

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-138-153

EDN: YFEGWO

УДК 633.15:581.192.6:581.5

Научная статья / Research article

## Коэффициент биологического поглощения свинца кукурузой как фактор экологической безопасности

П.Ф. Васильков  , Л.В. Мосина 

*Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова,  
г. Москва, Российская Федерация  
 p.f.vasilkov@yandex.ru*

В работе представлены результаты определения коэффициента биологического поглощения свинца зеленой массой раннеспелых сортов кукурузы (Ладожский 175МВ, Компетенс, Краснодарский 194МВ), возделываемых в условиях Тимирязевского района Северного административного округа города Москвы с применением комплексных удобрений и без них. Исследование проводилось на базе Полевой опытной станции РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева — старейшего в России агрономического полигона (основан в 1867 г.), который служит уникальной площадкой для долгосрочных научных экспериментов и апробации современных агротехнологий. Пробы отбирали в два срока — 22 июля и 10 августа 2023 г., что позволило проследить динамику накопления тяжелого металла в надземной части растений. В эти же сроки в почвенных образцах определяли валовое содержание свинца, органического вещества и кислотность как основные факторы, влияющие на подвижность и биодоступность тяжелых металлов в системе «почва-растение». Проведенный опыт выявил существенную разницу в количестве свинца между участками с внесением удобрений и без него. Содержание свинца на неудобряемых делянках было существенно выше, чем там, где растения получали удобрения. При сравнении сортов наименьшее накопление токсичного элемента отмечено у сорта Компетенс, который сохранял стабильно низкие показатели независимо от фона удобрений. Сорт Ладожский 175МВ также показал относительно невысокие значения, тогда как сорт Краснодарский 194МВ, напротив продемонстрировал вариабельность: при внесении удобрений содержание свинца снижалось до 0,458 мг/кг, а на неудобряемых делянках достигало 0,663 мг/кг (10 августа 2023 г). Анализ содержания свинца в зеленой массе изученных сортов выявил значительный разброс значений — от 0,418 до 0,663 мг/кг, что свидетельствует о существенных межсортовых различиях в накоплении тяжелого металла. Полученные данные подчеркивают важность контроля за содержанием свинца в различных сортах кукурузы и необходимость особого внимания к сорту Компетенс из-за высоких значений свинца, которые создают потенциальные риски для здоровья населения и безопасности потребления данной продукции.

**Ключевые слова:** коэффициент биологического поглощения, свинец, кукуруза, экологическая безопасность, загрязнение, микотоксины

© Васильков П.Ф., Мосина Л.В., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

**Вклад авторов.** *Васильков П.Ф.* — проведение экспериментов, написание статьи, подготовка иллюстраций, проведение экспериментов, подготовка иллюстраций. *Мосина Л.В.* — идея исследования, разработка подхода, редактирование текста, научное руководство. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

**История статьи:** поступила в редакцию 12.04.2025; доработана после рецензирования 27.06.2025; принята к публикации 22.11.2025.

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** *Васильков П.Ф., Мосина Л.В.* Коэффициент биологического поглощения свинца кукурузой как фактор экологической безопасности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 138–153. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-138-153> EDN: YFEGWO

## Coefficient of biological absorption of lead by corn as a factor of environmental safety

Pavel F. Vasilkov<sup>ID</sup>✉, Lyudmila V. Mosina<sup>ID</sup>

*A.N. Kostyakov Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction, Moscow, Russian Federation*  
✉[p.f.vasilkov@yandex.ru](mailto:p.f.vasilkov@yandex.ru)

This paper presents the results of determining the biological absorption coefficient (BAC) of lead in the green mass of early-ripening corn varieties (Ladozhsky 175MV, Competence, Krasnodarsky 194MV) cultivated under the conditions of the Timiryazevsky District of the Northern Administrative District of Moscow, with the use of complex fertilizers and without them. The study was conducted at the Field Experimental Station of the Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, the oldest agronomic testing ground in Russia (founded in 1867), which serves as a unique platform for long-term scientific experiments and the approbation of modern agricultural technologies. Plant samples were collected in two dates — July 22 and August 10, 2023 — which allowed to follow the dynamics of accumulation of heavy metal in the aboveground part of plants. During the same periods, soil samples were analyzed for gross lead content, organic matter, and acidity as key factors affecting the mobility and bioavailability of heavy metals in the soil-plant system. The experiment revealed a significant difference in lead content between fertilized and unfertilized plots. The lead concentration on unfertilized plots was substantially higher compared to those where fertilizers were applied. When comparing varieties, the lowest accumulation of the toxic element was observed in Competence, which maintained consistently low values regardless of fertilizer level. The Ladozhsky 175MV variety also showed relatively low values, whereas Krasnodarsky 194MV, in contrast, demonstrated variability: under fertilizer application, lead content decreased to 0.458 mg/kg, while on unfertilized plots it reached 0.663 mg/kg (August 10, 2023). The analysis of lead content in the green mass of the studied varieties revealed a significant range of values — from 0.418 to 0.663 mg/kg, indicating substantial intervarietal differences in heavy metal accumulation. The obtained data emphasize the importance of monitoring lead content in different corn varieties and the need for special attention to the Competence variety due to its high lead values, which pose potential risks to public health and the safety of consuming this product.

**Keywords:** biological absorption coefficient, lead, corn, environmental safety, pollution, mycotoxins

**Authors' contribution.** *P.F. Vasilkov* — conducting experiments, writing the article, preparing illustrations, conducting experiments, preparing illustrations, *L.V. Mosina* — research idea, developing the approach, editing the text, scientific guidance. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

**Article history:** received 12.04.2025; revised 27.06.2025; accepted 22.11.2025.

**Conflicts of interest.** The authors declare no conflicts of interest.

**For citation:** Vasilkov P.F., Mosina L.V. Coefficient of biological absorption of lead by corn as a factor of environmental safety. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):138–153. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-138-153> EDN: YFEGWO

## Введение

Одним из ключевых направлений современной экологии является восстановление почв, пострадавших от загрязнения тяжелыми металлами. В этой группе загрязнителей свинец (Pb) является одним из наиболее токсичных. Он способен нарушать разнообразные физиологические и метаболические процессы, как путем прямого ингибирования/активации ферментов (через замещение металлов в металлосодержащих ферментах с созданием более устойчивых соединений), так и косвенным воздействием на регуляторные механизмы [1; 4]. Соединения свинца накапливаются в сельскохозяйственных растениях, угнетая их и замедляя рост, а при употреблении в пищу таких растений животные и человек также могут получить отравления. При этом свинец является одним из наиболее широко распространенных техногенных загрязнителей почв [1], а загрязнению им подвержены преимущественно верхние, наиболее плодородные слои почвы. Как следствие, вопрос детоксикации почв, загрязненных свинцом, является весьма важным в сельскохозяйственной экологии, что способствует постоянной разработке новых и совершенствованию уже существующих способов ее проведения. Сейчас достаточно широко распространены химические (с использованием гипсования, морской воды и пр.) и физические (глубокая вспашка, промывка) методы обезвреживания свинца на сельскохозяйственных землях [1; 3], однако они не всегда и не везде применимы. Гораздо более удобными и щадящими для почв сельскохозяйственных земель являются биологические методы детоксикации от свинца при помощи растений-гипераккумуляторов, одним из которых является кукуруза [2; 3]. Вместе с тем свойства кукурузы, как плотителя содержащегося в почве свинца, зависят и от используемых сортов данного растения, и от технологий его возделывания, в частности от характера подкормок. Однако определение биопоглощения свинца кукурузой имеет большое значение не только с точки зрения использования данной культуры для детоксикации почв. В силу ее распространенности, как пищевой и кормовой культуры, оно играет существенную роль в оценке рисков

накопления данного металла в ее растительной продукции [4]. Поэтому необходимо учитывать взаимосвязь между биопоглощением свинца кукурузой и агротехникой ее возделывания [5; 6; 2].

Накопление свинца в почве зависит от ее физико-химических свойств, которые определяют подвижность, доступность и стабильность этого металла, прежде всего факторов рН почвы и органического вещества. В кислых почвах свинец становится более растворимым и подвижным, но может вымываться в грунтовые воды, а в щелочных почвах свинец образует нерастворимые соединения (карбонаты, гидроксиды), что способствует его накоплению. Высокое содержание органики усиливает хелатирование (связывание) свинца, уменьшая его подвижность. Однако при разложении органики металл может высвобождаться. Эти факторы регулируют переход металла между подвижными и стабильными формами, определяя его экологическую опасность [1].

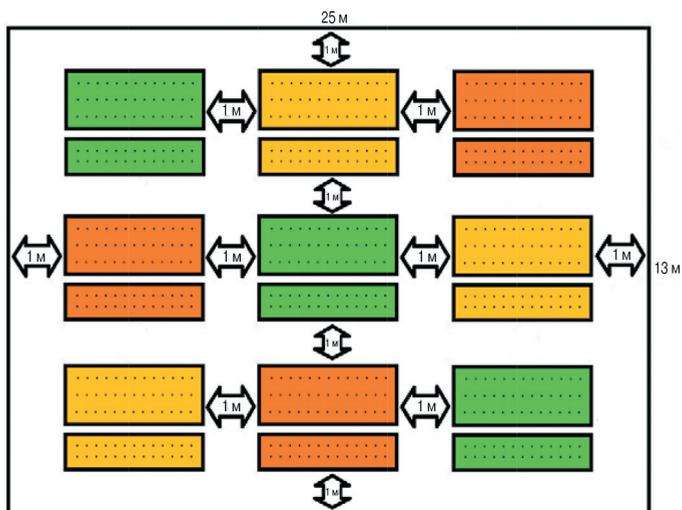
Ключевым фактором, регулирующим доступность свинца (Pb) для растений и, следовательно, величину коэффициента его биологического поглощения (КБП), является форма его нахождения в почве. Кислотно-основные условия (рН) и содержание органического вещества (ОВ) оказывают на этот процесс решающее и конкурентное влияние. Таким образом, величина КБП свинца определяется балансом между этими процессами, а его прогнозирование невозможно без установления функциональной зависимости [7].

**Цель исследования** — оценить влияние сортовых особенностей кукурузы на коэффициент биологического поглощения (КБП) свинца в условиях варьирующих агрохимических свойств почвы (содержание органического вещества, кислотность) и валового содержания загрязнителя.

## Материалы и методы исследования

Работа выполнялась на территории полевой опытной станции, находящейся в ведомстве Тимирязевской академии (г. Москва, ул. Прянишникова, д. 37). Схема опыта приведена на рис. 1.

Эксперимент был проведен с использованием трех раннеспелых сортов кукурузы: Ладожский 175МВ (вегетационный период 115 дней), Компетенс (вегетационный период 112–113 дней) и Краснодарский 194МВ (от всходов до полного созревания зерна 95–98 дней). Это раннеспелые сорта, районированные в Тимирязевском районе Северного административного округа города Москвы для выращивания на силос. Для каждого из них были предусмотрены контрольные и опытные участки (с внесением удобрений), по три повторности на каждый вариант. В качестве минерального удобрения использовалось комплексное удобрение «Азофоска» (NPK 16:16:16), которое вносилось каждые две недели в количестве 15 г под каждое растение. Посадка кукурузы была произведена 29 мая 2023 г. на территории полевой опытной станции (рис. 2), фаза трубкования растений наступила 21 июля 2023 г. (рис. 3).



**Рис. 1.** Схема заложения опыта: большие прямоугольники — контроль, маленькие — без удобрений

*Примечание:* оранжевый Компетенс (ФАО 200); зеленый Ладожский 175МВ (ФАО 170);  
желтый Краснодарский 194МВ (ФАО 1940)

*Источник:* составлено П.Ф. Васильковым.

**Figure 1.** Layout of the experiment: large square — control, small ones without fertilizers

*Note:* orange “Competence” (FAO 200); green Ladozhsky 175MV (FAO 170); yellow Krasnodarsky 194MV (FAO 1940)

*Source:* compiled by P.F. Vasilkov.



**Рис. 2.** Опытное поле

*Источник:* фото П.Ф. Василькова.

**Figure 2.** Experimental field

*Source:* photo by P.F. Vasilkov.

Анализ содержания общего свинца в почве проводился в соответствии с методикой РД 52.18.191-89 с помощью спектроскопического метода. Определение свинца в кукурузе осуществлялось в высушенной надземной расти-

тельной массе по методике РД 52.18.289-90 с помощью атомно-адсорбционной спектроскопии. Отбор проб почвы и растительного материала (кукурузы) был произведен 22 июля 2023 г. на стадии трубкования. Через две недели (10 августа) образцы почв и растений были повторно взяты и исследованы на те же характеристики. Образцы брались методом конверта с трех квадратов для каждого варианта опыта. На основании данных о содержании свинца в почве и его общего содержания в надземной части рассчитывался коэффициент биопоглощения свинца, как отношение содержания элемента в растении к его содержанию в почве. Статистическая обработка полученных данных была проведена при помощи программного обеспечения Microsoft Excel и Statistica 6.0.



**Рис. 3.** Кукуруза в фазе трубкования

Источник: фото П.Ф. Василькова.

**Figure 3.** Maize in the tubing phase

Source: photo by P.F. Vasilkov.

## Результаты исследования

Накопление свинца в почве тесно связано с ее кислотностью (рН) и содержанием органического вещества. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание рН и органического вещества почве

Органическое вещество			рН солевой		
Ладожский 175МВ	Компетенс	Краснодарский 194МВ	Ладожский 175МВ	Компетенс	Краснодарский 194МВ
22.07.2023					
1,98 ± 0,40	2,35 ± 0,47	1,61 ± 0,32	6,51 ± 0,20	6,57 ± 0,20	6,67 ± 0,20
10.08.2023					
2,01 ± 0,37	2,43 ± 0,41	1,73 ± 0,35	6,59 ± 0,24	6,61 ± 0,24	6,69 ± 0,24

Источник: составлено П.Ф. Васильковым.

Table 1. Soil pH and organic matter content

Organic matter			pH saline		
Ladoga 175MV	Competence	Krasnodar 194MV	Ladoga 175MV	Competence	Krasnodar 194MV
22.07.2023					
1.98 ± 0.40	2.35 ± 0.47	1.61 ± 0.32	6.51 ± 0.20	6.57 ± 0.20	6.67 ± 0.20
10.08.2023					
2.01 ± 0.37	2.43 ± 0.41	1.73 ± 0.35	6.59 ± 0.24	6.61 ± 0.24	6.69 ± 0.24

Source: compiled by P.F. Vasilkov.

В табл. 1 представлены данные мониторинга кислотности (рН) и содержания органического вещества в почве на 22.07.2023 и 10.08.2023, а также их потенциальное влияние на аккумуляцию свинца. На 22.07.2023 кислотность почвы варьировалась от  $6,51 \pm 0,20$  до  $6,67 \pm 0,20$  (нейтральной), а содержание органического вещества — от  $1,61 \pm 0,32\%$  (очень низкое) до  $2,35 \pm 0,47\%$  (низкое). К 10.08.2023 наблюдалось увеличение рН от  $6,59 \pm 0,24$  до  $6,69 \pm 0,24$  (нейтральная) и рост органического вещества от  $1,73 \pm 0,35\%$  (очень низкое) до  $2,43 \pm 0,41\%$  (низкое).

Рост содержания органического вещества усиливает хелатирование и адсорбцию свинца, уменьшая его миграцию в нижние горизонты почвы. Это сочетание факторов (умеренный рН и увеличение органики) создает условия для накопления свинца в верхних слоях, так как металл более активно связывается с гуминовыми кислотами и стабилизируется в почвенном комплексе. Повышение рН указывает на слабую тенденцию к ощелачиванию, что способствует снижению подвижности свинца за счет образования менее растворимых соединений (например, карбонатов).

Как следует из данных табл. 1, даже незначительные изменения органического вещества и рН могут влиять на поведение свинца. Для точной оценки экологических рисков необходимо учитывать динамику этих параметров в сочетании с прямыми измерениями концентрации металла.

Кукуруза относится к числу термофильных сельскохозяйственных растений [8]. Для успешного прорастания семян кукурузы необходима минимальная температура в интервале  $+8 \dots +10$  °С. Молодые растения, имеющие два листа, способны переносить кратковременное понижение температуры до  $-2$  °С. Интенсивный рост вегетативной массы активизируется при температуре выше  $+10$  °С. Процесс осеннего накопления биомассы приостанавливается при понижении температуры ниже  $+12$  °С. Оптимальным температурным режимом для роста и развития растений в период от появления всходов до цветения считаются среднесуточные температуры в диапазоне  $20-23$  °С [9]. Оптимальное развитие растений кукурузы скороспелых сортов достигается при сумме активных температур в диапазоне  $18-20$  °С. Для среднеспелых и позднеспелых сортов этот показатель должен составлять  $23-26$  °С [10]. На рис. 4–5 представлены диаграммы со среднесуточной температурой с 29 мая по 10 августа 2023 г.

Среднесуточная температуры воздуха с 29 мая по 10 августа 2023 г. на опытной станции в начальный период (на конец мая и начала июня):

- преобладают температуры ниже  $15$  °С, минимальная среднесуточная температуры зафиксирована с 5 по 6 июня и варьировалась от  $9,5$  до  $10,4$  °С;
- холодный старт вегетации: 11 дней из первых 14 были ниже  $16$  °С.

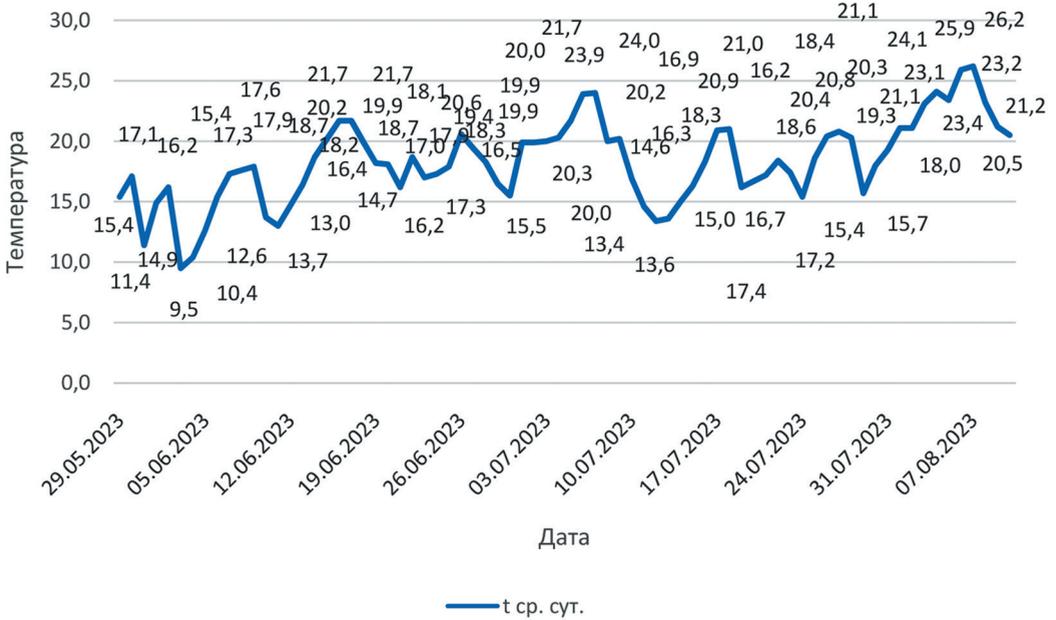
Июль:

- стабилизация: температуры в основном  $16-22$  °С, что оптимально для кукурузы;

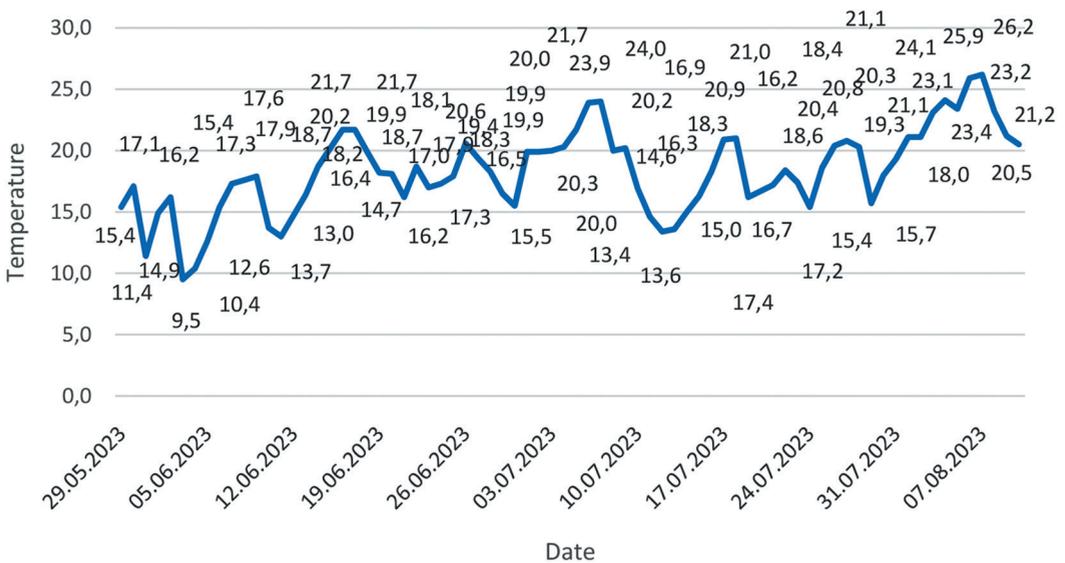
– критически важный период цветения (обычно середина июля) совпал с благоприятными условиями (17–21 °С).

Август:

- резкое потепление: пики до 26,2 °С (8 августа), 10 дней выше 23 °С.
- завершение периода: умеренное снижение к 10 августа (20,5 °С).



**Рис. 4.** Среднесуточная температура воздуха с мая по август за 2023 г.  
 Источник: составлено П.Ф. Васильковым, Л.В. Мосиной.



**Figure 4.** Average daily air temperature from May to August for the year 2023  
 Source: compiled by P.F. Vasilkov, L.V. Mosina.

Несмотря на стрессовые температуры в начале и конце сезона, сорта Компетенс и Ладожский способны показывать удовлетворительную урожайность благодаря устойчивости к перепадам и оптимальным условиям в ключевые фазы. Кукуруза сорта Краснодарский пострадала сильнее из-за чувствительности к перепадам температуры. Однако итоговую оценку возможно дать только после анализа влагообеспеченности почвы.

Исследование содержания свинца в почвах и зеленой массе кукурузы в обоих повторностях 22 июля и 10 августа как для удобряемых, так и для неудодряемых участков показало, что содержание свинца на удобряемых участках ниже, чем на неудодряемых (табл. 2, 3 рис. 5–8). Указанное различие является статистически значимым.

Таблица 2. Содержание валового Pb в почве, мг/кг

Вариант	Ладожский 175MB	Компетенс	Краснодарский 194MB
22.07.2023			
Без удобрений	24,19 ± 1,21	16,3 ± 0,82	21,63 ± 1,08
С удобрениями	22,7 ± 1,10	15,1 ± 0,71	18,6 ± 0,92
10.08.2023			
Без удобрений	27,2 ± 0,96	18,5 ± 0,43	24,4 ± 0,72
С удобрениями	24,2 ± 0,72	15,6 ± 0,54	21,6 ± 0,83

Источник: составлено П.Ф. Васильковым, Л.В. Мосиной.

Table 2. Gross Pb content in soil, mg/kg

Variant	Ladozhsky 175MV	Competence	Krasnodarsky 194MV
22.07.2023			
Without fertilizer	24.19 ± 1.21	16.3 ± 0.82	21.63 ± 1.08
With fertilizer	22.7 ± 1.10	15.1 ± 0.71	18.6 ± 0.92
10.08.2023			
Without fertilizer	27.2 ± 0.96	18.5 ± 0.43	24.4 ± 0.72
With fertilizer	24.2 ± 0.72	15.6 ± 0.54	21.6 ± 0.83

Source: compiled by P.F. Vasilkov, L.V. Mosina.

Содержание общего свинца в почве в течение всего периода исследования увеличивается во всех исследуемых образцах. Под сортом Ладожский демонстрируются наибольшие значения содержания свинца, в обоих периодах без удобрений результат варьируется от 24,19 ± 1,21 до 27,2 ± 0,96 мг/кг, а с удобрениями от 22,7 ± 1,10 до 24,2 ± 0,72, что может свидетельствовать о более высокой степени поглощения этого элемента.

Содержание свинца в образцах почв с неудодряемых участков превышало показатели с участков, получавших удобрения. Среди сортов, не подвергавшихся удобрению, сорт Компетенс демонстрировал наименьшее содержание свинца на обе даты. Сорт Краснодарский в ряде случаев характеризовался максимальными значениями содержания свинца, в частности, 10.08.2023 у второго образца этот показатель достиг 0,663 ± 0,21 мг/кг.

Таблица 3. Содержание валового Pb в зеленой массе, мг/кг

Вариант	Ладожский 175МВ	Компетенс	Краснодарский 194МВ
22.07.2023			
Без удобрений	0,507 ± 0,13	0,484 ± 0,09	0,553 ± 0,17
С удобрениями	0,486 ± 0,19	0,418 ± 0,16	0,458 ± 0,15
10.08.2023			
Без удобрений	0,643 ± 0,10	0,567 ± 0,19	0,663 ± 0,21
С удобрениями	0,531 ± 0,07	0,436 ± 0,14	0,573 ± 0,09

Источник: составлено П.Ф. Васильковым, Л.В. Мосиной.

Table 3. Gross Pb content in soil, mg/kg

Variant	Ladozhsky 175MV	Competence	Krasnodarsky 194MV
22.07.2023			
Without fertilizer	0.507 ± 0.13	0.484 ± 0.09	0.553 ± 0.17
With fertilizer	0.486 ± 0.19	0.418 ± 0.16	0.458 ± 0.15
10.08.2023			
Without fertilizer	0.643 ± 0.10	0.567 ± 0.19	0.663 ± 0.21
With fertilizer	0.531 ± 0.07	0.436 ± 0.14	0.573 ± 0.09

Source: compiled by P.F. Vasilkov, L.V. Mosina.

У растений, которым были внесены удобрения, содержание свинца было существенно ниже, чем у контрольной группы. В частности, у сорта Краснодарский минимальное значение составляло  $0,458 \pm 0,15$  мг/кг. Сорт Ладожский сохранял сравнительно низкие показатели содержания свинца как в группе без удобрений, так и в группе с удобрениями в период цветения.

По состоянию на 10 августа 2023 г. отмечается незначительный рост концентрации свинца в образцах кукурузы, выращенной без применения удобрений, по сравнению с показателями, зафиксированными 22 июля 2023 г. В то же время уровень содержания свинца в образцах, полученных с использованием удобрений, сохраняется на стабильном уровне или даже демонстрирует тенденцию к снижению. Это может свидетельствовать о благоприятном влиянии удобрений на уменьшение биоаккумуляции свинца растениями.

Анализ содержания валового свинца в образцах кукурузы трех сортов (Ладожский, Компетенс, Краснодарский) выявил схожие средние значения, варьирующиеся в пределах от  $0,418 \pm 0,16$  до  $0,643 \pm 0,10$  мг/кг. Это свидетельствует о близости концентрации свинца в исследуемых сортах. Стандартное отклонение указывает на умеренную вариабельность данных. Сорт Краснодарский демонстрирует наибольшую дисперсию, что говорит о более широком диапазоне содержания свинца в данном сорте. Распределение данных, согласно показателям эксцесса и асимметрии, характеризуется незначительным смещением вправо и отклонением от нормального распределения за счет большей плоскости.

Полученные данные подтверждают сопоставимое содержание свинца в кукурузе всех трех сортов. Однако необходимо отметить, что сорт Краснодарский отличается более выраженной вариабельностью значений.

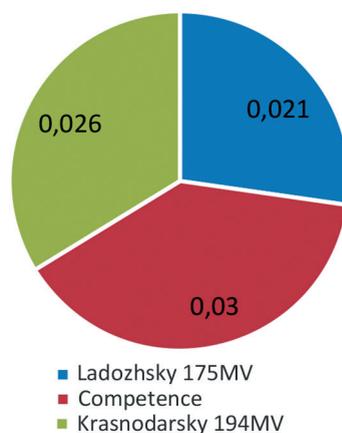
В ходе проведения исследования было определено содержание валового свинца (Pb) в кукурузе. Установлено, что его содержание увеличивается по мере продолжения эксперимента для всех вариантов (табл. 2). Это свидетельствует о накопительном характере поглощения свинца растениями кукурузы из почвы (т.е. поглощенный свинец из растения не выводится).

Коэффициент биологического поглощения (КБП) действительно отражает способность растений поглощать химические элементы или соединения из почвы. Если говорить конкретнее, в контексте свинца, КБП позволяет оценить количественную оценку рисков, прогнозировать транслокацию в пищевых цепях и т.д. На рис. 5–8 представлены КБП в кукурузе следующих сортов: Ладожский, Компетенс и Краснодарский.



**Рис. 5.** Коэффициент биологического поглощения без удобрений 22.07.2023

Источник: составлено П.Ф. Васильковым, Л.В. Мосиной.



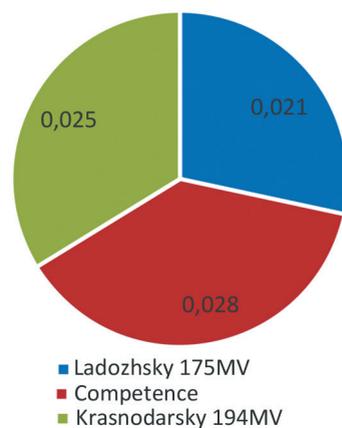
**Figure 5.** Biological uptake coefficient without fertilizers 22.07.2023

Source: compiled by P.F. Vasilkov, L.V. Mosina.



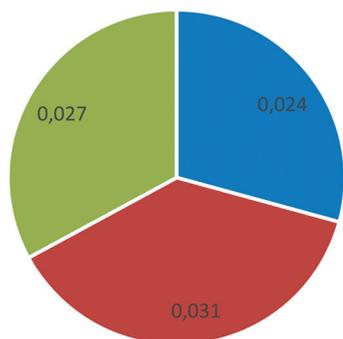
**Рис. 6.** Коэффициент биологического поглощения с удобрениями 22.07.2023

Источник: составлено П.Ф. Васильковым, Л.В. Мосиной.



**Figure 6.** Biological uptake coefficient with fertilizers 22.07.2023

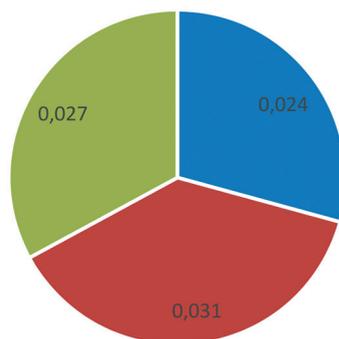
Source: compiled by P.F. Vasilkov, L.V. Mosina.



■ Ладожский 175МВ  
■ Компетенс  
■ Краснодарский 194МВ

**Рис. 7.** Коэффициент биологического поглощения без удобрений 10.08.2023

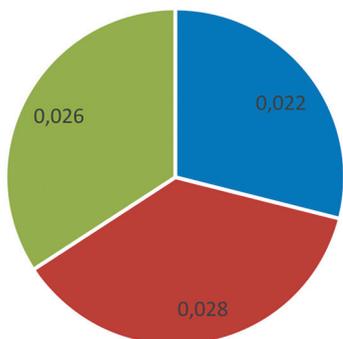
Источник: составлено П.Ф. Васильковым, Л.В. Мосиной.



■ Ladozhsky 175MV  
■ Competence  
■ Krasnodarsky 194MV

**Figure 7.** Biological uptake coefficient without fertilizers 10.08.2023

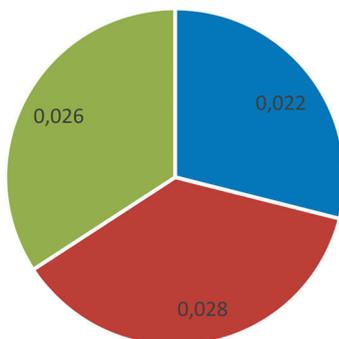
Source: compiled by P.F. Vasilkov, L.V. Mosina.



■ Ладожский 175МВ  
■ Компетенс  
■ Краснодарский 194МВ

**Рис. 8.** Коэффициент биологического поглощения с удобрениями 10.08.2023

Источник: составлено П.Ф. Васильковым, Л.В. Мосиной.



■ Ladozhsky 175MV  
■ Competence  
■ Krasnodarsky 194MV

**Figure 8.** Biological uptake coefficient with fertilizers 10.08.2023

Source: compiled by P.F. Vasilkov, L.V. Mosina.

Проведенный анализ коэффициента биологического поглощения свинца у сортов кукурузы Ладожский, Комптенс и Краснодарский в разные сроки вегетации (22.07 и 10.08) позволил сделать следующие выводы.

Для сорта Ладожский на 22.07.2023 внесение удобрений не изменило значение КБП:

- без удобрений: 0,021;
- с удобрениями: 0,021.

Это может указывать на то, что использованные удобрения не оказали значимого воздействия на доступность свинца в почве для данного сорта, вероятно, из-за стабильности почвенных условий или специфики состава удобрений.

На 10.08.2023 применение удобрений привело к незначительному снижению КБП:

- без удобрений: 0,024;
- с удобрениями: 0,022.

У сорта Комптенс к 10.08.2023 зафиксирован рост КБП по сравнению с 22.07.2023 (0,031 против 0,030 без удобрений). Это может быть связано с особенностями физиологии сорта, накоплением свинца в поздние фазы вегетации или изменением условий окружающей среды (температура, влажность).

Для сорта Комптенс на 22.07.2023 внесение удобрений снизило КБП с 0,030 до 0,028, на 10.08.2023 наблюдается аналогичная тенденция: КБП уменьшился с 0,031 (без удобрений) до 0,028 (с удобрениями).

Для сорта Краснодарский на 22.07.2023 внесение удобрений не изменило значение КБП:

- без удобрений: 0,026;
- с удобрениями: 0,025.

На 10.08.2023 применение удобрений привело к незначительному снижению КБП:

- без удобрений: 0,027;
- с удобрениями: 0,026.

Это может быть связано со стабильностью почвенных условий (рН, содержание органики), а также особенностями состава удобрений, не влияющих на доступность свинца.

Полученные данные подтверждают, что кукуруза обладает низким потенциалом накопления свинца, а грамотное применение удобрений способствует дополнительному снижению экологических рисков. Это важно для обеспечения безопасности сельхозпродукции и устойчивого землепользования.

Это свидетельствует о том, что применение удобрений, вероятно, снижает доступность свинца в почве для растений за счет изменения ее химических свойств (например, повышения рН, связывания металла в комплексы или конкуренции с макроэлементами).

## Обсуждение

Удобрения не способствуют усилению поглощения свинца растениями кукурузы [9]. Это может быть связано с тем, что удобрения способствуют улучшению здоровья растений и их способности к усвоению питательных веществ, что может снижать уровень токсичных элементов, таких как свинец [5].

Установленное повышенное содержание свинца в кукурузе, выращенной без применения удобрений, может указывать на наличие загрязнения почвы или атмосферного воздуха [2; 3]. Необходимы дальнейшие исследования для выявления источника загрязнения. Использование удобрений, предположи-

тельно, способствует снижению уровня накопления свинца в растениях, что может иметь положительное значение для здоровья населения и состояния окружающей среды. У сорта Ладожский коэффициент биологического поглощения характеризуется минимальными показателями валового содержания свинца на обе даты исследования, однако также показывает значительное увеличение его концентрации во времени.

Общее увеличение валового содержания свинца во времени может быть обусловлено загрязнением окружающей среды, почвы и другими факторами. Сорт Компетенс требует особого внимания в связи с наибольшими значениями коэффициента биологического поглощения. Это создает потенциальный риск для здоровья и безопасности потребления продукции данного сорта.

### **Заключение**

Исследование агрономических факторов, влияющих на валовое содержание свинца в кукурузе, выявило существенные моменты, связанные как с выбором сортов, так и с методами их культивирования. Оптимальные температурные режимы для роста кукурузы и применение удобрений играют решающую роль в минимизации накопления тяжелых металлов, таких как свинец, в растениях. Результаты исследования показали, что коэффициент биологического поглощения у валового содержания свинца у сорта Ладожский оказался минимальным, что делает его предпочтительным для использования в регионах с потенциальным загрязнением почвы. В то же время коэффициент биологического поглощения сорта Компетенс демонстрирует более высокую склонность к накоплению валового содержания свинца, требуя тщательного мониторинга его применения. Значительная вариабельность данных для сорта Краснодарский свидетельствует о необходимости дальнейшего изучения влияния внешних факторов на накопление валового содержания свинца в этом сорте.

Проведенное исследование подчеркивает важность агрономических практик и выбора сортов, направленных на минимизацию загрязнения, для обеспечения безопасности сельскохозяйственной продукции. Полученные результаты имеют практическую ценность для агрономов и специалистов в области экологии, способствуя разработке рекомендаций по безопасному выращиванию кукурузы и повышению качества продукции. Необходимы дополнительные исследования для более глубокого понимания механизмов накопления тяжелых металлов и разработки стратегий управления, направленных на повышение устойчивости сортов к загрязнению.

### **Список литературы**

- [1] Черных Н.А., Черных Ю.И. Реабилитация загрязненных свинцом почв // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2003. № 8. С. 140–148. EDN: MSZTLT

- [2] Misbah R., Muhammad A., Muhammad J., Javaid A., Muhammad I., Javed I. Phytoremedial potential of maize (*Zea mays* L.) hybrids against cadmium (Cd) and lead (Pb) toxicity // *Pure and Applied Biology*. 1932. Vol. 9. No. 3. <https://doi.org/10.19045/bspab.2020.9020>
- [3] Семенова В.В. Влияние техногенного загрязнения на содержание тяжелых металлов в *Achillea millefolium* L. горной провинции Дагестана // *Аграрная Россия*. 2015. № 2. С. 35–37. EDN: TLGHAB
- [4] Цуриков А.Г., Кавеленова Л.М., Корчиков Е.С. Современные проблемы экологии. Экологические аспекты устойчивого развития. Самара : Изд-во Самарского университета, 2021. 104 с.
- [5] Шарифзянов Р.Б., Давыдова О.А., Климов Е.С. Коэффициент биологического поглощения как один из критериев накопления ионов тяжелых металлов в различных породах древесных растений // *Успехи современного естествознания*. 2011. № 4. С. 103–104. EDN: NRXBUP
- [6] Шпилев Н.С., Ториков В.Е. Мельникова О.В., Сычева И.В., Лебедько Л.В., Осипов А.А. Инновации в селекционный процесс создания гибридов кукурузы // *Вестник Брянской ГСХА*. 2020. С. 15–19. EDN: JOGIOO
- [7] Головки Т.К., Далькэ И.В., Шморгунов Г.Т., Триандофилов А.Ф., Тулинов А.Г. Рост растений и продуктивность кукурузы в холодном климате // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019. № 2. С. 19–23. <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019219-23> EDN: OLLKCZ
- [8] Табаленкова Г.Н., Дымова О.В., Головки Т.К. Продуктивность и состав биомассы кукурузы в условиях центрального агроклиматического района Республики Коми // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 3 (194). С. 57–65. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-194-3-57-65> EDN: IVFCOK
- [9] Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т., Шишков Д.Г. Влияние минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, содержание основных элементов питания и тяжелых металлов в озимой ржи // *Агрохимия*. 2021. Т. 4. С. 49–56. <https://doi.org/10.31857/S0002188121040153> EDN: KUBCNQ
- [10] Бельченко С.А., Ториков В.Е., Дронов А.В., Малякво Г.П., Мельникова О.В., Бельченко Д.С. Эффективность возделывания гибридов кукурузы разных групп спелости на юго-западе Центрального региона России : монография. Брянск : Изд-во Брянский ГАУ, 2023. 180 с. EDN: MRWLUT
- [11] Кудаков А.С., Кудакова Г.Г. Эколого-экономический ущерб и его оценка в сельскохозяйственном производстве // *Справочник экономиста*. 2008. № 1. С. 67–78.
- [12] Pangga I.B., Hanan J., Chakraborty S. Pathogen dynamics in a crop canopy and their evolution under changing climate // *Plant Pathol*. 2011. Vol. 60, iss. 1. P. 70–81. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02408.x> EDN: OAPSUR

## References

- [1] Chernykh NA, Chernykh YuL. Rehabilitation of lead polluted soils. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2003;(8):140–148. (In Russ.) EDN: MSZTLT
- [2] Misbah R., Muhammad A., Muhammad J., Javaid A., Muhammad I., Javed I. Phytoremedial potential of maize (*Zea mays* L.) hybrids against cadmium (Cd) and lead (Pb) toxicity. *Pure and Applied Biology*. 1932;9(3). <https://doi.org/10.19045/bspab.2020.9020>
- [3] Semenova VV. Influence of Technogenic Pollution on Contents of Heavy Metals in *Achillea Millefolium* L. at Mountainous Area of Dagestan. *Agrarian Russia*. 2015;(2):35–37 (In Russ.) EDN: TLGHAB

- [4] Tsurikov AG, Kavelenova LM, Korchikov ES. *Modern problems of ecology. Ecological aspects of sustainable development*. Samara: Samara University Publishing House; 2021. (In Russ.)
- [5] Sharifzyanov RB, Davydova OA, Klimov ES. The coefficient of biological absorption as one the criteria for the accumulation of heavy metal ions in various types of woody plants. *Advances in Current Natural Sciences*. 2011;(4):103-104. (In Russ.) EDN: NRXBUP
- [6] Shpilev NS, Torikov VE, Melnikova OV, Sycheva IV, Lebedko LV, Osipov AA. Innovations in the selection of corn hybrids. *Bulletin of Bryansk State Agricultural Academy*. 2020. (In Russ.) EDN: JOGIOO
- [7] Golovko TK, Dalke IV, Shmorgunov GT, Triandofilov AF, Tulinov AG. Growth of plants and productivity of corn in cold climate. *Russian Agricultural Sciences*. 2019;(2):19–23. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019219-23> EDN: OLLK CZ
- [8] Tabalenkova GN, Dymova OV, Golovko TK. Productivity and composition of maize biomass in the central agroclimatic region of the Komi Republic. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020;(03):57–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-194-3-57-65> EDN: IVFCOK
- [9] Zavyalova NE, Vasbieva MT, Shyshkov DG. Influence of the mineral fertilizers on sod-podzolic soil fertility, content of major nutrients and heavy metals in winter rye. *Agrohimia*. 2021;(4):49–56. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0002188121040153> EDN: KUBCNQ
- [10] Belchenko SA, Torikov VE, Dronov AV, Malyavko GP, Melnikova OV, Belchenko DS. *Effectiveness of cultivation of maize hybrids of different ripeness groups in the south-west of the Central region of Russia: a monograph*. Bryansk: Izd-vo Bryansk GAU; 2023. (In Russ.) EDN: MRWLUT
- [11] Kudakov AS, Kudakova GG. Ecological-economic damage and its assessment in agricultural production. *Handbook of economist*. 2008;(1):67–78. (In Russ.)
- [12] Pangga IB, Hanan J, Chakraborty S. Pathogen dynamics in a crop canopy and their evolution under changing climate. *Plant Pathology*. 2011;60(1):70–81. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02408.x> EDN: OAPSUR

### Сведения об авторах:

Васильков Павел Феликсович, аспирант, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Прянишниковая, д. 19. ORCID: 0000-0002-1406-5118; eLIBRARY SPIN-код: 3311-5337. E-mail: p.f.vasilkov@yandex.ru

Мосина Людмила Владимировна, доктор биологических наук, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Прянишниковая, д. 19. ORCID: 0000-0003-2120-0389. E-mail: mosina.l.v@yandex.ru

### Bio notes:

Pavel F. Vasilkov, Postgraduate student, A.N. Kostyakov Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction, 19 Pryanishnikova St, Moscow, 127550. Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1406-5118; eLIBRARY SPIN-code: 3311-5337. E-mail: p.f.vasilkov@yandex.ru

Lюдмила V. Mosina, Doctor of Biological Sciences, A.N. Kostyakov Institute of Melioration, Water Management and Construction, 19 Pryanishnikova St, Moscow, 127550, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-2120-0389. E-mail: mosina.l.v@yandex.ru.