

Научная статья
УДК 631.147:502.55
DOI 10.46845/1997-3071-2023-69-35-43

**Трансформация подвижности железа в почвах агроэкосистем
под влиянием навозных стоков**

Надежда Викторовна Сырчина¹, Лариса Валентиновна Пилип²

¹Вятский государственный университет, Киров, Россия

²Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

¹nvms1956@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8049-6760>

²pilip_larisa@mail.ru*, <http://orcid.org/0000-0001-9695-7146>

Аннотация. Важнейшей экологической проблемой промышленного животноводства является необходимость утилизации больших объемов навоза и навозных стоков. В настоящее время основная масса соответствующих продуктов используется в качестве удобрений на ограниченных площадях, расположенных вблизи животноводческих предприятий. Повышенная нагрузка навозом и навозными стоками приводит к трансформации естественных биогеохимических циклов микроэлементов, в частности Fe, в агроэкосистемах. В результате выполненных исследований установлено, что из-за систематического внесения значительных норм навоза крупного рогатого скота и свиней накапливается органическое вещество, повышается pH и снижается содержание подвижных форм Fe в пахотных горизонтах почвы по сравнению с кислыми дерново-подзолистыми почвами контрольных участков. Более высокие значения pH были характерны для удобряемой навозом крупного рогатого скота пашни. В удобряемых навозом почвах содержание подвижного железа составило 18–25 мг/кг, в почвах контрольных участков – 122–133 мг/кг. Достоверных различий между содержанием подвижного Fe в почвах, удобряемых навозными стоками разных видов животных, не выявлено. Содержание Fe в зеленой массе кукурузы в конце вегетационного периода варьировало от 90 до 490 мг/кг. Корреляционные связи между подвижностью Fe в агроземе и накоплением этого металла в зеленой массе растений не наблюдались. Более высокое содержание Fe было в кукурузе, выращиваемой в агроземе, удобряемом свинными навозными стоками и имеющем более низкие значения pH. Соответствующий эффект, вероятно, обусловлен повышенной лабильностью хелатных комплексов Fe с фульвокислотами в кислой среде, что облегчает поглощение элемента корневой системой растений. Изучение закономерностей динамики и состояния микроэлементов, в том числе Fe, в агроценозах позволит снизить риски химической деградации агроземов и повысить эффективность органических удобрений.

Ключевые слова: агроэкосистемы, навозные стоки, почвы, агрозем, подвижное железо, валовое железо, аккумуляция железа, хелатные комплексы.

Для цитирования: Сырчина Н. В., Пилип Л. В. Трансформация подвижности железа в почвах агроэкосистем под влиянием навозных стоков // Известия КГТУ. 2023. № 69. С. 35–43. DOI 10.46845/1997-3071-2023-69-35-43.

Original article

Transformation of iron mobility in agroecosystem soils under the influence of manure effluents

Nadezhda V. Syrchina¹, Larisa V. Pilip²

¹Vyatka State University, Kirov, Russia

²Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

¹nvms1956@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8049-6760>

²pilip_larisa@mail.ru*, <http://orcid.org/0000-0001-9695-7146>

Abstract. The most important environmental problem of industrial animal husbandry is the need to dispose of large volumes of manure and manure effluents. Currently, most of the manure runoff is used as fertilizers in limited areas located near livestock enterprises. The increased load from manure and manure effluents leads to the transformation of natural biogeochemical cycles of trace elements, in particular Fe, in agroecosystems. As a result of the research, it has been found that the systematic introduction of significant norms of cattle and pig manure leads to the accumulation of organic matter, an increase in pH and a decrease in the content of mobile forms of Fe in arable soil horizons, compared with acidic sod-podzolic soils of control sites. Higher pH values were typical for arable land fertilized with cattle manure. In manure-fertilized soils, the content of mobile iron was 18–25 mg/kg, in the soils of control sites – 122–133 mg/kg. There were no significant differences between the content of mobile Fe in soils fertilized by manure runoff of different animal species. The Fe content in the green mass of corn at the end of the growing season ranged from 90 to 490 mg/kg. Correlations between the mobility of Fe in the agrozem and accumulation of this metal in the green mass of plants have not been observed. The higher Fe content was in corn grown in agrozeme fertilized by pig manure runoff and having lower pH values. The effect is probably due to the increased lability of Fe chelate complexes with fulvic acids in an acidic environment, which facilitates the absorption of the element by the root system of plants. The study of the patterns of dynamics and the state of trace elements, including Fe in agrocenoses, will reduce the risks of chemical degradation of agrozems and increase the efficiency of organic fertilizers.

Keywords: agroecosystems, manure effluents, soil, agrozem, mobile iron, gross iron, iron accumulation, chelate complexes.

For citation: Syrchina N. V., Pilip L. V. Transformation of iron mobility in agroecosystem soils under the influence of manure effluents. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023;(69):35–43. (In Russ.). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-69-35-43.

ВВЕДЕНИЕ

Почвы являются важнейшим элементом агроэкосистем (агробιοгеοценозов). От их плодородия зависит не только общая продуктивность, но и качество получаемой продукции. Интенсивная эксплуатация земельных угодий приводит к существенной трансформации почвенного покрова, нарушению баланса между отдельными элементами агроэкосистем, ухудшению экологической обстановки в агроценозах. Для предотвращения деградации земель сельскохозяйственного назначения необходимо детальное изучение последствий различных видов воздействий на обрабатываемые почвы. Особое значение имеет оценка изменения баланса элементов минерального питания растений под влиянием тех или иных факторов. Соответствующая проблема находится в центре внимания агрохимической службы РФ, выполняющей агрохимическое и эколого-токсикологическое обследование земель сельскохозяйственного назначения. Перечень контролируемых этой службой показателей плодородия и экологической безопасности весьма обширный, однако, определение содержания железа в него не входит. Вместе с тем, Fe является незаменимым элементом минерального питания растений. По распространению в земной коре он занимает 4-е место после кислорода, кремния и алюминия, однако его доступность для растений часто ограничена низкой подвижностью (миграционной способностью) соединений. В почвах Fe обычно находится в форме оксидов и гидратов оксидов, растворимость которых зависит от pH, окислительно-восстановительных условий и наличия органических веществ, способных образовывать с ионами Fe комплексные соединения. Наиболее низкая подвижность Fe наблюдается в хорошо аэрируемых нейтральных или слабощелочных почвах [1, 2]. Соответствующие условия приводят к образованию практически нерастворимых минеральных форм Fe (III). Повышение кислотности и наличие в почве лигандов (фульвокислот, фенолов, органических кислот и т. п.) способствуют растворению железосодержащих минералов:



В восстановительных условиях Fe (III) способно превращаться в Fe (II). Активное участие в этом процессе принимают микроорганизмы (например, *Geobacter*, *Shewanella*) и легко окисляемые органические вещества [3]. Для соединения Fe (II) характерна более высокая подвижность, чем для соединений Fe (III) [4].

Железо играет ключевую роль в процессах дыхания, фотосинтеза и синтеза ДНК. Дефицит этого металла приводит к развитию функционального хлороза, обусловленного уменьшением активности ферментов, принимающих участие в биосинтезе хлорофилла. Пораженные хлорозом растения отстают в росте и развитии, у них снижается продуктивность и питательная ценность. Отрицательное влияние на развитие растений оказывает не только недостаток, но и избыток подвижного Fe. Чрезмерное поступление этого элемента приводит к нарушению клеточного гомеостаза, замедлению роста и негативным изменениям листового аппарата.

Согласно экспертным оценкам около 30 % мировых почв характеризуются недостатком и около 18 % – избытком биодоступного Fe [5]. В связи с этим мониторинг содержания подвижного Fe в землях сельскохозяйственного назначения имеет большое практическое значение.

Цель настоящей работы состояла в изучении влияния долговременного внесения навозных стоков крупного рогатого скота и свиней на содержание валового и подвижного железа в пахотном горизонте пашни.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований были выбраны два пахотных поля, расположенных вблизи крупных животноводческих комплексов. Первое поле (опыт 1) на протяжении 6 лет удобряли обезвреженными навозными стоками (откачаны из лагун) свиноводческого предприятия, второе поле (опыт 2) – навозными стоками крупного рогатого скота. До указанного времени в поля вносили другие формы навоза и навозных стоков не менее 15 лет. Нормы внесения рассчитывала агрохимическая служба предприятий, исходя из содержания в соответствующих удобрениях основных элементов минерального питания растений. Оба поля использовали в кормовом севообороте. В год отбора проб на полях выращивали кукурузу на силос.

Пробы почвы (агрозема) отбирали в конце вегетационного периода (после уборки кукурузы) тростевым буром на глубину пахотного горизонта в соответствии с ГОСТ Р 58595-2019. Контрольные пробы (контроль 1 и контроль 2) отбирали на заросших кустарником участках аналогично отбору проб агрозема. Расстояние от границ пахотных полей до участков отбора контрольных проб составляло не менее 300 м, почва контрольных участков глинистая, дерново-подзолистая. Контроль 1 отбирали вблизи поля, удобряемого навозными стоками свиней, контроль 2 – вблизи поля, удобряемого навозными стоками крупного рогатого скота. Механический состав пахотной почвы (опыт 1 и опыт 2) был аналогичен механическому составу почвы контрольных участков.

Содержание Fe в пробах определяли атомно-абсорбционным методом в соответствии с ФР 1.31.2018.31189. Отбор и подготовку растительных проб (зеленой массы кукурузы: стеблей и листьев) проводили согласно ГОСТ Р 58588-2019, содержание Fe в кукурузе определяли по ГОСТ 32343-2013. Статистическую обработку данных выполняли по общепринятым методикам в программе Microsoft Excel. Для оценки статистической значимости различий средних величин использовали t-критерий Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обезвреженный навоз сельскохозяйственных животных является ценным органическим удобрением, в котором содержатся практически все элементы, необходимые для развития растений, а также органические вещества, играющие важную роль в обеспечении почвенного плодородия. Вместе с тем, внесение значительных норм навоза на ограниченных площадях может привести к нарушению естественных циклов трансформации биогенных веществ в агроэкосистемах, что представляет определенную экологическую опасность [6, 7]. Повышенную нагрузку навозными стоками испытывают пахотные поля, расположенные вблизи животноводческих предприятий [8, 9]. Изучение закономерностей динамики и состояния тяжелых металлов и микроэлементов в агроценозах почв при длительном внесении навозных стоков животноводческих предприятий является важной зада-

чей, позволяющей снизить экологические риски и повысить эффективность применения указанных органических удобрений, так как вместе с навозными стоками в почву попадают Zn, Cu, Mn, Fe и другие металлы, входящие в состав кормов и минеральных добавок для животных [10–12].

Содержание Fe в рационах для высокопродуктивных животных обычно составляет 200–300 и более мг/кг корма [13]. Неусвоенный в процессе пищеварения микроэлемент в составе навозных стоков попадает в почву (агрозем). Влияние поступающего со стоками Fe на валовое содержание этого металла может быть весьма незначительным, однако органические компоненты могут существенно влиять на подвижность и биодоступность Fe для растений и почвенной микробиоты. Результаты химического анализа отобранных образцов почвы приведены в таблице.

Таблица. Содержание валовой и подвижной форм железа в почве
Table. The content of gross and mobile forms of iron in the soil

Объект	Содержание железа, мг/кг		Органическое вещество, %	pH _{KCl}
	железо (валовая форма)	железо (подвижная форма)		
Контроль 1	9200±2300	133±33	3,9±0,4	4,3±0,2
Опыт 1	9300±2400	18±5	4,8±0,4	5,7±0,3
Контроль 2	2600±600	122±31	4,2±0,6	4,0±0,1
Опыт 2	5900±1500	25±6	6,0±0,5	7,5±0,2

Примечание. Жирным шрифтом в таблице выделены статистически значимые различия между контрольными и экспериментальными пробами ($P > 0,95$).

Согласно приведенным данным регулярное внесение навозных стоков способствовало накоплению в почве органического вещества, увеличению pH и снижению доли подвижных форм железа. Коэффициент корреляции между содержанием подвижного Fe и pH_{KCl} составил –0,85. Увеличение валового Fe в агроземе, по сравнению с контролем, отмечено для пашни, удобряемой навозными стоками крупного рогатого скота. Скорее всего, различия между вариантами «контроль 2» и «опыт 2» обусловлены вариациями естественного (фоновое) содержания Fe на разных территориях. Статистически значимых различий в содержании подвижного Fe между контрольными образцами, как и между опытными, не выявлено.

Содержание Fe в зеленой массе кукурузы, выращенной на поле, удобряемом навозными стоками свиней, составило 490±61 мг/кг сухой массы; для кукурузы, выращенной на поле, удобряемом навозными стоками крупного рогатого скота, соответствующий показатель находился на уровне 90±10 мг/кг. Для растений кукурузы в конце вегетационного периода (время отбора проб) характерно усиленное поглощение Fe, необходимого для синтеза нуклеиновых кислот [14, 15]. Элемент в основном поглощается в форме гидратированных катионов Fe²⁺ и Fe³⁺, незначительная часть – в составе хелатных комплексов [16]. Несмотря на низкую подвижность Fe, кукуруза, выращиваемая на удобряемых навозными стоками почвах, активно накапливает этот элемент в зеленой массе. Наиболее интенсивно соответствующий процесс протекает в агроземе с более низкими значениями pH (опыт 1). Вероятно, это обусловлено повышенной лабильностью комплексов Fe с органическими лигандами в кислой среде. Депротонирование органических ли-

гандов в нейтральной и слабощелочной средах повышает устойчивость комплексных соединений Fe и затрудняет поглощение ионов корневой системой растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненных исследований свидетельствуют о значительном влиянии систематического внесения высоких норм навозных стоков на подвижность Fe в почвах. К основным факторам, влияющим на подвижность Fe, можно отнести pH и наличие органических веществ, способных образовывать с катионами Fe растворимые комплексы.

Биодоступность и уровень аккумуляции Fe в растениях зависят не только от подвижности элемента в почвах, но и от устойчивости его комплексов с органическими лигандами. В нейтральной и слабощелочной среде устойчивость соответствующих комплексов (в основном комплексов с фульвокислотами) возрастает, что приводит к снижению биодоступности и уменьшению аккумуляции Fe вегетирующими растениями.

Для снижения экологических рисков деградации агроземов и повышения эффективности применения навозных стоков животноводческих предприятий в качестве органических удобрений необходимо учитывать закономерности динамики и состояния микроэлементов, в том числе Fe в агроценозах.

Список источников

1. Shenker M., Chen Y. Increasing Iron Availability to Crops: Fertilizers, Organo-Fertilizers, and Biological Approaches // Soil Science & Plant Nutrition. 2005. V. 51. N 1. P. 1–17, <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2005.tb00001.x>.
2. Adsorption of REE(III)-humate complexes onto MnO₂: experimental evidence for cerium anomaly and lanthanide tetrad effect suppression / M. Davranche, O. Pourret, G. Gruau, A. Dia, M. CozBouhnik // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2005. V. 69. N 20. P. 4825–4835, <https://doi.org/10.1016/j.gca.2005.06.005>.
3. Водяницкий Ю. Н., Шоба С. А. Биогеохимия железа в переувлажненных почвах (аналитический обзор) // Почвоведение. 2013. № 9. С. 1047–1059, <https://doi.org/10.7868/S0032180X13090128>.
4. Анциферова О. А., Левицкий А. Д. Результаты мониторинга окисного и закисного железа в почвах холмисто-моренных равнин // Известия КГТУ. 2020. № 56. С. 11–21.
5. Tolerance of Iron-Deficient and Toxic Soil Conditions in Rice (Review) / A. Mahender, M. Swamy, A. Anandan, J. Ali // Plants. 2019. V. 8. N 2. P. 31–65, <https://doi.org/10.3390/plants8020031>.
6. Анализ и решения экологических проблем в животноводстве / А. Ю. Брюханов, В. Д. Попов, Э. В. Васильев, Е. В. Шалавина, Р. А. Уваров // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. № 4. С. 48–55, <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-48-55>.
7. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Экологическая проблема отрасли свиноводства // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции. В 2 книгах. 2019. С. 193–196.

8. Производство биоорганических удобрений как направление реализации безотходных технологий в свиноводстве / А. В. Сазанов, Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, В. А. Козвонин // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 85–90, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2017-3-085-090>.
9. Биологическое загрязнение пахотных земель отходами свиноводства / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, В. А. Козвонин, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина, А. В. Сазанов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 199–205, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-199-205>.
10. Маркина Е. О., Григорьев В. В., Сырчина Н. В. Влияние различных добавок на подвижность тяжелых металлов в почвах // Экология родного края: проблемы и пути решения: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2016. С. 87–90.
11. Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Промышленные свиноподкомплексы как источники загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2021. № 5(51). С. 88–91, <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2021-5-88-91>.
12. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Химическая деградация земель под воздействием отходов животноводства // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 219–225, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-219-225>.
13. Железо в рационах, крови и печени свиней, коров и кур. URL: <https://worldgonesour.ru/vyraschivanie-molodnyaka/524-zhelezo-v-racionah-krovi-i-pecheni-sviney-korov-i-kur.html> (дата обращения: 25.10.22).
14. Бахитова А. Р., Лапушкин В. М. Накопление микроэлементов в зеленой массе кукурузы при ее выращивании на дерново-подзолистой почве // Плодородие. 2018. № 4 (103). С. 18–21, <https://doi.org/10.25680/S19948603.2018.103.06>.
15. Enakiev Y. I., Bahitova A. R., Lapushkin V. M. Microelements (Cu, Mo, Zn, Mn, Fe) in corn grain according to their availability in the fallow sod-podzolic soil profile // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2018. V. 24. N 2. P. 285–289.
16. Кузнецова Е. А., Гаврилина В. А., Зомитев В. Ю. Накопление тяжелых металлов растениями кукурузы в процессе онтогенеза // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2016. № 2. С. 30–34.

References

1. Shenker M., Chen Y. Increasing Iron Availability to Crops: Fertilizers, Organo-Fertilizers, and Biological Approaches. *Soil Science & Plant Nutrition*, 2005, vol. 51, no. 1, pp. 1–17, <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2005.tb00001.x>.
2. Davranche M., Pourret O., Gruau G., Dia A., CozBouhnik M. Adsorption of REE(III)-humate complexes onto MnO₂: experimental evidence for cerium anomaly and lanthanide tetrad effect suppression. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2005, vol. 69, no. 20, pp. 4825–4835, <https://doi.org/10.1016/j.gca.2005.06.005>.
3. Vodyanitskii Yu. N., Shoba S. A. Biogeochemistry of iron in waterlogged soils (analytical review). *Pochvovedenie*, 2013, no. 9, pp. 1047–1059, <https://doi.org/10.7868/S0032180X13090128>.

4. Antsiferova O. A., Levitskiy A. D. Rezultaty monitoringa okisnogo i zakisnogo zheleza v pochvakh kholmisto-morennykh ravnin [Monitoring results of ferric and ferrous iron in soils of hilly-moraine plains]. *Izvestiya KGTU*, 2020, no. 56, pp. 11–21.
5. Mahender A., Swamy M., Anandan A., Ali J. Tolerance of Iron-Deficient and Toxic Soil Conditions in Rice (Review). *Plants*, 2019, vol. 8, no. 2, pp. 31–65, <https://doi.org/10.3390/plants8020031>.
6. Bryukhanov A. Yu., Popov V. D., Vasilev E. V., Shalavina E. V., Uvarov R. A. Analiz i resheniya ekologicheskikh problem v zhivotnovodstve [Analysis and solutions to environmental problems in livestock farming]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*, 2021, vol. 15, no. 4, pp. 48–55, <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-48-55>.
7. Pilip L. V., Syrchina N. V. Ekologicheskaya problema otrasli svinovodstva [Environmental issue of the pig industry]. *Trudy XIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Agrarnaya nauka – sel'skomu hozyaystvu"* [Proceedings of the XIV International scientific and practical conference "Agrarian science to agriculture"]. Barnaul, 2019, pp. 193–196.
8. Sazanov A. V., Terentyev Yu. N., Syrchina N. V., Ashikhmina T. Ya., Kozvonin V. A. Proizvodstvo bioorganomineralnykh udobreniy kak napravlenie realizatsii bezotkhodnykh tekhnologiy v svinovodstve [Production of bioorganomineral fertilizers as the direction of realization of wastefree technologies in pig-breeding]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2017, no. 3, pp. 85–90, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2017-3-085-090>.
9. Pilip L. V., Syrchina N. V., Kozvonin V. A., Kolevatykh E. P., Ashikhmina T. Ya., Sazanov A. V. Biologicheskoe zagryaznenie pakhotnykh zemel' otkhodami svinovodstva [Biological contamination of arable land with pig waste]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2022, no. 3, pp. 199–205, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-199-205>.
10. Markina E. O., Grigor'ev V. V., Syrchina N. V. Vliyanie razlichnykh dobavok na podvizhnost' tyazhelykh metallov v pochvakh [The effect of various additives on the mobility of heavy metals in soils]. *Trudy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Ekologiya rodnogo kraya: problemy i puti resheniya"* [Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation. Ecology of the native land: problems and solutions]. Kirov, 2016, pp. 87–90.
11. Pilip L. V., Syrchina N. V., Ashikhmina T. Ya. Promyshlennyye svinokompleksy kak istochniki zagryazneniya okruzhayushchey sredy tyazhelymi metallami [Industrial pig farms as sources of environmental pollution with heavy metals]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniya Rossiyskoy Akademii Nauk*, 2021, no. 5 (51), pp. 88–91, <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2021-5-88-91>.
12. Syrchina N. V., Pilip L. V., Ashikhmina T. Ya. Khimicheskaya degradatsiya zemel' pod vozdeystviem otkhodov zhivotnovodstva [Chemical land degradation under the influence of animal husbandry waste]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2022, no. 3, pp. 219–225, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-219-225>.
13. Iron in the diets, blood and liver of pigs, cows and chickens. Available at: <https://worldgonesour.ru/vyraschivanie-molodnyaka/524-zhelezo-v-racionah-krovi-i-pecheni-sviney-korov-i-kur.html> (Accessed 25 October 2022).

14. Bakhitova A. R., Lapushkin V. M. Nakoplenie mikroelementov v zelenoy masse kukuruzy pri ee vyrashchivanii na dernovo-podzolistoy pochve [Microelements content in green material of corn cultivated on the sod-podzolic soil]. *Plodorodie*, 2018, no. 4 (103), pp. 18–21, <https://doi.org/10.25680/S19948603.2018.103.06>.

15. Enakiev Y. I., Bahitova A. R., Lapushkin V. M. Microelements (Cu, Mo, Zn, Mn, Fe) in corn grain according to their availability in the fallow sod-podzolic soil profile. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2018, vol. 24, no. 2, pp. 285–289.

16. Kuznetsova E. A., Gavrulina V. A., Zomitev V. Yu. Nakoplenie tyazhelykh metallov rasteniyami kukuruzy v protsesse ontogeneza [Accumulation of heavy metals by corn plants during ontogeny]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov*, 2016, no. 2, pp. 30–34.

Информация об авторах

Н. В. Сырчина – кандидат химических наук, доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии, старший научный сотрудник лаборатории биомониторинга ВятГУ и Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук

Л. В. Пилип – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры зоогигиены, физиологии и биохимии

Information about the authors

N. V. Syrchina – PhD in Chemistry, Associate Professor of the Department of Fundamental Chemistry and Chemistry Teaching Methods, Senior Researcher of the Laboratory of Biomonitoring of Vyatka State University and Komi of the research center of Ural division of the Russian Academy of Sciences

L. V. Pilip – PhD in Veterinary, Associate Professor of the Department of Zoological Hygiene, Physiology and Biochemistry

Статья поступила в редакцию 17.02.2023; одобрена после рецензирования 01.03.2023; принята к публикации 10.03.2023.

The article was submitted 17.02.2023; approved after reviewing 01.03.2023; accepted for publication 10.03.2023.