием, что не подтверждает результаты, полученные в других исследованиях.

Влияние высокой концентрации кадмия в почве и обработки семян микроэлементами на содержание в зерне ярового ячменя микроэлементов, мг/кг почвы

Условия выращивания	Предпосевная обработка семян	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
Opt	H ₂ O	0,20	2,4	33,5	5,1	2,1	1,1
	Se	0,13	3,4	27,4	3,7	1,4	1,3
	Si	0,18	4,9	37,8	4,7	2,0	1,7
	Se+Si	0,13	1,1	31,3	5,0	1,9	1,5
Cd	H ₂ O	7,00	2,9	37,8	4,3	4,0	1,8
	Se	7,80	1,4	38,6	5,6	2,7	0,6
	Si	7,90	0,9	38,1	4,3	2,7	0,8
	Se+Si	7,10	1,7	36,5	4,1	2,8	1,1
Максимально допустимый уровень		0,3	5,0	50	30	1,0	0,5

The influence of high cadmium concentration in soil and seed treatment with microelements on the micronutrient content in the spring barley grain, mg/kg of soil

Growing conditions	Presowing seed handling	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
Opt	H ₂ O	0.20	2.4	33.5	5.1	2.1	1.1
	Se	0.13	3.4	27.4	3.7	1.4	1.3
	Si	0.18	4.9	37.8	4.7	2.0	1.7
	Se+Si	0.13	1.1	31.3	5.0	1.9	1.5
Cd	H ₂ O	7.00	2.9	37.8	4.3	4.0	1.8
	Se	7.80	1.4	38.6	5.6	2.7	0.6
	Si	7.90	0.9	38.1	4.3	2.7	0.8
	Se+Si	7.10	1.7	36.5	4.1	2.8	1.1
Maximum allowable level		0,3	5,0	50	30	1,0	0,5

Заключение

Техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами усиливается с каждым годом и значительно сказывается на урожайности и безопасности потребления растениеводческой и животноводческой продукции человеком. Сельскохозяйственные угодья, расположенные в районах промышленного значения, в близкой доступности к транспортным магистралям и крупным городам, наиболее сильно подвержены загрязнению почв тяжелыми металлами. Осадки сточных вод крупных городов, таких как Москва и Санкт-Петербург, содержат значительное количество кадмия – от 5 до 125 кг/кг почвы, который наряду с мышьяком считается наиболее опасным тяжелым элементом, загрязняющим почву. Уже имеющиеся данные о негативном воздействии кадмия на сельскохозяйственные растения и организм человека приводят к необходимости выведения полей, сильно загрязненных кадмием, из сельско-

хозяйственного оборота, однако это резко снижает валовое производство продукции, необходимой при дальнейшем росте населения планеты. Исследования, направленные на изучение механизмов адаптации выращиваемых сельскохозяйственных растений в условиях загрязнения почв кадмием, должны решить ряд проблем с обеспечением населения качественным продовольствием. Применение микроэлементов, обладающих стресс-протекторным действием, таких как селен и кремний, позволяет увеличить урожайность сельскохозяйственной продукции в оптимальных условиях и сохранить ее уровень при неблагоприятных.

Список литературы

- [1] Алексеев В.А., Алещукин Л.В., Безпалько Л.Е. Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. 200 с.
- [2] Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, Ленинградское отделение, 1987. 142 с.
- [3] Черных Н.А. Изменение содержания ряда химических элементов в растения под действием различных количеств тяжелых металлов в почве // *Агрохимия*. 1991. № 3. С. 68–76.
- [4] Ягодин Б.А., Кидин В.В., Цвирко Э.А., Маркелова В.Н., Саблина С.М. Тяжелые металлы в системе почва – растение // *Агрохимический вестник*. 1996. № 5. С. 43–45.
- [5] Головатый С.Е., Жигарев П.Ф., Панкруская Л.И. Поступление кадмия в сельскохозяйственные растения // *Агрохимия*. 2000. № 1. С. 81–85.
- [6] Ильин В.Б. Фоновое содержание кадмия в почвах Западной Сибири // *Агрохимия*. 1991. № 5. С. 103–108.
- [7] Авраменко П.М., Лукин С.В. Тяжелые металлы в почвах Белгородской области // *Агрохимический вестник*. 1998. № 5. С. 13–14.
- [8] Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрение / под общ. ред. М.М. Овчаренко. М.: ЦИНАО, 1997. 290 с.
- [9] Обухов А.И., Плеханова И.О. Детоксикация дерново-подзолистых почв, загрязненных тяжелыми металлами: теоретические и практические аспекты // *Агрохимия*. 1995. № 2. С. 108–116.
- [10] Степанюк В.В. Влияние сочетания тяжелых металлов на урожай сельскохозяйственных культур и поступление тяжелых металлов в растения // *Агрохимия*. 2000. № 1. С. 74–80.

References

- [1] Alekseenko VA, Aleshchukin LV, Bezpalko LE. *Zinc and cadmium in the environment*. Moscow: Nauka Publ.; 1992. (In Russ.)
- [2] Alekseev YuV. *Heavy metals in soil and plants*. Leningrad: Agropromizdat, Leningradskoie otделение Publ.; 1987. (In Russ.)
- [3] Chernykh NA. Changes in the content of some chemical elements in plants under the influence of different amounts of heavy metals in the soil. *Agrochemistry*. 1991;(3):68–76. (In Russ.)
- [4] Yagodin BA, Kidin VV, Tsvirko EA, Markelova VN, Sablina SM. Heavy metals in the soil – plant system. *Agrochemical Bulletin*. 1996;(5):43–45. (In Russ.)
- [5] Golovatyı SE, Zhigarev PF, Pankrutskaya LI. Cadmium intake in the agricultural plants. *Agrochemistry*. 2000;(1):81–85. (In Russ.)

- [6] Ilin VB. Cadmium background content in the soils of Western Siberia. *Agrochimistry*. 1991;(5):103–108. (In Russ.)
- [7] Avramenko PM, Lukin SV. Heavy metals in the soils of Belgorod Region. *Agrochimistry*. 1998;(5):13–14. (In Russ.)
- [8] Ovcharenko MM. (ed.) *Heavy metals in the soil – plant – fertilizer system*. Moscow: TsINAOPubl.; 1997. (In Russ.)
- [9] Obukhov AI, Plekhanova IO. Detoxification of derno-podzolic soils, polluted by heavy metals: conceptual and practical aspects. *Agrochimistry*. 1995;(2):108–116. (In Russ.)
- [10] Stepanyuk VV. Influence of heavy metals combinations on agricultural crop yield and the intake of heavy metals in the plants. *Agrochimistry*. 2000;(1):74–80. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Лапушкина Анастасия Андреевна, кандидат биологических наук, главный агрохимик, Московский центр агрохимической службы. ORCID: 0000-0002-7184-3588, eLIBRARY SPIN-код: 5661-8063. E-mail: Noisia4u@yandex.ru

Аленичева Анастасия Дмитриевна, младший научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации, Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина, Российская академия наук. ORCID: 0000-0002-3479-5994, eLIBRARY SPIN-код: 9859-5459. E-mail: alenicheva_a@mail.ru

Верниченко Игорь Васильевич, доктор биологических наук, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева. ORCID: 0000-0001-9614-7020, eLIBRARY SPIN-код: 4960-8922. E-mail: i.vernichenko@gmail.com

Шуклина Ольга Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации, Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина, Российская академия наук. eLIBRARY SPIN-код: 2110-4103. E-mail: oashuklina@gmail.com

Ворончихина Ирина Николаевна, научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации, Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина, Российская академия наук. ORCID: 0000-0002-0639-2709, eLIBRARY SPIN-код: 9967-5608. E-mail: yarinkapanfilova@gmail.com

Bio notes:

Anastasia A. Lapushkina, PhD in Biology, chief agrochemist, Moscow Center of Agrochemical Service. ORCID: 0000-0002-7184-3588, eLIBRARY SPIN-code: 5661-8063. E-mail: Noisia4u@yandex.ru

Anastasia D. Alenicheva, junior researcher, Department of Distant Hybridization, Main Botanical Garden named after N. Tsitsin, Russian Academy of Sciences. ORCID: 0000-0002-3479-5994, eLIBRARY SPIN-code: 9859-5459. E-mail: alenicheva_a@mail.ru

Igor V. Vernichenko, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. ORCID: 0000-0001-9614-7020, eLIBRARY SPIN-code: 4960-8922. E-mail: i.vernichenko@gmail.com

Olga A. Shchuklina, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher, Department of Distant Hybridization, Main Botanical Garden named after N. Tsitsin, Russian Academy of Sciences. eLIBRARY SPIN-code: 2110-4103. E-mail: oashuklina@gmail.com

Irina N. Voronchikhina, researcher, Department of Distant Hybridization, Main Botanical Garden named after N. Tsitsin, Russian Academy of Sciences. ORCID: 0000-0002-0639-2709, eLIBRARY SPIN-code: 9967-5608. E-mail: yarinkapanfilova@gmail.com