

ЭКОЛОГИЯ / ECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.71>

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ВНЕСЕНИЯ ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА НА САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ И УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ К АНТРОПОГЕННУМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

Научная статья

Титова В.И.¹, Мартянова О.С.^{2,*}, Бойцун Д.И.³

¹ORCID : 0000-0003-0962-5309;

²ORCID : 0000-0002-2625-7627;

³ORCID : 0000-0002-1829-1526;

^{1,2,3}Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, Нижний Новгород, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (o_s_kovalchuk[at]mail.ru)

Аннотация

Приведены результаты анализа показателей агроэкологического состояния светло-серых лесных почв, длительное время удобрявшихся куриным пометом, получаемым на крупной птицефабрике при промышленном содержании птиц, за период 2012-2022 гг. Анализ проведен методом сравнения данных по единым паспортизуемым участкам, объединенным в 3 земельных массива: площадью 97,3 га с насыщенностью пометом 30 т/га; 167,3 га с насыщенностью 20 т/га и 192,7 с насыщенностью 10 т/га. Установлено, что во времени в среднем по выделенному земельному участку с насыщенностью пометом 22 т/га сумма поглощенных оснований снижается, а обменная кислотность почвы повышается; гидролитическая кислотность с увеличением насыщенности пометом с 10 т/га до 30 т/га имеет тенденцию к повышению. Содержание кадмия, свинца, ртути и мышьяка не превышает предельно допустимой концентрации.

Ключевые слова: птичий помет, насыщенность, кислотность, мышьяк, тяжелые металлы.

IMPACT OF LONG-TERM APPLICATION OF POULTRY MANURE ON SOIL SANITATION AND RESILIENCE TO ANTHROPOGENIC INFLUENCES

Research article

Titova V.I.¹, Martyanova O.S.^{2,*}, Boitsun D.I.³

¹ORCID : 0000-0003-0962-5309;

²ORCID : 0000-0002-2625-7627;

³ORCID : 0000-0002-1829-1526;

^{1,2,3}Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russian Federation

* Corresponding author (o_s_kovalchuk[at]mail.ru)

Abstract

The article presents the results of an analysis of the indicators of agro-ecological state of light gray forest soils fertilized for a long time with poultry manure obtained at a large poultry farm during the industrial keeping of birds, for the period 2012-2022. The analysis was carried out by comparing data from the single certificate plots united in 3 land areas: 97.3 ha with a manure saturation of 30 tons/ha; 167.3 ha with a manure saturation of 20 tons/ha and 192.7 ha with a manure saturation of 10 tons/ha. It was established that over time, on average, the sum of absorbed bases decreases and exchange acidity of the soil increases in the allocated land plot with a manure saturation of 22 t/ha; hydrolytic acidity tends to increase with increasing manure saturation from 10 t/ha to 30 t/ha. The content of cadmium, lead, mercury and arsenic does not exceed the maximum permissible concentration.

Keywords: poultry manure, saturation, acidity, arsenic, heavy metals.

Введение

Роль и значение почвенного покрова в сельскохозяйственном производстве трудно переоценить, причем как для получения урожая культурных растений, так и для сохранения сбалансированности компонентов агроэкосистемы. Как отмечает С.А. Шафран с соавт. [1], начиная с 1991 года, плодородие почв России снижается, а контроль состояния почв сельскохозяйственного назначения становится общегосударственной задачей. Причем необходимо оценивать состояние почв не только по основным показателям плодородия, но и по устойчивости почв к антропогенным факторам с целью оценки их окультуренности и определения уровня продуктивности [2].

Особенно важным это является для хозяйств с интенсивной системой земледелия, вызванной необходимостью использования на пашне больших объемов органических удобрений промышленного птицеводства. Причем следствием такой интенсификации растениеводства не всегда является улучшение агрохимических характеристик почвы. Так, например, И.А. Борисычев с соавт. [3] отмечают, что в одном из крупных птицеводческих хозяйств Нижегородской области содержание гумуса в дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава за период с 1987 г. по 2019 г. снизилось на 0,4%, но обменная кислотность почвы, судя по показателю рН солевой вытяжки, снизилась (рН_{кел} повысился на 0,4 единицы).

Еще одной проблемой, которая делает контроль состояния почв земель сельскохозяйственного назначения практически обязательным, является возможность их загрязнения в современных условиях интенсификации производства. Так, например, в публикациях отмечается [4], что высокий уровень загрязнения тяжелыми металлами

имеют порядка 11% почв России. Особую значимость такое обследование приобретает для территорий промышленного птице- и животноводства, где используются большие объемы органосодержащих отходов [5], [6].

Методы и принципы исследования

В работе использован метод сравнительного анализа результатов агроэкологического обследования почв ООО «Птицефабрика «Павловская» в 2012 и 2022 гг. Отбор проб выполнен ЦАС «Нижегородский» в соответствии с рекомендациями по проведению комплексного мониторинга плодородия земель. Почвенный покров хозяйства представлен светло-серыми лесными почвами среднесуглинистого гранулометрического состава, не смытыми или слабосмытыми.

На плане землепользования хозяйства были выбраны паспортизуемые участки, объединенные в группы по основному критерию – насыщенности почв пометом. В каждой группе было по 3 паспортизуемых участка. Выделенные участки имеют разную удаленность от места образования и хранения птичьего помета: участки с насыщенностью 30 т/га (условное обозначение ПП-30) – 3-5 км, с насыщенностью 20 т/га (ПП-20) – 6-9 км, с насыщенностью 10 т/га (ПП-10) – 10-13 км. Общая площадь земельного массива в анализе – 457,3 га.

Насыщенность птичьим пометом рассчитана из объема годового его накопления, в среднем по хозяйству она составила 22 т/га. Помет образуется при напольном содержании кур на подстилке из опилок, масса опилок – 10% от массы помета. Усредненная характеристика птичьего помета, используемого на землях птицефабрики: содержание сухого вещества – 35%; органического вещества, в расчете на сухое вещество – 63%; реакция среды 7,2 единиц рН; содержание общего азота, фосфора и калия в расчете на естественную влажность – 1,08%, 0,89 и 0,47% соответственно. То есть, по реакции среды, содержанию сухого вещества, органического вещества и общего фосфора помет соответствует требованиям ГОСТ 33830-2016 «Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия. Межгосударственный стандарт», но в нём отмечено пониженное содержание общего азота и калия.

При анализе изменений учитывали средневзвешенные значения каждого из показателей почвенного плодородия. Использованные в расчетах данные по паспортизуемым участкам, а также средневзвешенные значения анализируемых показателей статистически обработаны методом дисперсионного анализа.

Основные результаты

Устойчивость почв к антропогенному воздействию определяется комплексом факторов, среди которых определяющее значение имеют такие характеристики почвенного поглощающего комплекса, как кислотность и сумма поглощенных оснований. Однако первая реакция неблагоприятных для почвы воздействий проявляется на реакции почвенной среды, что оценивается показателями рН водной и солевой вытяжки. При этом рН водной вытяжки из почвы (активная кислотность) имеет значение, прежде всего, при оценке условий роста растений на ранних этапах развития, а рН солевой вытяжки (обменная кислотность) – на этапах формирования основной фитомассы и продуктивных частей растения. В этой связи для предприятий, характеризующихся высокой насыщенностью удобрениями (как минеральными, так и органическими) следует определять не только рН солевой вытяжки, что является обязательным требованием при проведении агрохимического обследования, но и водной вытяжки из почвы, дабы не допустить резкого изменения реакции среды и негативных её проявлений на проростках культурных растений.

Сведения о динамике показателей почвы, характеризующих не только плодородие почвы, но и её устойчивость к внешним воздействиям, приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Динамика физико-химических показателей почвы под влиянием систематического внесения птичьего помета

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.71.1>

Насыщенность, т/га	2012 г.				2022 г.			
	рН		Нг	S	рН		Нг	S
	H ₂ O	KCl	ммоль /100 г		H ₂ O	KCl	ммоль /100 г	
ПП-30	6,3	5,2	4,41	17,1	6,2	4,9	4,21	13,1
ПП-20	6,1	4,9	3,30	15,4	6,2	4,8	3,50	12,1
ПП-10	6,1	4,9	3,80	14,4	6,0	4,8	3,60	11,2
Средневзвешенное	6,1	5,1	3,75	15,3	6,1	4,8	3,69	12,0
НСР ₀₅	0,5	0,3	1,18	1,9	0,4	0,4	1,07	1,8

Согласно полученным в 2012 году результатам, активная кислотность почвы всего анализируемого земельного массива выражается величиной 6,1 единиц рН, что в соответствии с рекомендациями агрохимической службы по степени кислотности оценивается как близкая к нейтральной. При этом значения рН водной вытяжки на всех паспортизуемых участках земельного массива позволяют заключить, что дозы внесения помета на активную кислотность почвы влияния не оказывают, оставляя её изменения в пределах группы «степень кислотности почвы –

близкая к нейтральной» (интервал в группе 5,6 – 6,5 единиц). К 2022 году в сравнении с 2012 годом актуальная кислотность почвы не изменилась и в целом не зависела от дозы внесения птичьего помета.

Средневзвешенный показатель рН солевой вытяжки, по величине которого судят об обменной кислотности почвы, в 2012 году был равен 5,1 единицы, что позволяет трактовать степень кислотности пахотных почв анализируемого земельного массива как слабокислую. Данные таблицы также свидетельствуют о существенной разнице в значениях рН для группы паспортизуемых участков с разной насыщенностью птичьим пометом: средневзвешенный рН_{кcl} участков с насыщенностью пометом в 30 т/га достоверно выше, чем участков с насыщенностью 10 т/га и 20 т/га.

К 2022 году обменная кислотность изменилась, и наиболее заметно – на участках с насыщенностью птичьим пометом 30 т/га, где рН солевой вытяжки снизился на 0,3 единицы, а почва перешла из разряда слабокислых в группу среднекислых. Здесь следует отметить, что наши данные несколько расходятся с имеющимися в открытой печати публикациями. Так, Ж.А. Иванова [7] констатирует, что рН солевой вытяжки в дерново-подзолистых почвах повышается в соотношении 0,03 единицы в расчете на 1 т ферментированного птичьего помета, а Н.П. Попова с соавт. [8] свидетельствуют о снижении кислотности на 0,41-0,40 единиц рН при внесении твердых форм свиного навоза.

Гидролитическая кислотность почвы свидетельствует о количестве катионов водорода, включенных в почвенные коллоиды. Естественно, что в почвах, где коллоидов потенциально может больше, гидролитическая кислотность, при прочих равных условиях, может быть больше. Подобное суждение подтверждается данными с участков, где птичий помет вносится ежегодно дозами порядка 30 т/га. На этих участках в составе почвенного поглощающего комплекса присутствует, безусловно, большее количество органических коллоидов, чем на участках с меньшей насыщенностью пометом (20 т/га и 10 т/га), что и привело к увеличению показателя гидролитической кислотности. Согласно рекомендациям агрохимической службы, почвы с таким значением Нг (в 2012 году 4,41 ммоль/100 г почвы, в 2022 году 4,21 ммоль/100 г почвы) относят к среднекислым. Однако, учитывая показатель НСР, разницу в значениях Нг для группы участков с насыщенностью 10 т/га и 30 т/га нельзя признать достоверной и следует трактовать лишь как тенденцию повышения гидролитической кислотности почвы при увеличении дозы внесения органического удобрения «птичий помет».

Сумма поглощенных оснований с увеличением насыщенности пашни птичьим пометом неуклонно повышалась в оба года проведения обследований, хотя абсолютные значения изменений были более видимыми в 2012 году. Если же учитывать величину случайных ошибок при проведении полевых исследований, то достоверные увеличения суммы поглощенных оснований от увеличения ежегодных доз внесения помета с 10 т/га до 30 т/га можно констатировать и в 2012, и в 2022 году.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что со временем, при любой насыщенности почв птичьим пометом, гидролитическая кислотность имеет тенденцию к снижению, что можно трактовать как положительное явление. Однако при этом сумма поглощенных оснований снижается существенно: средневзвешенное значение суммы поглощенных оснований для всей анализируемой площади к 2022 году снизилось на 3,3 ммоль/100 г почвы (22% к 2012 году).

Среди возможных причин снижения суммы поглощенных оснований предположительно можно назвать только лишь повышение интенсивности минерализационных процессов как почвенного органического вещества (включая процессы минерализации гумуса), так и свежепривнесенного в почву органического вещества птичьего помета. О значительном повышении интенсивности процессов минерализации при использовании приёмов интенсификации земледелия свидетельствуют, например, исследования В.М. Передериевой с соавт. [9], в то время как В.К. Дригидер с соавт. [10] подтверждает их снижение при содержании почвы под постоянной растительностью.

Средневзвешенный показатель рН_{кcl} по всем паспортизуемым участкам земельного массива свидетельствует об увеличении обменной кислотности на 0,3 единицы, или 6% к кислотности почвы на начало наблюдений. Возможной причиной таких изменений в обменной кислотности почвы может быть как раз высокое значение на этих же участках гидролитической кислотности почвы. Ведь известно, что обменная кислотность включает в себя не только катионы собственно водорода, но и существенную долю катионов алюминия и железа, способных придавать почве кислые свойства, и поступающих в почву с органическими удобрениями, в том числе – с птичьим пометом.

В таблице 2 приведены результаты анализа почвенных проб с выделенных участков на содержание в них основных токсикантов.

Большинством авторов одним из самых опасных токсикантов признается кадмий [11], [12] (NortA.E. etall., 2017; RaiP.K., etall., 2019), к ним также относят свинец, ртуть и мышьяк [13]. В наших исследованиях в почвах с разной степенью насыщенности птичьим пометом также были определены именно эти элементы.

Таблица 2 - Эколого-токсикологическая характеристика почв, длительно удобрявшихся птичьим пометом

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.71.2>

Насыщенность*, т/га	Площадь, га	Токсиканты			
		Cd _{подв.}	Pb _{подв.}	Hg _{вал.}	As
ПП-30*	97,3	0,12	0,48	0,024	1,23
ПП-20*	167,3	0,10	0,39	0,035	1,47
ПП-10*	192,7	0,11	0,43	0,033	1,02
Средневзвешенное	-	0,11	0,43	0,031	1,23
Фон	-	0,200	1,0	-	-

Нижегородчи на ¹					
Фон Средняя полоса РФ ²	-	-	-	0,2	5,6
ПДК транслокацио нный ³	-	-	-	2,1	2,0
ПДК общесанитар ный ⁴	-	-	6	-	10,0

Примечание: 2022 г.; * - насыщенность птичьим пометом; 1 – Геологическая основа ... 2003; 2 – СП 11-102-97; 3 – ГН 2.1.7.2041-06; 4 – Методические указания ..., 1992

Выявлено, что средневзвешенное содержание свинца и кадмия в массивах земельных участков с разной степенью насыщенности не превышает фоновый уровень, который установлен для почв сельскохозяйственных Правобережья Нижегородской области по многолетним данным 28 реперных участков [14]. Содержание подвижных форм свинца при этом значительно ниже уровня предельно допустимой концентрации химических веществ в почвах и не превышает допустимые уровни их содержания по показателям вредности [15].

Средневзвешенное содержание ртути в почвах птицефабрики ниже даже ориентировочного значения фонового содержания ртути для средней полосы России, отмечаемого в [16], тем более много ниже предельно допустимой концентрации валового содержания ртути в почве [17].

Некоторую тревогу вызывает содержание в почве мышьяка. Пока средневзвешенное его содержание и в среднем по земельному массиву на площади 473,3 га, и на выделенных участках с разной степенью насыщенности, меньше величины транслокационного ПДК, но колебания внутри участков существенны. Так, содержание As в почвах участка с насыщенностью 30 т/га варьировало в пределах 0,70-1,50 мг/кг; в почвах участка с насыщенностью 20 т/га – 1,20-1,70 мг/кг, а с насыщенностью 10 т/га – 0,80-1,40 мг/кг. Вместе с тем, вышеприведенные цифры свидетельствуют, что содержание мышьяка в почвенном покрове птицефабрики колеблется вне связи с внесением различных доз птичьего помета. Подобное отмечают в своей работе В.Н. Ситникова с соавт. [18], свидетельствуя, что черноземные почвы зоны интенсивного земледелия на юге России в основном не загрязнены, хотя иногда наблюдаются случаи повышенного содержания мышьяка.

Заключение

Анализ результатов изменений в характеристике показателей, определяющих устойчивость почв к внешним антропогенным воздействиям, позволяет сделать следующие выводы, свидетельствующие в целом о её снижении, а именно:

- внесение птичьего помета в больших дозах (насыщенность 30 т/га в сравнении с насыщенностью 10 т/га) способствует проявлению тенденции увеличения гидролитической кислотности на 0,61 ммоль/100 г почвы (16-17%);
- обменная кислотность почвы, судя по рН солевой вытяжки, при систематическом 10-летнем использовании птичьего помета в качестве органического удобрения с насыщенностью 22 т/га в среднем по земельному участку площадью 457,3 га с течением времени повышается, изменяясь с 5,1 единиц рНкcl до 4,8 единиц рНкcl;
- длительное использование куриного помета на светло-серых лесных почвах среднесуглинистого гранулометрического состава крупного птицеводческого предприятия в ежегодных дозах внесения 10-30 т/га привело к снижению суммы поглощенных оснований: средневзвешенное значение этого показателя для всей анализируемой площади к 2022 году снизилось на 3,3 ммоль/100 г почвы (22% к 2012 году);
- содержание мышьяка, ртути, подвижных форм свинца и кадмия в почвах, длительное время удобрявшихся птичьим пометом, значительно ниже предельно допустимой концентрации химических веществ в почвах и не превышает фоновый уровень, который установлен для почв сельскохозяйственных Правобережья Нижегородской области.

Финансирование

Работа выполнена по заказу Министерства науки и высшего образования России за счет средств федерального бюджета (тема НИР в ЕГИСУ НИОКТР №1022041100063-4-4.1.1.)

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

This work was carried out under the order of the Ministry of Science and Higher Education of Russia at the expense of the federal budget (Theme of R&D in EGISU R&D №1022041100063-4-4.1.1.1)

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Шафран С.А. Изменение плодородия почв Нечерноземной зоны за 50-летний период / С.А. Шафран, А.А. Ермаков, С.Б. Виноградов [и др.] // *Агрохимический вестник*. — 2021. — № 5. — С. 3-7.
2. Макаров И.Б. Плодородие и продуктивность почв: соотношение понятий / И.Б. Макаров // *Плодородие*. — 2007. — № 3. — С. 33-35.
3. Борисычев И.А. Агрохимический мониторинг пахотных почв хозяйства с интенсивной системой удобрения птичьим пометом / И.А. Борисычев, В.И. Титова, И.В. Ельшаева // *Современные проблемы использования почв и повышения их плодородия / Белорусская ГСХА*. — Горки, 2022. — Ч. 1. — С. 158-162.
4. Barsova N. Current State and Dynamics of Heavy Metal Soil Pollution in Russian Federation / N. Barsova, O. Yakimenko, I. Tolpeshta [et al.] // *Environmental Pollution*. — 2019. — Vol. 249. — P. 200-207.
5. Титова В.И. Влияние свиного навоза на агроэкологическую характеристику светло-серой лесной почвы / В.И. Титова, Л.Д. Варламова, Р.Н. Рыбин [и др.] // *Пермский аграрный вестник*. — 2019. — № 3(27). — С. 79-86.
6. Титова В.И. Характеристика физико-химических свойств светло-серой лесной почвы при утилизации свиного навоза / В.И. Титова, Л.Д. Варламова, Р.Н. Рыбин [и др.] // *Экологический вестник Северного Кавказа*. — 2019. — № 2. — С. 14-18.
7. Иванова Ж.А. Эффективность применения биоактивированного помета под картофель на дерново-подзолистой почве / Ж.А. Иванова // *Плодородие*. — 2022. — № 2(125). — С. 57-61.
8. Попова Н.П. Влияние системы удобрения и предшественников на динамику кислотности дерново-подзолистых почв при введении их в сельскохозяйственный оборот / Н.П. Попова, В.А. Шевченко, А.М. Соловьев // *Плодородие*. — 2020. — № 6. — С. 3-6.
9. Передериева В.М. Динамика растительных остатков в зависимости от технологии возделывания культур на черноземе обыкновенном / В.М. Передериева, О.И. Власова, Г.Р. Дорожка [и др.] // *Агрохимический вестник*. — 2018. — № 4. — С. 37-41.
10. Дридигер В.К. Роль растительных остатков в технологии возделывания сельскохозяйственных культур без обработки почвы / В.К. Дридигер, Р.С. Стукалов, Р.Г. Гаджимаров // *Актуальные проблемы земледелия и защиты почв от эрозии: Сб. докл. междунар. научно-практ. конф. и Школы молодых ученых, посв. Году экологии и 50-летию выхода Постановления о борьбе с эрозией почвы*. — Курск, 2017. — С. 39-49.
11. Nort A.E. Environmentally Relevant Concentrations of Aminopolycarboxylate Chelating Agents Mobilize Cd from Humic Acid / A.E. Nort, S. Sarpong-Kumankoman, A.R. Bellavie [et al.] // *J. Environ. Sci.* — 2017. — Vol. 57. — P. 249-257.
12. Rai P.K. Heavy Metals in Food Crops: Health Risks, Fate, Mechanisms and Management / P.K. Rai, S.S. Lee, M. Zhang [et al.] // *Environment International*. — 2019. — Vol. 125. — P. 365-385.
13. Селюкова С.В. Тяжелые металлы в агроценозах / С.В. Селюкова // *Достижения науки и техники АПК*. — 2020. — Т. 34. — № 8. — С. 85-93.
14. Геологическая основа формирования фона тяжелых металлов в почвах Нижегородчины. — Н. Новгород, 2003. — 63 с.
15. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. — М., 1992. — 63 с.
16. СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001220> (дата обращения 12.01.2023)
17. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. — URL: https://ruso.systems/wp-content/uploads/2017/01/86.GN2_1.7.2041-06.pdf (дата обращения 12.01.2023)
18. Ситников В.Н. Мониторинг плодородия почв Ставропольского края: динамика агрохимических показателей с учетом зональных особенностей почв / В.Н. Ситников, В.П. Егоров, А.Н. Есаулко [и др.] // *Агрохимический вестник*. — 2018. — № 4. — С. 8-13.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shafran S.A. Izmenenie plodorodija pochv Nechernozemnoj zony za 50-letnij period [Changes in Soil Fertility of the Non-Chernozem Zone for 50 Years] / S.A. Shafran, A.A. Ermakov, S.B. Vinogradov [et al.] // *Agrohimicheskij vestnik [Agrochemical Bulletin]*. — 2021. — № 5. — P. 3-7. [in Russian]
2. Makarov I.B. Plodorodie i produktivnost' pochv: sootnoshenie ponjatij [Fertility and Productivity of Soils: Correlation of Concepts] / I.B. Makarov // *Plodorodie [Fertility]*. — 2007. — № 3. — P. 33-35. [in Russian]
3. Borisychev I.A. Agrohimicheskij monitoring pahotnyh pochv hozjajstva s intensivnoj sistemoj udobrenija ptich'im pometom [Agrochemical Monitoring of Arable Soils of Farm with Intensive System of Fertilization with Poultry Manure] / I.A. Borisychev, V.I. Titova, I.V. El'shaeva // *Sovremennye problemy ispol'zovanija pochv i povyshenija ih plodorodija [Modern Problems of Soil Use and Increasing Their Fertility: collection of articles] / Belarusian State Agricultural Academy*. — Gorki, 2022. — Pt. 1. — P. 158-162. [in Russian]
4. Barsova N. Current State and Dynamics of Heavy Metal Soil Pollution in Russian Federation / N. Barsova, O. Yakimenko, I. Tolpeshta [et al.] // *Environmental Pollution*. — 2019. — Vol. 249. — P. 200-207.
5. Titova V.I. Vlijanie svinogo navoza na agrojekologicheskiju harakteristiku svetlo-seroj lesnoj pochvy [Effect of Pig Manure on the Agroecological Characteristics of Light Gray Forest Soil] / V.I. Titova, L.D. Varlamova, R.N. Rybin [et al.] // *Permskij agrarnyj vestnik [Perm Agrarian Bulletin]*. — 2019. — № 3(27). — P. 79-86. [in Russian]
6. Titova V.I. Harakteristika fiziko-himicheskikh svojstv svetlo-seroj lesnoj pochvy pri utilizacii svinogo navoza [Characteristics of Physical and Chemical Properties of Light Gray Forest Soil during the Utilization of Pig Manure] / V.I. Titova, L.D. Varlamova, R.N. Rybin [et al.] // *Jekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza [Ecological Bulletin of the North Caucasus]*. — 2019. — № 2. — P. 14-18. [in Russian]

7. Ivanova Zh.A. *Jeftektivnost' primenenija bioaktivirovannogo pometa pod kartofel' na dernovo-podzolistoj pochve* [Effectiveness of Application of Bioactivated Litter under Potatoes on Sod-podzolic Soil] / Zh.A. Ivanova // *Plodorodie [Fertility]*. — 2022. — № 2(125). — P. 57-61. [in Russian]
8. Popova N.P. *Vlijanie sistemy udobrenija i predshestvennikov na dinamiku kislotnosti dernovo-podzolistyh pochv pri vvedenii ih v sel'skohozjajstvennyj oborot* [Influence of Fertilizer and Predecessors on the Dynamics of Acidity of Sod-podzolic Soils with Their Introduction into Agricultural Rotation] / N.P. Popova, V.A. Shevchenko, A.M. Solov'ev // *Plodorodie [Fertility]*. — 2020. — № 6. — P. 3-6. [in Russian]
9. Perederieva V.M. *Dinamika rastitel'nyh ostatkov v zavisimosti ot tehnologii vozdeľyvanija kul'tur na chernozeme obyknovennom* [Dynamics of Crop Residues Depending on the Technology of Cultivation on Common Chernozem] / V.M. Perederieva, O.I. Vlasova, G.R. Dorozhko [et al.] // *Agrohimicheskij vestnik [Agrochemical Bulletin]*. — 2018. — № 4. — P. 37-41. [in Russian]
10. Dridiger V.K. *Rol' rastitel'nyh ostatkov v tehnologii vozdeľyvanija sel'skohozjajstvennyh kul'tur bez obrabotki pochvy* [The Role of Plant Residues in the Technology of Cultivation of Crops without Tillage] / V.K. Dridiger, R.S. Stukalov, R.G. Gadzhumarov // *Aktual'nye problemy zemledelija i zashhity pochv ot jerozii* [Actual Problems of Agriculture and Soil Protection from Erosion]: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference and School of young scientists, dedicated to the Year of Ecology. The Year of Ecology and the 50th anniversary of the Resolution on soil erosion control. — Kursk, 2017. — P. 39-49. [in Russian]
11. Nort A.E. *Environmentally Relevant Concentrations of Aminopolycarboxylate Chelating Agents Mobilize Cd from Humic Acid* / A.E. Nort, S. Sarpong-Kumankoman, A.R. Bellavie [et al.] // *J. Environ. Sci.* — 2017. — Vol. 57. — P. 249-257.
12. Rai P.K. *Heavy Metals in Food Crops: Health Risks, Fate, Mechanisms and Management* / P.K. Rai, S.S. Lee, M. Zhang [et al.] // *Environment International*. — 2019. — Vol. 125. — P. 365-385.
13. Seljukova S.V. *Tjzhelye metally v agrocenozah* [Heavy Metals in Agroecosystems] / S.V. Seljukova // *Dostizhenija nauki i tehniki APK* [Achievements of Science and Technology of Agroindustrial Complex]. — 2020. — Vol. 34. — № 8. — P. 85-93. [in Russian]
14. *Geologicheskaja osnova formirovanija fona tjzhelyh metallov v pochvah Nizhegorodchiny* [The Geological Basis of the Formation of the Background of Heavy Metals in the Soils of Nizhny Novgorod]. — N. Novgorod. 2003. — 63 p. [in Russian]
15. *Metodicheskie ukazanija po opredeleniju tjzhelyh metallov v pochvah sel'hozogodij i produkcii rastenievodstva* [Methodic Guidelines for the Determination of Heavy Metals in the Soils of Agricultural Land and Crop Products]. — M., 1992. — 63 p. [in Russian]
16. SP 11-102-97 *Inzhenerno-jekologicheskie izyskanija dlja stroitel'stva* [SP 11-102-97 Engineering and ecological surveys for construction]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001220> (accessed 12.01.2023) [in Russian]
17. GN 2.1.7.2041-06 *Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshhestv v pochve* [GN 2.1.7.2041-06 Maximum permissible concentrations (MPC) of chemical substances in soil]. — URL: https://ruso.systems/wp-content/uploads/2017/01/86.GN2_1.7.2041-06.pdf (accessed 12.01.2023) [in Russian]
18. Sitnikov V.N. *Monitoring plodorodija pochv Stavropol'skogo kraja: dinamika agrohimicheskikh pokazatelej s uchetom zonal'nyh osobennostej pochv* [Monitoring of Soil Fertility in Stavropol Territory: Dynamics of Agrochemical Indicators Taking into Account Zonal Features of Soils] / V.N. Sitnikov, V.P. Egorov, A.N. Esaulko [et al.] // *Agrohimicheskij vestnik [Agrochemical Bulletin]*. — 2018. — № 4. — P. 8-13. [in Russian]