

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОВОЩНЫХ РАСТЕНИЙ В НАКОПЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

BIOLOGICAL FEATURES OF VEGETABLE PLANTS IN THE ACCUMULATION OF HEAVY METALS

V. Zubkova
E. Khanipova
M. Soshenko
V. Shmyrev

Summary. The article represents the data of plants' chemical composition grown under the conditions of technogenic load. Plants differ from each other in their ability to accumulate heavy metals. The fluctuations in the elemental composition are related both to the type of a plant and to the concentration of heavy metals in the soil. According to the total accumulation of heavy metals per unit of a product of natural moisture, these plants can be ranged in the following decreasing sequence: onion > beet > garden radish > potato > carrot > cabbage.

Keywords: heavy metals, plants, soil, anthropogenic load, maximum permissible concentration.

Зубкова Валентина Михайловна

Д.б.н., профессор, Российский государственный социальный университет (Москва)
vmzubkova@yandex.ru

Ханипова Элина Ринатовна

Аспирант, Российский государственный социальный университет (Москва)
emolinka@mail.ru

Сошенко Марина Владимировна

К.т.н., Российский государственный социальный университет (Москва)
soshenkomv@rgsu.net

Шмырев Виктор Иванович

К.т.н., Российский государственный социальный университет (Москва)
shmyrevvi@rgsu.net

Аннотация. В статье приведены данные по химическому составу растений, выращенных в условиях техногенной нагрузки. Растения отличались по своей способности накапливать тяжелые металлы. Колебания элементного состава связаны как с видом растений, так и с концентрацией тяжелых металлов в почве. По суммарному накоплению тяжелых металлов на единицу продукции естественной влажности изучаемые растения можно расположить в следующий убывающий ряд: лук > свекла > редис > картофель > морковь > капуста.

Ключевые слова: тяжелые металлы, растения, почва, антропогенная нагрузка, предельно допустимая концентрация.

В настоящее время в нашей стране широко развито коллективное и индивидуальное огородничество. Овощи, столовые корнеплоды, картофель, различаясь между собой по ботаническим и физиологическим особенностям, характеру роста и развития, потребности в питательных элементах, содержанию углеводов, минеральных солей, витаминов, имеют исключительно большое значение для питания человека. При этом, характеризуясь высоким выносом элементов питания урожаями, они играют существенную роль в геохимическом круговороте, в том числе, в поступлении загрязняющих веществ в пищевые цепи [8].

Благодаря различным морфологическим и физиологическим свойствам огородные растения способны накапливать различные количества тяжелых металлов и проявлять различную устойчивость к их концентрации в почве [4].

Поэтому повышение продуктивности растениеводства, особенно овощеводства, должно быть неразрывно связано с контролем качества получаемой продукции.

Широкий диапазон колебаний тяжелых металлов (ТМ) в растениях обусловлен действием различных факторов, в том числе наличием геохимических аномалий, загрязнением, свойствами почв, способностью генотипа накапливать тот или иной элемент [7].

Целью наших исследований явилась агроэкологическая оценка овощных растений в накоплении ТМ, в том числе в условиях техногенной нагрузки на почву.

Материалы и методы исследований

Агроэкологическое обследование почв и растений проведено в период с 2015 по 2016 гг. на приусадебных участках, расположенных на различном удалении от крупного промышленного центра города Стерлитамак Республики Башкортостан (с. Рошинский, д. Бугуруслановка, д. Максютово).

Главными антропогенными источниками загрязнения окружающей среды ТМ в районе исследований яв-

Таблица 1. Влияние биологических особенностей растений на накопление ими тяжелых металлов (основная продукция), мг/кг

Растение	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Mn
Картофель	0,02± 0,001	0,06± 0,008	2,41± 0,19	1,51± 0,051	0,24± 0,033	0,35± 0,041	1,39± 0,14
Морковь	0,01± 0,001	0,08± 0,005	1,96± 0,09	0,59± 0,043	0,17± 0,005	0,19± 0,008	2,43± 0,29
Свекла	0,02± 0,001	0,09± 0,003	2,82± 0,28	1,77± 0,16	0,15± 0,005	0,18± 0,003	2,29± 0,08
Редис	0,02± 0,002	0,15± 0,011	3,39± 0,22	0,67± 0,04	0,11± 0,009	0,11± 0,007	1,97± 0,17
Капуста	0,01± 0,001	0,14± 0,09	1,80± 0,17	0,87± 0,06	0,33± 0,021	0,22± 0,01	1,69± 0,13
Лук	0,03± 0,02	0,86± 0,06	6,18± 0,55	2,73± 0,18	1,00± 0,007	0,29± 0,031	1,99± 0,13
ПДК	0,03	0,5	10,0	5,0	0,5	0,2	-

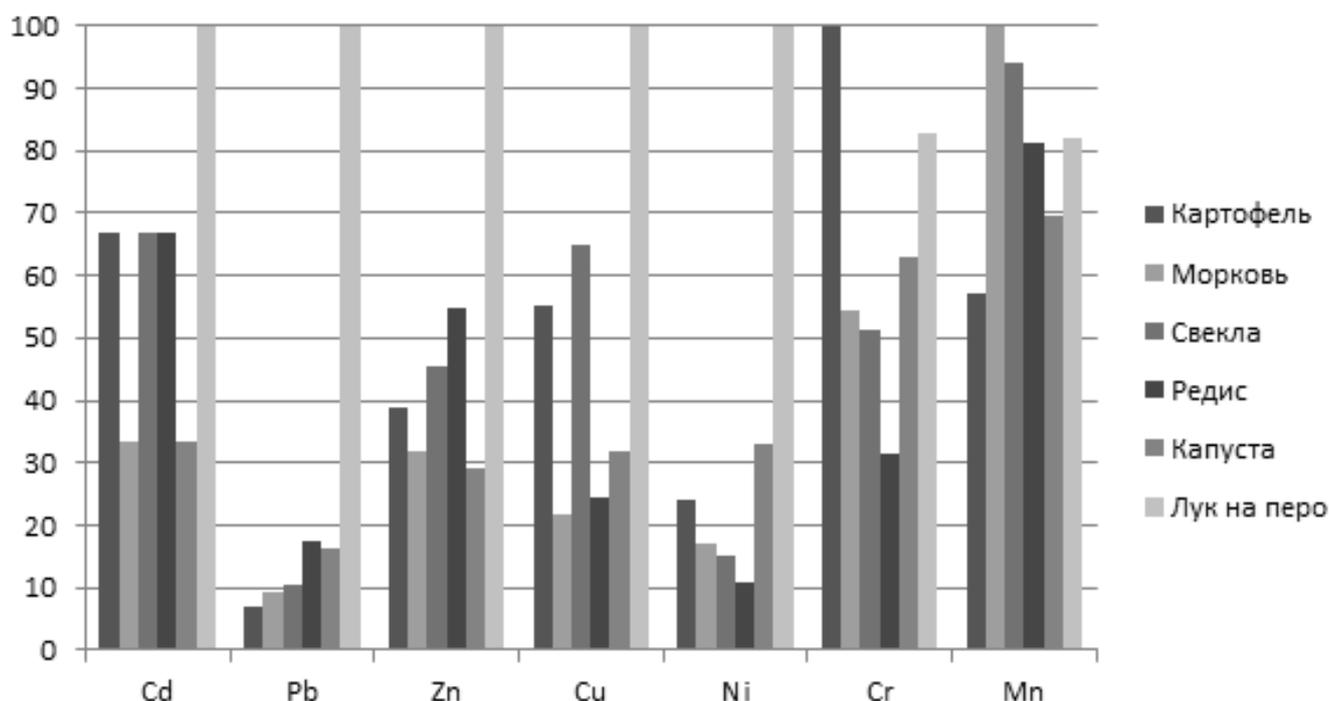


Рис. 1. Содержание ТМ в изучаемых растениях, % от максимального

ляются нефтехимическая промышленность (Hg, Zn, Cu, Cr, As), машиностроение (Pb, Zn, Ni, Cr), сельское хозяйство (Pb, Cd, Zn, As, Hg, Cr, Ni) [2].

Почва, на которой проводили исследования — выщелоченный чернозем тяжелосуглинистый со слабокислой реакцией среды (pH=5,1–5,5), содержанием гумуса 8–10%.

Отбор проб и определение содержания ТМ в почве и растениях осуществляли в соответствии с методическими указаниями по определению ТМ в почвах сельскохозяйственных и продуктивных растениеводства.

Подвижные и потенциально доступные формы ТМ извлекали из почвы соответственно ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4,8 и 1 М азотной кислотой. Метод определения тяжелых металлов — атомно-абсорбционный.

Обработка результатов исследований осуществлена статистическими методами [3].

Погодные условия в годы проведения исследования в целом были благоприятными для возделывания овощных культур.

Таблица 2. Среднее содержание тяжелых металлов в побочной продукции, мг/кг

Растение	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Mn
Картофель	0,21± 0,01	0,05± 0,003	1,72± 0,16	0,58± 0,05	0,86± 0,07	0,85± 0,04	6,13± 0,44
Морковь	0,02± 0,001	0,62± 0,04	1,53± 0,11	1,09± 0,09	0,77± 0,05	0,42± 0,003	5,72± 0,36
Свекла	0,04± 0,001	0,93± 0,08	1,82± 0,15	2,07± 0,19	0,98± 0,09	0,26± 0,03	1,65± 0,18

Таблица 3. Среднее содержание тяжелых металлов в почве приусадебных участков, разноудаленных от источников загрязнения

Показатель	с. Роцинский	д. Бугуруслановка	д. Максютово	ПДК (ОДК)	Фоновое содержание
Cd	$\frac{0,27 \pm 0,01}{0,09 \pm 0,004}$	$\frac{0,27 \pm 0,01}{0,09 \pm 0,004}$	$\frac{0,29 \pm 0,01}{0,11 \pm 0,004}$	$\frac{3}{0,5}$	$\frac{0,07 \pm 0,003}{0,04 \pm 0,002}$
Pb	$\frac{13,55 \pm 0,81}{0,80 \pm 0,05}$	$\frac{14,59 \pm 0,88}{1,18 \pm 0,07}$	$\frac{23,56 \pm 1,41}{1,21 \pm 0,07}$	$\frac{125}{32}$	$\frac{6,29 \pm 0,38}{0,16 \pm 0,01}$
Zn	$\frac{73,36 \pm 4,40}{4,03 \pm 0,24}$	$\frac{83,25 \pm 4,99}{6,80 \pm 0,47}$	$\frac{86,39 \pm 5,18}{6,47 \pm 0,39}$	$\frac{500}{23}$	$\frac{41,86 \pm 2,51}{0,42 \pm 0,03}$
Cu	$\frac{29,74 \pm 1,49}{0,27 \pm 0,02}$	$\frac{23,78 \pm 1,19}{0,27 \pm 0,02}$	$\frac{26,32 \pm 1,32}{0,21 \pm 0,01}$	$\frac{200}{3}$	$\frac{19,20 \pm 0,96}{0,06 \pm 0,003}$
Ni	$\frac{69,19 \pm 4,84}{1,33 \pm 0,09}$	$\frac{72,84 \pm 5,10}{0,97 \pm 0,07}$	$\frac{71,47 \pm 5,00}{0,74 \pm 0,05}$	$\frac{150}{4}$	$\frac{35,86 \pm 2,51}{0,71 \pm 0,05}$
Cr	$\frac{151,50 \pm 4,55}{0,56 \pm 0,02}$	$\frac{114,18 \pm 3,43}{0,71 \pm 0,02}$	$\frac{123,23 \pm 3,70}{0,60 \pm 0,02}$	$\frac{250}{6}$	$\frac{79,95 \pm 2,40}{0,58 \pm 0,17}$
Mn	$\frac{531,16 \pm 5,31}{78,76 \pm 2,36}$	$\frac{474,67 \pm 4,74}{114,03 \pm 3,42}$	$\frac{475,14 \pm 4,75}{126,79 \pm 3,80}$	$\frac{1500}{700}$	$\frac{544,50 \pm 5,44}{70,53 \pm 2,12}$

*В числителе — валовая, в знаменателе — подвижная формы тяжелых металлов

Результаты исследований

Состояние здоровья человека во многом определяется экологической безопасностью пищевых продуктов. При производстве овощей необходимо контролировать, в первую очередь, такие показатели как остаточные количества пестицидов, содержание нитратов, ТМ.

Наши исследования, проведенные с культурами, отобранными на приусадебных участках, находящихся в зоне техногенной нагрузки, показали, что различные виды растений, принадлежащие к различным семействам, резко отличались по своей способности накапливать ТМ (таблица 1). Так, максимальное содержание Cd, Pb, Zn, Cu и Ni отмечено в луковичах лука, Cr — в картофеле, Mn — в моркови (рисунок 1).

По содержанию ТМ не вся растительная продукция являлась безопасной для человека. В моркови, свекле и редисе средние содержания всех изучаемых тяжелых металлов не превышали предельно допустимых концентраций (ПДК). В картофеле и капусте сверх ПДК накапливался Cr. Наиболее загрязненной оказалась товарная продукция лука. В ней превышены ПДК четырех токсичных элементов (рисунок 1).

По суммарному накоплению ТМ на единицу продукции естественной влажности изучаемые растения можно расположить в следующий убывающий ряд: лук > свекла > редис > картофель > морковь > капуста.

Исследуя содержание ТМ в органах накопления ассимилятов, можно отметить, что механизмы, препятствующие транспорту в них загрязнителей особенно действенны в отношении Cd у картофеля (содержание в ботве в 10 раз больше, чем в клубнях) и в отношении Pb — у свеклы и моркови (в ботве содержание ТМ больше, чем в корнеплодах в 10 и 8 раз соответственно).

Ni в ботве картофеля, моркови и свеклы накапливается 3,6; 4,5; 6,5, а Cr в 2,4; 2,5; 1,4 раза соответственно больше, чем в органах запасаения ассимилятов (таблица 2). У картофеля не выявлено защитного действия по отношению к Pb и Cu при поступлении их в клубни, а Mn — в корнеплоды свеклы.

С практической точки зрения приведенные данные означают, что острота возникающих ситуаций в районах с загрязненными, но используемыми в сельском хозяйстве почвами, будет неодинаковой в зависимости от того, какая часть растения включается в пищевую цепь.

Таблица 4. Среднее содержание тяжелых металлов в некоторых видах растительного сырья, отобранных на приусадебных участках, мг/кг

Культура	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Mn
	ПДК, мг/кг						
	0,03	0,5	10,0	5,0	0,5	0,2	-
1-й участок (территория, прилегающая к с. Рошинский)							
Картофель	0,01± 0,001	0,01± 0,003	2,44± 0,15	0,48± 0,04	0,19± 0,01	0,39± 0,02	1,31± 0,15
Морковь	0,01± 0,001	0,06± 0,002	2,66± 0,21	0,73± 0,06	0,19± 0,02	0,15± 0,01	4,23± 0,40
Свекла	0,03± 0,002	0,06± 0,003	4,51± 0,19	0,84± 0,05	0,18± 0,02	0,17± 0,01	0,96± 0,08
Редис	0,02± 0,002	0,14± 0,01	3,37± 0,22	0,77± 0,05	0,11± 0,008	0,14± 0,009	1,90± 0,16
Капуста	0,06± 0,003	0,12± 0,01	5,51± 0,38	1,17± 0,11	0,37± 0,06	0,31± 0,03	1,96± 0,19
Лук на перо	0,02± 0,02	0,84± 0,07	6,10± 0,54	2,93± 0,20	0,91± 0,07	0,32± 0,03	1,95± 0,11
2-й участок (территория, прилегающая к д. Бугуруслановка)							
Картофель	0,02± 0,002	0,02± 0,002	2,31± 0,12	0,52± 0,05	0,27± 0,02	0,33± 0,02	1,37± 0,12
Морковь	0,01± 0,001	0,11± 0,01	1,96± 0,16	0,53± 0,05	0,13± 0,01	0,17± 0,01	2,44± 0,21
Свекла	0,02± 0,002	0,08± 0,006	5,13± 0,41	0,85± 0,06	0,11± 0,01	0,20± 0,02	4,52± 0,40
Редис	0,02± 0,002	0,17± 0,02	3,41± 0,22	0,65± 0,04	0,16± 0,01	0,12± 0,01	1,93± 0,15
Капуста	0,03± 0,001	0,09± 0,01	5,72± 0,40	0,75± 0,04	0,57± 0,008	0,22± 0,01	1,92± 0,08
Лук на перо	0,02± 0,02	0,89± 0,07	6,18± 0,51	2,63± 0,19	1,08± 0,08	0,27± 0,03	2,00± 0,15
3-й участок (территория, прилегающая к д. Максютово)							
Картофель	0,01± 0,001	0,14± 0,02	2,47± 0,19	0,45± 0,03	0,23± 0,02	0,33± 0,02	1,49± 0,13
Морковь	0,01± 0,001	0,05± 0,006	1,51± 0,14	0,52± 0,03	0,19± 0,01	0,25± 0,02	5,82± 0,48
Свекла	0,03± 0,003	0,10± 0,001	10,05± 1,23	0,73± 0,06	0,18± 0,01	0,19± 0,01	0,99± 0,08
Редис	0,02± 0,001	0,19± 0,01	3,49± 0,22	0,71± 0,06	0,12± 0,01	0,12± 0,01	1,97± 0,18
Капуста	0,07± 0,001	0,15± 0,01	5,82± 0,44	0,85± 0,04	0,39± 0,008	0,23± 0,01	1,95± 0,08
Лук на перо	0,03± 0,02	0,91± 0,07	6,38± 0,51	2,73± 0,18	1,03± 0,09	0,29± 0,031	1,99± 0,16

Вместе с тем, антропогенная нагрузка в изучаемом регионе такова, что загрязнение продукции всеми элементами можно рассматривать как незначительное, но достаточно стабильное. Помимо очевидных биогенов Zn, Cu, Mn в товарной части всех овощей обнаружены Cd, Pb, Ni, Cr.

Выделение нами трех участков разноудаленных от источников загрязнения показало неоднозначность в содержании тяжелых металлов в почве и растениях (таблица 3, рисунок 2) [6].

Определение коэффициентов концентрации валовых форм ТМ в почве показало, что на первом участке отмечено наибольшее превышения фоновых значений по Cu (в 1,6 раза) и Cr (в 1,9 раза), на втором — Ni (в 2 раза), на третьем — Pb, Cd и Zn (соответственно в 3,8; 4,1 и 2, раза). Наибольшим коэффициентом суммарного загрязнения по валовым формам характеризовался третий участок. При этом не выявлено превышений ПДК ни по одному из элементов.

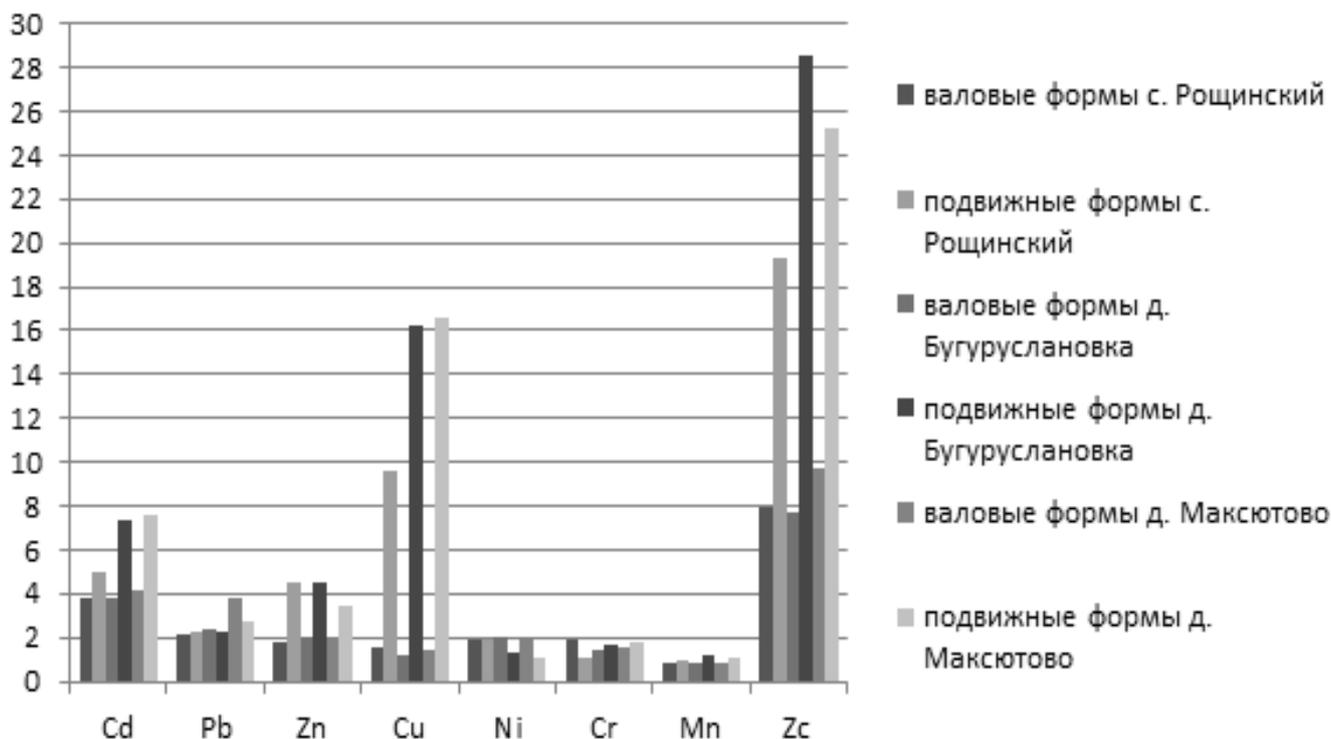


Рис. 2. Коэффициенты суммарного загрязнения почв опытных участков

Оценка уровня загрязнения почвы как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения по подвижным формам ТМ указывает на существенное превышение их концентраций по сравнению с фоновыми значениями: по Cd в 3,9–7,6; Pb — 2,3–2,8; Zn — 3,5–4,5; Cu — 9,6–16,6; Ni — 1,1–1,9; Cr — 1,1–1,8 раза.

Анализ распределения такого геохимического показателя как коэффициент суммарного загрязнения, указывая на пространственную структуру загрязнения изучаемых территорий, позволяет выделить зоны риска для здоровья населения как допустимую по содержанию валовых форм ТМ и умеренно опасную по содержанию подвижных форм.

Анализ растительной продукции на содержание ТМ свидетельствуют о том, что на всех участках капуста и картофель не являются безопасными по Cr. На втором участке капуста также небезопасна по Cd и Ni, третьем участке — по Cd (таблица 4).

Лук на всех участках загрязнен Pb и Cr, а на третьем участке еще Cd и Zn.

На втором участке корнеплоды свеклы загрязнены Cr, а на третьем Cd и Zn. В моркови на третьем участке превышены ПДК по Cr. В редисе все ТМ находятся в пределах ПДК.

Очевидно, что колебания элементного химического состава растений вызваны действием совокупности различных факторов в каждом конкретном случае. Условно эти факторы можно подразделить на три большие группы: генетические, экологические и возрастные [5].

Таким образом, приведенные данные позволяют оценить изучаемую территорию и получаемую на ней продукцию как умеренно опасную. Защита пищевых цепей от загрязнения ТМ может осуществляться посредством использования мощного адаптивного потенциала растений по устойчивости к эдафическим факторам среды [1]. Защита обеспечивается способностью растений за счет механизмов поглощения и нейтрализации ТМ накапливать относительно низкое их содержание в товарной части продукции.

Но даже при допустимых количествах ТМ в почвах в условиях антропогенной нагрузки необходим регулярный контроль за их содержанием в почвах и растениях, а также осуществление мероприятий, направленных на детоксикацию.

При критическом уровне содержания ТМ в почве и невозможности получения товарной продукции с их допустимым количеством необходимо провести на загрязненных почвах оценку продуктивности культур, используемых в качестве сырья в перерабатывающей промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барсукова В. С. Физиолого-генетические аспекты устойчивости растений к тяжелым металлам. — Новосибирск, 1997. — 63 с.
2. Даукаев Р. А. Комплексная гигиеническая оценка загрязнения тяжелыми металлами техногенных территорий Республики Башкортостан: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 14.02.01/ Даукаев Рустем Аскарлович. — Мытищи, 2010. — 11 с.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). — М.: Агропромиздат, 1985. — 351 с.
4. Еськов Е. К., Зубков Н. В., Зубкова В. М., Вытнов А. И. Миграция тяжелых металлов в трофических цепях агроценозов в условиях антропогенной нагрузки // Аграрная Россия. — 2012. — № 9. — С. 40–43.
5. Ильин В. Б. Элементный химический состав растений. — Новосибирск: Наука, 1985. — 129 с.
6. Ханипова Э. Р. Анализ валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах Стерлитамакского района // Материалы XXIV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2017», 2017, С. 152–153.
7. Черных Н. А., Овчаренко М. М. Тяжелые металлы и радионуклиды в биогеоценозах. Учебное пособие. — М.: Агроконсалт, 2002. — 200 с.
8. Ягодин Б. А. Тяжелые металлы и здоровье человека // Химия в сельском хозяйстве. — 1995. — № 4. — С. 18–20.

© Зубкова Валентина Михайловна (vmzubkova@yandex.ru), Ханипова Элина Ринатовна (emolinka@mail.ru),

Сошенко Марина Владимировна (soshenkovm@rgsu.net), Шмырев Виктор Иванович (shmyrevvi@rgsu.net).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

