

Абиотические стрессы и устойчивость к ним у земляники

УДК 634.75:631.81.081:581.192.6

doi: 10.15389/agrobiol.2014.5.113rus

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНАХ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**О.А. ВЕТРОВА, М.Н. КУЗНЕЦОВ, Е.В. ЛЕОНИЧЕВА, С.М. МОТЫЛЕВА,
М.Е. МЕРТВИЩЕВА**

Крупные промышленные плантации и участки садоводов-любителей часто расположены в зоне влияния промышленных центров, где велик риск накопления тяжелых металлов (фоновые показатели по Cu , Zn и Pb могут быть превышены в 4-55 раз). В растительном организме на границах «корень—стебель», «стебель—лист» и «стебель—репродуктивные органы» существуют физиологические барьеры, препятствующие поступлению токсикантов в плоды. В 2006-2008 годах в Мценском районе Орловской области в условиях полиэлементного техногенного загрязнения светло-серой лесной почвы нами изучено содержание свинца, никеля, цинка, железа и меди в вегетативных органах (корни, корневища, черешки листьев, листья) и плодах у четырех сортов земляники садовой *Fragaria* × *ananassa* (Duchesne ex Weston): Рубиновый кулон, Мамочка, Былинная и Богема. Для каждого элемента наблюдали специфическое распределение в органах растений, особенности которого зависели от физиологического значения элемента, его химических свойств и техногенной нагрузки. В то же время были отмечены существенные сортовые различия. У сортов Рубиновый кулон, Мамочка и Былинная листья содержали больше свинца, чем корни, что может объясняться дополнительным фолитарным поглощением элемента из атмосферы. У сорта Богема наблюдалось постепенное снижение аккумуляции свинца в ряду корни—корневища—листья—плоды. Заметная фиксация никеля в корнях отмечена только у сорта Мамочка. У остальных сортов плоды содержали достоверно больше никеля, чем подземные органы. Распределение цинка и железа по органам было обусловлено генетическими особенностями сортов земляники. Цинк не накапливался в вегетативных органах у сортов Рубиновый кулон и Мамочка. В корнях у сорта Богема и в корневищах у сорта Былинная, напротив, наблюдалась высокая аккумуляция этого элемента. Растения сортов Рубиновый кулон, Мамочка и Богема содержали железо преимущественно в корнях и плодах, сорт Былинная — в корневищах и черешках листьев. Для Pb — НСР А = 0,24; НСР В = 0,27; НСР АВ = 0,53; для Ni — НСР А = 0,04; НСР В = 0,05; НСР АВ = 0,10; для Zn — НСР А = 0,24; НСР В = 0,27; НСР АВ = 0,53; для Fe — НСР А = 0,79; НСР В = 0,89; НСР АВ = 1,77; для Cu — НСР А = 0,47; НСР В = 0,52; НСР АВ = 1,05 (фактор А — сорта земляники; фактор В — органы растения). Сортовые различия в накоплении тяжелых металлов свидетельствуют о возможности уменьшить экологический риск загрязнения плодов земляники при помощи целенаправленного подбора сортов.

Ключевые слова: земляника, ягодный агроценоз, техногенное загрязнение, тяжелые металлы.

В России на культуру земляники приходится до 70 % от общей площади ягодников, что составляет примерно 125 тыс. га (1). Плоды земляники служат диетическим продуктом и должны быть экологически безопасны. В то же время крупные промышленные плантации и участки садоводов-любителей часто расположены в зоне влияния промышленных центров, где велик риск накопления тяжелых металлов (ТМ) в плодах. По данным Л.А. Изерской с соавт. (2), в почве садово-огородных участков фоновые показатели по Cu , Zn и Pb могут быть превышены в 4-55 раз.

Содержание ТМ в растительной продукции определяется комплексом факторов, основные из которых — видовые особенности растений, физиологическая значимость элементов и их содержание в окружающей среде. Под влиянием этих факторов формируется характерное для вида распределение элементов по органам и тканям.

В растительном организме на границах «корень—стебель», «стебель—лист» и «стебель—репродуктивные органы» существуют физиологические барьеры, препятствующие поступлению токсикантов в плоды (3-5). Эффективность внутренних барьеров в значительной степени определяется генетическими особенностями культур и сортов. В условиях агрогенно-

го загрязнения почвы ТМ действие физиологических барьеров у разных ягодных культур неодинаково. Так, у смородины черной в ягодах содержалось в 30-50 раз меньше Pb, Ni, Zn и Cu, чем в листьях; у крыжовника количество ТМ в листьях превышало соответствующий показатель в плодах не более чем в 15 раз (6).

Способность разных видов растений поглощать ТМ из окружающей среды зависит не только от генетических особенностей, но и от источника загрязнения. Изучая реакцию картофеля на загрязнение почвы выбросами металлургических предприятий, В.Б. Ильин (7) отметил низкую степень защищенности этой культуры при загрязнении тяжелыми металлами, особенно кадмием. Также имеются данные (8), что при внесении в почву осадка сточных вод (1600 т/га), когда содержание Cd достигало 3 ПДК, Zn и Pb — 1,5 ПДК, количество тяжелых металлов в клубнях картофеля было сопоставимо с контролем. Неодинаковая реакция на загрязнение ТМ из разных источников отмечена для ячменя и пшеницы (9, 10).

Поступление ТМ в растения земляники изучалось преимущественно в лабораторных и вегетационных опытах, где фоны по отдельным элементам в почве создавались искусственно при помощи внесения легкорастворимых солей (11, 12).

Целью нашей работы было исследование особенностей накопления тяжелых металлов в вегетативных органах и плодах земляники садовой в условиях реального техногенного загрязнения.

Методика. Микрополевой опыт проводили на землянике сортов Рубиновый кулон, Мамочка, Былинная и Богема в 2006-2008 годах. Плотность посадки — 80×20 см. Площадь делянки — 1,6 м². Повторность опыта 6-кратная. Агротехника стандартная для культуры земляники (13).

Участок, выбранный для исследований, был расположен на расстоянии 1 км от крупного отвала солевых шлаков — отходов предприятия по переработке лома цветных металлов и сплавов (Орловская обл., Мценский р-н). Почва — светло-серая лесная суглинистая, хорошо окультуренная. Содержание гумуса — 3,4 %, подвижного фосфора и обменного калия — соответственно 34,3 и 49,9 мг/100 г почвы, рН_{KCl} 5,4, Н_{гидр.} 3,0 мг-экв/100 г почвы, ЕКО (емкость катионного обмена) — 37,5 мг-экв/100 г почвы.

В 2007-2008 годах определяли содержание ТМ (Pb, Ni, Zn, Fe, Cu) в корнях, корневищах, черешках листьев, листьях и плодах земляники. Количество тяжелых металлов в растительных пробах и подвижных форм ТМ в почве (в вытяжке CH₃COONH₄, рН 4,8) оценивали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (МУК 4.1.053-96; жидкостный микроколоночный хроматограф Миллихром, НПО «Научприбор», Россия), валовое содержание ТМ — рентгенофлуоресцентным методом (спектрометр Спектроскан МАКС-G, НПО «Спектрон», Россия). Агрохимические показатели почвы определяли по стандартным методикам: рН_{KCl} — потенциметрически (ГОСТ 26483-85); содержание подвижного фосфора и обменного калия в почвенных вытяжках — по Чирикову (ГОСТ 26204-84); гумуса — по Тюрину (ГОСТ 26213-84).

Данные обрабатывали методом двухфакторного дисперсионного анализа с использованием программы TVA (ГНУ ВНИИСПК) и пакета Microsoft Excel.

Результаты. Содержание тяжелых металлов в почве опытного участка в сравнении фоновым уровнем и санитарными нормативами было повышенным (табл.).

В исследованиях 1995-2000 годов отмечено превышение ПДК тяжелых металлов в плодах яблони на расстоянии 2-3 км от шлакоотвала (17).

Плоды земляники всех изучаемых сортов, выращенные в условиях техногенного загрязнения, содержали тяжелые металлы в количествах, не превышавших принятые в настоящее время гигиенические нормативы. Однако сопоставление полученных данных со средними фоновыми показателями для этой культуры (18) свидетельствовало о влиянии на минеральный состав внешних техногенных факторов: доля биогенных элементов (Fe, Cu) уменьшилась в 2-4 раза, в составе плодов появились токсичные элементы — Pb и Ni (рис. 1).

Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в почве опытного участка (Орловская обл., Мценский р-н, 2006-2008 годы)

Показатель	Pb	Ni	Zn	Cu
Валовое содержание ($\bar{X} \pm x$)	29,1±0,78	39,3±0,87	65,8±1,69	69,0±2,53
Регионально-фоновое валовое содержание (14)	12,7	15,0	13,4	12,3
ОДК _{вал.} (15)	65,0	40,0	110,0	66,0
Содержание подвижных форм ($\bar{X} \pm x$)	0,45±0,07	0,96±0,08	4,77±0,54	1,5±0,09
ПДК _{подв.} (16)	6,0	4,0	23,0	3,0

Примечание. ОДК_{вал.} и ПДК_{подв.} — соответственно ориентировочно допустимые концентрации тяжелых металлов в почвах (валовое содержание) и предельно-допустимые концентрации подвижных форм тяжелых металлов в почвах.

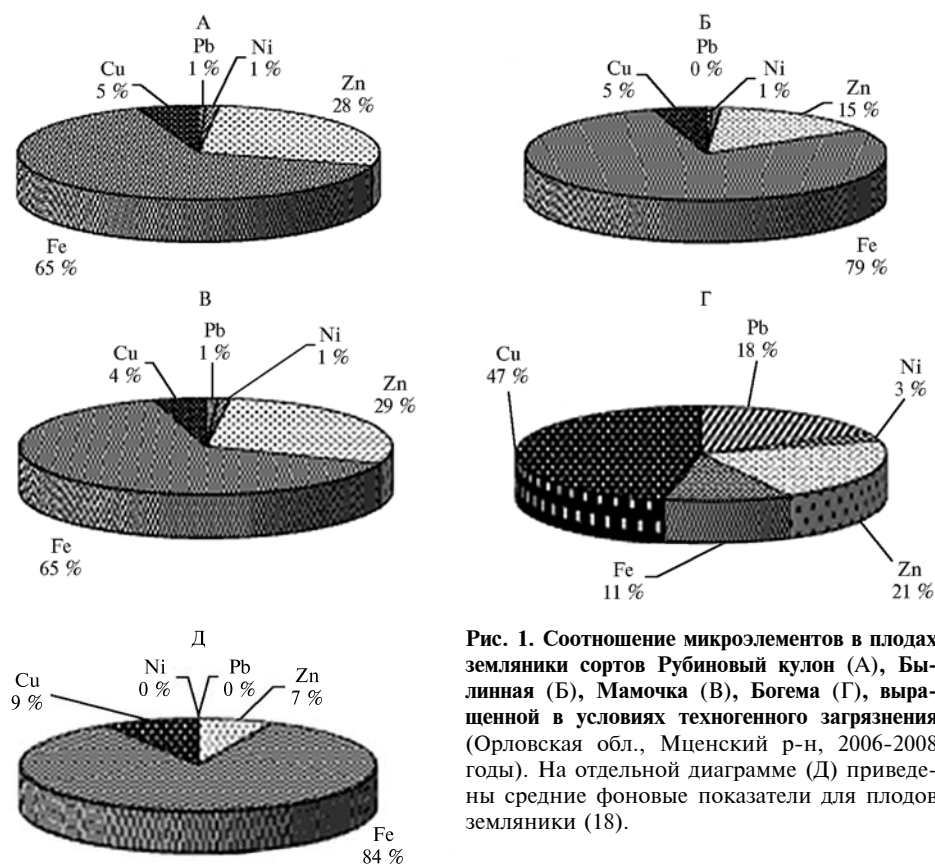
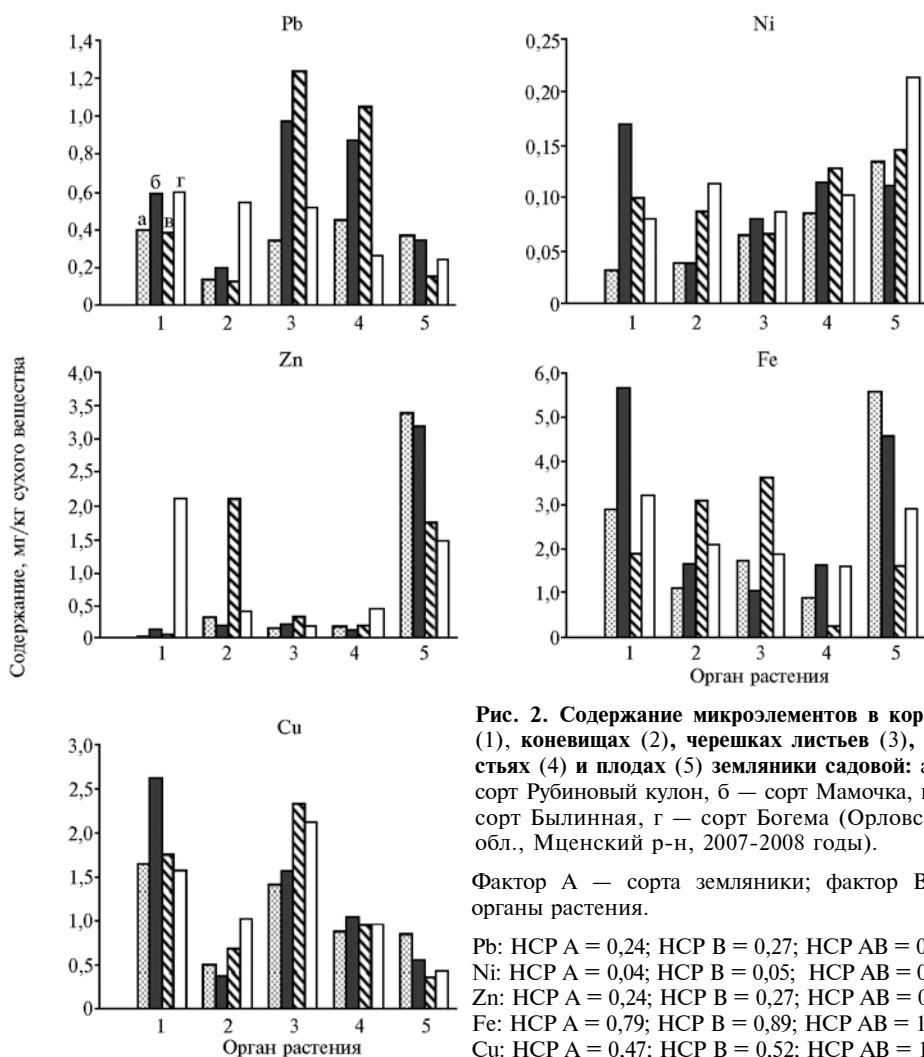


Рис. 1. Соотношение микроэлементов в плодах земляники сортов Рубиновый кулон (А), Былинная (Б), Мамочка (В), Богема (Г), выращенной в условиях техногенного загрязнения (Орловская обл., Мценский р-н, 2006-2008 годы). На отдельной диаграмме (Д) приведены средние фоновые показатели для плодов земляники (18).

Невысокое содержание ТМ в плодах может быть следствием эффективной работы физиологических барьеров в растении. Для каждого металла мы отмечали характерные особенности распределения по органам, которые зависели от физиологической значимости элемента, его химических свойств и техногенной нагрузки. В то же время наблюдались существенные сортовые различия (рис. 2).

В вегетационных опытах Б.К. Цилу (12) 80-95 % свинца, погло-

щенного земляникой, аккумулировалось в многолетних органах. В наших исследованиях на фоне невысокого содержания подвижных форм металла в почве постепенное снижение накопления свинца в ряду корни—корневища—листья—плоды наблюдалось только у сорта Богема. У сортов Рубиновый кулон, Мамочка и Былинная наименьшее количество Рb отмечали в корневищах, а листья содержали больше металла, чем корни, что может объясняться дополнительным фолиарным поглощением Рb из атмосферы.



Никель был распределен в растениях более равномерно. Его валовое содержание в почве практически соответствовало $ОДК_{вал.}$, при этом заметная фиксация Ni в корнях наблюдалась только у сорта Мамочка. У остальных сортов плоды содержали достоверно больше Ni, чем подземные органы. Наши результаты согласуются с данными исследователей, сообщавших, что при корневом поглощении большая часть Ni не локализуется в апопласте, а проникает внутрь клеток (19). В результате транспорта по симпласту никель слабо удерживается эндодермой, свободно проникает в проводящие ткани корня и транспортируется в другие органы. В условиях техногенного загрязнения более высокое содержание Ni в надземных органах у растений земляники по сравнению с корневищами и корнями может также объясняться притоком металла из атмосферы.

Как и в случае с никелем, в вегетативных органах у сортов Рубиновый кулон и Мамочка мы не выявили накопления цинка. Плоды в условиях нашего опыта содержали в 4–20 раз больше этого металла, чем листья, корневища и корни. В то же время наблюдалось накопление Zn в корнях у сорта Богема и в корневищах у сорта Былинная. В результате содержание Zn в плодах у сортов Былинная и Богема было достоверно (в 2 раза) ниже, чем у сортов, не фиксировавших элемент в вегетативных органах.

Плоды у всех изученных сортов содержали больше железа, чем листья, а листья — меньше, чем другие вегетативные органы. Сорта Рубиновый кулон, Мамочка и Богема накапливали Fe преимущественно в корнях и плодах, сорт Былинная характеризовался повышенной аккумуляцией металла в корневищах и черешках листьев. Достоверные сортовые различия (см. рис. 2) в накоплении Fe разными органами свидетельствуют, что поступление элемента определялось преимущественно потребностью самих растений земляники.

Биогенный элемент медь в условиях нашего опыта был приоритетным загрязнителем (содержание в почве выше $ОДК_{вал.}$). Распределение Cu по органам оказалось схожим с распределением свинца: высокая аккумуляция элемента наблюдалась в корнях и в черешках листьев, минимальная — в плодах и корневищах. Такое сходство можно объяснить тем, что медь как загрязнитель удерживается барьерными тканями — эндодермой корней и поясом Каспари. Кроме того, медь и свинец имеют высокое сродство к компонентам корневой слизи и клеточных стенок проводящих тканей. Известно, что по устойчивости связей, образуемых с клеточной стенкой, двухвалентные катионы металлов микроэлементов располагаются в ряду $Cu^{2+} > Zn^{2+} > Mn^{2+}$ (20).

В то же время листья у всех изученных сортов земляники содержали достоверно меньше меди, чем корни. Можно предположить, что корневое поглощение этого элемента в условиях опыта преобладало над фолитарным. Кроме того, эффективно действовал физиологический барьер, препятствующий излишнему поступлению меди в надземные органы.

Таким образом, в условиях реального полиэлементного техногенного загрязнения на примере четырех сортов земляники мы выявили эффективное действие физиологических барьеров в отношении свинца и меди и слабое — в отношении никеля. При этом распределение цинка и железа по органам растений было обусловлено преимущественно генетическими особенностями сортов. Существенные сортовые различия в накоплении тяжелых металлов свидетельствуют о возможности уменьшения экологического риска загрязнения плодов земляники посредством целенаправленного подбора сортов.

ГНУ Всероссийский НИИ селекции плодовых культур Россельхозакадемии,
302530 Россия, Орловская обл., Орловский р-н, п/о Жилина,
e-mail: agro@vniispk.ru

Поступила в редакцию
17 января 2012 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2014, № 5, pp. 113-119

ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN THE STRAWBERRY PLANTS GROWN IN CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC POLLUTION

O.A. Vetrova, M.N. Kuznetsov, E.V. Leonicheva, S.M. Motyleva, M.E. Mertvishcheva

All-Russian Research Institute of Breeding Fruit Crops, Russian Academy of Agricultural Sciences, d. Zhilina, Orel Region, Orel Province, 302530 Russia, e-mail agro@vniispk.ru
Received January 17, 2012

doi: 10.15389/agrobiology.2014.5.113eng

Abstract

In case the large strawberry plantations and the plots of amateur gardeners are located in the areas, influenced by industrial centers, the risk of soil and air pollution with heavy metals is high, and the background values of Cu, Zn and Pb, for instance, can be 4-55 times increased. In plant there are physiological barriers between the root and the stem, the stem and the leaf, and the stem and reproductive organs, which prevent penetration of the toxicants into fruits. During 2006-2008 we evaluated the accumulation of Pb, Ni, Zn, Fe, and Cu in roots, rhizomes, petioles, leaves and fruits in four strawberry *Fragaria* × *ananassa* (Duchesne ex Weston) varieties, grown on the light gray forest soil under multielement anthropogenic pollution in Orlovskaya Province. The accumulation of each element was shown to be specific, depending on its physiological effect and chemical properties, and on the anthropogenic load. Significant differences among the varieties were also observed. In Rubinovii kulon, Mamochka, and Bylinnaya varieties the Pb content in leaves was higher than in the roots, probably due to extra foliar absorption from air. In Bogema variety the Pb accumulation gradually decreased from the roots to rhizomes, then to leaves and finally to fruits. Considerable Ni content in the roots was indicated only in Mamochka variety. In other tested varieties the Ni accumulation in fruits was significantly higher than in the underground organs. Zn and Fe distribution among strawberry plant organs was specified by the varietal genetic features. Zn was not accumulated in the vegetative organs of Rubinovii kulon and Mamochka plants. Conversely, the high accumulation of Zn was found in the roots of Bogema plants and in the rhizomes of Bylinnaya plants. In Rubinovii kulon, Mamochka and Bogema plants the Fe accumulation was mainly detected in the roots and in the berries, whereas in Bylinnaya plants this element was mainly concentrated in the rhizomes and petioles. The least significant difference for factor A (strawberry varieties), factor B (plant organs) and their combination (AB) makes for Pb 0.24, 0.27, and 0.53, respectively; for Ni — 0.04, 0.05, and 0.10, respectively; for Zn — 0.24, 0.27, and 0.53, respectively; for Fe — 0.79, 0.89, and 1.77, respectively; for Cu — 0.47, 0.52, and 1.05, respectively. An unequal accumulation of toxicants among the varieties, which were not bred with a view to low heavy metal penetration under soil and air pollution, shows that the ecological risk of the heavy metal accumulation in fruits could be decreased by purposeful choosing varieties for cultivation with respect to their physiological features.

Keywords: strawberry, berry agrocoenosis, technogenic pollution, heavy metals.

REFERENCES

1. Kozlova I.I. *Plodovodstvo*, 2004, 15: 367.
2. Izerskaya L.A., Tsytsareva L.K., Vorob'ev S.N., Vorob'eva T.E. *Agrokimiya*, 1996, 6: 87-88.
3. Evdokimova G.A. V sbornike: *Vliyaniye promyshlennykh predpriyatii na okruzhayushchuyu sredu* [In: Impact of industrial enterprises on the environment.]. Moscow, 1987: 164.
4. Obukhovskaya T.D., Kaplunova E.V., Serdyukova A.V. *Byulleten' pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva*, 1983, 35: 27-28.
5. Kovda V.A., Zolotareva A.N., Skripnichenko I.M. *Doklady AN SSSR*, 1979, 247(3): 766-768.
6. Leonicheva E.V., Motyleva S.M., Kuznetsov M.N., Roeva T.A., Leont'eva L.I. Formation of microelement's composition in berry plants in the conditions of higher content of heavy metals in the soil. *Agricultural Biology*, 2010, 5: 31-34 (<http://www.agrobiology.ru>).
7. Il'in V.B. *Agrokimiya*, 1991, 7: 67-77.
8. Shil'nikov I.A., Lebedeva L.A., Lebedev S.N., Grafskaya G.A., Sopil'nyak N.T., Efremova L.V., Greshnikova E.V., Semenova N.P., Bodrov A.B., Panasyuk R.G. *Agrokimiya*, 1994, 10: 94-101.
9. Ishchenko G.S., Butnik A.S. *Agrokimiya*, 1991, 6: 65-66.
10. Kasatikov V.A., Kasatikova S.M., Saburov S.V. *Agrokimiya*, 1994, 1: 70-75.
11. Abyzov V.V. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-metodicheskoi konferentsii «Problemy agroekologii i adaptivnosti sortov v sovremennom sadovodstve Rossii»* [Proc. All-Russia Conf. «Modern orcharding in Russia: problems of agroecology and varietal adaptation»]. Orel, 2008: 7-12.
12. Tsilu B.K. *Effektivnost' ispol'zovaniya prirodnykh tseolitov pri vozdeystvovanii zemlyaniki s tsel'yu povysheniya ee produktivnosti i snizheniya urovnya zagryazneniya tyazhelymi metallami. Avtoreferat kandidatskoi dissertatsii* [Efficiency of the use of natural zeolites in the cultivation of strawberries in order to increase its efficiency and reduce pollution by heavy metals. PhD Thesis]. Moscow, 1992.
13. *Sistema proizvodstva, pererabotki i dovedeniya do potrebitelya yagod v Nechernozemnoi zone Rossii* [Production, processing and providing population with berries in Nechernozemnaya zone of Russia]. Moscow, 2005.
14. *Regional'no-fonovoe sodержanie khimicheskikh veshchestv v pochvakh Orlovskoi oblasti* [Regional lbackground levels of chemicals in soils of Orel Province]. Orel, 1999.

15. *Orientirovochno dopustimye kontsentratsii (ODK) tyazhelykh metallov i mysh'yaka v pochvakh (Dopolnenie № 1 k perechnyu PDK i ODK № 6229-91): Gigienicheskie normativy. GN 2.1.7.020-94* [Roughly allowable concentrations of heavy metals and arsenic in soils. Hygienic norms GN 2.1.7.020-94]. Moscow, 1995: 8.
16. *Perechen' predel'no-dopustimyykh kontsentratsii (PDK) i orientirovochno-dopustimyykh kolichestv (ODK) khimicheskikh veshchestv v pochve. Izdanie spetsial'noe* [The list of maximum allowable concentrations and roughly allowable concentrations of chemical substances in the soil. Special issue]. Moscow, 1991: 18.
17. *Motyleva S.M. Osobennosti sodержaniya tyazhelykh metallov (Pb, Ni, Zn, Fe, Cu) v plodakh, yagodakh i atmosferykh osadkakh v svyazi s otsenkoi sortov dlya ispol'zovaniya v selektsii. Avtoreferat kandidatskoi dissertatsii* [Characteristic features of Pb, Ni, Zn, Fe, Cu accumulation in fruits, berries, and precipitation in connection with the evaluation of varieties in the course of breeding. PhD Thesis]. Orel, 2000.
18. *Khimicheskii sostav pishchevyykh produktov (spravochnik) /Pod redaktsiei I.M. Skurikhina, M.N. Volgareva* [Chemical composition of food: handbook. I.M. Skurikhin, M.N. Volgarev (eds.)]. Moscow, 1987: 360.
19. *Seregin I.V., Kozhevnikova A.D. Fiziologiya rastenii*, 2006, 53: 285-308.
20. *Bityutskii N.P. Neobkhodimye mikroelementy rastenii* [Trace elements essential for plants]. St. Petersburg, 2005.

Научные собрания

10TH EUROPEAN CONFERENCE OF PRECISION AGRICULTURE (ECPA)

«EFFICIENT RESOURCES MANAGEMENT UNDER CHANGING GLOBAL CONDITIONS»

(12-16 июля 2015 года, Израиль)

Организатор: ARO (Agricultural Research Organization) Министерства сельского хозяйства и развития сельскохозяйственного производства Израиля.

Тематика конференции: прецизионное сельское хозяйство как средство эффективного управления ресурсами в условиях глобальных изменений.

ARO — крупнейший сельскохозяйственный исследовательский центр в Израиле, объединяющий шесть институтов (по растениеводству, животноводству, защите растений, почвенным, водным и экологическим исследованиям, переработке и пищевым продуктам), а также четыре опытных станции в разных районах страны. Генбанк Израиля по сельскохозяйственным культурам также расположен в этом центре. На фоне развития всех направлений исследований особое внимание уделяется проблемам ведения сельского хозяйства в аридных зонах, что позволяет Израилю быть мировым лидером по выходу продукции в подобных условиях. Предлагаемые технологии и научные разработки израильских специалистов способны внести существенный вклад в улучшение ситуации на продовольственном рынке и привлекают к себе пристальное внимание ученых и специалистов во всем мире.

Контакты и информация: <http://www.ispag.org/Events/9thECPA/>