

Научная статья

УДК 543.55+635.1

EDN EJCDON

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-15-23>

Определение тяжелых металлов в овощной продукции методом инверсионной вольтамперометрии

Ирина Владимировна Егорова¹, Людмила Петровна Панова²,
Наталья Александровна Родионова³, Виктория Николаевна Смирнова⁴

^{1, 2, 3, 4} Благовещенский государственный педагогический университет

Амурская область, Благовещенск, Россия

¹ bgpu.chim.egorova@mail.ru, ² panovaljuda.71@mail.ru,

³ rona20@mail.ru, ⁴ vika21031947@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены результаты изучения содержания тяжелых металлов (цинка, свинца, кадмия и меди) в агроэкосистеме южной зоны Среднего Приамурья по схеме «почва – растение – вода» методом инверсионной вольтамперометрии. В период с 2021 по 2024 гг. исследовались: почва фермерского хозяйства (с. Каникурган Благовещенского муниципального округа Амурской области); вносимые удобрения (карбамид «Биомастер», суперфосфат «Классика дачника»); вода для полива (протока Каникурганская); овощная продукция (свекла, морковь, капуста, картофель), выращенная в грунте. Суперфосфат содержал в качестве примесей (в мг/кг): цинк – $25,4 \pm 3,8$; кадмий – $0,21 \pm 0,03$; свинец – $12,5 \pm 0,8$; медь – $13,2 \pm 1,9$. В карбамиде были обнаружены примеси (в мг/кг): цинк – $18,9 \pm 2,8$; кадмий – $0,22 \pm 0,03$; свинец – $13,5 \pm 0,8$; медь – $23,5 \pm 3,5$. Суперфосфат и карбамид являются источниками поступления тяжелых металлов в почву. Согласно данным инверсионной вольтамперометрии, средние значения концентраций цинка, кадмия, свинца и меди в почве превышали фоновые концентрации, но значительно меньше ориентировочно допустимых концентраций. Пахотные почвы по содержанию тяжелых металлов можно отнести к слабозагрязненным, они не представляют опасности для здоровья человека. Проведенное исследование показало, что содержание цинка, меди, свинца и кадмия в воде для полива значительно меньше предельно допустимых концентраций. Жители Амурской области обеспечены овощами, в которых содержание тяжелых металлов минимальное.

Ключевые слова: тяжелые металлы, инверсионная вольтамперометрия, овощная продукция, почва, вода, удобрения

Для цитирования: Егорова И. В., Панова Л. П., Родионова Н. А., Смирнова В. Н. Определение тяжелых металлов в овощной продукции методом инверсионной вольтамперометрии // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 15–23. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-15-23>.

Original article

Determination of heavy metals in vegetable products by inversion voltammetry

Irina V. Egorova¹, Lyudmila P. Panova²,
Natalia A. Rodionova³, Victoria N. Smirnova⁴

^{1, 2, 3, 4} Blagoveshchensk State Pedagogical University

Amur region, Blagoveshchensk, Russian Federation

¹ bgpu.chim.egorova@mail.ru, ² panovaljuda.71@mail.ru,

³ rona20@mail.ru, ⁴ vika21031947@gmail.com

Abstract. The results of a study of the content of heavy metals (zinc, lead, cadmium and copper) in the agroecosystem of the southern zone of the Middle Amur region according to the

"soil– plant –water" scheme by inversion voltammetry are presented. In the period 2021–2024, the following studies were conducted: farm soil; fertilizers applied (carbamide and superphosphate); irrigation water; vegetable products (beets, carrots, cabbage, potatoes) grown in the ground. Superphosphate contained as impurities (mg/kg): zinc – 25.4 ± 3.8 ; cadmium – 0.21 ± 0.03 ; lead – 12.5 ± 0.8 ; copper – 13.2 ± 1.9 . Impurities were found in carbamide (mg/kg): zinc – 18.9 ± 2.8 ; cadmium – 0.22 ± 0.03 ; lead – 13.5 ± 0.8 ; copper – 23.5 ± 3.5 . Thus, these fertilizers are sources of heavy metals entering the soil. However, the average concentrations of these chemical elements in the soil, although they exceeded the background concentrations, were significantly lower than the approximate permissible concentrations. This makes it possible to classify arable soils in terms of heavy metal content as slightly polluted, which do not pose a danger to human health. The content of zinc, copper, lead and cadmium in irrigation water is significantly lower than the maximum permissible concentrations. Thus, the residents of the region are provided with vegetables that meet the safety requirements for the content of heavy metals.

Keywords: heavy metals, voltammetric method, vegetable products, soil, water, fertilizers

For citation: Egorova I. V., Panova L. P., Rodionova N. A., Smirnova V. N. Determination of heavy metals in vegetable products by inversion voltammetry. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;4:15–23. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-15-23>.

Введение. Овощи занимают важную роль в рационе питания человека [1, 2]. Они являются важнейшими компонентами функциональных продуктов, которые нашли широкое применение в лечении хронических заболеваний, для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, лечения диабета, ожирения и снижения риска развития опухолей [3]. В овощах содержатся пищевые волокна, микроэлементы, витамины, проявляющие антиоксидантный эффект, противовоспалительное действие [4].

Жители Амурской области обеспечены овощной продукцией. При этом на прилавках магазинов чаще присутствуют овощи из Китая, однако потребители отдадут предпочтение продукции, произведенной амурскими товаропроизводителями. Получение экологически чистых овощей является актуальной задачей [5].

Применение минеральных удобрений может оказывать неблагоприятное воздействие на состояние почв. Минеральные удобрения являются источниками соединений тяжелых металлов, способствуют увеличению их в почве и представляют потенциальную опасность загрязнения ими овощной продукции [6]. Существует тенденция к увеличению меди, цинка и свинца при внесении минеральных удобрений [7, 8]. В азотных и калийных удобрениях наибольшие содержания примесей отмечены для марганца, цинка, хрома, никеля (до 100–400 мг/кг). Наибольшее количество примесей обнаружено в фосфорных удобрениях: мышьяк (30 мг/кг),

кадмий (5–10 мг/кг), свинец (50 мг/кг), цинк (150–1 000 мг/кг) [9].

Однако последующее известкование почвы эффективно влияет на снижение содержания кадмия, меди и цинка в зерне сои [10]. Применение навоза в сочетании с минеральными удобрениями обеспечивало экологическую безопасность агроценозов, снижало риск накопления нитратов и тяжелых металлов в почве и растениях [11]. На фоне применения минеральных удобрений и известкования биологическое поглощение тяжелых металлов растениями овса изменялось. Для соломы была характерна барьерная способность по отношению к свинцу [12]. Удобрения на фоне известкования понижали степень подвижности тяжелых металлов [13].

Накопление тяжелых металлов в овощах зависит от избирательности поглощения химических элементов и их биологической доступности, состава и типа почв. Распределение тяжелых металлов в растениях неравномерно. Их максимальная концентрация отмечена в вегетативных органах, минимальная – в запасающих и репродуктивных органах, что обусловлено действием физиологических и биохимических механизмов самозащиты растений. Попадая в организм человека, тяжелые металлы оказывают патогенное воздействие, вызывают сердечно-сосудистые заболевания, тяжелые формы аллергии, нарушают работу ферментов, обладают канцерогенными свойствами. В связи с этим актуальным является

определение содержания тяжелых металлов в почве, воде, используемой для полива, минеральных удобрениях и выращенной овощной продукции.

Точным и доступным методом определения тяжелых металлов в почве, воде, овощах является вольтамперометрический метод [14].

Цель исследований – определить содержание тяжелых металлов (цинка, свинца, кадмия, меди) в агроэкосистеме южной зоны Среднего Приамурья по схеме «почва – растение – вода» методом инверсионной вольтамперометрии.

Материалы и методы исследований. Отбор проб, пробоподготовку и анализ проб осуществляли согласно требований действующих государственных стандартов. Период исследований – 2021–2024 гг. Исследования проводили в аналитической лаборатории Благовещенского государственного педагогического университета. Выполнение измерений массовых концентраций цинка, кадмия, свинца и меди во всех пробах выполняли на вольтамперометрическом анализаторе модели TA-Lab. Определение концентрации тяжелых металлов осуществляли методом инверсионной вольтамперометрии, достоинствами которого являются универсальность, высокочувствительность, экспрессность и воспроизводимость результатов.

Для исследований содержания тяжелых металлов были отобраны: почва фермерского хозяйства (с. Каникурган Благовещенского муниципального округа Амурской области); вносимые удобрения (карбамид «Биомастер», суперфосфат «Классика дачника»); вода для полива (протока Каникурганская); овощная продукция, выращенная в открытом грунте.

Оригинатором картофеля (сорт Винета) выступает компания Europlant pflanzenzucht (Германия). Оригинатором и производителем семян капусты белокочанной (гибрид F₁ Атрия) и моркови (гибрид F₁ Abaco) является фирма Monsanto Holland (Нидерланды). Оригинатором свеклы столовой (гибрид F₁ Пабло) заявлена семеноводческая компания Bejo Zaden (Голландия). Отбор проб корнеплодов проводили ручным методом с помощью штыковой лопаты по диагонали поля через равные промежутки (одна проба с площади до 50 га). Для объединенной

пробы брали 7–10 точечных проб в количестве 2–3 растения каждая. Отбор проб капусты проводили методом точечных проб по диагонали поля в 7–10 точках на равных расстояниях и в определенных интервалах. Овощную продукцию предварительно высушивали в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С и мелко измельчали. Подготовку проб растительного материала проводили путем сочетания «мокрой» минерализации и «сухого» озонирования (HNO₃, H₂O₂, HCl).

В производственных посевах дважды за вегетационный сезон отбирались почвенные образцы из пахотного слоя 5–22 см методом конверта. Объем выборки – 15 индивидуальных проб. При этом с учетом требований действующих государственных стандартов устанавливали рН солевой вытяжки; массовые доли подвижных соединений фосфора и калия, подвижной серы, обменных магния и кальция.

Коэффициент биологического поглощения находили из соотношения содержания тяжелых металлов в овощах к содержанию валовых форм тяжелых металлов в почве. *Коэффициент валового загрязнения* рассчитывали отношением содержания валовых форм тяжелых металлов в почве к фоновому содержанию тяжелых металлов.

При статистической обработке данных использовали расчеты доверительного интервала для средней величины ($\bar{X} \pm \Delta$) и коэффициента вариации (V).

Результаты исследований и их обсуждение. Почвы опытного участка представлены луговыми агроземами. Тип почвы – постлитогенная, пойменная (аллювиальная). Характеристика почвы: низкое содержание гумуса (3,4 %); нейтральная реакция среды (рН=6,8); емкость катионного обмена (163 мг·экв/100 г).

В таблице 1 представлены результаты испытаний двух образцов почвы. В результате анализа получена следующая группировка почв:

по степени кислотности солевой вытяжки – нейтральная рН_{KCl}; *по сумме поглощенных оснований, массовой доле подвижных соединений фосфора и калия, обменного магния* – среднее содержание; *по массовой доле подвижной серы и обменного кальция* – повышенное содержание.

Таблица 1 – Агрохимические показатели почв фермерского хозяйства (с. Каникурган Благовещенского муниципального округа Амурской области)**Table 1 – Agrochemical indicators of the soils (Kanikurgan farm in the Blagoveshchensky municipal district of the Amur region)**

Номер образца	pH _{KCl}	P ₂ O ₅ , млн ⁻¹	K ₂ O, млн ⁻¹	S, млн ⁻¹	Mg, ммоль/100 г	Ca, ммоль/100 г
1	5,7±0,1	54±11	150±22	10,0±0,7	1,25±0,17	10,75±0,81
2	6,2±0,1	137±27	147±22	8,3±0,6	2,50±0,19	15,30±1,10

Примечание: Определение агрохимических показателей выполнено 18 апреля 2024 г. в испытательной лаборатории ФГБУ «САС Амурская».

Степень загрязнения пахотного слоя почв тяжелыми металлами определяли сравнением валового содержания с фоновым содержанием и ориентировочно допустимой концентрацией (ОДК) [15].

Коэффициент валового загрязнения по исследуемым тяжелым металлам больше единицы. Согласно данным инверсионно-вольтамперометрических измерений, показанным в таблице 2, валовое содержание цинка, кадмия, свинца и меди в пахотном слое почвы (средние значения за 2021–2024 гг.) незначительно превышало фоновые концентрации. Концентрация цинка относительно ОДК ниже в 8; кадмия – в 2; свинца – в 9; меди – в 15 раз. Таким образом, исследуемый пахотный горизонт почв по содержанию тяжелых металлов относится к слабозагрязненному и не является опасным для здоровья человека. Данные результаты согласуются с выводами агрохимических исследований по Владимирской области [16].

Концентрация тяжелых металлов в образцах удобрений не превышала норму, установленную ГОСТ 58658–2019 «Удобрения минеральные. Общие технические условия».

Сравнение концентраций тяжелых металлов в почве и удобрениях свидетельствует, что одним из источников поступления в почвы фермерского хозяйства меди, кадмия и свинца являются карбамид и суперфосфат.

Результаты анализа на содержание тяжелых металлов в воде для полива в протоке Каникурганская (таблица 3, средние значения за 2021–2024 гг.) были меньше значений ПДК для вод культурно-бытового водопользования.

Важным индикатором экологического состояния и уровня загрязнения тяжелыми металлами является коэффициент биологического поглощения, который определяет способность биологических

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов в почве и удобрениях**Table 2 – Heavy metal content in soil and fertilizers**

В мг/кг (in mg/kg)

Показатели	Цинк	Кадмий	Свинец	Медь
Почва	26,4±3,9	1,11±0,17	14,1±2,1	8,8±1,3
Фон	25	0,9	12,5	8,5
ОДК	220	2,0	130	132
Коэффициент валового загрязнения почвы	1,06	1,23	1,13	1,06
Суперфосфат	25,4±3,8	0,21±0,03	12,5±0,8	13,2±1,9
Карбамид	18,9±2,8	0,22±0,03	13,5±2,0	23,5±3,5

Примечание: значения ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) приняты с учетом СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Таблица 3 – Содержание тяжелых металлов в воде ($P = 0,95$)

Table 3 – Heavy metal content in water ($P = 0.95$)

В мг/л (in mg/l)

Показатели	Цинк	Кадмий	Свинец	Медь
Вода для полива (ручей Каникурганский)	0,74±0,09	0,00009±0,00001	0,0019±0,0004	0,0037±0,0007
Предельно допустимая концентрация	5,0	0,001	0,01	1,0
Примечание: значения предельно допустимых концентраций приняты с учетом СанПиН 1.2.3685–21.				

организмов поглощать и накапливать тяжелые металлы из окружающей среды.

Ранее нами было установлено, что коэффициент биологического поглощения цинка, кадмия и свинца овощной продукцией меньше единицы. Данные свидетельствовали, что овощная продукция, выращенная на почвах сельскохозяйственного назначения Белогорского муниципального округа Амурской области, не накапливала данные элементы [17].

В образцах изучаемой овощной продукции содержание цинка, кадмия, свинца и меди не превышало ПДК (таблица 4, средние значения за 2021–2024 гг.). Отметим, что в образцах картофеля «Винета», капусты белокочанной F₁ «Атрия» содержание свинца близко к ПДК.

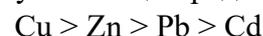
Таким образом, овощная продукция не накапливает цинк, кадмий, свинец и медь из почвы и воды.

Интенсивность вовлечения химических элементов из почвы в растения оценивали по значению коэффициента биологического поглощения. Рассчитан-

ные средние значения коэффициента для анализируемых металлов (табл. 5) свидетельствовали об отсутствии накопления тяжелых металлов в овощной продукции по системе «почва – растение» (коэффициент ниже единицы).

Однако более высокое значение соответствующего коэффициента по меди по сравнению с другими металлами подтверждает ее активное поглощение, что может быть связано с ролью меди как микроэлемента, необходимого для жизнедеятельности растений.

По содержанию в овощной продукции тяжелые металлы располагаются в следующий убывающий ряд:



Заключение. На основании изучения содержания тяжелых металлов в почве, минеральных удобрениях, воде для полива и овощной продукции, выращенной в 2021–2024 гг. в крестьянском (фермерском) хозяйстве (с. Каникурган Благовещенского муниципального округа Амурской области), можно сделать выводы:

Таблица 4 – Содержание тяжелых металлов в овощах ($P = 0,95$)

Table 4 – Heavy metal content in vegetables ($P = 0.95$)

В мг/кг (in mg/kg)

Показатели	Цинк	Кадмий	Свинец	Медь
Свекла столовая F ₁ «Пабло»	0,61±0,09	0,011±0,002	0,26±0,04	1,11±0,17
Морковь F ₁ «Абасо»	0,63±0,09	0,011±0,002	0,34±0,05	1,24±0,19
Картофель «Винета»	0,58±0,09	0,016±0,002	0,39±0,06	1,22±0,18
Капуста белокочанная F ₁ «Атрия»	0,55±0,08	0,017±0,003	0,36±0,05	1,26±0,19
Предельно допустимые концентрации	50	0,03	0,50	10
Примечание: значения предельно допустимых концентраций приняты с учетом норм ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».				

Таблица 5 – Коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов овощами
Table 5 – Biological absorption coefficients of heavy metals in vegetables

Виды овощей	Цинк	Кадмий	Свинец	Медь
Свекла столовая F ₁ Пабло	0,02	0,001	0,02	0,13
Морковь F ₁ Авасо	0,02	0,001	0,02	0,14
Картофель Винета	0,02	0,010	0,03	0,14
Капуста белокочанная F ₁ Атрия	0,02	0,020	0,03	0,14

1. Содержание цинка, кадмия, свинца и меди в почвах было значительно меньше ориентировочно допустимых концентраций, но незначительно превышало фоновые концентрации.

2. По причине содержания примесей суперфосфат и карбамид являются источниками поступления тяжелых металлов в почву.

3. В воде для полива и в овощной продукции содержание цинка, меди, свинца и кадмия значительно меньше предельно допустимых концентраций.

Таким образом, можно заключить, что исследованная овощная продукция не накапливает тяжелые металлы из почвы и отвечает критериям безопасности для потребления населением.

Список источников

1. Nasarova N. E., Lazutina A. L., Lebedeva T. E., Batsuna Y. V., Statuev A. A. The use of plant raw materials in the production of meat pate // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1052. P. 012063. doi: 10.1088/1755-1315/1052/1/012063. EDN YNKURK.

2. Решетник Е. И., Пакулина А. П., Платонова Т. П., Грибанова С. Л., Бабухадия К. Р., Школьников П. Н. Применение сырьевых ингредиентов из корнеплодов свеклы в пищевой промышленности // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2024. Т. 86. № 2. С. 132–138. doi: 10.20914/2310-1202-2024-2-132-137. EDN YNRNVS.

3. Nossain C. M., Choudhuri S., Ali K. A., Das R. Functional foods for chronic disease prevention // Mukherjee B. (Eds.). Dietary supplements and nutraceuticals. Springer Singapore, 2025. P. 631–662. doi: 10.1007/978-981-97-9936-7_20-1.

4. Melim C., Cabral C., Oliveira P. J., Lauro I. M., Pires I. M. The role of glucosinolates from cruciferous vegetables (*Brassicaceae*) in gastrointestinal cancers: from prevention to therapeutics // Pharmaceutics. 2022. Vol. 14. No. 1. P. 190. doi: 10.3390/pharmaceutics14010190. EDN OJTJKU.

5. Панова Л. П. Химические показатели безопасности овощной продукции // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Т. 18. № 4. С. 29–35. doi: 10.22450/1999-6837-2024-18-4-29-35. EDN MNTNTF.

6. Слабко Ю. И., Лопатина А. А. Аккумуляция кадмия в почве и растениях сои под влиянием минеральных удобрений // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016. Вып. 2 (113). С. 14–21. EDN VQVZQP.

7. Волкова В. А., Воронкова Н. А., Дороненко В. Д., Балабанова Н. Ф. Влияние длительного применения минеральных удобрений и соломы на содержание тяжелых металлов в почве и зерне ячменя // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019. № 2 (22). С. 152–159. EDN XILZNZ.

8. Гилев А. М., Рыбачук Н. А., Брикманс А. В., Нестерова О. В., Сакара Н. А. Содержание подвижных форм тяжелых металлов и углерода в агропочвах при внесении минерального удобрения // Перспективные направления рационального землепользования и цифровизация земледелия : материалы VII междунар. науч.-практ. конф. Курск : Курский федеральный аграрный научный центр, 2023. С. 312–316. EDN EONTMC.

9. Карпова Е. А. Длительное применение удобрений и тяжелые металлы в агросистемах // Проблемы агрохимии и экологии. 2008. № 2. С. 19–22. EDN JXDAVD.

10. Куликова А. Х., Захаров Н. Г., Касимов И. Р. Известкование чернозема выщелоченного в Среднем Поволжье. Ульяновск : Ульяновский государственный аграрный университет, 2024. 184 с. EDN WUHHBL.
11. Мерзлая Г. Е. Нитраты и тяжелые металлы в агроценозах при длительном применении органических удобрений // *Агрохимия*. 2024. № 8. С. 95–104. doi: 10.31857/S0002188124080136. EDN CDJWAW.
12. Пугаев С. В., Прокина Л. Н. Влияние минеральных удобрений и известкования на содержание и биологическое поглощение тяжелых металлов растениями овса // *Агрохимия*. 2025. № 3. С. 68–76. doi: 10.31857/S0002188125030098. EDN UQIJW.
13. Пугаев С. В., Прокина Л. Н. Влияние внесения удобрений и мелиоранта на подвижность тяжелых металлов в слоях чернозема выщелоченного тяжелосуглинистого // *Агрохимия*. 2025. № 1. С. 81–88. doi: 10.31857/S0002188125010106. EDN VBZGPW.
14. Palisoc S. T., Estioko L. C. D., Natividad M. T. Voltammetric determination of lead and cadmium in vegetables by graphene paste electrode modified with activated carbon from coconut husk // *Materials Research Express*. 2018. Vol. 5 (8). No. 085035. doi: 10.1088/2053-1591/aad43a.
15. Бородина Н. А. Применение модифицированной методики Тессьера для определения подвижных форм тяжелых металлов в фоновых почвах Амурской области // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук. Биологические науки*. 2022. Т. 1–1 (64). С. 6. doi: 10.24412/2500-1000-2022-1-1-6-10. EDN JRKGTТ.
16. Комаров В. И., Селиванов О. Г., Марцев А. А., Подолец А. А., Лукьянов С. Н. Содержание тяжелых металлов в пахотном горизонте почв сельскохозяйственного назначения Владимирской области // *Агрохимия*. 2019. № 12. С. 75–82. doi: 10.1134/S0002188119100089. EDN ELDGXX.
17. Egorova I. V., Panova L. P., Rodionova N. A., Klimenko V. S. Voltammetric determination of heavy metals in soil and vegetable produce // *Russian Journal of Physical Chemistry*. 2024. Vol. 98. No. 7. P. 1396–1399. doi: 10.1134/S0036024424700390. EDN JVCJGI.

References

1. Nasarova N. E., Lazutina A. L., Lebedeva T. E., Batsuna Y. V., Statuev A. A. The use of plant raw materials in the production of meat pate. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022;1052:012063. doi: 10.1088/1755-1315/1052/1/012063. EDN YNKURK.
2. Reshetnik E. I., Pakusina A. P., Platonova T. P., Griбанова S. L., Babukhadiya K. R., Shkolnikov P. N. Application of raw ingredients from beet roots in the food industry. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii*, 2024;86;2:132–138. doi: 10.20914/2310-1202-2024-2-132-137. EDN YNRNVS (in Russ.).
3. Nossain C. M., Choudhuri S., Ali K. A., Das R. Functional foods for chronic disease prevention. In.: Mukherjee B. (Eds.). *Detary supplements and nutraceuticals*, Springer Singapore, 2025, P. 631–662. doi: 10.1007/978-981-97-9936-7_20-1.
4. Melim C., Cabral C., Oliveira P. J., Lauro I. M., Pires I. M. The role of glucosinolates from cruciferous vegetables (*Brassicaceae*) in gastrointestinal cancers: from prevention to therapeutics. *Pharmaceutics*, 2022;14;1:190. doi: 10.3390/pharmaceutics14010190. EDN OJTJKU.
5. Panova L. P. Chemical safety indicators of vegetable products. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2024;18;4:29–35. doi: 10.22450/1999-6837-2024-18-4-29-35. EDN MNTNTF (in Russ.).
6. Slabko Yu. I., Lopatina A. A. Accumulation of cadmium in soil and soybean plants under the influence of mineral fertilizers. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016;2(113):14–21. EDN VQVZQP (in Russ.).
7. Volkova V. A., Voronkova N. A., Doronenko V. D., Balabanova N. F. The influence of continuous application of mineral fertilizers and straw on the content of heavy metals in soil and barley grain. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*, 2019;2(22):152–159. EDN XILZNS (in Russ.).
8. Gilev A. M., Rybachuk N. A., Brikmans A. V., Nesterova O. V., Sakara N. A. Content of mobile forms of heavy metals and carbon in agro-soils when mineral fertilizer is applied. *Proceedings from Promising areas of rational land use and digitalization of agriculture: VII Mezhdunarodnaya*

nauchno-prakticheskaya konferentsiya. (PP. 312–316), Kursk, Kurskii federal'nyi agrarnyi nauchnyi tsentr, 2023. EDN EONTMC (in Russ.).

9. Karpova E. A. Long-term fertilizers and heavy metals in agroecosystems. *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2008;2:19–22. EDN JXDAVD (in Russ.).

10. Kulikova A. Kh., Zakharov N. G., Kasimov I. R. *Liming of leached chernozem in the Middle Volga region*, Ulyanovsk, Ulyanovskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2024, 184 p. EDN WUHHBL (in Russ.).

11. Merzlaya G. E. Nitrates and heavy metals in agrocenoses during prolonged use of organic fertilizers. *Agrokimiya*, 2024;8:95–104. EDN CDJWAW (in Russ.).

12. Pugaev S. V., Prokina L. N. Influence of mineral fertilizers and liming on the content and biological absorption of heavy metals by oat plants. *Agrokimiya*, 2025;3:68–76. doi: 10.31857/S0002188125030098. EDN UQJIW (in Russ.).

13. Pugaev S. V., Prokina L. N. The effect of fertilization and reclamation on the mobility of heavy metals in the layers of heavy loamy leached chernozem. *Agrokimiya*, 2025;1:81–88. doi: 10.31857/S0002188125010106. EDN VBZGPW (in Russ.).

14. Palisoc S. T., Estioko L. C. D., Natividad M. T. Voltammetric determination of lead and cadmium in vegetables by graphene paste electrode modified with activated carbon from coconut husk. *Materials Research Express*, 2018;5(8):085035. doi: 10.1088/2053-1591/aad43a.

15. Borodina N. A. Application of the modified Tessier technique for the determination of mobile forms of heavy metals in the background soils of the Amur region. *Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk. Biologicheskie nauki*, 2022;1–1(64):6. doi: 10.24412/2500-1000-2022-1-1-6-10. EDN JRKGT (in Russ.).

16. Komarov V. I., Selivanov O. G., Martsev A. A., Podolets A. A., Lukyanov S. N. Content of heavy metals in the arable horizon of agricultural soils in the Vladimir region. *Agrokimiya*, 2019;12:75–82. doi: 10.1134/S0002188119100089. EDN ELDGXK (in Russ.).

17. Egorova I. V., Panova L. P., Rodionova N. A., Klimenko V. S. Voltammetric determination of heavy metals in soil and vegetable produce. *Russian Journal of Physical Chemistry*, 2024;98;7:1396–1399. doi: 10.1134/S0036024424700390. EDN JVCJGI.

© Егорова И. В., Панова Л. П., Родионова Н. А., Смирнова В. Н., 2025

Статья поступила в редакцию 14.11.2025; одобрена после рецензирования 05.12.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 14.11.2025; approved after reviewing 05.12.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Информация об авторах

Ирина Владимировна Егорова, доктор химических наук, профессор, Благовещенский государственный педагогический университет, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8799-608X>, Author ID: 53236, bgpu.chim.egorova@mail.ru;

Людмила Петровна Панова, кандидат химических наук, доцент, Благовещенский государственный педагогический университет, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9524-7529>, Author ID: 49718, panovaljuda.71@mail.ru;

Наталья Александровна Родионова, кандидат химических наук, доцент, Благовещенский государственный педагогический университет, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8682-2675>, Author ID: 738859, rona20@mail.ru;

Виктория Николаевна Смирнова, студент, Благовещенский государственный педагогический университет, vika21031947@gmail.com

Information about the authors

Irina V. Egorova, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Blagoveshchensk State Pedagogical University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8799-608X>, Author ID: 53236, bgpu.chim.egorova@mail.ru;

Lyudmila P. Panova, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Blagoveshchensk State Pedagogical University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9524-7529>, Author ID: 49718, panovaljuda.71@mail.ru;

Natalia A. Rodionova, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Blagoveshchensk State Pedagogical University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8682-2675>, Author ID: 738859, rona20@mail.ru;

Victoria N. Smirnova, Student, Blagoveshchensk State Pedagogical University, vika21031947@gmail.com

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.