

Научная статья

УДК 631.4

DOI:10.36508/journal.2024.16.36.002

## **РОЛЬ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО В УСТОЙЧИВОСТИ К ЗАГРЯЗНЕНИЮ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

**Захарова Ольга Алексеевна, Садовая Ирина Игоревна**

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

*ol-zahar-ru@yandex.ru*

### **Аннотация.**

**Проблема и цель.** Тяжелые металлы (ТМ) являются цитоплазматическими ядами, влияющими на количество урожая и качество продукции, ухудшающими продуктивность земель. Цель исследований – анализ агрохимических свойств чернозема выщелоченного в устойчивости к загрязнению тяжелыми металлами при внесении органического удобрения на основе отходов животноводства.

**Методология.** Методика исследований общепринятая. Анализы выполнялись при участии к.т.н., в.н.с. ВНИИГиМ К.Н. Евсенкина. Обработка результатов исследований с использованием программы Statistika 10.

**Результаты.** Урожай овса выше среднего по Рязанской области и по хозяйству на 34 и 36% соответственно, рН<sub>KCl</sub> соответствовал градации близкие к нейтральным. Общее количество катионов 32 мг-экв/100 г почвы. По сумме поглощенных оснований почва вошла в группировку очень высокая. Чернозем выщелоченный обладает буферностью, в составе его поглощенных катионов преобладают Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>, их содержание выросло до 38 мг-экв/100 г почвы. Общая численность целлюлозоразрушающей микрофлоры увеличилась с 277 тыс.КОЕ/г до 322 тыс.КОЕ/г. Концентрации Zn, Cd, Pb соответствовали уровню градации по шкале экологического нормирования по подвижным формам как умеренно-опасные, а по концентрации Си - повышено-опасные. По шкале частных оценок буферности к ТМ по содержанию гумуса почва находилась в интервале, равному 3,5 баллам, физической глине – 8 баллам, полуторным оксидам – 4 баллам, рН – 10 баллам с учетом поправочного коэффициента. Буферность почвы по отношению к ТМ составила 25,5 баллов, то есть была ниже градации повышенная (от 31 до 40 баллов), что, в общем, соответствовало показателям небогатой почвы. Интегральная оценка загрязнения (ИОЗ) зерна ТМ составила 3,29, что свидетельствовало 1-ому уровню загрязнения.

**Заключение.** Содержание ТМ в почве соответствовало уровню градации по шкале экологического нормирования как умеренно-опасные, кроме Си - повышено-опасные.

**Ключевые слова:** чернозем выщелоченный, тяжелые металлы, уровень загрязнения, экологическое состояние, буферность почвы.

*Original article*

## THE ROLE OF AGROCHEMICAL PROPERTIES OF LEACHED CHERNOZEM IN RESISTANCE TO HEAVY METALS POLLUTION

**Zakharova Olga Alekseevna, Sadovaya Irina Igorevna**

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

*ol-zahar-ru@yandex.ru*

### **Abstract.**

**Problem and purpose.** Heavy metals (HMs) are cytoplasmic poisons that affect the quantity of crops and quality of products, worsening the productivity of land. The purpose of the research was to analyze the agrochemical properties of leached chernozem in terms of resistance to pollution by heavy metals when applying an organic fertilizer based on animal waste.

**Methodology.** The research methodology was generally accepted. Analyzes were performed with the participation of Candidate of Technical Sciences, leading researcher of Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation K.N. Evsenkin. Research results were processed using Statistika 10 program.

**Results.** The oat yield was higher than the average one for Ryazan region and for the farm by 34 and 36%, respectively.  $pH_{KCl}$  corresponded to gradations close to neutral. The total amount of cations was 32 mg-eq/100 g of soil. Based on the number of absorbed bases, the soil was included in the very high group. Leached chernozem has a buffer capacity; its absorbed cations are dominated by  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$ , their content increased to 38 mg-eq/100 g of soil. The total number of cellulose-degrading microflora increased from 277 thousand CFU/g to 322 thousand CFU/g. The concentrations of Zn, Cd, Pb corresponded to the level of gradation on the scale of environmental regulation for mobile forms as moderately hazardous, and for the concentration of Cu as highly hazardous. According to the scale of partial estimates of buffering to HMs in terms of humus content, the soil was in the range of 3.5 points, physical clay was 8 points, sesquioxides were 4 points, pH was 10 points, taking into account the correction factor. The buffering capacity of the soil in relation to HM was 25.5 points, that is, it was higher than the gradation (from 31 to 40 points), which, in general, corresponded to the indicators of poor soil. The integrated

assessment of contamination of grain with heavy metals was 3.29, which indicated the 1st level of contamination.

**Conclusion.** The content of heavy metals in the soil corresponded to the level of gradation on the scale of environmental regulation as moderately hazardous, except for Cu - highly hazardous.

**Keywords:** leached chernozem, heavy metals, pollution level, ecological state, soil buffer capacity.

### Введение

В результате интенсивного антропогенного вмешательства в сельскохозяйственное производство формируется техногенный поток тяжелых металлов (ТМ), который в сочетании с другими трансформациями веществ, может привести к деградации почв. ТМ выступают как регуляторы биологических процессов. Регулярный контроль содержания ТМ в окружающей среде чрезвычайно важен вследствие возможной их аккумуляции в организме человека при употреблении воды и пищи с повышенным содержанием ТМ. Исследователями [6, 7] установлены условия аэрогенного переноса ТМ воздушными массами на расстояние до 90 км, причем исследуемые Zn, Cu, Cd, Pb одинаково хорошо подвержены миграции. Мониторинговые исследования территории Рязанской области проведены д.с.х.н., профессором ВНИИГиМ Ю.А. Мажайским, который установил зоны напряженности по загрязнению ТМ. ОАО «ЛАГ Сервис-АГРО» расположен в Захаровском районе в 75 км от областного центра, но несмотря на удаленность от многих источников загрязнения, экологическое состояние территории относится к настораживающему по приоритетным Zn, Cu, Cd, Pb (рисунок 1).

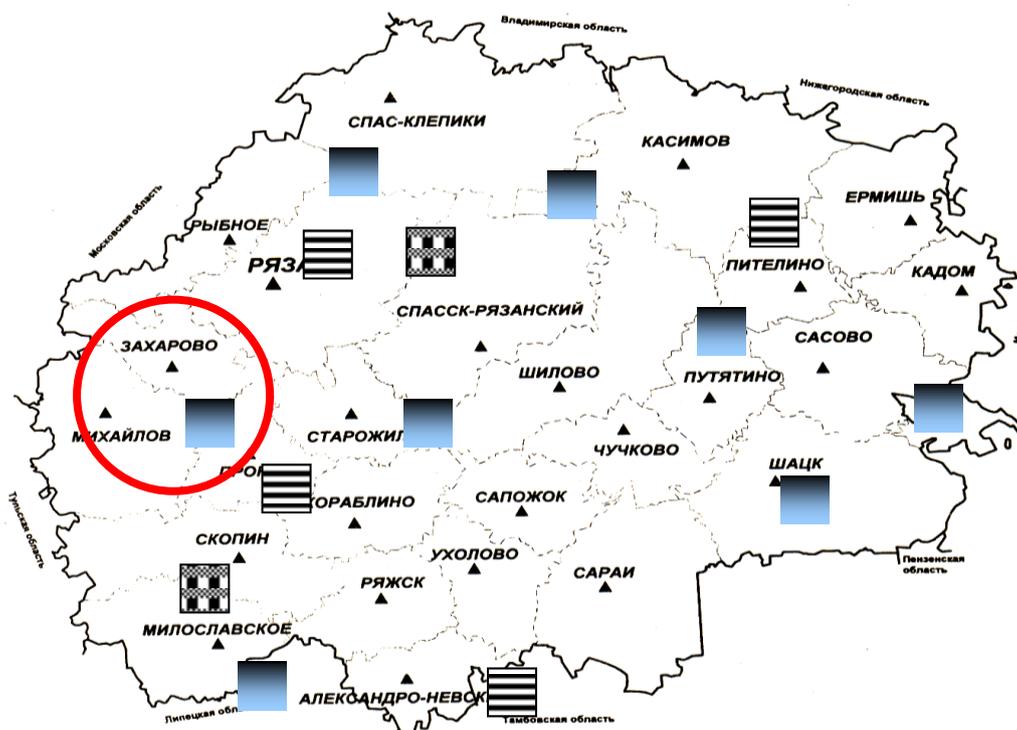


Рисунок 1 - Экологическое состояние территории Рязанской области (по данным Ю.А. Мажайского)

Figure 1 - Ecological condition of the territory of the Ryazan region (according to Yu.A. Mazhaisky)



Полученные результаты выражали только количественный показатель и не давали возможность оценить устойчивость почвы к ТМ.

Цель исследований заключалась в установлении роли агрохимических свойств чернозема выщелоченного в устойчивости к загрязнению тяжелыми металлами.

### Материалы и методы исследований

Исследования проведены в ОАО «ЛАГ Сервис-АГРО» в 2021-2023 годах на черноземе выщелоченном [5]. Из обзора литературы известно, что максимальное накопление ТМ происходит в слое 0-25 см.

Схема опыта представлена на рисунке 2.

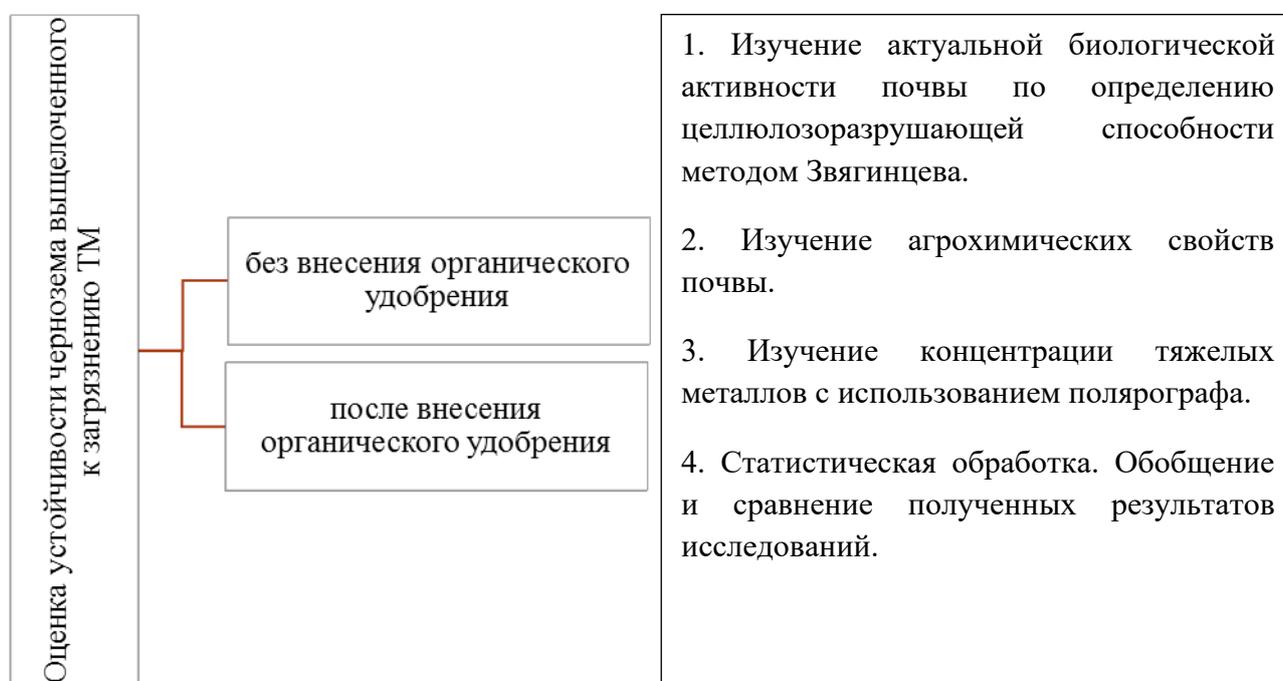


Рисунок 2 – Схема опыта  
Figure 2 – Diagram of the experience

Органическое удобрение (рисунок 2) вносилось однократно дозой 15 т/га под озимую рожь в севообороте (патент на изобретение №2787398). Составляющие органического удобрения приведены в работе [5]. Фоном служили вносимые минеральные удобрения под озимую рожь  $N_{120}P_{100}K_{50}$ . Агротехника общепринятая для региона. Валовое содержание элементов в черноземе, органическом удобрении определялось по методу К.В. Веригиной. Подвижные формы токсикантов определяли с использованием реактива по методу Крупского и Александровой. Готовилась почвенная вытяжка и определялось содержание приоритетных для региона металлов. Так, медь извлекалась на полярографе при режиме  $U = 250$  мв, цинк -  $U = 1100$  мв, свинец -  $U = 450$  мв,

кадмий -  $U = 650$  мв. Фактическое содержание металлов в почве сравнивалось с ПДК и рассчитывалось с использованием суммарного коэффициента загрязнения  $Z$ . Буферность почвы определялась по шкале В.Б. Ильина (1995). Гумус – по методике Тюрина в модификации ЦИНАО - ГОСТ 26213-91, рН водной вытяжки почвы - потенциометрическим методом. Обработка результатов исследований с использованием программы Statistika 10.

Погодные условия в годы исследований были различны, но были зарегистрированы случаи почвенной и атмосферной засухи, суховеев. Гидротермический коэффициент по Селянинову составлял меньше единицы во все годы исследований. Обработка результатов исследований с использованием программы Statistika 10.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

Основным компонентом органического удобрения является перепревший конский навоз, в котором содержание приоритетных ТМ было невысоким:  $Cu$  1,2 мг/кг,  $Zn$  8,0 мг/кг,  $Cd$  0,4 мг/кг и  $Pb$  2,0 мг/кг. В процессе трансформации ТМ в органическом удобрении концентрация их стала ниже, что связано, по-видимому, с изменением кислотности и других показателей при сочетанном действии микроорганизмов препарата ЭМ-Байкал 1, навоза и почвы. Все ТМ в органическом удобрении находились в количествах меньших по сравнению с нормативом.

Перед закладкой опыта проведена откопка шурфа (рисунок 3).

$A_0$  0 - 5 см - дернина из полуразложившихся продуктов опада и остатков травянистой растительности, визуальна окраска темно-серая, структура комковатая, зернистая, переплетена корнями. Сложение плотное. Корни. Включения не обнаружены. Переход постепенный.

$A_1$  5 – 12 см - гумусовый горизонт, формирующийся в верхней части профиля за счет накопления растительных остатков. Комковато-зернистый, кубовидная форма агрегатов диаметром от 0,25 до 10 мм, среднесуглинистый, свежий, плотный, с богатым включениями корней, переход нечетко выделен. Гранулометрический состав при мокром определении выражен сплошным шнуром с трещинами - тяжелый суглинок. Корни, червороины, капролиты.

$A_1A_2$  12 - 56 см - гумусо - эллювиальный, темно-серый с присыпкой кремнезёма, комковатозернистая с ореховидными отдельностями структура в подпахотном слое. Свежий, плотный, призмo- и плитовидная структура, свидетельствующая о засолении и интенсивном вымывании соединений, переход слабо заметный. В нижней половине переходной части профиля преобладает вымывание. Ниже по профилю бурый, оструктуренный и плотный. Четкая граница гумусовых слоев и глинистой почвы.

$AB_x$  56 - 60 см - Для профиля свойственна однородная темно-серая окраска с буроватым оттенком, свежий, комковато-зернистый, слабо уплотнен, корни, переход постепенный.

$B_1$  61 - 75 см - иллювиальный горизонт, наличие уплотненного грязно-бурого цвета иллювирированного переходного к материнской породе горизонта, серый, свежий, плотный, с новообразованиями карбонатов, соединений железа, с

пятнами гумуса, переход малозаметный. Небольшие затёки гумуса, присыпка кремнезёма, ржавые пятна ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), глинистый, уплотнённый, пористый.

С 110 - 150 см - материнская порода, буро - сизый, ореховый, уплотнен, глинистый с признаками оглеения, вскипание от 10%  $\text{HCl}$ , червороины, журавчики.

Эволюция почвы привела к изменению почвенно-поглощающего комплекса и подкислению,  $\text{HCO}_3^-$  вымыты за пределы шурфа, следовательно, содержание питательных веществ снизилось.

Почвенно-генетические горизонты имеют ровную заметную границу, темно-серую окраску с буроватым оттенком. Гумусовый слой значителен =133 см.

Таким образом, чернозем выщелоченный относится к слабогумусному легкосуглинистому на лессовидных тяжелых суглинках (агрочернозем глинисто-иллювиальный согласно Классификации почв России, 2004) [1, 10].

Аккумуляция ТМ в почве зависит от многих факторов, среди которых ведущее место занимает крупность агрегатов. По мнению Ю.Г. Байкеновой [2], оценка опасности загрязнения почвы должна проводиться с учетом буферности, влияющей на подвижность токсикантов. Методика оценки инактивационной способности каждого из свойств почвы: гумуса, рН, физической глины и др. предложена в работах В.Б. Ильина, которыми мы и воспользовались.

Физические и водно-физические свойства исследуемой почвы близки к оптимальным величинам с преобладанием фракций пыли и ила.

Содержание агрономически ценных частиц выросло на 15,5%. По количеству водопрочных агрегатов оценка почвы от удовлетворительной до неудовлетворительной. Плотность пахотного горизонта в слое почвы 0-25 см составляла  $1,30 \text{ г/см}^3$ , то есть по группировке принадлежит к слабому превышению от оптимума. Для овса этот показатель высокий (оптимум  $1,10-1,20 \text{ г/см}^3$ ). Содержание воздуха и порозность приближены к нормальным для зерновых – около 20...46%. Почва имела оптимальную 29,8% наименьшую влагоемкость (НВ), оптимальную влажность для зерновых (65-75% от НВ), то есть при влажности ниже 20,8% от НВ растения могут испытывать дефицит влаги в почве. Суммарный запас влаги около 25 мм (естественная влажность).

После внесения органического удобрения (рисунок 3) содержание  $\text{N}_{\text{общ}}$  выросло на 20%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  на 19%,  $\text{K}_2\text{O}$  на 31%. Следует обратить внимание, что урожай овса и его биометрические показатели были выше средних по Рязанской области и хозяйству на 34-36%.



Рисунок 3 – Описание почвенного профиля при

Показателем полноценного круговорота органики является увеличение содержания гумуса [10]. Так, в слое почвы 0-25 см под овсом его содержание через три года после внесения удобрения наметилась тенденция к росту его концентрации на 0,1%. По степени гумусированности почва перешла из класса меньше минимального содержания в следующий класс - слабогумусированные. Несмотря на невысокое содержание гумуса, мощность

полнопрофильном  
почвенном разрезе  
Figure 3 – Description of the  
soil profile with a full-profile  
soil section

гумусового горизонта до 133 см. Процесс гумусонакопления изменился в сторону образования наиболее стабильных его фракций, что способствовало получению более высокому урожаю овса [1].

С почвенно-поглощающим комплексом установлена связь рН, ЕКО, V, которые влияют на количество элементов питания. рН<sub>KCl</sub> в нашем опыте чуть повысился вследствие подщелачивания и был близок к нейтральному, что обусловило характер поступления элементов питания, оказывая прямое и косвенное влияние на растения. Гидролитическая кислотность, показывающая потенциальную кислотность почвы, в среднем в слое почвы 0-20 см повысилась на 0,84 мг-экв/100 г почвы, или 23%.

Общее количество катионов составило 32 мг-экв/100 г почвы, что сохраняло почву от вымывания, обеспечивая лучшие условия питания, роста и развития растений, оказало влияние на устойчивость почвы к антропогенному воздействию, в частности к химическому загрязнению. По сумме поглощенных оснований почва стала относиться к группировке очень высокая. Сумма обменных оснований (S) в чернозёме выщелоченном выросла на 31,0%.

Если рассматривать агрохимические свойства чернозема выщелоченного в целом, то можно сказать о высоком потенциале почвы как фактора роста урожайности культур.

Чернозем выщелоченный обладает способностью противостоять изменению реакции почвенного раствора при воздействии кислот, щелочей или их солей, содержит достаточное количество поглощенных катионов с преобладанием Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>, концентрация которых увеличилась в среднем на 38 мг-экв/100 г почвы. Содержание в почве Н<sup>+</sup>, наоборот, снизилось на 29%. Нами проведена проверка достоверных различий агрохимических показателей (таблица 1).

Таблица 1 - Проверка различий по гумусу

Среднее Значение 1	Среднее значение 2	t-value	p	Ст. отклонение 1	Ст. отклонение 2
3,63	3,80	-1,58	0,189004	0,152753	0,100000
3,60	3,87	-1,87	0,134702	0,152753	0,152753
3,66	4,00	-2,52	0,065109	0,152753	0,200000
3,61	3,97	-2,24	0,089009	0,152753	0,208167
3,63	3,87	-2,11	0,102424	0,152753	0,115470
3,63	3,80	-1,58	0,189004	0,152753	0,100000
3,77	3,80	-0,32	0,767644	0,152753	0,100000
3,70	3,87	-0,80	0,467605	0,152753	0,152753
3,77	4,00	-1,61	0,183567	0,152753	0,200000
3,72	3,97	-1,34	0,250815	0,152753	0,208167
3,70	3,87	-0,90	0,416866	0,152753	0,115470
3,75	3,80	-0,32	0,767644	0,152753	0,100000

Общая численность целлюлозоразрушающей микрофлоры, определенная в фазу цветения овса, увеличилась с 277 тыс.КОЕ/г до 322 тыс.КОЕ/г, то есть на 16% выше.

Результаты агрохимического и токсикологического анализов почвы представлены в таблице 2, нормативы – таблице 3.

Таблица 2 - Результаты агрохимического и токсикологического анализа чернозема выщелоченного в ООО «ЛАГ — Сервис АГРО» Захаровского района

Слой почвы, см	Показатели								
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100г	K <sub>2</sub> O, мг/100г	N <sub>подв.</sub> , мг/100г	Гумус, %	pH <sub>KCl</sub>	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Cd, мг/кг	Pb, мг/кг
0-25	10,05	8,85	5,50	3,5...3,7	5,2...5,0	15,20	16,75	0,45	3,80
25-50	8,40	6,60	3,00	3,2...3,4	5,3...4,7	12,08	16,10	0,38	3,20
Градации (слой 0-25 см)	очень низкое	очень низкое	низкая	меньше минимального содержания	слабокислые	повышенно-опасное	умеренно-опасное	умеренно-опасное	умеренно-опасное

Таблица 3 - Шкала экологического нормирования по подвижным формам тяжелых металлов на почвах со слабокислой и кислой реакцией, мг/кг (Экстрагент: HCl 1N Ацетатно-аммонийный буфер (NH<sub>4</sub>Ac))

Градации содержания	Pb	Cd	Cu	Zn
Низкое	3	0,1	5	15
Среднее	3-5	0,1-0,3	5-10	15-20
Умеренно опасное	5-10	0,3-0,5	10-15	15-20
Повышенно-опасное	10-25	0,5-2	15-20	75-150
Не для с/х использования	>25	>2	>25	>150

Анализ таблицы 2 свидетельствует о низком содержании питательных веществ и гумуса, что соответствовало 2 классу по их группировке.

Количество Zn, Cd, Pb соответствовало нормативу по подвижным формам ТМ, которые отнесены к категории умеренно-опасные, а по концентрации Cu к категории повышенно-опасные, что требует регулярного мониторинга ее содержания.

Ниже (рисунок 4) показаны результаты корреляционно-регрессионного анализа взаимосвязи концентрации ТМ в почве и pH.

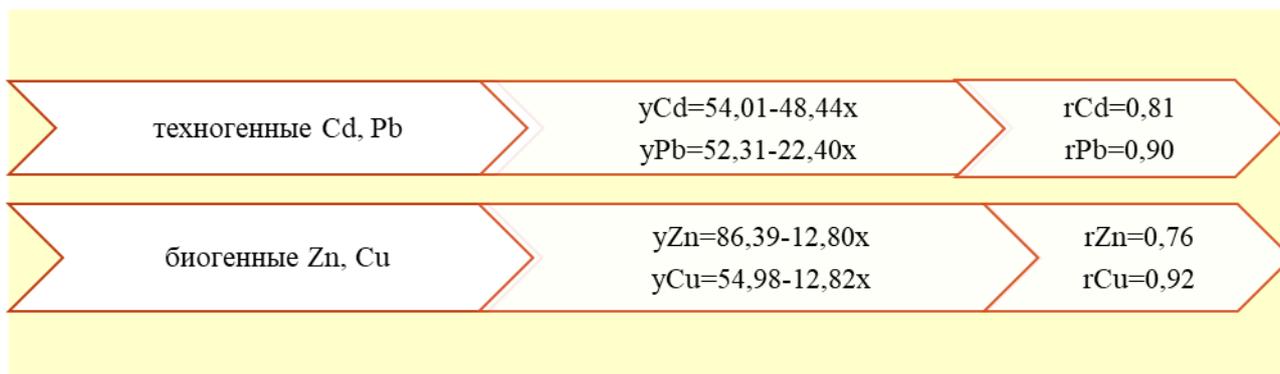


Рисунок 4 – Блок-схема содержания приоритетных тяжелых металлов в черноземе выщелоченном при внесении органического удобрения под овес  
 Figure 4 – Block diagram of the content of priority heavy metals in leached chernozem when applying organic fertilizer to oats

На основании полученных результатов дана оценка с целью выявления защитных свойств почвы. Чернозем выщелоченный по шкале частных оценок буферности к ТМ находился по содержанию гумуса в интервале, соответствующему 3,5 баллам, физической глине – 8 баллам, полуторным оксидам – 4 баллам, рН – 10 баллам с учетом поправочного коэффициента. Буферность почвы по отношению к ТМ составила 25,5 баллов, то есть была ниже градации повышенная (от 31 до 40 баллов), что, в общем, соответствовало показателям небогатой почвы.

Комплекс металлов был токсичным для чернозема выщелоченного,  $Z=36,2$  мг/кг. В целом, почва характеризовалась по оценке степени загрязнения комплексом ТМ как умеренно-опасная. В тоже время, допустимые величины не были превышены. Качество продукции (зерно) также соответствовало норме. Так, интегральная оценка загрязнения (ИОЗ) зерна ТМ, рассчитанная по известной формуле:

$$\text{ИОЗ}=\text{ИОЗ}/m, \quad (1)$$

где  $m$  – число суммируемых показателей, составила 3,29, что соответствовало 1 уровню загрязнения. Рассчитанное значение буферности чернозема выщелоченного позволило несколько снизить токсический эффект ТМ.

### Заключение

Таким образом, хозяйство находится в зоне напряженной экологической ситуации, что требует проведения регулярных наблюдений за концентрацией ТМ в почве и продукции. Буферность почвы, зависящая от ее свойств была равна 25,5 баллов, что соответствовало почвам невысокого уровня плодородия. Однако интегральная оценка загрязнения продукции показала низкий уровень перехода ТМ из почвы в зерно, что свидетельствовало о снижении их токсичного эффекта.

### Библиографический список

1. Агрохимия / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко. Под ред. Б. А. Ягодина. — М.: Колос, 2002. — 584 с. URL: <https://djvu.online/file/e4jjDmOQCM7An>

2. Байкенова, Ю.Г. Оценка степени опасности загрязнения почв тяжелыми металлами (ТМ) / Ю.Г. Байкенова // Аграрный Вестник Урала, 2014. - №7(125). – С. 9-17. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-stepeni-opasnosti-zagryazneniya-pochv-tyazhelymi-metallami-tm>
3. Глухих, М.А. Агрометеорология / М.А. Глухих. – СПб.:Лань,2022.– 200 с. URL: <https://www.litres.ru/book/min-afonasevich-gluhih/agrometeorologiya-66000970/>
4. Евсенкин, К. Н. Последствия внесения мелиоранта на основе половы на плодородие почвы и урожайность многолетних трав при подпочвенном увлажнении / К.Н. Евсенкин // Сетевой научный журнал РГАТУ, 2023. - №1. – С. 30-39. DOI:10.36508/journal.2023.27.50.004
5. Захарова, О.А. Тяжелые металлы как фактор изменения метаболизма почвенных микроорганизмов / О.А. Захарова, О.В. Евдокимова // Научно-образовательные и прикладные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции Чебоксары, 15 ноября 2023 г. - С.790-795.
6. Мазур, В.В. Особенности переноса тяжелых металлов воздушными массами / В.В. Мазур // Вестник Сыктывкарского университета. Серия 2: Биология. Геология. Химия. Экология, 2022. - №3(23). – С. 78-85. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49593044>
7. Новак, А.И. Эколого-агрохимическая оценка возможности возделывания сельскохозяйственных культур вблизи источников загрязнения / А.И. Новак, Ребух Назих Ясер, О.Д. Кучер // Сетевой научный журнал РГАТУ, 2023. - №2(2). - С. 1-13. DOI 10.36508/journal.2023.23.40.002
8. Околелова, А.А. Объективность оценки накопления тяжелых металлов в почве / А.А. Околелова, В.П. Кожевникова, В.Н. Заикина // Успехи современного естествознания, 2013. - №8. – С. 21-22. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=32648>.
9. Семенова, И.Н. Биологическая активность как индикатор техногенного загрязнения почв тяжелыми металлами / И.Н. Семенова: Автореферат на соиск. уч. ст. д.б.н. спец. Почвоведение – Уфа, 2013. – 48 с. URL: [https://new-disser.ru/\\_avtoreferats/01007960632.pdf](https://new-disser.ru/_avtoreferats/01007960632.pdf)
10. Ушаков, Р. Н. Оценка устойчивости плодородия агросерой почвы методами многомерного статистического анализа / Р.Н. Ушаков, А. В. Ручкина, Ф. Ю. Бобраков // Сетевой научный журнал РГАТУ, 2023. - №1. – С. 10-19. DOI:10.36508/journal.2023.75.87.002

#### **References**

1. *Agrokhimiya* / B.A. Yagodin, Yu.P. Zhukov, V.I. Kobzarenko. Pod red. B.A. Yagodina. — M.: Kolos, 2002. — 584 s. URL: <https://djvu.online/file/e4jjDmOQCM7An>
2. *Baykenova, Yu.G. Otsenka stepeni opasnosti zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami (TM)* / Yu.G. Baykenova // *Agrarnyy Vestnik Urala*, 2014. - №7(125). – S. 9-17. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-stepeni-opasnosti-zagryazneniya-pochv-tyazhelymi-metallami-tm>

3. Glukhikh, M.A. Agrometeorologiya / M.A. Glukhikh. – SPb.: Lan', 2022. – 200 s. URL: <https://www.litres.ru/book/min-afonasevich-gluhih/agrometeorologiya-66000970/>
4. Yevsenkin, K.N. Posledeystviya vneseniya melioranta na osnove polovy na plodorodiye pochvy i urozhaynost' mnogoletnikh trav pri podpochvennom uvlazhnenii / K.N. Yevsenkin // Setevoy nauchnyy zhurnal RGATU, 2023. - № 1. – S. 30-39. DOI:10.36508/journal.2023.27.50.004
5. Zakharova, O.A. Tyazhelye metally kak faktor izmeneniya metabolizma pochvennykh mikroorganizmov / O.A. Zakharova, O.V. Yevdokimova // Nauchno-obrazovatel'nyye i prikladnyye aspekty proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produkcii: Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Cheboksary, 15 noyabrya 2023 g. - S. 790-795. 0
6. Mazur, V.V. Osobennosti perenosa tyazhelykh metallov vozdushnymi massami / V.V. Mazur // Vestnik Syktyvkarskogo universiteta. Seriya 2: Biologiya. Geologiya. Khimiya. Ekologiya, 2022. - № 3(23). – S. 78-85. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49593044>
7. Novak, A.I. Ekologo-agrokhimicheskaya otsenka vozmozhnosti vzdelyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur vblizi istochnikov zagryazneniya / A.I. Novak, Rebukh Nazikh Yaser, O.D. Kucher // Setevoy nauchnyy zhurnal RGATU, 2023. - № 2(2). - S. 1-13. DOI 10.36508/journal.2023.23.40.002
8. Okolelova, A.A. Ob'yektivnost' otsenki nakopleniya tyazhelykh metallov v pochve / A.A. Okolelova, V.P. Kozhevnikova, V.N. Zaikina // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya, 2013. - № 8. – S. 21-22. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=32648>.
9. Semenova, I.N. Biologicheskaya aktivnost' kak indikator tekhnogennogo zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami / I.N. Semenova: Avtoreferat na soisk.uch.st.d.b.n. spets. Pochvovedeniye – Ufa, 2013. – 48 s. URL: [https://new-disser.ru/\\_avtoreferats/01007960632.pdf](https://new-disser.ru/_avtoreferats/01007960632.pdf)
10. Ushakov, R.N. Otsenka ustoychivosti plodorodiya agroseroy pochvy metodami mnogomernogo statisticheskogo analiza / R.N. Ushakov, A.V. Ruchkina, F.Yu. Bobrakov // Setevoy nauchnyy zhurnal RGATU, 2023. - № 1. – S. 10-19. DOI:10.36508/journal.2023.75.87.002