

Наталья Леонидовна Наумова<sup>1✉</sup>, Александр Анатольевич Лукин<sup>2</sup>,  
Евгений Александрович Велисевич<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

<sup>1</sup>n.naumova@inbox.ru

<sup>2</sup>lukin3415@gmail.com

<sup>3</sup>boode0114@gmail.com

## ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ЯБЛОНЕВЫХ САДОВ РАЗЛИЧНЫМИ СОВРЕМЕННЫМИ МЕТОДАМИ

Цель исследования – изучить содержание тяжелых металлов в почвах яблоневых садов различными современными методами. Представлены результаты исследования содержания тяжелых металлов в почвах яблоневых садов Свердловской селекционной станции садоводства и крестьянско-фермерского хозяйства Челябинской области, полученные методами атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и атомно-абсорбционной спектрометрии. Количественное содержание тяжелых металлов в почвах данных агроценозов, определенное разными методами, является сопоставимым. Концентрация элементов в почвах обоих угодий изменяется в следующем порядке:  $Mn > Zn > Ni > Cu > Co > Pb > Cd$ . В дерново-подзолистых почвах селекционной станции садоводства минимальная вариабельность количественных характеристик элементов определена у  $Ni$  (47,7–58,0 мг/кг), максимальная – у  $Cu$  (33,1–56,7 мг/кг). Повышенным количеством тяжелых металлов ( $Cd$  – в среднем от 25 до 31 %;  $Cu$  – от 9 до 53;  $Pb$  – от 4 до 46;  $Zn$  – от 9 до 36 %) отличается почвенный участок, занятый под выращивание яблонь сорта Благая весть. В дерновых почвах крестьянско-фермерского хозяйства минимальная вариабельность зафиксирована у  $Co$  (12,6–18,4 мг/кг), максимальная – у  $Pb$  (4,5–8,4 мг/кг). Почвы, используемые для культивирования яблонь сорта Экранное, отличаются более высокими уровнями металлов ( $Cd$  – в среднем от 9 до 21 %;  $Mn$  – от 21 до 35 %;  $Pb$  – в 1,7–1,8 раз) на фоне остальных образцов почв из данного агроценоза. В почвах обоих яблоневых садов уровни тяжелых металлов не превысили регламентированных норм СанПиН 1.2.3685-21, что свидетельствует об их экологическом благополучии. Однако величины анализируемых тяжелых элементов были несколько выше в почвах селекционной станции садоводства, что, предположительно, обусловлено расположением их в городской черте Екатеринбурга, изначально отличающейся повышенной техногенной нагрузкой.

**Ключевые слова:** почва, тяжелые металлы, яблоневый сад, агроценоз, экологическая безопасность

**Для цитирования:** Наумова Н.Л., Лукин А.А., Велисевич Е.А. Оценка содержания тяжелых металлов в почвах яблоневых садов различными современными методами // Вестник КрасГАУ. 2023. № 11. С. 49–54. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-49-54.

Natalya Leonidovna Naumova<sup>1✉</sup>, Alexander Anatolyevich Lukin<sup>2</sup>,  
Evgeniy Aleksandrovich Velisevich<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

<sup>1</sup>n.naumova@inbox.ru

<sup>2</sup>lukin3415@gmail.com

<sup>3</sup>boode0114@gmail.com

## ASSESSMENT OF HEAVY METALS CONTENT IN APPLE ORCHARDS SOILS BY VARIOUS MODERN METHODS

The purpose of research is to study the content of heavy metals in the soils of apple orchards using various modern methods. The results of a study of the content of heavy metals in the soils of apple orchards of the Sverdlovsk horticulture breeding station and peasant farms in the Chelyabinsk Region, obtained by the methods of inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and atomic absorption spectrometry, are presented. The quantitative content of heavy metals in the soils of these agrocenoses, determined by different methods, is comparable. The concentration of elements in the soils of both sites changes in the following order:  $Mn > Zn > Ni > Cu > Co > Pb > Cd$ . In the soddy-podzolic soils of the horticulture breeding station, the minimum variability in the quantitative characteristics of elements was determined for Ni (47.7–58.0 mg/kg), the maximum for Cu (33.1–56.7 mg/kg). An increased amount of heavy metals (Cd – on average from 25 to 31 %; Cu – from 9 to 53; Pb – from 4 to 46; Zn – from 9 to 36 %) is characteristic of the soil area occupied by the cultivation of apple trees of the Blagaya Vest variety. In soddy soils of peasant farms, the minimum variability was recorded for Co (12.6–18.4 mg/kg), the maximum for Pb (4.5–8.4 mg/kg). The soils used for cultivating Ekranoye apple trees are distinguished by higher levels of metals (Cd – on average from 9 to 21 %; Mn – from 21 to 35 %; Pb – 1.7–1.8 times) compared to other soil samples from this agrocenosis. In the soils of both apple orchards, the levels of heavy metals did not exceed the regulated norms of SanPiN 1.2.3685-21, which indicates their environmental well-being. However, the values of the analyzed heavy elements were slightly higher in the soils of the horticultural breeding station, which is presumably due to their location within the city limits of Yekaterinburg, which was initially characterized by an increased technogenic load.

**Keywords:** soil, heavy metals, apple orchard, agrocenosis, environmental safety

**For citation:** Naumova N.L., Lukin A.A., Velisevich E.A. Assessment of heavy metals content in apple orchards soils by various modern methods // Bulliten KrasSAU. 2023;(11): 49–54. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-49-54.

**Введение.** Яблоня домашняя – наиболее адаптивная плодовая культура, используемая в садоводстве. Имеет долговечные и высокоурожайные деревья с сильной корневой системой, которая располагается в ведущем слое земли шириной до одного метра [1–3]. Яблони как биологические объекты участвуют в циркуляции химических соединений, в т. ч. тяжелых металлов (ТМ), в системе почва – растение. В этой связи в ее плодах зачастую обнаруживается превышение по тяжелым элементам, обусловленное как геохимическими особенностями местности произрастания, так и техногенной нагрузкой на экосистемы [4–7].

Валовые формы минералов представляют собой потенциальный резерв подвижных элементов, которые активно участвуют в биологическом круговороте. Содержание ТМ при этом характеризует общую загрязненность почвы, но не отражает степени доступности элементов для растений [8]. На уровень содержания ТМ в почвах влияет кинетика их поступления с удобрениями, мелиорантами, дождевыми осадками, аэральным привносом от очагов загрязнения [9], что, в конечном итоге, вызывает аккумуляцию

последних в почве, снижая ее плодородие, урожайность, микробиологическую активность, структуру, pH среды и др. Высокая степень загрязнения ТМ характерна для 11 % почв на территории России [10, 11]. Даже если ТМ находятся в них в допустимых концентрациях, обладая способностью аккумулироваться в почве, они могут достигать предельных значений и выше [12]. Загрязнение почв ТМ практически вечно, так как они очень медленно удаляются при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии, дефляции [13].

**Цель исследования** – изучить содержание тяжелых металлов в почвах яблоневых садов различными современными методами.

**Задачи:** исследовать уровни тяжелых металлов в почвах методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) и атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС).

**Объекты и методы.** Объекты исследования – образцы дерново-подзолистой почвы (pH 5,71–5,97) Свердловской селекционной станции садоводства – структурного подразделения ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН и дерновой почвы

(рН 5,78–7,42) крестьянско-фермерского хозяйства А.А. Филипповой (бренд «Григорьевские сады»). На почвах данных предприятий выращивают яблони свердловской селекции сортов: Экранное, Благая весть и Краса Свердловска. Селекционная станция садоводства имеет координаты: широта – 56.769015, долгота – 60.669223; располагается в городской черте (Свердловская обл., г. Екатеринбург); применяет традиционную экстенсивную агротехнику возделывания плодовых культур возрастом более 10 лет. Крестьянско-фермерское хозяйство с координатами широты – 56.158036 и долготы – 60.907736 находится в окрестностях деревни (Челябинская обл., Каслинский р-н, д. Григорьевка); использует интенсивную агротехнику возделывания яблонь возрастом 5–6 лет.

Отбор проб почвы проводили на месте произрастания яблонь согласно ГОСТ 17.4.4.02-2017. Валовое содержание элементов в пробах почвы

определяли по М-МВИ-80-2008 методом АЭС-ИСП на приборе iCAP 7200 DUO (США) и методом ААС на оборудовании «КВАНТ-Z.ЭТА» (РФ).

**Результаты и их обсуждение.** Одним из критериев оценки загрязнения почв ТМ являются предельно и ориентировочно допустимые концентрации (ПДК/ОДК). Поскольку исследуемые почвы характеризуются слабокислой реакцией среды, близкой к нейтральной, нами были взяты соответствующие значения ПДК/ОДК тяжелых металлов. Результаты исследований валового содержания семи тяжелых элементов в почвах яблоневых садов представлены в таблицах 1 и 2. Как видно из таблиц, количественное содержание элементов в почвах, определенное методами АЭС-ИСП и ААС, является сопоставимым. Различия в содержании отдельных элементов связаны с техническими особенностями используемых методов.

Таблица 1

**Содержание тяжелых металлов в почвах селекционной станции садоводства, мг/кг**

Элемент	ПДК/ОДК* по СанПиН 1.2.3685-21 [14]	Краса Свердловска		Благая весть		Экранное	
		АЭС ИСП	ААС	АЭС ИСП	ААС	АЭС ИСП	ААС
Cd	/2,0	0,61±0,01	0,59±0,01	0,84±0,02	0,74±0,02	0,65±0,03	0,62±0,02
Co	17,3**	24,1±0,5	22,4±0,6	19,2±0,7	19,2±0,5	24,0±0,6	23,0±0,7
Cu	/132,0	33,1±0,6	39,4±0,8	56,7±0,9	54,5±0,6	48,0±1,1	54,0±1,3
Mn	1500/	950,7±24,6	921,5±20,3	1019,6±22,1	1015,1±21,1	1172,8±19,0	1111,6±17,8
Ni	/80,0	58,0±0,8	54,4±0,6	56,8±0,6	51,7±0,5	48,2±0,6	47,7±0,7
Pb	/130,0	11,8±0,8	11,2±0,6	17,2±0,7	16,4±0,6	16,8±0,6	15,6±0,5
Zn	/220,0	56,0±1,4	54,1±1,2	75,9±1,5	73,4±1,4	67,8±1,2	69,0±1,4

Здесь и далее: «\*» – нормы для почв, близких к нейтральным, нейтральным (суглинистым и глинистым), рН<sub>КС1</sub> > 5,5; «\*\*» – кларковое значение для литосферы по [15].

Установлено, что в исследуемых почвах селекционной станции садоводства присутствует некоторое превышение (от 11 до 39 %) кларкового значения уровня Co, характерного для литосферы в целом. Однако это показатель не регламентируется нормами СанПиН 1.2.3685-21, в этой связи анализируемые почвы по содержанию ТМ являются благополучными. Повышенным количеством большинства потенциальных ТМ (Cd – в среднем от 25 до 31 %; Cu – от 9 до 53; Pb – от 4 до 46; Zn – от 9 до 36 %) отличается

почвенный участок, занятый под выращивание яблонь сорта Благая весть. При этом ни один уровень этих элементов не превысил пределов ПДК или ОДК. Наименьшие количества оцениваемых ТМ (за исключением Ni) были выявлены на почвах, используемых для культивирования яблонь сорта Краса Свердловска. Минимальная вариабельность количественных характеристик элементов в почвах данного сада определена у Ni (47,7–58,0 мг/кг), максимальная – у Cu (33,1–56,7 мг/кг).

## Содержание тяжелых металлов в почвах крестьянско-фермерского хозяйства, мг/кг

Элемент	ПДК/ОДК* по СанПиН 1.2.3685-21 [14]	Краса Свердловска		Благая весть		Экранное	
		АЭС-ИСП	ААС	АЭС-ИСП	ААС	АЭС-ИСП	ААС
Cd	/2,0	0,58±0,01	0,58±0,01	0,52±0,01	0,52±0,01	0,64±0,02	0,62±0,02
Co	17,3**	15,6±0,6	15,2±0,8	13,0±0,5	12,6±0,4	18,4±0,8	18,0±0,7
Cu	/132,0	30,0±0,9	30,9±0,8	24,0±0,6	24,1±0,7	22,0±0,6	20,8±0,5
Mn	1500/	846,2±19,8	837,0±18,2	959,1±17,7	922,2±19,1	1150,0±21,6	1126,4±20,5
Ni	/80,0	44,0±0,8	43,8±0,9	36,0±0,7	35,3±0,6	45,6±0,8	40,3±0,9
Pb	/130,0	4,6±0,1	4,5±0,1	5,0±0,2	4,8±0,1	8,4±0,3	8,1±0,3
Zn	/220,0	65,0±1,5	65,7±1,7	60,0±1,1	58,5±1,4	56,0±1,5	54,2±1,5

В крестьянско-фермерском хозяйстве превышение (на 4–6 %) кларка Co определено только в поверхностном слое почвы, предназначенной для выращивания яблонь сорта Экранное. Этот же почвенный участок отличает повышенное содержание и других элементов (Cd – в среднем от 9 до 21 %, Mn – от 21 до 35 %, Pb – в 1,7–1,8 раз) на фоне остальных образцов почв из данного агроценоза. Относительно высокое количество Cu (от 26 до 36 %) и Zn (от 10 до 19 %) выявлено в почвах яблонь сорта Краса Свердловска. Уровень Ni находится в одном количественном диапазоне в первом и втором случаях. Наименьшие величины Cd, Co, Cu, Ni выявлены в почвах яблонь сорта Благая весть. Минимальная вариабельность количественных характеристик элементов в почвах данного сада определена у Co (12,6–18,4 мг/кг), максимальная – у Pb (4,5–8,4 мг/кг).

В общей сложности концентрация элементов в почвах обоих садов изменяется в следующем порядке: Mn > Zn > Ni > Cu > Co > Pb > Cd. Несмотря на выявленные количественные величины ТМ во всех образцах почвы, их уровни не превысили регламентированных норм СанПиН 1.2.3685-21, что свидетельствует об экологическом благополучии угодий исследуемых агроценозов. Однако уровни всех анализируемых ТМ были несколько выше в почвах селекционной станции садоводства, что, предположительно, обусловлено расположением их в городской черте, априори отличающейся повышенной техногенной нагрузкой. Известно, что почвы Свердловской области загрязнены Ni, Zn, Pb, Cu, среди загрязнителей почв городских ландшафтов г. Екатеринбурга доминирует Ni, также

найлены большие концентрации Pb в почвах сельскохозяйственного назначения [16].

**Заключение.** Количественное содержание ТМ в почвах яблоневых садов, определенное методами АЭС-ИСП и ААС, является сопоставимым. Концентрация элементов в почвах данных агроценозов изменяется в следующем порядке: Mn > Zn > Ni > Cu > Co > Pb > Cd. Во всех почвенных образцах уровни ТМ не превысили регламентированных норм СанПиН 1.2.3685-21. Величины анализируемых ТМ были несколько выше в почвах селекционной станции садоводства.

## Список источников

1. Дулов М.И. Биохимический состав и производство яблок в странах мира // Наукосфера. 2022. № 2–1. С. 90–96.
2. Клименко А.С., Шподарева Е.Н. Адаптация технологических приемов возделывания интенсивных яблоневых садов применительно к условиям центрального Черноземья // Научные исследования XXI века. 2022. № 1 (15). С. 90–95.
3. Левшаков Л.В., Волобуева Н.В., Смирнин О.А. Технологические приемы регулирования питательного режима яблони, возделываемой на серых лесных почвах средней полосы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 9. С. 31–40.
4. Ивашов П.В. Биогеохимия плодов фруктовых растений // Экологический вестник Северного Кавказа. 2020. Т. 16, № 1. С. 81–84.
5. Русанов А.М., Савин Е.З., Нигматянова С.Э. Содержание тяжелых металлов в плодах

- яблони в городских условиях // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 1 (120). С. 148–151.
6. *Tošić S., Alagić S., Dimitrijević M.* Plant parts of the apple tree (*Malus spp.*) as possible indicators of heavy metal pollution // *Ambio*. 2016. № 45(4). P. 501–512. DOI: 10.1007/s13280-015-0742-9.
  7. *Wang Q., Liu J., Cheng Sh.* Heavy metals in apple orchard soils and fruits and their health risks in Liaodong Peninsula, Northeast China // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015. № 187. P. 4178. DOI: 10.1007/s10661-014-4178-7.
  8. Содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах г. Орск / *А.М. Русанов [и др.]* // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. № 4 (140). С. 226–230.
  9. Кинетика загрязнения почв тяжелыми металлами / *В.И. Савич [и др.]* // *АгроЭкоИнфо*. 2022. № 2 (50). URL: [https://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st\\_205.pdf](https://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_205.pdf).
  10. *Рэуце К., Кырстыя С.* Борьба с загрязнением почвы / под ред. *В.К. Штефана*. М.: Агропромиздат, 1986. 221 с.
  11. Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation – a review / *N. Barsova [et al.]* // *Environmental Pollution*. 2019. № 249. P. 200–207. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.03.020.
  12. Справочник по оценке почв / *В.Ф. Вальков [и др.]*. Майкоп: Адыгя, 2004. 236 с.
  13. *Kabata-Pendias A.* Trace elements in soils and plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. 548 p.
  14. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормы и требования к обеспечению безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания. М.: Стандартинформ, 2021. 469 с.
  15. *Rudnic R.L., Gao S.* Composition of the continental crust // *The crust treatise on geochemistry*. 2003. № 3. P. 1–64. DOI: 10.1016/B0-08-043751-6/03016-4.
  16. *Харина Г.В., Алешина Л.В.* Аккумуляция тяжелых металлов в почвах Свердловской области // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022. Т. 333, № 2. С. 173–183. DOI: 10.18799/24131830/2022/2/3330.
- ## References
1. *Dulov M.I.* Biohimicheskiy sostav i proizvodstvo yablok v stranah mira // *Naukosfera*. 2022. № 2-1. S. 90–96.
  2. *Klimenko A.S., Shpodareva E.N.* Adaptaciya tehnologicheskikh priemov vozdeleyvaniya intensivnyh yablonevyh sadov primenitel'no k usloviyam central'nogo Chernozem'ya // *Nauchnye issledovaniya XXI veka*. 2022. № 1 (15). S. 90–95.
  3. *Levshakov L.V., Volobueva N.V., Smirenin O.A.* Tehnologicheskie priemy regulirovaniya pitatel'nogo rezhima yabloni, vozdeleyvaemoj na seryh lesnyh pochvah srednej polosy // *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*. 2020. № 9. S. 31–40.
  4. *Ivashov P.V.* Biogeohimiya plodov fruktovyh rastenij // *Ekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza*. 2020. Т. 16, № 1. S. 81–84.
  5. *Rusanov A.M., Savin E.Z., Nigmatyanova S. E.* Soderzhanie tyazhelyh metallov v plodah yabloni v gorodskih usloviyah // *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011. № 1 (120). S. 148–151.
  6. *Tošić S., Alagić S., Dimitrijević M.* Plant parts of the apple tree (*Malus spp.*) as possible indicators of heavy metal pollution // *Ambio*. 2016. № 45(4). P. 501–512. DOI: 10.1007/s13280-015-0742-9.
  7. *Wang Q., Liu J., Cheng Sh.* Heavy metals in apple orchard soils and fruits and their health risks in Liaodong Peninsula, Northeast China // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015. № 187. P. 4178. DOI: 10.1007/s10661-014-4178-7.
  8. Soderzhanie valovyh i podvizhnyh form tyazhelyh metallov v pochvah g. Orska / *A.M. Rusanov [i dr.]* // *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012. № 4 (140). S. 226–230.
  9. Kinetika zagryazneniya pochv tyazhelymi metalami / *V.I. Savich [i dr.]* // *АгроЭкоИнфо*. 2022. № 2 (50). URL: [https://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st\\_205.pdf](https://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_205.pdf).
  10. *R`euce K., Kyrstya S.* Bor'ba s zagryazneniem pochvy / pod red. *V.K. Shtefana*. М.: Агропромиздат, 1986. 221 с.
  11. Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation – a review / *N. Barsova [et al.]* // *Environmental Pollution*.

2019. № 249. P. 200–207. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.03.020.
12. Spravochnik po ocenke pochv / V.F. Val'kov [i dr.]. Majkop: Adygeya, 2004. 236 s.
13. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. 548 p.
14. SanPiN 1.2.3685-21. Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya. M.: Standartinform, 2021. 469 s.
15. Rudnic R.L., Gao S. Composition of the continental crust // The crust treatise on geochemistry. 2003. № 3. P. 1-64. DOI: 10.1016/B0-08-043751-6/03016-4.
16. Harina G.V., Aleshina L.V. Akkumulyaciya tyazhelyh metallov v pochvah Sverdlovskoj oblasti // Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2022. T. 333, № 2. S. 173-183. DOI: 10.18799/24131830/2022/2/3330.

Статья принята к публикации 25.09.2023 / The article accepted for publication 25.09.2023.

Информация об авторах:

**Наталья Леонидовна Наумова**<sup>1</sup>, профессор, ведущий научный сотрудник кафедры экологии и химической технологии, доктор технических наук, доцент

**Александр Анатольевич Лукин**<sup>2</sup>, доцент кафедры пищевых и биотехнологий, кандидат технических наук, доцент

**Евгений Александрович Велисевич**<sup>3</sup>, аспирант кафедры экологии и химической технологии

Information about the authors:

**Natalya Leonidovna Naumova**<sup>1</sup>, Professor, Leading Researcher at the Department of Ecology and Chemical Technology, Doctor of Technical Sciences, Docent

**Alexander Anatolyevich Lukin**<sup>2</sup>, Associate Professor at the Department of Food and Biotechnology, Candidate of Technical Sciences, Docent

**Evgeniy Aleksandrovich Velisevich**<sup>3</sup>, Postgraduate student at the Department of Ecology and Chemical Technology

