

Научная статья

УДК 631.4:631.5:351.773.13

DOI: 10.36508/journal.2026.69.95.002

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

(Сельскохозяйственные науки. Биологические науки)

4.1.3. Agrochemistry, Agrosoil Science, Plant Protection, and Quarantine

(Agricultural Sciences. Biological Sciences)

ПРОБЛЕМЫ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО ДЕФИЦИТА ПОЧВ И АГРОПРОДУКЦИИ В СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЕ АГРОХИМИИ И АПК С УЧЕТОМ АСПЕКТА ЗДОРОВЬЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Туркин Владимир Николаевич[✉] ¹, Солодков Владимир Павлович²

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

²ООО «МОСВЕТГРУПП», г. Москва, Россия

[✉]turkin.vladimir@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены взаимосвязь между обеднением почв микроэлементами, снижением пищевой ценности агропродукции и ростом заболеваемости из-за этих факторов и предложены планы оптимизации макро- и микроминерального питания почв.

Проблема и цель. Минеральная деградация почв в современном АПК зачастую приобретает масштабный характер. Интенсификация производства, основанная на получении «быстрого» и большого урожая, массивном применении азотных и других макроудобрений при дефиците внесения микроэлементов приводит к нутриентному истощению почв, снижению качества, количества и безопасности агропродукции, что влияет, в конечном итоге, на здоровье ее потребителей. Цель исследований – выявление зависимостей факторов выноса и не восполнения микроэлементов почв на нутриентный состав агропродукции и на здоровье потребителей.

Методология. Применялся исследовательский метод, а также методы анализа, систематизации, сравнения, обобщения. Сбор данных осуществлялся из открытых источников Минсельхоза России, отчетности Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, результатов научных публикаций в области агрохимии и медицинской статистики.

Результаты. Выявлено влияние элементного состава почв и агропродукции на алиментарные заболевания, что обусловлено, в том числе, элементным дисбалансом и не восполнением микроэлементов почв в современной системе агрохимии и АПК.

Заключение. С целью решения выявленных проблем, предлагается разработать планы оптимизации макро- и микроминерального питания почв, а для производства и внесения макро- и микроэлементов - новые способы и средства, например, прогрессивные тукосмесительные машины и линии, а также разбрасыватели тукосмесей широкого компонентного состава с био- и микродобавками.

Ключевые слова: АПК, минеральные удобрения, туки, микроэлементы, деградация почв, агропродукция, пищевая ценность, нутриентный состав, дефицит нутриентов питания, алиментарные заболевания.

Original article

PROBLEMS OF MICROELEMENT DEFICIENCY IN SOILS AND AGRICULTURAL PRODUCTS IN MODERN AGROCHEMISTRY AND AGROCOMPLEX, CONSIDERING CONSUMERS' HEALTH

Turkin Vladimir Nikolaevich[✉] ¹, Solodkov Vladimir Pavlovich²

¹*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev", Ryazan, Russia*

²*LLC "MOSVETGROUP", Moscow, Russia*

[✉]*turckin.vladimir@yandex.ru*

Abstract. *The article examines the relationship between the depletion of soils in micronutrients, the decrease in the nutritional value of agricultural products, and the increase in morbidity due to these factors.*

The problem and purpose. *Mineral degradation of soils in the modern agro-industrial complex often takes on a large-scale character. The intensification of production based on obtaining a "quick" and large harvest, the massive use of nitrogen and other macrofertilizers, and the lack of micronutrient application leads to nutrient depletion of soils, a decrease in the quality, quantity, and safety of agricultural products, which ultimately affects the health of consumers.*

The purpose of the research was to identify the dependencies of the factors of soil micronutrient removal and non-replenishment on the nutrient composition of agricultural products and on consumer health.

Methodology. *The research method was used, as well as methods of analysis, systematization, comparison, and generalization. Data was collected from open sources of the Russian Ministry of Agriculture, reports of the United Nations Food and Agriculture Organization, and scientific publications in the fields of agrochemistry and medical statistics.*

Results. *The influence of the elemental composition of soils and agricultural products on alimentary diseases has been revealed, which is caused, among other things, by*

elemental imbalance and the lack of replenishment of soil micronutrients in the modern system of agrochemistry and the agriculture.

Conclusion. *In order to solve the identified problems, it is proposed to develop plans for optimizing the macro- and micro-mineral nutrition of soils, and to use new methods and tools for the production and application of macro- and microelements, such as advanced fertilizer mixing machines and lines, as well as spreaders for wide-component fertilizer mixtures with bio- and micro-additives.*

Keywords: *AIC, mineral fertilizers, tuck, microelements, soil degradation, agricultural products, nutritional value, nutrient composition, nutritional deficiencies, and alimentary diseases*

Введение

За последние десятилетия сформировался устойчивый тренд на не восполнение выноса ряда питательных веществ из почвы, что представляет существенную угрозу не только для продовольственной безопасности страны, но и для здоровья населения [1, 7]. Например, многолетние данные по Курской области (1985–2017 гг.) показали, что чернозёмы имеют низкую обеспеченность медью, цинком, марганцем, а дефицит микроэлементов в почвах приводит к уменьшению их поступления в сельскохозяйственные культуры, что снижает урожайность и ухудшает качество агропродукции [7, 11].

Проблема имеет двойственную природу. С одной стороны, наблюдается массивное внесение азотных, а также, в меньшей мере, калийных и фосфорных макроудобрений, направленное на максимизацию урожайности и прибыли агропредприятий в краткосрочной перспективе [3, 5, 10]. С другой стороны, компенсация выноса элементов, особенно важнейших микроэлементов, остаётся крайне недостаточной, что приводит к постепенному обеднению почв и снижению биологической и пищевой ценности агропродукции [5, 9].

В итоге, интенсивная эксплуатация земельных ресурсов без должного восполнения микроэлементов создаёт каскадный эффект, затрагивающий всю пищевую цепь — от состояния почвенного покрова до качества конечной сельскохозяйственной продукции и здоровья населения [4].

В этой проблематике, медицинская статистика демонстрирует прямую корреляцию между нарушениями питания, связанным в том числе, с микронутриентным дисбалансом рациона, и развитием различных алиментарных заболеваний. При этом микронутриентная недостаточность рассматривается как один из ведущих факторов риска для здоровья людей во всем мире [4, 6].

Особую тревогу вызывает тот факт, что процесс естественного восстановления почвенного плодородия растянут во времени — формирование одного сантиметра экологически чистой, оптимальной по элементному составу для агрокультур, почвы может потребовать до тысячи лет [6, 8]. Эксперты отмечают, что при сохранении текущих темпов эксплуатации земельных

ресурсов деградация почв может стать необратимой на значительных площадях [2, 6, 11].

Материал и методы исследований

Исследования базируются на комплексном анализе статистических данных Минсельхоза России, отчетности Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, результатов научных публикаций в области агрохимии и медицинской статистики.

Для установления корреляций между микронутриентным составом агропродукции и распространенностью онкологических заболеваний изучались эпидемиологические данные, результаты когортных исследований, проведенных в различных регионах мира.

Результаты исследований и их обсуждение

Известно, что растения в своих тканях преобразуют металлические минералы (микроэлементы) почвы в коллоидные минералы, употребляя которые человек накапливает их в своем организме; но, так как почвы очень часто имеют дефициты этих микроэлементов, то урожаи агрокультур так же характеризуются данными дефицитами [2, 6].

В российской и мировой системе агрохимии, современные агротехнологии, в значительной мере, обусловлены выраженным дисбалансом внесения в почвы и выноса с урожаем макро- и микрокомпонентов, особенно микрокомпонентов: цинка, селена, магния, кальция, меди, кремния, молибдена, йода, кобальта и пр., что, соответственно, коррелирует нутриентный состав агропродукции: недопустимо истощает или переполняет состав продукции по этим микрокомпонентам и даже способствует накоплению опасных элементов (кадмия и пр.), и, тем самым, опосредованно, через агропродукцию, влияет на здоровье ее потребителей.

Так, например, у лиц старческого возраста, проживающих в различных климатогеографических условиях, установлен элементный дисбаланс, представленный выраженным снижением содержания в организме жизненно важных элементов: кальция, магния, кобальта, меди и пр.

Клинические исследования последних лет предоставили убедительную доказательную базу, подтверждающую связь между нарушением минерального баланса почв и развитием, например, онкологической патологии [8, 9].

Дефицит ряда эссенциальных микроэлементов: селена, цинка, железа, йода, марганца и пр. и профицит токсичных микроэлементов: ртуть, свинец, мышьяк и пр. способствует росту частоты злокачественных новообразований, лимфопролиферативных, аутоиммунных, дегенеративных заболеваний, у людей развивается атеросклероз, ишемическая болезнь сердца, болезнь Альцгеймера и пр.

Данные Минсельхоза РФ по системе агрохимии свидетельствуют о том, что с урожаем сельскохозяйственных культур за период 2014-2018 годов было вынесено 61,3 миллион тонн действующих веществ-элементов минерального питания, при этом внесено (обратно) лишь 25 миллионов тонн - такой разрыв

формирует устойчивый отрицательный баланс, превышающий в среднем 100 килограммов действующих веществ на гектар ежегодно.

При этом основной акцент в современной агрохимической службе АПК делается на внесение азотных форм удобрений, которые обеспечивают быстрый прирост биомассы растений, обильный урожай, и, соответственно, высокую маржинальность агрокультур, прибыль агропредприятий, экономический доход [1, 2, 4, 7].

Структура применения минеральных удобрений за 2024 год в современном российском АПК представлена на рисунке 1.

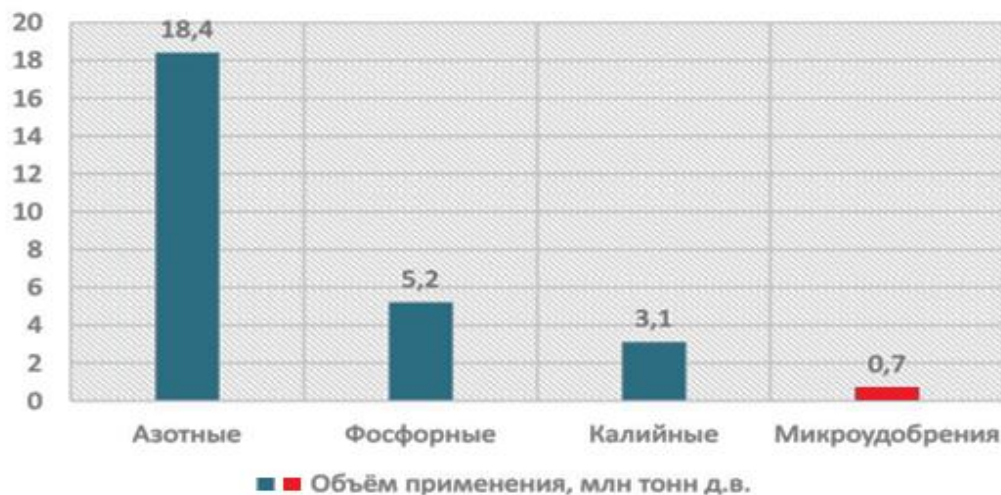


Рисунок 1 – Структура применения минеральных макро- и микроудобрений в российском АПК за 2024 год

Figure 1 – Structure of application of mineral macro- and microfertilizers in the Russian agro-industrial complex for 2024

Приведённые данные на рисунке 1 показывают критическое преобладание макроудобрений, особенно азотных удобрений, при минимальной доле микроудобрений. Такая структура не может обеспечить сбалансированное питание растений, поддержание почвенного плодородия, качество агропродукции.

Имеются данные по динамике соотношений содержания микроэлементов в значимых сельскохозяйственных агрокультурах 1950-х годов (содержание микроэлементов в агрокультурах 1950-х годов берется за 100%) и в настоящее время – таблица 1.

Таблица 1 – Динамика содержания основных микроэлементов в значимых агрокультурах

Культура	Критически дефицитные микроэлементы	Снижение содержания микроэлементов по сравнению с 1950-ми годами, %
Пшеница	Цинк, селен, магний	35-42
Картофель	Бор, калий, магний	28-37
Томаты	Магний, кальций, бор	31-45
Огурцы	Калий, бор, молибден	26-39

Данные таблицы 1 демонстрируют масштаб проблемы — содержание жизненно важных микроэлементов: цинка, селена, магния, калия, молибдена и пр. в основных агрокультурах: пшеница, картофель, томаты и пр. сократилось на треть и более (от 26 до 45%) за последние семь десятилетий вследствие постоянного, систематического выноса микроэлементов с урожаем и недостаточным их восполнением обратно в почву.

Важно отметить, что массив почвы представляет собой сложную биохимическую систему, где все питательные элементы для агрокультур являются незаменимыми [2, 4]. Недостаток даже одного компонента может существенно ограничивать урожайность и качество аграрной продукции [6]. При этом дефицит микроэлементов особенно опасен тем, что проявляется не всегда явно — растения могут демонстрировать относительно нормальный рост, хороший урожай, но при этом накапливать значительно меньше биологически активных и полезных веществ, и могут накапливать вредные вещества [7].

В таблице 2 приведены нормы в почве и характерные признаки дефицита основных микроэлементов для важнейших агрокультур России, занимающих первые места в рейтинге валового производства и потребления, производимых из них, продуктов питания для населения.

Таблица 2 – Норма в почве и значение основных микроэлементов для важнейших агрокультур России

Культура	Норма содержания микроэлемента в почве для агрокультуры, кг/га	Критически важные микроэлементы	Признаки дефицита микроэлементов
1	2	3	4
Пшеница	1–2	Цинк	Хлороз молодых листьев, задержка колошения, мелколистность
	0,5–1,0	Кобальт	Бледность листьев, ослабление роста и кущения
	0,6–1,1	Марганец	Серая пятнистость листьев, хлороз молодых листьев, задержка колошения
Картофель	2–3	Цинк	Мелкие хлоротичные листья, задержка роста, некроз краёв листовой пластины
	0,5–1,0	Кобальт	Общее угнетение роста, ослабление надземной массы
	0,6–1,1	Марганец	Хлорозные пятна и точечный некроз на листьях
Томаты	2–3	Цинк	Деформация листьев, мелколистность, хлороз, задержка формирования плодов
	0,5–1,0	Кобальт	Ослабление роста, хлороз листьев
	0,6–1,1	Марганец	Межилковый хлороз, снижение плодообразования

1	2	3	4
Огурцы	2–3	Цинк	Хлороз листьев, задержка роста побегов и плетей, мелколистность
	0,5–1,0	Кобальт	Угнетение роста, ослабление плетееобразования
	0,6–1,1	Марганец	Межжилковый хлороз, отставание в развитии
Кукуруза	3–5	Цинк	Розеточность, пятнистость и бронзовый оттенок верхних листьев, снижение содержания белка в зерне
	0,5–1,0	Кобальт	Снижение устойчивости к болезням, угнетение роста
	0,6–1,1	Марганец	Полосчатость листьев, задержка цветения и налива зерна
Подсолнечник	2–3	Цинк	Бронзовый оттенок листьев, мелкие жёлтые пятна, ослабление роста
	0,5–1,0	Кобальт	Угнетение роста, снижение устойчивости к неблагоприятным условиям
	0,6–1,1	Марганец	Межжилковый хлороз молодых листьев
Соя	2–3	Цинк	Хлороз листьев, задержка роста, опадение листьев и цветочных почек
	0,5–1,0	Кобальт	Нарушение азотфиксации, угнетение деятельности клубеньковых бактерий
	0,6–1,1	Марганец	Межжилковый хлороз, бледность листовых пластин
Рапс	1–2	Цинк	Деформация и мелколистность, хлороз молодых листьев
	0,5–1,0	Кобальт	Общее угнетение роста, ослабление фотосинтеза
	0,6–1,1	Марганец	Межжилковый хлороз, деформация листовых пластин, снижение урожайности

Анализ таблицы 2 показывает, что нормы содержания микроэлементов в почве для агрокультур не большие – до нескольких килограмм на гектар. Однако недостаточность минерального питания по микроэлементам, очень часто можно легко выявить по внешним признакам у агрокультур.

С целью устранения микроэлементного дефицита почв в настоящее время используют всевозможные вещества-удобрители (классические удобрения, тукосмеси, соли, кислоты и пр.), характеризующиеся различной концентрацией своего основного действующего микроэлемента – таблица 3.

Таблица 3 - Характеристика микроудобрений

Микроэлемент	Виды микроудобрений / Химическая формула	Содержание микроэлемента в удобрении
1	2	3
Бор (В)	Борная кислота (H_3BO_3)	17%
	Бура (тетраборат натрия, $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)	11%

1	2	3
Железо (Fe)	Сульфат железа (FeSO_4)	20%
	Хелат железа (ЭДТА)	6–13%
Кальций (Ca)	Нитрат кальция ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)	19%
	Хлорид кальция (CaCl_2)	36%
Кобальт (Co)	Сульфат кобальта (CoSO_4)	21%
	Хлорид кобальта (CoCl_2)	45%
	Хелат цинка	5–15%
Кремний (Si)	Силикат натрия (Na_2SiO_3)	23%
	Метасиликат натрия ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)	9%
Магний (Mg)	Сульфат магния (MgSO_4)	16%
	Доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)	20%
Марганец (Mn)	Сульфат марганца (MnSO_4)	21–22%
	Марганцовый шлам	9–15%
Медь (Cu)	Сульфат меди (CuSO_4)	25%
	Хелат меди	5–15%
Молибден (Mo)	Молибдат аммония ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$)	54%
	Молибдат натрия (Na_2MoO_4)	39%
Сера (S)	Сульфат аммония ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)	24%
	Элементная сера (S)	99%
Цинк (Zn)	Сульфат цинка (ZnSO_4)	25%

Как видно из таблицы 3, данные вещества-удобрители, за некоторым исключением (хлорид кобальта, молибдат аммония, элементная сера и пр.), имеют не высокую концентрацию микроэлементов, что предопределяет повышенный их расход и их потребность, а, следовательно, большую стоимость объема вносимых микроудобрений и издержек для агропроизводителей (с учетом цены микроудобрений), которые, как правило, хотят получить большой, быстрый и дешевый по себестоимости урожай, достигая это, как правило, только макроудобрениями.

В итоге, подобная практика современной агрохимической службы АПК не учитывает в полной мере потребности агрокультур в широком спектре микроэлементов — цинке, селене, меди, магнии, молибдене, кальции, боре, сере, кремнии и пр. [2, 3, 8].

Невосполнение данных микроэлементов в почве приводит к снижению устойчивости агроэкосистем, прогрессирующей деградации почвенных резервов с истощением нутриентного состава и падением качества агропродукции. При этом истощение нутриентного состава агропродукции затрагивает прежде всего зерновые и овощные культуры. Анализ показывает критический дефицит магния, цинка, селена, йода в пшенице и ячмене [1]. В овощах отмечается недостаток бора, молибдена, меди, кальция [4]. Эти элементы играют ключевую роль в формировании защитных систем организма человека, участвуют в антиоксидантной защите, регуляции клеточного метаболизма и пр.

Влияние дефицита важнейших микроэлементов на организм человека проанализировано в таблице 4.

Таблица 4 – Влияние дефицита некоторых микроэлементов на организм человека

Микро-элемент	Основное участие микроэлемента в системах организма	Влияние дефицита микроэлемента на организм
Бор (В)	Участвует в метаболизме костной ткани, регуляции гормонального фона	Выпадают волосы, нарушение минерализации костей
Железо (Fe)	Входит в состав гемоглобина, обеспечивает транспорт кислорода в крови, предотвращает анемию	Железодефицитная анемия, хроническая усталость, снижение иммунитета
Кальций (Ca)	Формирование костной ткани, свёртываемость крови, передача нервных импульсов	Остеопороз, рахит, повышенная ломкость костей
Кобальт (Co)	Входит в состав витамина В ₁₂ ; регулирует гемопоэз, обмен гормонов щитовидной железы; усиливает всасывание железа	В ₁₂ -дефицитная анемия, нарушение кроветворения и обмена веществ
Кремний (Si)	Важен для здоровья соединительной ткани, кожи, волос и ногтей. Участвует в формировании соединительной ткани, костей, волос и ногтей	Хрупкость костей и суставов, замедление регенерации тканей
Магний (Mg)	Важен для работы мышц и нервной системы. Регулирует более 800 биохимических реакций, включая синтез ДНК и защиту от оксидативного стресса	Судороги, нарушение сердечного ритма, повышенная утомляемость
Марганец (Mn)	Входит в состав ферментов, регулирующих метаболизм аминокислот, холестерина и глюкозы; участвует в формировании костной ткани и поддержании репродуктивной функции	Нарушение окостенения скелета, деформация суставов, нарушение репродуктивной функции
Медь (Cu)	Формирует кровяные тельца, участвует в синтезе коллагена и функционировании нервной системы	Анемия, нарушение пигментации кожи и волос
Молибден (Mo)	Входит в состав ферментов (ксантинооксидаза), участвует в метаболизме пуринов и азота	Нарушение белкового обмена, повышенный риск онкологических заболеваний
Селен (Se)	Антиоксидант, поддерживает функцию щитовидной железы и иммунитет	Преждевременное старение, воспалительные процессы, онкозаболевания
Сера (S)	Входит в состав аминокислот (метионин, цистеин), участвует в детоксикации организма	Нарушение синтеза белков, снижение иммунитета
Цинк (Zn)	Важен для иммунитета, синтеза белков и ферментов. Входит в состав более 300 ферментов; регулирует синтез белков и ДНК; обеспечивает работу иммунной системы, поддерживает состояние кожи, волос, ногтей и репродуктивную функцию	Снижение иммунитета, ухудшение состояния кожи, волос и ногтей, нарушение репродуктивной функции, задержка роста

Согласно исследованиям ФАО, за последние семьдесят лет содержание витаминов и питательных веществ в продуктах питания резко снизилось.

Овощи и фрукты, выращенные на истощённых почвах, не содержат питательные вещества в необходимом объёме. Сегодня около двух миллиардов человек во всём мире страдают от скрытого голода — недостатка микроэлементов, который трудно диагностировать на ранних стадиях.

Влияние дефицита микроэлементов на здоровье человека изучалось, опираясь на многочисленные медицинские, эпидемиологические исследования. При этом анализ проблемы влияния дефицита приводится в данной статье как теоретический аспект, с соответствующими ссылками, в том числе, на характерные, показательные исследования [1, 4, 6].

Механизмы влияния микронутриентной недостаточности на развитие патологических процессов в организме связаны, в основном, с нарушением ключевых метаболических путей.

Например, цинк участвует в функционировании более трёхсот ферментативных систем, а селен является компонентом глутатионпероксидазы — важнейшего антиоксидантного фермента [8]. Эпидемиологические данные подтверждают ассоциацию между низким содержанием селена в почвах и повышенной частотой злокачественных новообразований в соответствующих регионах.

Магний регулирует работу более восьмисот биохимических реакций, включая синтез ДНК и защиту от оксидативного стресса. Установлено, что недостаточное поступление цинка, селена, магния ассоциируется с повышенным риском развития различных онкологических заболеваний [1, 5].

При хроническом дефиците данных микроэлементов развивается состояние, характеризующееся повышенной уязвимостью клеток к канцерогенным воздействиям, нарушается репарация ДНК, ослабляется иммунологический надзор, активизируются процессы воспаления [3, 6].

Однако ряд микроэлементов: кадмий, ртуть, мышьяк и пр. опасны для человека и накапливаются в агропродукции при дефиците и искажении оптимального макро- и микроэлементного состава почв.

Особое внимание привлекает кадмий — токсичный металл, накапливающийся в почвах при интенсивном применении фосфорных удобрений [8].

Так, кадмий, накапливающийся в почвах при нарушении ее агрохимического баланса, является канцерогеном, связанным с раком лёгких, молочной железы, предстательной железы, поджелудочной железы [9].

Масштабное исследование Nawrot с соавторами, охватившее 20459 участников в Бельгии и США, продемонстрировало устойчивую ассоциацию между пожизненным воздействием кадмия и развитием злокачественных новообразований [2, 3, 5]. Количественные характеристики онкологического риска при различных уровнях экспозиции кадмия систематизированы в таблице 5.

Таблица 5 – Ассоциация между концентрацией кадмия и риском онкологических заболеваний [8]*

Локализация опухоли	Биологический материал	Концентрация у больных	Концентрация в контроле	Относительный риск / ОШ
Рак лёгких	Моча (мкг/г креатинина)	0,25-0,93	<0,25	RR 1,68 (95% ДИ 1,47-1,92)
Рак молочной железы	Моча (мкг/г креатинина)	>2,620	<1,674	ОШ 6,05 (95% ДИ 2,90-12,62)
Рак молочной железы	Кровь (мкг/л)	2,28 (МКД 1,57-3,15)	1,77 (МКД 1,34-2,57)	Превышение в 2,35 раза при >3 мкг/л
Назофарингеальная карцинома	Кровь (мкг/л)	3,84 (МКД 2,21-6,10)	2,28 (МКД 1,79-3,45)	Превышение в 2,58 раза при >5 мкг/л

* Примечание: ОШ — отношение шансов, RR — относительный риск, ДИ — доверительный интервал, МКД — межквартильный диапазон

Приведённые данные в таблице 5 убедительно демонстрируют дозозависимую взаимосвязь между экспозицией кадмия и онкологическим риском. Особенно тревожным представляется факт многократного увеличения отношения шансов развития рака молочной железы при относительно умеренных концентрациях металла.

Особый интерес (противоположную картину по здоровью) представляют наблюдения за здоровьем работников рудников и горнодобывающей промышленности. Исследования показали, что люди, длительно контактировавшие с рудными минералами, богатыми микроэлементами, демонстрировали статистически значимо более низкую заболеваемость некоторыми формами рака [6, 8]. Предполагается, что насыщенность организма широким спектром минералов формирует протективный эффект против онкогенеза. В таких условиях организм получал достаточное количество селена, цинка, молибдена, создающих метаболический барьер для развития злокачественных процессов.

Когортное исследование среди немецких шахтёров зафиксировало снижение частоты некоторых форм рака, что связывается с насыщенностью организма селеном, цинком и молибденом [1, 4].

Данные о профессиональной экспозиции по микроэлементам представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Влияние профессиональной экспозиции минералами на онкологическую заболеваемость [9].

Профессиональная группа	Характер экспозиции	Наблюдаемый эффект	Предполагаемый механизм
Шахтёры урановых рудников (Германия, 1946-1998)	Контакт с рудными породами, богатыми Se, Zn, Mo	Снижение частоты отдельных форм рака при корректировке на радон	Антиоксидантная защита, усиление репарации ДНК
Работники угольных шахт (Китай, провинция Сюаньвэй)	Экспозиция продуктами сгорания угля с высоким содержанием ПАУ	RR рака лёгких 2,5-3,8	Канцерогенное действие полициклических ароматических углеводородов
Население агрорегионов интенсивного применения фосфорных удобрений	Хроническое поступление Cd с продуктами питания	Повышение заболеваемости раком на 15-25%	Оксидативный стресс, нарушение репарации ДНК

Представленные данные в таблице 6 формируют доказательную основу для разработки профилактических стратегий, направленных на оптимизацию минерального воздействия (микроэлементов) на организм человека, в том числе минерального воздействия и состава почв в современной агрохимии, и, соответственно, оптимизацию нутриентного состава агропродукции.

В пищевой отрасли, для коррекции дефицита рациона по важнейшим, эссенциальным микронутриентам и профилактике алиментарных заболеваний, разрабатываются новые рецептуры и технологии производства обогащённых, функционально направленных продуктов питания и кулинарных изделий, но которые, как правило, становятся более дорогими и менее доступными по сравнению с традиционными продуктами питания, получаемыми из аграрной продукции.

Заключение

Таким образом, проблема выноса и невосполнения микроэлементов в современной системе АПК представляет комплексный вызов, затрагивающий продовольственную безопасность и общественное здоровье [6, 7].

Сложившаяся практика массированного применения азотных удобрений при игнорировании потребности почв и растений в широком спектре микроэлементов привела к формированию устойчивого отрицательного баланса питательных веществ, превышающего 100 килограммов действующего вещества на гектар ежегодно.

Деградация нутриентного состава агропродукции проявляется в критическом снижении содержания жизненно важных микроэлементов — цинка, селена, магния, бора, молибдена и других в зерновых и овощных культурах на 26...45% по сравнению с уровнями середины прошлого века. Данный процесс непосредственно влияет на распространённость микронутриентной

недостаточности среди населения, охватывающей около двух миллиардов человек в мире [8, 10].

Установленная корреляция между дефицитом микроэлементов и повышенным риском развития онкологических заболеваний подтверждает необходимость кардинального пересмотра агротехнологических подходов. Наблюдения за работниками рудников демонстрируют протективный эффект адекватной обеспеченности организма минералами против канцерогенеза, что открывает перспективы профилактической стратегии через оптимизацию микроэлементного состава почв и агропродукции.

В системе агрохимии, ключевым направлением представляется сбалансированное применение макро- и микроудобрений с контролем содержания токсичных примесей с компенсацией выноса эссенциальных (незаменимых) микроэлементов — селена, цинка, молибдена, йода и пр.

Решение проблемы требует системных изменений в государственной аграрной политике, включающих законодательное регулирование применения микроудобрений, развитие систем мониторинга почвенного плодородия, стимулирование внедрения сбалансированных систем удобрений. Без принятия срочных мер деградация почв может стать серьезной и необратимой на значительных площадях, что создаст долгосрочные риски для продовольственного обеспечения и здоровья будущих поколений.

С целью решения выявленных проблем, предлагается разработать планы оптимизации макро- и микроминерального питания почв России, а для производства и внесения макро- и микроэлементов - новые способы и средства, например, прогрессивные тукосмесительные машины и линии, а также удобрители и разбрасыватели тукосмесей широкого компонентного состава с био- и микродобавками под различные требования почв и агрокультур [9].

Библиографический список

1. Бердникова, Л.Н. Экологические проблемы в агропромышленном комплексе / Л.Н. Бердникова // Эпоха науки. - 2023. — № 36. — С. 33-35.
2. Габибов, М.А. Эффективность биологических и минеральных удобрений на темно-серой лесной почве / М.А. Габибов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2020. – № 1(45). – С. 16-20. DOI:10.36508/RSATU.2020.45.1.003
3. 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
4. Захарова, О.А. Математическая детерминированная модель для отображения динамики азотного питания /О.А. Захарова, К.Н. Евсенкин // Сетевой научный журнал РГАТУ. - 2024. - №2(4). - С. 11-22. DOI: 10.36508/journal.2024.38.37.003
5. Митрохина, О.А. Содержание микроэлементов в почвах ЦЧР и их влияние на урожайность сельскохозяйственных культур / О.А. Митрохина //

Агрехимический вестник. - 2021. - №5. - С. 40-45. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-5-008

6. Туркин, В.Н. Влияние технико-технологических факторов процесса перегрузки на работоспособность и потребляемую мощность подбункерных средств механизации сыпучих грузов/ В.Н. Туркин, А.В. Шемякин, Ф.А. Мусаев, К.А. Манаенков, Ю.В. Гурьянова// Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. - 2025. - №4. - С. 252-258. DOI 10.24412/2311-6447-2025-4-251-259

7. Туркин, В.Н. Влияние технико-технологических факторов на производительность подбункерных средств механизации сыпучих грузов / В.Н. Туркин, А.В. Шемякин, К.А. Манаенков, Ю.В. Гурьянова// Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. - 2025. - №3. - С. 205-212.

8. Туркин, В.Н. Особенности использования агродронов в системе агрохимии и АПК / В.Н. Туркин, А.В. Шемякин, А.П. Кутейникова // Сетевой научный журнал РГАТУ. - 2025. - №1 (7). - С. 7-21. DOI:10.36508/journal.2025.77.48.003

9. Черникова, О.В. Оценка действия биоудобрения на урожайность *Persicaria maculosa* и качество лекарственного сырья / О.В. Черникова // Сетевой научный журнал РГАТУ. - 2023. - №1. – С. 1-9. DOI:10.36508/journal.2023.45.26.001

10. Genchi G, Sinicropi MS, Lauria G, Carocci A, Catalano A. The Effects of Cadmium Toxicity. Int J Environ Res Public Health. – 2020. – V. 26. - №17(11). – P. 3782. DOI: 10.3390/ijerph17113782.

11. Silva DBD, Pianovski MAD, Carvalho Filho NP. Environmental pollution and cancer. J Pediatr (Rio J).- 2025. - №101. – S.18-S26. DOI: 10.1016/j.jpmed.2024.09.004.

References

1. Berdnikova, L.N. Ecological problems in the agricultural complex / L. N. Berdnikova // *The Age of Science*. – 2023. - №36. – S. 33-35.

2. Gabibov, M. A. The effectiveness of the biological and mineral fertilizers on dark-gray forest soil / M. A. Gabibov // *Herald of Ryazan state agrotechnological university Named after P.A. Kostychev*. - 2020. - №1(45).- S. 16-21. DOI:10.36508/RSATU.2020.45.1.003

3. Dubenok, N.N. Evaluation of the agrochemical state of soil and productivity of perennial grasses depending on fertilizers / N. N. Dubenok, Yu. A. Mazhaisky, O.A. Zakharova // *Network scientific journal of RSATU*.- 2025. - №2 (8). – S. 1-11. DOI: 10.36508/journal.2025.45.48.002

4. Zakharova, O. A. Mathematical deterministic model for displaying the dynamics of nitrogen nutrition/ Zakharova O. A., Evsenkin K.N // *Network scientific journal of RSATU*.- 2024. - №2(4). – S. -. 11-22 DOI 10.36508/journal.2024.38.37.003

5. Mitrokhina, O.A. *Microelements concentration in soils of the CCHR and it's influence on agricultural crops yield / O.A. Mitrokhina // Agrochemical newsletter. - 2021. - №5. - S. 40-45. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-5-008*
6. Turkin, V.N. *The influence of technical and technological factors of the handling process on the performance and power consumption of sub-bunker means of bulk cargo mechanization/ V.N. Turkin, A.V. Shemyakin, F.A.Musaev, K.A. Manaenkov, Yu.V. Guryanova // Technologies for the food and processing industry of aic – healthy food.-, 2025.- V.4. – p.252-258. DOI 10.24412/2311-6447-2025-4-251-259*
7. Turkin, V.N. *The influence of technical and technological factors on the productivity of bunker-type bulk cargo mechanization equipment / V.N. Turkin, A.V. Shemyakin, K.A. Manaenkov, Yu.V. Guryanova // Technologies for the food and processing industry of aic – healthy food. - 2025.- V.3. – p.205-212. DOI 10.24412/2311-6447-2025-3-204-212*
8. Turkin, V.N. *Features of the use of agrodrones in the system of agrochemistry and agriculture / V.N. Turkin, A.V. Shemyakin, A.P. Kuteynikova // Network scientific journal of RSATU. - 2025. - №1 (7). – S. 7-21. DOI:10.36508/journal.2025.77.48.003*
9. Chernikova, O.V. *Evaluation of the effect of biofertilizer on the yield of Persicaria maculosa and the quality of medicinal raw materials / O.V. Chernikova // Network scientific journal of RSATU. - 2023. - No. 1. – P. 1-9. DOI:10.36508/journal.2023.45.26.001*
10. Genchi G, Sinicropi MS, Lauria G, Carocci A, Catalano A. *The Effects of Cadmium Toxicity. Int J Environ Res Public Health.- 2020. – V.26. - №17(11). – P. 3782. DOI: 10.3390/ijerph17113782.*
11. Silva DBD, Pianovski MAD, Carvalho Filho NP. *Environmental pollution and cancer. J Pediatr (Rio J).- 2025. - №10. – S.18-S26. DOI: 10.1016/j.jpmed.2024.09.004.*

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

Статья поступила в редакцию 15.02.2026; одобрена после рецензирования 01.03.2026; принята к размещению на сайте 10.04.2026.

Contribution of the authors: All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest

The article was submitted 15.02.2026; approved after reviewing 01.03.2026; accepted for publication 10.04.2026.