

Научная статья

УДК 581.192.6+633.15+631.482.1

DOI: 10.36508/journal.2026.44.37.005

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТЕНИЯХ КУКУРУЗЫ НА АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ПОЧВЕ ПРИ ВНЕСЕНИИ УДОБРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Шичков Вадим Петрович<sup>1</sup>, Захарова Ольга Алексеевна<sup>2</sup>, Новак Александра Ивановна<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

<sup>2,3</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова», г. Рязань, Россия

<sup>2</sup> [ol-zahar.ru@yandex.ru](mailto:ol-zahar.ru@yandex.ru)

**Аннотация.** В статье приведены результаты содержания приоритетных для региона тяжелых металлов в растениях кукурузы на аллювиальной почве при внесении удобрительных средств.

**Проблема и цель.** Учитывая близкое расположение АО «Московское», на землях которого проводятся исследования, к областному центру и входением в зону влияния Рязанской ГРЭС с экологической обстановкой в районе, относящейся к напряженной, изучение содержания тяжелых металлов в растениях кукурузы является актуальным. В научной литературе много информации по теме, однако возделывание культуры на аллювиальных почвах практически нет.

**Методология.** Исследования ведутся по заранее разработанной программе, но в статье представлены лишь результаты, полученные на двух участках – залежи (2Ф) и агрофитоценозе (1А) на вариантах без удобрений (2Ф1 и 1А1) и при внесении удобрительных средств (2Ф2 и 2А2) в виде навоза, минеральных удобрений и гумата. Методика исследований общепринятая.

**Результаты.** ТМ в почве двух участков обнаружены в пределах нормы, как валовых, так и подвижных форм. На вариантах 1А1 и 1А2 концентрация токсикантов чуть ниже, чем на вариантах (2Ф1 и 2Ф2). По меди и цинку на участке 2 наблюдается небольшое превышение концентрации в растениях, что требует регулярного мониторинга. Распределение металлов по органам следующее: вегетативные органы накапливают их значительно больше, чем репродуктивные. Токсичность почвы в градации низкая выявлена на варианте 2Ф1. Несмотря на незначительное повышение содержание

металлов, растения развиваются нормально. Оптимальным вариантом выделен 1А2, на котором в почве и растениях отклонений по всем показателям нет.

**Заключение.** Исходя из вышеизложенного, почва участка 1 по индексу фитотоксичности относится к градации стимуляция роста, а на участке 2 – низкий уровень токсичности. Корневая система растений развивалась на участке 1 чуть быстрее, чем на участке 2, что выражено при микроскопировании в более раннем образовании корневых волосков. Внесение удобрительных средств в виде навоза, минеральных удобрений и гуммата эффективно и способствует нормальному развитию растений кукурузы, что в конечном итоге дает приrost урожайности.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, валовые и подвижные формы, усвояемость, ПДК, поступление металлов в растения, миграция, кукуруза

Original article

## HEAVY METAL CONTENT IN CORN PLANTS IN ALLUVIAL SOILS WITH FERTILIZERS

Shichkov Vadim Petrovich<sup>1</sup>, Zakharova Olga Alekseevna<sup>2</sup>, Novak Alexandra Ivanovna<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev", Ryazan, Russia

<sup>2,3</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Medical University Named after Academician I.P. Pavlov", Ryazan, Russia

<sup>2</sup> [ol-zahar.ru@yandex.ru](mailto:ol-zahar.ru@yandex.ru)

**Abstract.** This article presents results on the concentration of regionally relevant heavy metals in corn plants in alluvial soils being fertilized.

**Problem and purpose.** Given the proximity of Moskovskoe JSC, where the research is being conducted, to the regional center and the influence zone of the Ryazan State District Power Plant, which has a tense environmental situation in the region, studying the heavy metal content in corn plants is relevant. While the scientific literature provides extensive information on this topic, virtually no information is available on the cultivation of this crop in alluvial soils.

**Methodology.** The research is being conducted according to a pre-developed program, but this article presents only the results obtained on two plots — a fallow land (2F) and an agrophytocenosis (1A) — in variants without fertilizers (2F1 and

1A1) and with fertilizers (2F2 and 2A2) in the form of manure, mineral fertilizers, and humate. The research methodology is generally accepted.

**Results.** HMs in the soil of both plots were found within normal limits, both for gross and mobile forms. In variants 1A1 and 1A2, toxicant concentrations were slightly lower than in variants 2F1 and 2F2. Copper and zinc concentrations in plants in plot 2 were slightly elevated, requiring regular monitoring. The distribution of metals among organs was as follows: vegetative organs accumulated significantly more than reproductive organs. Low soil toxicity was detected in variant 2F1. Despite the slight increase in metal content, plants developed normally. Variant 1A2 was identified as the optimal variant, with no deviations in soil or plants across all parameters.

**Conclusion.** Based on the above, the soil in plot 1 was classified as growth-promoting according to the phytotoxicity index, while plot 2 had a low toxicity level. The root system of plants in plot 1 developed slightly faster than in plot 2, as evidenced by the earlier formation of root hairs under microscopy. Fertilizer application in the form of manure, mineral fertilizers, and humate was effective and promoted normal corn plant development, ultimately resulting in increased yield.

**Keywords:** heavy metals, gross and mobile forms, digestibility, MAC, metal uptake by plants, migration, corn

[ol-zahar.ru@yandex.ru](mailto:ol-zahar.ru@yandex.ru)

## Введение

Несмотря на принимаемые правительством меры по сохранению качества окружающей среды, ситуация в целом практически не меняется, сообщаются результаты мероприятий по восстановлению среды на точечном и локальном уровнях [8]. Рязанская область – крупный промышленный и сельскохозяйственный центр, выбросы и сбросы предприятий составляют основной объем вносимых в окружающую среду токсикантов. Одним из загрязняющих предприятий является Рязанская ГРЭС из-за высоты трубы 320 м, радиус влияния распространяется до 96,7 км. Котлоагрегаты Рязанской ГРЭС работает на угле Канско-Ачинского бассейна с участием углей месторождений Коми, Иркутской области и Урала, что привело к снижению суммарных и удельных выбросов в атмосферу, однако концентрация ТМ в золе-уносе возросла. Вследствие высоты трубы станция находится под Конвенцией о трансграничном загрязнении воздуха (Монреаль, 1979). В выбросах и сбросах Рязанской ГРЭС найдены практически все тяжелые металлы (ТМ), которые имеют длительный период

полураспада с сохранением токсических свойств и обладают кумулятивным действием [4, 8]. ТМ высокотоксичны для живых объектов, в том числе растительных организмов [5, 6].

Исследования проведены на аллювиальной почве, осенью затопляемой полыми водами, АО «Московский». Учитывая действие выбросов Рязанской ГРЭС и близкое расположение хозяйства к областному центру г. Рязани, нами была поставлена цель изучить содержание приоритетных тяжелых металлов в растениях кукурузы в условиях химизации [2, 5]. По данным профессора Ю.А. Мажайского (2020), приоритетными для региона являются Cd, Pb, Cu, Zn. Так, на территории хозяйства экологическая ситуация характеризуется как критическая (рисунок 1).

### Материалы и методы исследования

Схема опыта включала контроль – без внесения удобрений и вариант с внесением навоза, минеральных удобрений и гуминового препарата на двух участках – фитоценозе (залежь), которые сформировали варианты 1Ф1 и 1Ф2 и агрофитоценозе (в севообороте) - варианты 1А1 и 1А2. Участки отделены друг от друга грунтовой дорогой (рисунок 2).



Рисунок 1 – Экологическое состояние Рязанского района Рязанской области  
Figure 1 – Ecological state of Ryazan district of Ryazan region

 критическое

Отборы проб производились буром послойно. ТМ определялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии в аттестованной лаборатории института экологии РУДН им. Патриса Лумумбы. При оценке содержания подвижных форм ТМ в почве в качестве экстрагента использовался ацетатно-аммонийный буфер с рН 4,8. Основной метод исследования – сравнение вариантов между собой и ПДК/ОДК.



Рисунок 2 – Опытные участки  
Figure 2 – Experimental plots

Почва участка исследований аллювиальная азональная невысокого уровня плодородия [3]. В лабораторном опыте для оценки токсичности субстрата использовался индекс фитотоксичности (ИФ), который рассчитывался по формуле [1, 9]:

$$\text{ИФ} = (\text{Lp} + \text{Lк}) \text{опыт} / (\text{Lp} + \text{Lк}) \text{контроль}, \quad (1)$$

где Lp — длина ростка, см,

Lк — длина корешка,

ИФ интерпретация: ИФ > 1,10 — стимуляция роста; ИФ = 0,91–1,10 — норма; ИФ = 0,71–0,90 — низкая токсичность; ИФ = 0,50–0,70 — средняя токсичность; ИФ < 0,50 — высокая токсичность.

Большое влияние на трансформацию и миграцию ТМ играет климат [7], а в последние 10 и более лет на территории региона установлено изменение гидротермического коэффициента в сторону засухи и потепления.

Нами проведен анализ научной литературе по теме и установлен противоречивый характер полученных данных и отсутствие результатов по содержанию ТМ в аллювиальной почве, что снижает восприятие исследований как целого. В статье обобщены современные сведения об усвояемости ТМ растениями кукурузы и приведены результаты собственных исследований как теоретического, так и эмпирического характера.

### **Результаты исследований**

Как отмечено выше, приоритетными для региона являются Cd и Pb – техногенные, Zn и Cu – биогенные, которые участвуют во многих процессах, протекающих в растительной клетке, причем, по данным Blindauer с соавт. [9] до 50% белков функционируют только в присутствии ионов ТМ, в частности Zn, а также в качестве кофакторов в молекулах некоторых ферментов. При изучении действия ТМ на растительный организм необходимо знать механизмы поглощения ТМ корнями. Это пассивный перенос ионов в клетку без затрат энергии и активное поглощение с затратой энергии против градиента электрохимического потенциала, о чем свидетельствует Lux с соавт. [10]. Так, пассивный транспорт ТМ в клетку идет по кальциевым каналам, которые образованы деполяризацией мембраны, с участием белков-переносчиков; кальциевым каналам, образованным гиперполяризацией мембраны, катионным каналам [8]. Как сообщают Rogers E. E., Eide D. J., Guerinot M. L. (2000), у многих растений участие одних белков (ZIP-белков) проявляется в поглощении корнями и транспорте через плазмалемму  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ , других – Pb. Этими же авторами отмечено, что у растений семейства Мятликовые транспортером ионов ТМ происходит в комплексе с фитосидерофорами с участием белка YS1, обнаруженный у кукурузы Vaculik M., Lux A., Luxová A. et al. (2009). У

кукурузы белки транспортируют комплексы  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$ . Lix с соавт. [10], к примеру, установили нарушение поступления  $\text{Zn}^{2+}$  у мутантных растений кукурузы при отсутствии гена YS1. Все исследователи отмечают значительную роль свойств почвы, ее химический и механический состав, рН, содержание органических веществ, деятельность микроорганизмов и др., а также следует учитывать взаимодействие между исследуемыми металлами: например, Pb подавляет поступление и передвижение от корней к другим органам Zn, который, в свою очередь, снижает поглощение Cd, Cu, а Cd ингибирует поглощение Zn, Cu и др.

Нами рассмотрена информация, опубликованная в отечественной и зарубежной литературе, по активности поглощения ТМ корневыми волосками и транспорту токсикантов в другие органы растений из корня. Известно, что радиальный транспорт ТМ идет по апопласту (свободные от суберина клетки, расположенные в зоне деления или зоне растяжения) при помощи диффузии. Этот путь ТМ незначителен и имеет место при высоких концентрациях металлов в почве. Интересны факты, приводимые в работах иностранных исследователей [9, 10], о блокировке транспорта Cd из корней в стебель. Белки помогают транспортировать металлы у злаков во флоэму, сосуды ксилемы и далее – в листья. Причем в узлах стебля скорость движения металлов тормозится, происходит перемещения ионов ТМ из ксилемы во флоэму. Этот путь важен для организма, потому что далее ТМ вместе с питательными веществами поступают в семена. Доказано, что по пути перемещения токсиканты образуют комплексы с другими веществами. Результаты определения концентрации приоритетных ТМ в почве показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Среднее содержание ТМ в пахотном слое почвы (мг/кг)

Металл	Лимитирующий показатель вредности	Содержание подвижных форм ТМ в почве
участок 1		
Cu	общесанитарный	$\frac{2,25}{2,08}$ * **
Zn	транслокационный	$\frac{22,74}{22,20}$
Cd	общесанитарный	$\frac{1,09}{1,00}$
Pb	общесанитарный	$\frac{4,88}{4,50}$
участок 2		
Cu	общесанитарный	$\frac{3,00}{2,88}$
Zn	транслокационный	$\frac{23,00}{22,86}$
Cd	общесанитарный	$\frac{1,82}{1,05}$
Pb	общесанитарный	$\frac{5,66}{4,96}$

\* контроль – без удобрений \*\*p=0,95  
вариант 6 – с удобрениями

Как видно из приведенных данных таблицы 1, концентрация ТМ ниже в почве участка 1, что объясняется, по-видимому, ежегодной обработкой почвы и перемешиванием ее слоев. Так, превышения норматива не установлено, однако по биогенным Cu и Zn обнаружены максимальные значения на контроле участка 2, что свидетельствует о необходимости регулярного контроля этих двух металлов.

Аналогическая ситуация выявлена по подвижным формам приоритетных для региона ТМ: превышения нормативов нет.

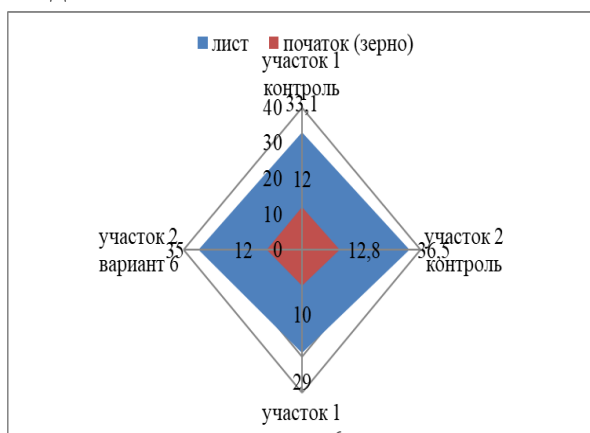
Та же тенденция прослеживается в содержании ТМ в растениях, причем концентрация токсикантов имеет различия по органам: в листьях больше, в початке (зерно) меньше (рисунок 3), в вегетативных органах больше, чем в генеративных.

По содержанию в растениях можно выстроить ТМ в цепочку:

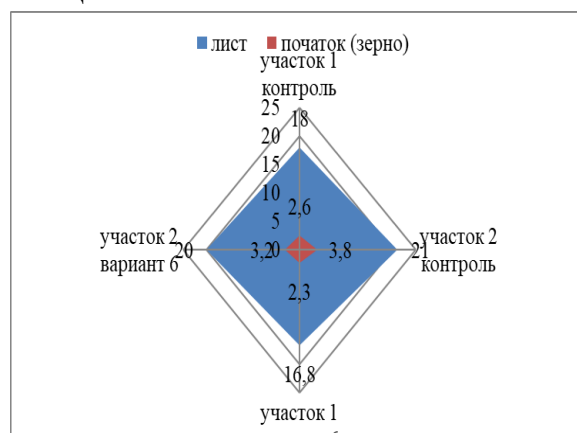
Корень  $Pb > Cd > Zn > Cu$ , лидерство свинца объясняется образованием в почве малорастворимых соединений, адсорбции на глинистых частицах почвы.

Поступление ТМ может идти и через листья, когда в процессе седиментации металлы оседают на поверхность органа, преимущественно в виде оксидов или солей. Последние постепенно растворяются, переходя в гидроксиды, карбонаты или в форму обменных катионов и вовлекаются в обмен веществ, транспортируются в стебли и генеративные органы, а также – впитываются с водой корнем. Например, цинк может связываться в почве с гуминовыми кислотами и переходить в недоступные растениям формы, а из атмосферного воздуха через вегетативные органы он поступает в растения. Стебель  $Zn > Pb > Cd > Cu$ . Лист  $Zn > Cu > Pb > Cd$ . Початок  $Zn > Cu > Pb > Cd$ .

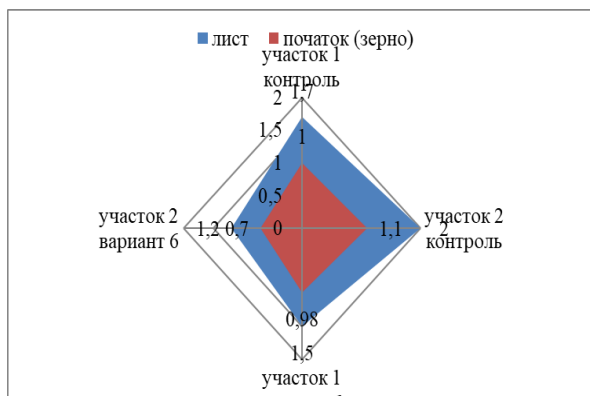
Медь



Цинк



### Кадмий



### Свинец

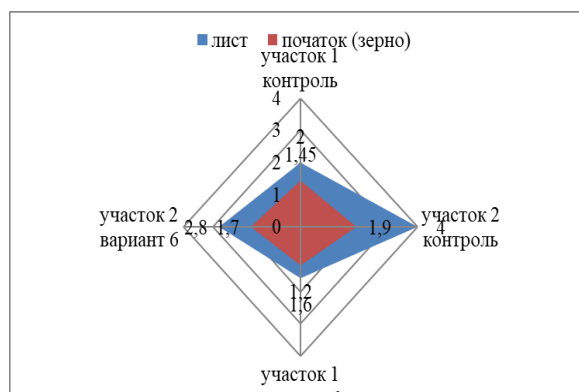


Рисунок 3 – Сравнительное содержания приоритетных ТМ в вегетативном и генеративном органах кукурузы

Figure 3 – Comparative content of priority HMs in the vegetative and generative organs of corn

По рисунку 3 можно визуальнo сравнить, насколько содержание ТМ больше в листе (синий цвет), чем в початке (зерно, красный цвет).

Токсичность исследуемой почвы была изучена на проростках тест-культуры – овса (рисунок 4).



Рисунок 4 – Проростки овса при изучении токсичности аллювиальной почвы: а – участок 1, б - участок 2, вариант 6

Figure 4 – Oat sprouts in the study of alluvial soil toxicity: a – plot 1, b – plot 2, variant 6

По результатам измерений длины корешка и проростка построены вариационные ряды с последующей статистической обработкой (таблица 2).

Таблица 2 – Статистические показатели содержания ТМ в корешках

Вариант опыта	средняя длина корешка, см	длина проростка, см	индекс фитотоксичности, ИФ
1А1	5,5±0,4	10,2±0,8	1,6 – участок 1
2Ф1	3,7±0,6	6,0±0,6	0,7 – участок 2
1А2	9,2±0,6	14,5±0,8	
2Ф2	4,5±0,3	9,5±0,8	

Из данных таблицы 2 видно, что внесение удобрительных свойств оказало благоприятный эффект на прораствание семян тест-культуры. Индекс фитотоксичности на участке 1 ИФ=1,6, что свидетельствует о стимуляции роста, на участке 2 ИФ =0,7 – низкая токсичность почвы.

Для зерна, поставляемого как на пищевые, так и на кормовые цели, предельно допустимые уровни (ДУ) токсичных элементов установлены в техническом регламенте Таможенного союза 015/2011 «О безопасности зерна». Об усвояемости ТМ можно судить по коэффициентам концентрации:

вариант 1А2

КсCu =0,8

КсZn=0,7

КсCd=0,5

КсPb=0,6

вариант 2Ф2

КсCu=1,1

КсZn=1,1

КсCd=0,8

КсPb=0,7

Так, Кс меди и цинка на варианте 2Ф2 выше, что свидетельствует о накоплении в растениях этих биогенных металлов и необходимости регулярного их контроля.

При внесении удобрительных свойств корневое питание играет существенную роль в жизнедеятельности растений. На рисунке 5 показаны фазы роста растений кукурузы с выделением наиболее важных в онтогенезе.



Рисунок 5 – Наиболее значимые фазы роста растений кукурузы

Figure 5 – The most significant growth phases of corn plants

В фазу всходов активно закладывается корневая система, корни молодые с хорошо видимыми корневыми волосками, поэтому в эту фазу онтогенеза было проведено микроскопирование молодых корней (рисунок 6).

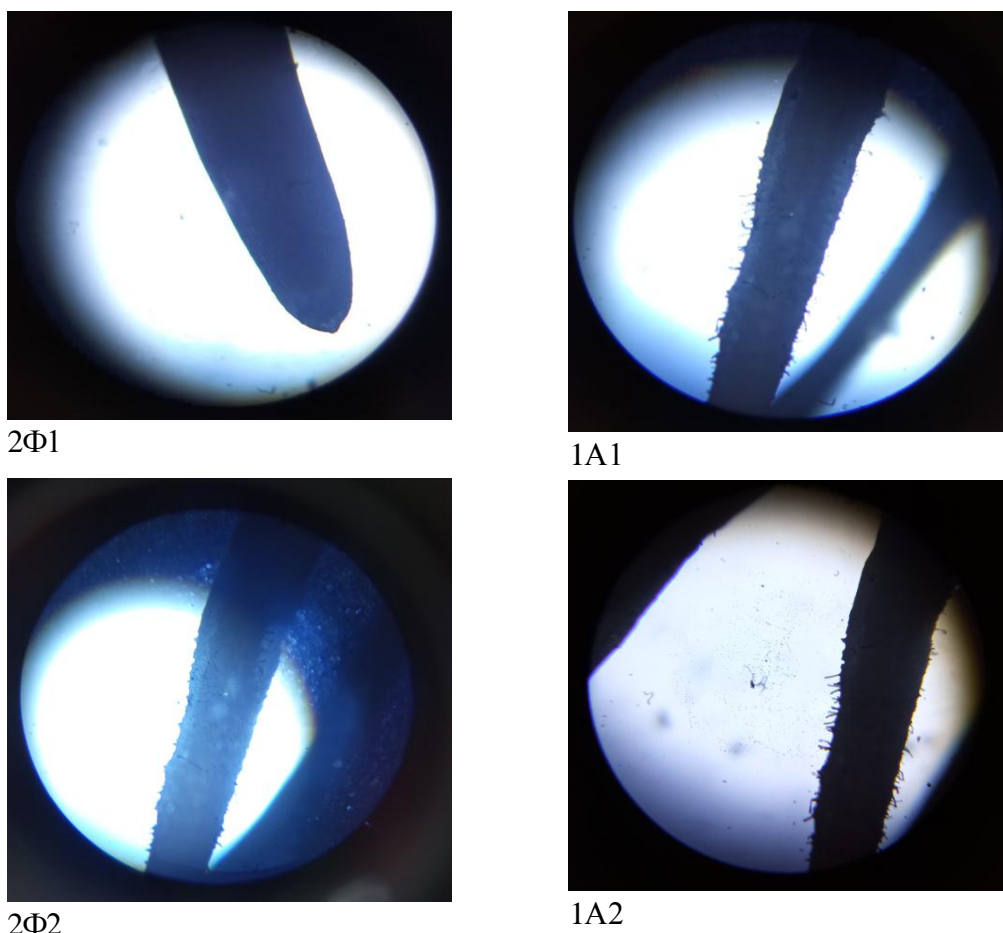


Рисунок 6 – Молодые корни кукурузы под световым микроскопом  
Figure 6 – Young corn roots under a light microscope

Как видно из рисунка 6, молодые корни хорошо развиты у растений в агрофитоценозе (1А1 и 1А2), четко просматриваются корневые волоски у растений агрофитоценоза, причем у растений (1А2) корневые волоски визуальное длиннее, чем на других вариантах.

У растений фитоценоза без удобрений корневые волоски развиты плохо (2Ф1), на этом же участке при внесении удобрений - чуть лучше (2Ф2). Из наблюдений следует, что впитывание веществ корнями растений кукурузы идет более активно в севообороте, на что оказывает более действенное влияние – внесение удобрений, так как исходная концентрация ТМ в почве каждого варианта имела незначительную разницу.

Результаты исследований корней растений 1Ф2 и 2Ф2 в фазу выметывания, когда орган имеет максимальное развитие, показаны в таблицах 3, 4 и на рисунке 7.



Рисунок 7- Откопка корней для исследований  
Figure 7 - Digging up roots for research

Таблица 3 – Характеристика корневой системы кукурузы 1Ф2 в фазу выметывания

Слой почвы	Кукуруза		
	Объем корней	Масса корней	Насыщенность почвы корнями
см	см <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup>	%
0-5	848±34,5	186±9,5	1,6
5-10	566±21,2	146±8,7	0,9
10-15	745±22,6	140±8,6	1,6
15-20	1133±38,4	197±8,4	1,7
20-25	1156±33,9	189±6,4	2,1
25-30	1123±36,8	101±3,9	1,3
0-15	2159±62,3	472±11,4	4,1
15-30	3412±66,2	487±11,0	5,1

Как видно из приведенных в таблице 3 данных, максимальный объем корней находится на глубине 20-25 см, а максимальная масса – в слое почвы 15-20 см.

В таблице 4 дана характеристика корневой системы кукурузы 2Ф2 в фазу выметывания.

Таблица 4 – Характеристика корневой системы кукурузы 2Ф2 в фазу выметывания

Слой почвы	Кукуруза		
	Объем корней	Масса корней	Насыщенность почвы корнями
1	2	3	4
см	см <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup>	%
0-5	799±30,0	160±9,2	1,4
5-10	501±20,5	133±7,7	0,7
10-15	701±22,8	108±7,1	1,3
15-20	1063±36,4	171±6,8	1,9
20-25	1025±36,1	169±6,1	1,5
25-30	1102±38,9	96±4,8	1,0
0-15	2001±39,2	401±9,9	3,4
15-30	3180±41,6	436±10,1	4,4

На участке 2, где была залежь, развитие корневой системы в максимальном объеме и наибольшей массой обнаружено в слое 15-20 см, что, по-видимому, связано с физическим состоянием почвы. На участке 1 больше объем в слое почвы 20-25 см, а масса корней – в слое 15-20 см. Насыщенность почвы корнями была максимальной в слое почвы 15-20 см независимо от статуса участка.

Представленные выше данные показывают отсутствие отрицательного воздействия на развитие корневой системы растений кукурузы в разных условиях, поэтому можно предположить некоторое снижение подвижности металлов в почве в результате внесения удобрительных средств. В то же время, влияет временное затопление почвы, что изменяет ее водный режим и ТМ, в частности Cu и Zn могут легко переходить в подвижные и усвояемые формы.

Полученные результаты исследований были обработаны корреляционно-регрессионным анализом с целью установления взаимосвязи концентрации ТМ, объема и массы корней, что было подтверждено сильной связью  $r=0,94$ .

### Заключение

Итак, содержание приоритетных тяжелых металлов в почве двух участков не превышает норматива. Почва участка 1 по индексу фитотоксичности относится к градации стимуляция роста, а на участке 2 – низкий уровень токсичности, причем это было подтверждено обнаружением KсCu и KсZn с

пограничными значениями в продукции на варианте 2Ф1. На остальных вариантах растения кукурузы нормально развивались и содержали металлы в низких концентрациях.

Корневая система растений развивалась на участке 1 чуть быстрее, чем на участке 2, что выражено при микроскопировании в более раннем образовании корневых волосков. Надо отметить, что накопление ТМ было выше в вегетативных органах: корень>стебель>лист и ниже – в несколько раз в початках (зерно).

Таким образом, внесение удобрительных средств в виде навоза, минеральных удобрений и гуминового препарата эффективно и способствует нормальному развитию растений кукурузы.

### **Библиографический список**

1. Бакина, Л.Г. Экотоксикологическая оценка почв садов русского музея, Санкт-Петербург / Л.Г. Бакина, А.О. Герасимов, Е.А. Жукова, М.В. Чугунова, Н.В. Маячкина, Ю.М. Поляк, Е.А. Горбунова, А.А. Галдиянц, А.В. Брянцев // Почвоведение, 2025. - №5. – С.647-687. URL: <https://soilsciras.ru/s30345618s0032180x25050106-1/>
2. Дубенок, Н.Н. Оценка агрохимического состояния почвы и урожайности многолетних трав в зависимости от удобрительных средств / Н.Н. Дубенок, Ю.А. Мажайский, О.А. Захарова // Сетевой научный журнал РГАТУ, 2025. - №2(8). – С. 1-11. DOI:10.36508/journal.2025.45.48.002
3. Захарова, О.А. Азональные особенности аллювиальной почвы Центральной поймы реки Оки / О.А. Захарова, О.В.Евдокимова, К.Н.Евсенкин, А.И.Новак, В.П. Шичков // Вестник РГАТУ, 2024. - №4 – Т.16. – С. 60-70. DOI 10.36508/journal.2024.42.78.002
4. Захарова, О.А. Отображение почвенных и гидрологических процессов, продуктивности культур посредством математических моделей и многофакторных поверхностей отклика / О.А.Захарова, Д.Е. Кучер, О.В. Евдокимова, О.В, Черкасов: Монография. – Рязань: ИП Коняхин А.В., 2025. - 186 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82571692>
5. Ильюшенко, Н.А. Оценка уровня химического загрязнения почв г. Петропавловска-Камчатского / Н.А. Ильюшенко, Д.О. Мартыненко, В.Г. Авдощенко, А.В. Сергеева, А.А. Кузьмина, А.В. Климова // Почвоведение, 2025. - №5. – С. 739-754. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=81299310>
6. Неведров, Н.П. Подвижность тяжелых металлов в условиях высокой variability базовых свойств почв урбоэкосистем и агроэкосистем ЦЧР/ Н.П. Неведров // Агрохимический вестник, 2025. - №1. – С.45. DOI 10.24412/1029-2551-2025-1-008

7. Савин, И. Ю. Может ли изменение климата привести к расширению посевов сельскохозяйственных культур в арктической зоне России? / И. Ю. Савин, С.А. Аветян, Н.В. Савицкая, О.Д. Кучер // Сетевой научный журнал РГАТУ, 2024. - №4(6). – С. 41-58. DOI: 10.36508/journal.2024.29.15.006
8. Титов, А. Ф. Тяжелые металлы и растения / А.Ф. Титов, Н.М. Казнина, В.В. Таланова. - Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. - 194 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23779831>
9. Blindauer C. A., Schmid R. Cytosolic metal handling in plants: determinants for zinc specificity in metal transporters and metallothioneins // *Metallomics*. 2010. V.2.P.510–529.URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2010/mt/c004880a>
10. Lux A., Martinka M., Vaculík M., White P. J. Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review // *J. Exp. Bot.* 2011. V. 62, N 1. P. 21–37. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20855455/>

#### *References*

1. Bakina, L.G. Экотоксикологическая оценка почв садов русского музея, Санкт-Петербург / L.G. Bakina, A.O. Gerasimov, E.A. Zhukova, M.V. Chugunova, N.V. Mayachkina, Yu.M. Polyak, E.A. Gorbunova, A.A. Galdiyancz, A.V. Bryancev// *Pochvovedenie*, 2025. - №5. – S.647-687.URL: <https://soilsciras.ru/s30345618s0032180x25050106-1/>
2. Dubenok, N.N. Оценка агрохимического состояния почвы и урожайности многолетних трав в зависимости от удобри́тельных средств / N.N. Dubenok, Yu.A. Mazhayskij, O.A. Zaxarova // Сетевой научный журнал РГАТУ, 2025. - №2(8). – С. 1-11. DOI:10.36508/journal.2025.45.48.002
3. Zaxarova, O.A. Азональные особенности аллювиальной почвы Центральной реки Оки / O.A. Zaxarova, O.V.Evdokimova, K.N.Evsenkin, A.I.Novak, V.P. Shichkov // *Vestnik RGA TU*, 2024. - №4 – Т.16. – С. 60-70. DOI 10.36508/journal.2024.42.78.002
4. Zaxarova, O.A. Отображение почвенных и гидрологических процессов, продуктивности культур посредством математических моделей и многофакторных поверхностей отклика / O.A.Zaxarova, D.E. Kucher, O.V. Evdokimova, O.V, Cherkasov: Монография. – Рязань: ИП Кonyaxin A.V., 2025. - 186 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82571692>
5. И́yushenko, N.A. Оценка уровня химического загрязнения почв г. Петропавловска-Камчатского / N.A. И́yushenko, D.O. Marty`nenko, V.G. Avdoshhenko, A.V. Sergeeva, A.A. Kuz`mina, A.V. Klimova // *Pochvovedenie*, 2025. - №5. – С. 739-754. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=81299310>
6. Nevedrov, N.P. Подвижность тяжелых металлов в условиях высокой variability базовых свойств почв урбозем и агрозем Чехии /

- N.P. Nevedrov // Agroximicheskij vestnik, 2025. - №1. – S.45. DOI 10.24412/1029-2551-2025-1-008
7. Savin, I. Yu. Mozhet li izmenenie klimata privesti k rasshireniyu posevov sel'skoxozyajstvenny`x kul'tur v arkticheskoj zone Rossii? / I. Yu. Savin, S.A. Avetyan, N.V. Saviczka, O.D. Kucher // Setevoj nauchny`j zhurnal RGATU, 2024. - №4(6). – S. 41-58. DOI: 10.36508/journal.2024.29.15.006
8. Titov, A. F. Tyazhely`e metally` i rasteniya / A.F. Titov, N.M. Kaznina, V.V. Talanova. - Petrozavodsk: Kareľskij nauchny`j centr RAN, 2014. - 194 s. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23779831>
9. Blindauer C. A., Schmid R. Cytosolic metal handling in plants: determinants for zinc specificity in metal transporters and metallothioneins // Metallomics. 2010. V.2.P.510–529.URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2010/mt/c004880a>
10. Lux A., Martinka M., Vaculík M., White P. J. Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review // J. Exp. Bot. 2011. V. 62, N 1. P. 21–37. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20855455/>