

Р.С. Кираев  
Р.Ф. Хасанова ✉  
И.Г. Мустафин

Опытная станция «Уфимская» —  
обособленное структурное  
подразделение Уфимского федерального  
исследовательского центра Российской  
академии наук, Уфа, Россия

✉ rezeda78@mail.ru

Поступила в редакцию:  
17.07.2023  
Одобрена после рецензирования:  
26.12.2023  
Принята к публикации:  
10.01.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-378-1-102-106

Rustyam S. Kiraev  
Rezeda F. Khasanova ✉  
Irek G. Mustafin

Experimental station “Ufimskaya” Subdivision  
of the Ufa Federal Research Centre of the  
Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

✉ rezeda78@mail.ru

Received by the editorial office:  
17.07.2023  
Accepted in revised:  
26.12.2023  
Accepted for publication:  
10.01.2024

# Оценка влияния известкования и удобрений на содержание токсичных элементов в агрочерноземе выщелоченном и накопление в зерне яровой пшеницы

## РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** В современных условиях вопросы охраны почв от загрязнения токсичными элементами привлекают повышенное внимание исследователей разных стран. Особенно остро эта проблема стоит для агроландшафтов, находящихся вблизи городов, промышленных объектов и автодорог.

**Методы.** Объекты исследований — почвы агроландшафтов южной лесостепи в пределах Уфимского района Республики Башкортостан, представленные черноземами выщелоченными.

**Результаты.** Согласно полученным данным, содержание токсичных элементов в почвах и зерне яровой пшеницы варьирует в пределах, не превышающих предельно допустимый уровень. При применении минеральных удобрений в агрочерноземе отмечена тенденция к повышению содержания подвижных форм токсичных металлов и накоплению их и в зерне яровой пшеницы в незначительных концентрациях. Известкование, внесение навоза и сидерата способствовали снижению содержания подвижных форм токсичных элементов в почве и уменьшению их поступления в зерно яровой пшеницы, что свидетельствует о возможности направленного регулирования качества зерна применением агроландшафтных и агротехнических приемов. Количественные значения концентрации токсичных элементов в почвах сельскохозяйственного назначения и в продукции сельскохозяйственных растений могут служить основой для проведения мониторинга агроэкосистем. Полученные сведения могут быть использованы для разработки рекомендаций рационального землепользования и оценки экологического состояния агрофитоценозов, для получения качественной сельскохозяйственной продукции.

**Ключевые слова:** токсичные элементы, сельскохозяйственная продукция, агрочернозем выщелоченный, Республика Башкортостан

**Для цитирования:** Кираев Р.С., Хасанова Р.Ф., Мустафин И.Г. Оценка влияния известкования и удобрений на содержание токсичных элементов в агрочерноземе выщелоченном и накопление в зерне яровой пшеницы. *Аграрная наука*. 2024; 378(1): 102–106. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-102-106>

© Кираев Р.С., Хасанова Р.Ф., Мустафин И.Г.

# Assessment of the effect of liming and fertilizers on the content of heavy metals in leached agrochernozem and accumulation in spring wheat grain

## ABSTRACT

**Relevance.** In modern conditions, the issues of soil protection from heavy metal pollution attract the increased attention of researchers from different countries. This problem is especially acute for agricultural landscapes located near cities, industrial facilities and highways.

**Methods.** The objects of research were the soils of agricultural landscapes of the Ufa district of the Republic of Bashkortostan. The studies were carried out on leached chernozem.

**Results.** According to the data obtained, the content of heavy metals in soils and in spring wheat grain varies within the limits not exceeding the MPC level. When using mineral fertilizers in agrochernozem, there is a tendency to increase the content of mobile forms of heavy metals and their accumulation in spring wheat grain. Liming, application of manure and siderate contributed to a decrease in the content of heavy metals in the soil and a decrease in their intake into the grain of spring wheat. This indicates the possibility of directed regulation of grain quality by the use of agro-reclamation and agrotechnical techniques.

**Key words:** toxic elements, agricultural products, leached agrochernozem, Republic of Bashkortostan

**For citation:** Kiraev R.S., Khasanova R.F., Mustafin I.G. Assessment of the effect of liming and fertilizers on the content of toxic elements in leached agrochernozem and accumulation in spring wheat grain. *Agrarian science*. 2024; 378(1): 102–106 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-102-106>

© Kiraev R.S., Khasanova R.F., Mustafin I.G.

## Введение/Introduction

В современных условиях вопросы, затрагивающие охрану окружающей среды, и в частности охрану почв от загрязнения токсичными элементами, привлекают повышенное внимание исследователей разных стран. Экологическая опасность таких элементов заключается в том, что они быстро накапливаются в почве и очень долго из нее удаляются. Особенно остро эта проблема касается агроландшафтов, находящихся в окрестностях городов, вблизи промышленных объектов и автодорог. Кроме поступления токсичных элементов из атмосферы, возможными источниками их попадания и аккумуляции в почве являются отдельные виды минеральных удобрений и пестицидов [1–4]. По данным А.Б. Латыпова и Р.Я. Сафиханова, большое количество токсичных элементов содержится в фосфорных удобрениях. Так, в двойном суперфосфате концентрация цинка составила 38,0 мг/кг, меди — 14,0 мг/кг, свинца — 39,0 мг/кг, кадмия — 3,7 мг/кг, никеля — 29,1 мг/кг [5].

Для лесостепной зоны Южного Урала проблема техногенного загрязнения почв особенно остро стоит в зонах функционирования предприятий тяжелого машиностроения России (г. Челябинск, г. Пенза, г. Уфа, г. Стерлитамак). При сохранении существующих объемов выбросов вредных веществ в атмосферу (более 1,3 млн т в год) следует ожидать дальнейшего увеличения площадей почв с высокой степенью загрязнения. Установлено, что до 40% соединений токсичных элементов от их общего выброса в атмосферу выпадает в радиусе 10–12 км от предприятий, при этом большая их часть (60%) включается в региональный и глобальный процесс переноса, что повышает содержание этих элементов в почвах территорий с фоновым уровнем загрязнения и увеличивает общую площадь загрязненных почв [6–8].

При аэрогенном поступлении токсичные элементы концентрируются в поверхностном слое почвы до 20 см в форме обменных ионов, входят в состав гумусовых веществ, карбонатов, оксидов. В связи с этим токсичность элементов при одинаковом их содержании будет отличаться в зависимости от гранулометрического состава почвы и содержания органического вещества [5]. На сегодняшний день не имеется точных данных о фоновом содержании токсичных металлов для почв Республики Башкортостан. Их уровни в одних и тех же почвах могут различаться [7].

Загрязнение почв сельскохозяйственного назначения токсичными элементами может способствовать накоплению их в сельскохозяйственной продукции.

Зерно злаковых культур широко используется в пищу и на корм скоту, из него изготавливают муку, макаронные и крупяные изделия, поэтому исследование полученной сельскохозяйственной продукции на содержание элементов, токсичных для животных и человека, весьма актуально.

*Цели данной работы* — изучение влияния известкования и различных удобрений на содержание токсичных элементов в агрочерноземе выщелоченном и накопление в зерне яровой пшеницы в условиях южной лесостепи Республики Башкортостан.

## Материалы и методы исследований / Materials and methods

Объекты исследований — почвы агроландшафтов южной лесостепи в пределах Уфимского района

Республики Башкортостан, представленные агрочерноземом выщелоченным.

Уфимский район находится в центральной части Республики Башкортостан между слияниями рек Белая, Уфа, Дема, Уршак. Общая площадь района — 159,9 тыс. га.

Чернозем выщелоченный доминирует среди черноземных почв, составляя в общей сложности 13% почвенных ресурсов республики. Среди пахотных угодий на долю чернозема выщелоченного приходится более 30% всей пашни [9].

Характерная морфологическая особенность чернозема выщелоченного — отсутствие свободных карбонатов в гумусовом горизонте, карбонаты выщелочены за его пределы и залегают ниже границы переходного горизонта. Отличительным признаком является также плотноватый иллювиальный горизонт с ясно выраженной бурой окраской, ореховато-призматической или ореховато-комковатой структурой. Среди других почв зона чернозема выщелоченного отличается большим природным запасом питательных веществ.

В связи с широким распространением и разнообразием рельефа этот чернозем сформировался на многих породах: делювиальных карбонатных глинах и тяжелых суглинках, элювиально-делювиальных глинах и суглинках, древнеаллювиальных карбонатных средних суглинках. Гранулометрический состав преимущественно тяжелосуглинистый и среднесуглинистый. Реакция почвенной среды варьирует от среднекислой до нейтральной, величина pH — от 5,1 до 7,0. По мощности гумусового горизонта выщелоченный чернозем исследуемых участков имеет широкий спектр распространения — от маломощных до мощных, составляя в среднем 57,8 см с колебаниями в пределах 31–90 см.

Эти почвы являются наиболее плодородными, редко встречаются эродированные участки с содержанием гумуса ниже 5,5%. В целом такие почвы богаты гумусом (в среднем 7,0%) с отклонением от 3,9 до 9,0%. Среднее значение запасов гумуса — 455,5 т/га. Обеспеченность подвижными формами фосфора и обменным калием колеблется от средней до низкой [10].

Для проведения исследований был заложен полевой опыт на посевах яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Жница. Площадь делянок составляла 120 м<sup>2</sup> (20 × 6 м).

Опыт включал пять вариантов: контроль (без удобрений и извести), NPK (без извести), NPK + известь (4 т/га в паровом поле), навоз (40 т/га в паровом поле), сидерат (25 т/га в паровом поле).

Расчетные нормы внесения минеральных удобрений в опыте под яровую пшеницу (35 ц/га) соответствовали N<sub>68</sub>P<sub>90</sub>K<sub>36</sub>. В качестве известкового материала использовался известковый туф с 85%-ным содержанием CaCO<sub>3</sub>. Содержание элементов питания в навозе (%): N — 0,46, P — 0,30, K — 0,50, Ca — 0,80, в сидерате (%): N — 0,70, P — 0,10, K — 0,20, Ca — 0,90. Из минеральных удобрений были использованы мочевины, суперфосфат, хлористый калий, в качестве сидерата — донник желтый.

Почвенные образцы отбирались по генетическим горизонтам.

Определение органического вещества в почвах проводили методом Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91<sup>1</sup>), определение содержания в почвах

<sup>1</sup> ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества М.: Издательство стандартов. 1993; 8.

подвижных соединений фосфора и калия — по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91)<sup>2</sup>, рН солевой вытяжки — потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85)<sup>3</sup>.

Лабораторные работы проведены лабораторией ФГБУ «Станция агрохимической службы «Ишимбайская»»<sup>4</sup> (г. Ишимбай, Башкортостан, Россия).

Содержание токсичных элементов в почве и зерне яровой пшеницы определяли по методике, приведенной в «Методических указаниях по картографированию сельскохозяйственных угодий, прилегающих к предприятиям, загрязнителям почв тяжелыми металлами»<sup>5</sup>, атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре «Спектр-5» (ОАО «Союзцветметавтоматика», Россия).

Для оценки степени загрязнения почв тяжелыми металлами были использованы общепринятые значения ПДК (ГН 2.1.7.2041-06<sup>6</sup>), ПДК для подвижных форм кадмия не имеется. Концентрацию кадмия и свинца в зерне яровой пшеницы сравнивали с предельно допустимыми уровнями (ПДУ) токсичных элементов в зерне злаковых культур, поставляемом на пищевые цели (ТР ТС 015/2011<sup>7</sup>, концентрацию цинка и меди в зерне сопоставляли с показателями МДУ в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках<sup>8</sup>).


На основании полученных данных был рассчитан коэффициент извлечения подвижных форм токсичных элементов (КИП) (отношение содержания элемента в сухой массе растения к содержанию подвижных форм этого элемента в почве) [11].

## Результаты и обсуждение / Results and discussion

Морфологические свойства пахотных почв были изучены на почвенном разрезе, заложенном на пашне после уборки яровой пшеницы на территории муниципального образования Красноярский сельский совет Уфимского района. Глубина разреза — 130 см. Вскипание от НСІ на глубине 140 см. Тип почвы — агрочернозем выщелоченный среднемогучий тяжелосуглинистый слабокислый, сформированный на древнеаллювиальных карбонатных суглинках. Описание почвенного разреза представлено на рисунке 1.

Рис. 1. Морфологическая характеристика профиля чернозема выщелоченного

Fig. 1. Morphological characteristics of the profile of leached chernozem

	А <sub>пах</sub> 0–28 см	темно-серый, сухой, тяжелосуглинистый, комковато-пористый, рыхлый до 18 см, ниже — плотный, обилие корней, переход в следующий горизонт по линии вспашки;
	А <sub>1</sub> 28–39 см	темно-серый, тяжелосуглинистый, комковато-зернистый, слабо уплотнен, корни растений, переход постепенный;
	А <sub>1</sub> В 39–56 см	темно-серый с буроватым оттенком, увлажненный, тяжелосуглинистый, зернисто-комковатый, плотный, редкие корни, переход постепенный;
	В <sub>1</sub> 56–106 см	неоднородно-бурый, уплотненный, увлажненный, тяжелосуглинистый, непрочно-комковатый, заметны гумусовые затеки, единичные корни растений, переход постепенный;
	С > 130 см	светло-бурый, увлажненный, бесструктурный, тяжелосуглинистый

<sup>2</sup> ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов. 1993; 8.

<sup>3</sup> ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. М.: Издательство стандартов. 1986; 5.

<sup>4</sup> Станция агрохимической службы «Ишимбайская». Аттестат аккредитации испытательной лаборатории (центра) в системе аккредитации аналитических лабораторий (центров) № РОСС RU.0001.514154.

<sup>5</sup> Кузнецов А.В., Фесюн А.П., Самохвалов С.Г., Махонько Э.П. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. 2-е изд. М.: МСХ РФ ЦИНАО. 1992; 61.

<sup>6</sup> ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2006; 15.

<sup>7</sup> Технический регламент Таможенного союза (ТР ТС 015/2011 от 09.12.2011) «О безопасности зерна (с изм. на 15 сентября 2017 года)». М.: Русский стандарт. 44.

<sup>8</sup> Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. М.: Госагропром СССР, ГУ ветеринарии. 1987; 4.

Таблица 1. Содержание подвижных форм токсичных элементов в пахотном слое чернозема выщелоченного в зависимости от внесения удобрений, мг/кг

Table 1. The content of mobile forms of heavy metals in the arable layer of leached chernozem, depending on fertilizer systems, mg/kg

Вариант	Cu	Zn	Cd	Pb
Контроль (без удобрений)	0,48	1,12	0,38	2,03
N <sub>68</sub> P <sub>90</sub> K <sub>36</sub>	0,52	0,90	0,48	2,18
NPK + известь	0,12	0,54	0,13	1,12
Навоз	0,18	0,65	0,18	1,79
Сидерат	0,28	0,79	0,22	1,92
НСР <sub>05</sub>	0,16	0,21	0,14	0,39
ПДК	3,00	23,00	–	6,00

Агрохимические показатели пахотного слоя почвы опытного поля: содержание гумуса —  $9,0 \pm 0,02\%$ , валового азота —  $0,46 \pm 0,01\%$ , фосфора —  $0,17 \pm 0,01\%$ , калия —  $1,40 \pm 0,03\%$ , сумма поглощенных оснований —  $39,1 \pm 0,3$  мг-экв. на 100 г почвы, рН<sub>KCl</sub> —  $5,3 \pm 0,1$ .

Согласно полученным данным, содержание токсичных элементов в почве оказалось низким и не превышало установленные ПДК (табл. 1).

В то же время отмечена тенденция к повышению их концентраций (за исключением цинка) в варианте с внесением минеральных удобрений по сравнению с контролем. Увеличение содержания меди, кадмия и свинца было статистически недостоверным.

Следует отметить, что содержание кадмия было в пределах  $0,13–0,48$  мг/кг почвы, что подтвердило данные Ф.Х. Хазиева и С.Г. Зиннатуллина [13] о повышенном его уровне ( $0,25–0,50$  мг/кг) в почвах окрестностей Уфы. Тенденция к повышению концентрации подвижных форм металлов, по всей видимости, связана с их содержанием в составе минеральных удобрений, а также с увеличением их подвижности при подкислении реакции среды под действием применяемых минеральных удобрений [14].

Внесение извести и органических удобрений способствовало снижению содержания подвижных форм токсичных элементов в почве относительно контроля.

В варианте с внесением NPK на фоне известкования уменьшение концентрации всех металлов было статистически достоверным: меди — на 75%, цинка — на 49%, кадмия — на 65%, свинца — на 44%. В вариантах с внесением навоза и сидерата отмечено также существенное снижение меди (соответственно, на 62% и 42%), цинка (на 42% и 29%), кадмия (на 53% и 42%) и (недостоверное) свинца (на 12% и 5,4% соответственно).

Варианты опыта по эффективности снижения содержания подвижных форм токсичных элементов расположились в ряду «известь — навоз — сидераты». Токсичные элементы по реакции на внесение

известии и органических удобрений располагаются в ряду «медь — кадмий — цинк — свинец».

Биологические особенности сельскохозяйственных культур отражаются на их способности в накоплении и перераспределении элементов в вегетативной и генеративной частях. Известно, что в семенах растений накопление токсичных элементов меньше, чем в корнях, листьях и соломе [1].

Результаты исследований показали, что в зерне яровой пшеницы содержание токсичных элементов варьирует в пределах, не превышающих уровень ПДУ и МДУ (табл. 2). В соответствии с санитарными нормами зерно, полученное во всех вариантах, с такими показателями может быть использовано на продовольственные цели, в том числе для производства продуктов детского питания. Последнее выделяется особо, так как для этих целей к содержанию кадмия в зерне предъявляются более строгие требования: оно не должно превышать 0,02 мг/кг<sup>9</sup>. Незначительное поступление и накопление токсичных элементов в зерне связаны с блокированием их поступления в растения за счет элементов-антагонистов (NH<sub>4</sub>, K, Ca) и образования труднорастворимых фосфатов металлов [13].

Как показывает анализ полученных результатов опытов, содержание подвижных форм токсичных элементов в почве находит отражение в накоплении этих элементов в зерне яровой пшеницы. Как и в случае с содержанием в почве, в варианте с внесением NPK отмечено некоторое повышение концентрации металлов в зерне: статистически достоверное по цинку, кадмию и свинцу, недостоверное — по меди. Уменьшение их концентрации в почве в вариантах с внесением известии и органических удобрений способствовало статистически достоверному снижению содержания токсичных элементов в зерне пшеницы по сравнению с контролем. Наибольшая эффективность отмечена в варианте с внесением известии, в котором достигнуто снижение содержания металлов в зерне яровой пшеницы: меди — в 2,6 раза, цинка — в 2,2 раза, кадмия — в 3,0 раза, свинца — в 2,8 раза.

Внесение навоза и сидерата также способствовало существенному их снижению: меди — в 1,6 и 1,3 раза соответственно, цинка — в 1,4 и 1,2 раза, кадмия — в 1,5 и 1,7 раза, свинца — в 1,5 и 1,4 раза. По всей видимости, этот эффект обусловлен созданием благоприятных физико-химических свойств почвы, в результате чего токсичные элементы переходят в труднорастворимые и трудноусвояемые формы с образованием комплексных металлорганических соединений.

Согласно И.В. Шабановой и О.Д. Занозиной [12], актуальным показателем для оценки поглощения

Таблица 2. Содержание токсичных элементов (ТЭ) в зерне яровой пшеницы (мг/кг) и коэффициент извлечения (КИП)

Table 2. The content of toxic elements in spring wheat grain (mg/kg), and extraction coefficient (KIP)

ТЭ	Показатель	Вариант					НСП <sup>05</sup>	ПДУ <sub>Cd,Pb/Mn</sub> МДУ <sub>Cu,Zn</sub>
		Контроль	NPK	NPK + известь	Навоз	Сидерат		
Cu	мг/кг	3,70	4,00	1,40	2,30	2,90	0,6	10,0
	КИП	7,71	8,33	2,92	4,79	6,04	—	—
Zn	мг/кг	18,30	19,80	8,20	13,20	14,80	1,0	50,0
	КИП	16,34	22,00	15,19	20,31	18,73	—	—
Cd	мг/кг	0,03	0,032	0,01	0,02	0,018	0,002	0,1
	КИП	0,08	0,07	0,001	0,11	0,08	—	—
Pb	мг/кг	0,31	0,33	0,11	0,21	0,22	0,002	0,5
	КИП	0,15	0,15	0,10	0,12	0,11	—	—

токсичных элементов растениями из почвы служит коэффициент извлечения подвижных форм (КИП). По полученным показателям медь и цинк относятся к элементам, которые активно извлекаются яровой пшеницей из почвы, кадмий и свинец — к слабоизвлекаемым элементам.

Следует отметить, что по всем исследуемым металлам наименьшие значения КИП получены в варианте с внесением известии.

### Выводы/Conclusion

При применении минеральных удобрений (N<sub>68</sub>P<sub>90</sub>K<sub>36</sub>, что соответствовало 35 ц/га) в агроценозе выщелоченном Уфимского района Республики Башкортостан отмечена тенденция к повышению содержания подвижных форм токсичных элементов и накоплению их и в зерне яровой пшеницы в незначительных концентрациях.

Известкование (4 т/га в паровом поле), внесение навоза (40 т/га в паровом поле) и сидерата (25 т/га в паровом поле) способствовали снижению содержания подвижных форм токсичных элементов в почве и уменьшению их поступления в зерно яровой пшеницы, что свидетельствует о возможности направленного регулирования качества зерна применением агроэкологических приемов.

Концентрация токсичных элементов в зерне яровой пшеницы не превышает показатели, указанные в регламентирующих документах, и в соответствии с санитарными нормами они могут быть использованы не только на продовольственные цели, но и для производства продуктов детского питания.

Количественные значения концентрации токсичных элементов в почвах сельскохозяйственного назначения и в продукции сельскохозяйственных растений могут служить основой для проведения мониторинга агроэкосистем.

<sup>9</sup> Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО. 1992; 63.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в работу.

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России No 123011200009-5.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors made an equal contribution to the work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.

The authors declare no conflict of interest.

### FUNDING

The study was carried out within the framework of the state assignment of the Russian Ministry of Education and Science No. 123011200009-5.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Середа Н.А., Баязитова Р.И., Нафикова М.В., Баязитова Л.И. Тяжелые металлы в почвах и сельскохозяйственных культурах лесостепи Башкортостана. *Агрохимический вестник*. 2016; (4): 2–5. <https://elibrary.ru/xbxiib>
2. Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф., Моисеенко Ф.В., Драганская М.Г. Влияние различных систем удобрения на накопление тяжелых металлов в сельскохозяйственной продукции. *Вестник Брянской ГСХА*. 2005; (5): 22–29. <https://elibrary.ru/vxntyj>
3. Максимов П.Г. и др. Агроэкологическая характеристика пахотных почв Российской Федерации по содержанию тяжелых металлов, мышьяка и фтора. М.: *Агроконсалт*. 2002; 50. ISBN 5-94325-018-2 <https://elibrary.ru/voqakx>
4. Мерзлая Г.Е., Замана С.П., Соколов А.В. Тяжелые металлы в системе «органическое удобрение — почва — растение». *Плодородие*. 2009; (2): 49–50. <https://elibrary.ru/kypjzv>
5. Латыпов А.Б., Сафиханов Р.Я. Получение экологически безопасной продукции коневодства на основе комплексного исследования содержания тяжелых металлов в почвенном покрове Башкортостана. *Самарский научный вестник*. 2015; (2): 106–111. <https://elibrary.ru/vijdhb>
6. Хазиев Ф.Х. Экология почв Башкортостана. Уфа: *Гилем*. 2012; 311. ISBN 978-5-4466-0009-0 <https://elibrary.ru/wxyrdp>
7. Хабиров И.К., Асылбаев И.Г., Якупова Р.А., Якупов И.Ж., Рафиков Б.В. Экологическая оценка почв северной лесостепной зоны Республики Башкортостан. *Достижения науки и техники АПК*. 2008; (8): 17–20. <https://elibrary.ru/jwvmaz>
8. Хасанова Р.Ф., Суюндуков Я.Т., Семенова И.Н., Рафикова Ю.С., Серегина Ю.Ю. Экологическая опасность загрязнения почв урбанизированных территорий горноурального региона. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(12): 1370–1375. <https://www.elibrary.ru/zdcfco>
9. Хасанов А.Н., Асылбаев И.Г., Рафиков Б.В., Киселева А.А., Шацкая С.И. Ретроспективный анализ состояния плодородия почв южной лесостепи Республики Башкортостан за длительный период использования. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2019; 56(1): 30–36. <https://elibrary.ru/ijymze>
10. Кираев Р.С. Регулирование плодородия черноземов лесостепных агроландшафтов Южного Урала. Уфа: *Издательство Башкирского государственного аграрного университета*. 2003; 333. ISBN 5-7456-0029-2 <https://www.elibrary.ru/qkwddp>
11. Шабанова И.В., Занозина О.Д. Поведение тяжелых металлов в системе «почва — растение» при возделывании озимой пшеницы на черноземе выщелоченном. *Энтузиасты аграрной науки. Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию кафедры агрономической химии Кубанского государственного аграрного университета и памяти академика Василия Григорьевича Минеева*. Краснодар: КубГАУ. 2017; 18: 222–226. <https://www.elibrary.ru/ynxhuh>
12. Хазиев Ф.Х., Зиннатуллин С.Г. Контроль содержания тяжелых металлов в почвах Республики Башкортостан. *Агрохимический вестник*. 2001; (5): 9.
13. Кираев Р.С., Чанышев И.О., Булатов Е.П., Бондаренко И.Р. Определение потребности в известковании и доз извести для выщелоченного чернозема. *Плодородие*. 2008; (3): 4–6. <https://www.elibrary.ru/ktopkl>

## ОБ АВТОРАХ

**Рустям Султангареевич Кираев**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
rustamkiraev@mail.ru  
Тел. 8 (937) 356-43-33

**Резеда Фиргатовна Хасанова**

доктор биологических наук, доцент  
rezeda78@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8917-0561>

**Ирек Гадеевич Мустафин**

кандидат сельскохозяйственных наук, директор  
oph\_ufimskoe@mail.ru

Опытная станция «Уфимская» — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ул. Тополиная, 1, с. Чернолесовский, Уфимский р-н, Республика Башкортостан, 450535, Россия

## REFERENCES

1. Sereda N.A., Bayazitova R.I., Nafikova M.V., Bayazitova L.I. Heavy metals in soils and agricultural crops in Bashkortostan Republic forest steppe. *Agrochemical Herald*. 2016; (4): 2–5 (In Russian). <https://elibrary.ru/xbxiib>
2. Belous N.M., Shapovalov V.F., Moiseenko F.V., Draganskaya M.G. The influence of various fertilizer systems on the accumulation of heavy metals in agricultural products. *Bulletin of the Bryansk Agricultural Academy*. 2005; (5): 22–29 (In Russian). <https://elibrary.ru/vxntyj>
3. Maksimov P.G. et al. Agroecological characteristics of arable soils of the Russian Federation in terms of the content of heavy metals, arsenic and fluorine. Moscow: *Agrokonsalt*. 2002; 50 (In Russian). ISBN 5-94325-018-2 <https://elibrary.ru/voqakx>
4. Merzlaya G.E., Zamana S.P., Sokolov A.V. Heavy metals in the system «organic manure — soil — plant». *Plodородие*. 2009; (2): 49–50 (In Russian). <https://elibrary.ru/kypjzv>
5. Latypov A.B., Safihanov R.Ya. Production of environmentally safe products of horse breeding based on a comprehensive study of the content of heavy metals in the soil cover of Bashkortostan. *Samara Journal of Science*. 2015; (2): 106–111 (In Russian). <https://elibrary.ru/vijdhb>
6. Khaziev F.Kh. Ecology of the soils of Bashkortostan. Ufa: *Gilem*. 2012; 311 (In Russian). ISBN 978-5-4466-0009-0 <https://elibrary.ru/wxyrdp>
7. Khabirov I.K., Asylbaev I.G., Jakupova R.A., Jakupov I.Zh., Rafikov B.V. Ecological estimation of ground North timber-stepped zones of the Republic Bashkortostan. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2008; (8): 17–20 (In Russian). <https://elibrary.ru/jwvmaz>
8. Khasanova R.F., Suyundukov Ya.T., Semenova I.N., Rafikova Yu.S., Seregina Yu.Yu. The environmental danger of pollution of soils of urban territories of the mining region. *Hygiene and Sanitation*. 2019; 98(12): 1370–1375 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/zdcfco>
9. Khasanov A.N., Asylbaev I.G., Rafikov B.V., Kiselyova A.A., Shatskaya S.I. A retrospective analysis of soils fertility in the Southern forest-steppe zone of Bashkortostan for a long period of use. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2019; 56(1): 30–36 (In Russian). <https://elibrary.ru/ijymze>
10. Kiraev R.S. Regulation of the fertility of chernozems of forest-steppe agricultural landscapes of the Southern Urals. Ufa: *Bashkir State Agrarian University publ*. 2003; 322 (In Russian). ISBN 5-7456-0029-2 <https://www.elibrary.ru/qkwddp>
11. Shabanova I.V., Zanozina O.D. The behavior of heavy metals in the «soil — plant» system during the cultivation of winter wheat on leached chernozem. *Enthusiasts of agricultural science. Collection of articles based on the proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 95th anniversary of the Department of Agronomic Chemistry of the Kuban State Agrarian University and the memory of Academician Vasily G. Mineev*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University. 2017; 18: 222–226 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/ynxhuh>
12. Khaziev F.Kh., Zinnatullin S.G. Control of the content of heavy metals in the soils of the Republic of Bashkortostan. *Agrochemical Herald*. 2001; (5): 9 (In Russian).
13. Kiraev R.S., Chanyshiev I.O., Bulatov E.P., Bondarenko I.R. Determination of the need for liming and lime doses for leached chernozem. *Plodородие*. 2008; (3): 4–6 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/ktopkl>

## ABOUT THE AUTHORS

**Rustam Sultangareevich Kiraev**

Doctor of Agricultural Sciences, Professor  
rustamkiraev@mail.ru  
Phone 8 (937) 356-43-33

**Rezeda Firgatrovna Khasanova**

Doctor of Biological Sciences, Associate Professor  
rezeda78@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8917-0561>

**Irek Galeevich Mustafin**

Candidate of Agricultural Sciences, Director  
oph\_ufimskoe@mail.ru

The “Ufa” Experimental Station is a separate structural unit of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 1 Topolinaya Str., Chernolesovsky village, Ufa district, Republic of Bashkortostan, 450535, Russia.