

УДК 631.423.3

Наталья Николаевна Костюченко¹, Александр Александрович Волчек²¹науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института

Национальной академии наук Беларуси

²д-р геогр. наук, проф., проф. каф. природообустройства
Брестского государственного технического университета**Natalya Kostyuchenko¹, Alexander Volchek²**¹Researcher of the Polesie Agrarian-Ecological Institute
of National Academy of Sciences of Belarus²Doctor of Geographical Sciences, Professor,
Professor of the Department of Environmental Management
of Brest State Technical University

e-mail: kost-n@rambler.ru

**СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА В ПОЧВЕ
ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ ПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА
В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ**

Рассмотрено воздействие длительного хранения подстильного навоза крупного рогатого скота в полевых условиях на содержание подвижных соединений фосфора в дерново-подзолистой песчаной почве. На протяжении трех лет исследований прослеживается динамика содержания данных соединений в пахотном и подпахотном горизонтах. Установлено, что такой способ хранения приводит к накоплению подвижного фосфора, в результате чего его содержание в пахотном слое почвы в месте хранения навоза и на расстоянии 1 м от него оценивается как высокое. Максимальная концентрация исследуемых соединений в пахотном и подпахотном горизонтах почвы зафиксирована в весенний период при 20 месяцах хранения навоза. После удаления его с места хранения и использования отмечено достаточно быстрое снижение содержания данного элемента в почве.

Ключевые слова: подстильный навоз, фосфор, почва.

**Content of Mobile Phosphorus Compounds in Soil
During Long-Term Storage of Litter Manure in Field Conditions**

The article examines the impact of long-term storage of cattle manure under field conditions on the content of mobile phosphorus compounds in soddy-podzolic sandy soil. Over the course of 3 years of research, the dynamics of the content of these compounds in the arable and subarable horizons has been traced. It has been established that this storage method leads to the accumulation of mobile phosphorus, as a result of which its content in the arable soil layer at the place where manure is stored and at a distance of 1 m from it is assessed as high. The maximum concentration of the studied compounds in the arable and subarable soil horizons was recorded in the spring after 20 months of manure storage. After removing it from the place of storage and use, a fairly rapid decrease in the content of this element in the soil was noted.

Key words: litter manure, phosphorus, soil.

Введение

Животноводческие комплексы оказывают существенное и разноплановое воздействие на окружающую среду [1]. Основным отходом данных предприятий является навоз, который образуется в больших объемах и требует значительных площадей для хранения, поэтому иногда его складывают в штабеля на полях вблизи мест внесения. В Беларуси проведено недостаточно исследований по оценке влияния отходов животноводства на химический состав почвы, не изучена в полной мере самоочищающаяся способность почв после использования отходов животноводства [2].

Навоз в своем составе содержит элементы питания, необходимые растениям, в форме органических соединений животного и растительного происхождения. Одним из важнейших элементов, оказывающим влияние на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции, является фосфор. В почвах данный элемент содержится в малоподвижных формах, коэффициент его использования растениями составляет 3–5 %.

Однако недостаток фосфора приводит к значительному недобору урожая, поскольку он способствует формированию и развитию корневой системы растений на ранних этапах органогенеза. Восполнить недостаток фосфорных удобрений в более поздние периоды их развития невозможно. При достаточной обеспеченности фосфором сельскохозяйственные культуры лучше переносят засушливые условия периода вегетации, в них усиливаются морозо- и зимостойкость [3; 4].

Внесение удобрений в научно обоснованных дозах компенсирует вынос элементов питания с урожаем и увеличивает их запасы в почвах [5]. Длительное поступление высоких доз удобрений приводит к накоплению в почве избыточных количеств химических элементов. Высокое содержание фосфора затрудняет усвоение растениями железа, цинка, марганца, нарушает их питание, вследствие чего снижается объем и качество товарной продукции.

Фосфор обычно аккумулируется в пахотном слое почвы [6], но на супесчаных почвах, подстилаемых песками, внесение высоких доз органики приводит к проникновению его в более глубокие почвенные горизонты, что увеличивает риск загрязнения грунтовых вод [7].

Цель статьи – оценка влияния длительного хранения в полевых условиях подстилочного навоза крупного рогатого скота на содержание подвижных соединений фосфора в пахотном и подпахотном горизонтах дерново-подзолистой песчаной почвы.

Объекты и методы исследований

Исследования проводили в ОАО «Племзавод Мухавец» Брестского р-на Брестской обл. на дерново-подзолистых песчаных почвах. Объектом исследований являлся участок поля, отведенный для складирования и хранения подстилочного навоза крупного рогатого скота. Размеры штабеля – $127 \times 4 \times 1$ м (~510 т). Пробы почвы отбирали в соответствии с требованиями ГОСТа 17.4.3.01-83 весной, летом и осенью при хранении навоза 8–12 (2021 г.), 20–24 (2022 г.), 30 (2023 г.) месяцев.

Место отбора – 1, 2, 5, 25 м от штабеля, а также внутри контура штабеля навоза спустя два и четыре месяца после его использования. Глубина отбора почвенных проб составляла 0–25 см (пахотный слой) и 25–40 см (подпахотный слой). Точечные пробы, отобранные с пробных площадок на расстоянии 1 м, соединяли в одну объединенную пробу массой 1,5 кг, аналогично поступали с пробами на расстоянии 2, 5 м и т. д.

На поле, где осуществлялось хранение штабеля подстилочного навоза, севооборот представлен следующими культурами: рапс (2021 г.), пшеница (2022 г.), кукуруза (2023 г.).

Агрохимическая характеристика пахотного слоя: pH – 5,7; содержание гумуса – 1,9 %, подвижных форм P_2O_5 – 108 мг/кг и K_2O – 91 мг/кг почвы.

Концентрацию подвижных форм фосфора в почве устанавливали методом Кирсанова в модификации ЦИНАО на спектрофотометре СФ-56 (ГОСТ 26207-91). Для экстракции исследуемых соединений использовали раствор соляной кислоты в концентрации 0,2 моль/дм³ при отношении почвы к раствору 1 : 5.

Результаты и их обсуждение

Проведенные исследования показали, что хранение подстилочного навоза в полевых условиях сопровождалось накоплением подвижных соединений фосфора в верхнем слое почвы, что согласуется с литературными данными [6–9]. Наибольшее содержание данного элемента зафиксировано в весенний период на расстоянии 1 м от штабеля, а максимальное его количество отмечено при хранении навоза в течение 20 месяцев – 567 мг/кг почвы, что в 1,5 раза выше, чем при хранении в течение 8 месяцев и в 2,1 раза ниже по сравнению с хранением в течение 30 месяцев (рисунок 1).

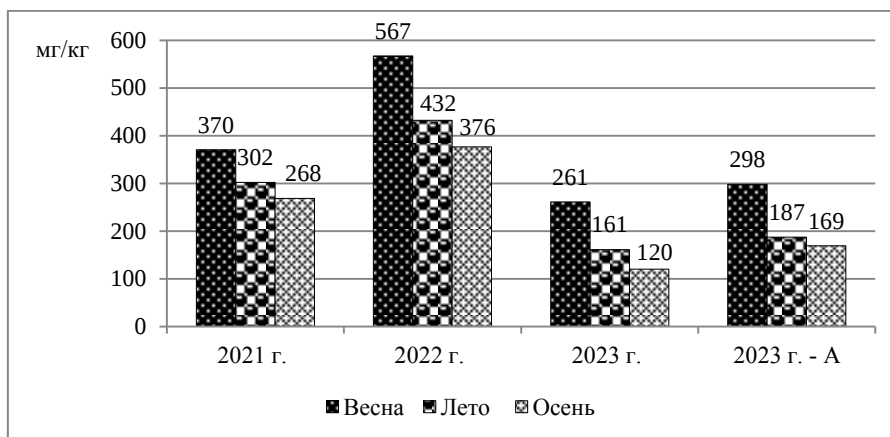


Рисунок 1 – Содержание подвижных соединений фосфора в пахотном слое почвы на расстоянии 1 м от штабеля навоза и в месте его хранения (А)

Согласно градации агрохимической группировки минеральных почв по содержанию фосфора вышеуказанное значение соответствовало очень высокому уровню концентрации данного элемента [10] и в 2,5 раза превышало оптимальный показатель верхнего предела его содержания для песчаных почв [11]. Отсутствие экологических норм не позволяет оценить безопасность почвы с вышеуказанным содержанием фосфора.

В подпахотном горизонте почвы концентрация подвижных соединений фосфора изменялась аналогично пахотному горизонту и на расстоянии 1 м от штабеля к 20 месяцам хранения подстилочного навоза в полевых условиях достигла своего максимального значения – 150 мг/кг, превышая более чем в 3 раза концентрации данного элемента при 8 и 30 месяцах хранения навоза (рисунок 2).

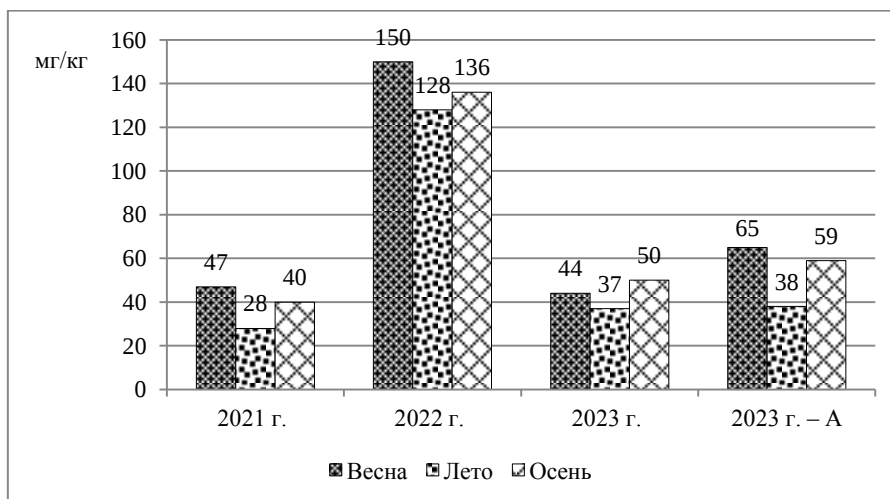


Рисунок 2 – Содержание подвижных соединений фосфора в подпахотном слое почвы при удалении на 1 м от штабеля навоза, а также в месте его хранения (А)

Внутри контура удаленного штабеля навоза, хранившегося на протяжении 30 месяцев, содержание подвижных форм фосфора в мае на глубине 0–25 см оказалось равным 298 мг/кг и незначительно отличалось от почвы, отобранной на расстоянии 1 м от места хранения органического удобрения. В обоих случаях количество фосфора оценивалось как высокое. Латеральной миграции данного элемента способствовали изменения структуры почвы в результате сезонных процессов замораживания – оттаивания, а также засухи [12; 13]. В подпахотном горизонте в месте хранения навоза и на рассто-

янии 1 м от контура ранее расположенного штабеля концентрации подвижных соединений фосфора составили соответственно 65 и 44 мг/кг, что в 5,9 и в 4,6 раз ниже по сравнению с пахотным горизонтом почвы.

С мая по сентябрь количество подвижного фосфора в верхнем слое почвы снижалось. На расстоянии 1 м от штабеля при хранении навоза 8–12 месяцев концентрация исследуемых соединений уменьшилась в 1,4 раза, 20–24 месяца – в 1,5 раза и 30 месяцев – в 2,2 раза и составила, соответственно, 268, 376 и 120 мг/кг (рисунки 1, 3). Однако снижение концентраций подвижного фосфора при хранении навоза на протяжении 24 месяцев не сопровождалось изменением уровня его содержания в пахотном слое почвы и в течение вышеуказанного времени оценивалось как высокое.

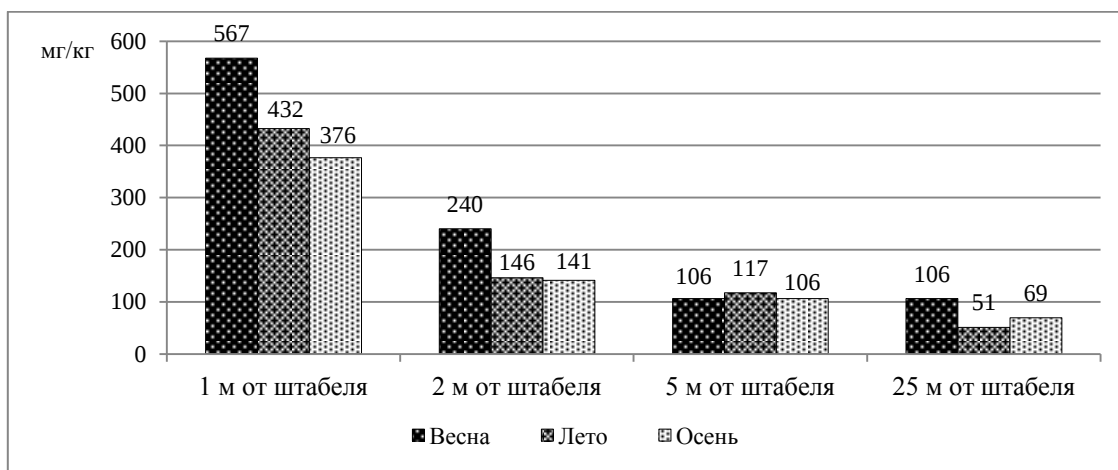


Рисунок 3 – Содержание подвижных соединений фосфора в пахотном слое дерново-подзолистой песчаной почвы при хранении навоза в полевых условиях 20–24 месяца (2022 г.)

Удаление навоза с места складирования привело к снижению содержания подвижных соединений фосфора в пахотном слое почвы: в месте хранения навоза с высокого (298 мг/кг) к повышенному (169 мг/кг), в 1 м от ранее расположенного штабеля – с высокого (261 мг/кг) к среднему (120 мг/кг), в 2 и 5 м – с повышенного (227 и 175 мг/кг) к низкому (98 и 83 мг/кг), в 25 м – со среднего (139 мг/кг) к низкому (80 мг/кг) (рисунок 4).

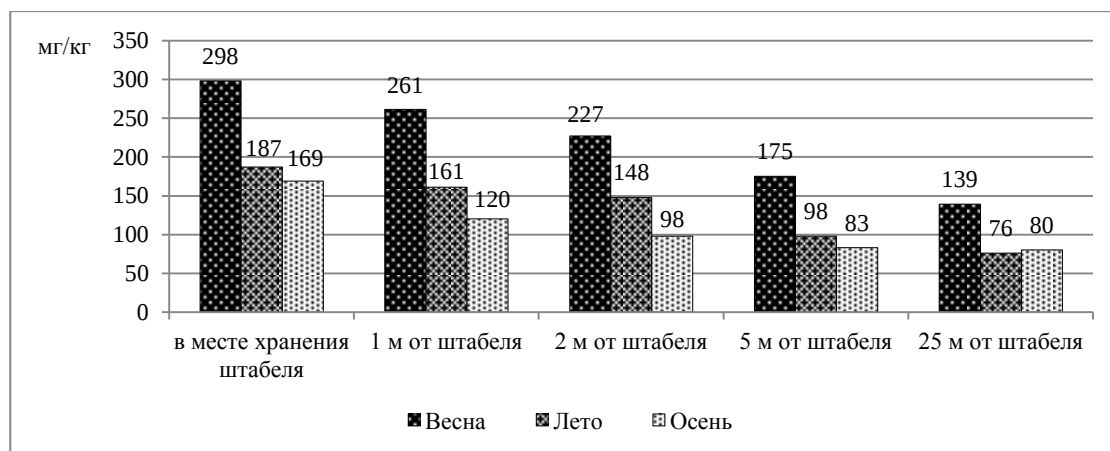


Рисунок 4 – Содержание подвижных соединений фосфора в пахотном слое дерново-подзолистой песчаной почвы после удаления штабеля навоза, хранившегося в течение 30 месяцев (2023 г.)

Уменьшение концентраций подвижных форм фосфора в пахотном слое почвы отмечено не только в течение вегетационного периода, но и с увеличением расстояния от штабеля. Так, при хранении навоза в течение 20–24 месяцев концентрация фосфора с мая по сентябрь в верхнем слое почвы на расстоянии 2 м от штабеля оказалась ниже в среднем в 2,7 раза, а на расстоянии 5 м – в 4,1 раза, 25 м – в 5,3 раза по сравнению с пробами почвы, отобранными на расстоянии в 1 м (рисунок 3). При увеличении срока хранения органического удобрения до 30 месяцев с последующим его использованием содержание фосфора на расстоянии 2, 5 и 25 м от штабеля было ниже, чем на расстоянии 1 м от штабеля в среднем в 1,2, 1,5 и 1,8 раза соответственно (рисунок 4).

Удаление подстилочного навоза с места хранения способствовало достаточно быстрому снижению содержания в почве данного элемента. Так, за вегетационный период концентрация подвижного фосфора в пахотном слое почвы в 1 м от контура ранее расположенного навоза снизилась в 2,2 раза и оказалась равной 120 мг/кг, что близко к оптимальному содержанию –150–230 мг/кг – для песчаных почв [11]. В 2 м от места хранения штабеля его количество в осенний период составило 98 мг/кг и приближалось к первоначальному значению, полученному при определении агрохимической характеристики почвы. Вероятно, из-за большой водопроницаемости и низкой влагоемкости дерново-подзолистой песчаной почвы исследуемые соединения с атмосферными осадками быстро просачивались вглубь почвенного профиля [14]. На расстоянии 5 и 25 м от контура штабеля содержание подвижных соединений фосфора низкое – 83–80 мг/кг.

В подпахотном горизонте почвы динамика изменения содержания подвижных соединений фосфора имела такую же тенденцию, как и в пахотном: увеличение их количества к 20 месяцам хранения штабеля навоза с последующим снижением как во времени, так и при увеличении расстояния от места складирования. Ранее упоминалось, что наибольшая концентрация подвижного фосфора отмечена в весенний период на расстоянии 1 м от штабеля при 20 месяцах хранения навоза и оказалась равной 150 мг/кг. На расстоянии 2 м от штабеля концентрация фосфора в мае в подпахотном слое почвы составила 68 мг/кг, что в 2,2 раза ниже по сравнению с расстоянием в 1 м, но в 2,3 и в 3,6 раза выше, чем на расстоянии 5 м и 25 м. При 30 месяцах хранения навоза с последующим его удалением содержание фосфора в 2 м от штабеля снизилось до 32 мг/кг, или в 2,1 раза по сравнению с 20 месяцами хранения, и незначительно отличалось от проб, отобранных на протяжении 1–25 м от контура штабеля, а интервал варьирования концентраций составил от 32 до 44 мг/кг (таблица).

Таблица – Содержание подвижных соединений фосфора в подпахотном слое почвы при длительном хранении подстилочного навоза в полевых условиях, мг/кг

Расстояние от штабеля, м	Весна	Лето	Осень
20–24 мес. хранения навоза			
1	150	128	136
2	68	89	32
5	29	32	нпо
25	19	20	нпо
30 мес. хранения навоза			
В месте хранения	65	38	59
1	44	37	50
2	32	нпо	35
5	37	нпо	28
25	36	нпо	25

Примечание – нпо – ниже предела обнаружения прибора (менее 20 мг/кг).

Осенью содержание подвижного фосфора в подпахотном слое почвы на расстоянии 1–25 м от ранее расположенного штабеля незначительно отличалось от значений, полученных в мае, и составило 25–50 мг/кг. Внутри контура удаленного штабеля подстилочного навоза в подпахотном горизонте почвы концентрация подвижных соединений фосфора весной оказалась 65 мг/кг, т. е. в 1,5 раза выше, чем на расстоянии 1 м от штабеля, и в 4,6 раза ниже, чем в пахотном горизонте. Осенью количество данного элемента в месте складирования навоза и на расстоянии 1 м от него оказалось на одном уровне – 50–59 мг/кг (таблица 1).

Следует также отметить, что в летний период на расстоянии 2–25 м от места хранения штабеля содержание подвижных соединений фосфора в подпахотном горизонте уменьшилось по сравнению с весенним периодом и оказалось ниже предела обнаружения прибора, т. е. менее 20 мг/кг, а к осени увеличилось до 25–35 мг/кг (в зависимости от расстояния). Снижение концентраций исследуемых соединений в летний период обусловлено потреблением элемента сельскохозяйственной культурой (кукурузой) в процессе своего роста и развития, а увеличение его содержания в почве к осени – следствие созревания культуры и явления корневой адсорбции [15].

Максимальная разница по концентрации фосфора между пахотным и подпахотным горизонтами почвы оказалась при сроке хранения навоза 8–12 месяцев и составила 7,9 раза в весенний период и 6,7 раза – в осенний, что объясняется низкой миграцией данного элемента в более глубокие почвенные горизонты в связи с аккумулятивной функцией почвы, корневых систем растений и бактерий [16–18]. При увеличении срока хранения навоза до 20–24 месяцев отличия по содержанию фосфора сократились до 3,8 раза весной и 2,8 раза осенью, что свидетельствует об увеличении поступления фосфора в нижележащий слой почвы.

Заключение

Таким образом, при длительном хранении подстилочного навоза в полевых условиях максимальное содержание подвижных соединений фосфора в дерново-подзолистой песчаной почве отмечено при 20 месяцах хранения штабеля и составляет в пахотном слое 567 мг/кг почвы, а в подпахотном – 150 мг/кг.

Удаление навоза с места хранения способствовало достаточно быстрому снижению содержания данного элемента в пахотном слое почвы. В месте хранения навоза количество подвижного фосфора за вегетационный период уменьшилось с высокого (298 мг/кг) к повышенному (169 мг/кг), в 1 м от ранее расположенного штабеля – с высокого (261 мг/кг) к среднему (120 мг/кг), что в первом случае соответствует оптимальному содержанию данного элемента в почве, а во втором – близко к таковому. На расстоянии 2 м от контура штабеля концентрация исследуемых соединений снизилась с повышенной (227 мг/кг) к низкой (98 мг/кг) и приближалась к первоначальному значению, полученному при определении агрохимической характеристики почвы. В подпахотном горизонте почвы содержание фосфора внутри контура штабеля навоза в мае и сентябре составило 65 и 59 мг/кг, на расстоянии 1 м от штабеля – 44 и 50 мг/кг, 2 м – 32 и 35 мг/кг.

С целью рационального использования удобрений при посеве сельскохозяйственных культур в местах ранее расположенных штабелей навоза необходимо корректировать фосфатный режим почвы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Исследование загрязнения почвенного покрова животноводческими комплексами / В. А. Рыбак [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. – 2007. – № 12. – С. 165–169.

2. Кольга, Д. Ф. Новые технологии и технические средства утилизации навоза на животноводческих фермах и комплексах / Д. Ф. Кольга, Н. В. Казаровец. – Минск : БГАТУ, 2014. – 144 с.
3. Фосфор в почвах и системе удобрений сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь / В. Г. Сычев [и др.] // Плодородие. – 2023. – № 5. – С. 47–50.
4. Чекмарев, П. А. Мониторинг содержания подвижных форм фосфора и калия в пахотных почвах Белгородской области / П. А. Чекмарев, С. В. Лукин // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – № 2. – С. 5–9.
5. Агроэкологическое обоснование ведения сельскохозяйственного производства на мелиорируемых длительно используемых, нарушенных и загрязненных землях / И. В. Гурина [и др.]. – Рязань : ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2014. – 484 с.
6. Мерзлая, Г. Е. Использование свиного навоза для удобрения сельскохозяйственных культур / Г. Е. Мерзлая, И. В. Щеголева, М. В. Леонов // Перспективное свиноводство. Теория и практика. – 2012. – № 6. – С. 3–8.
7. Тарасов, С. И. Влияние длительного регулярного применения бесподстилочного навоза на плодородие, экологическую безопасность дерново-подзолистой супесчаной почвы / С. И. Тарасов, М. Е. Кравченко, Т. А. Бужина // Техника и технологии в животноводстве – 2020. – № 2 (38). – С. 90–99.
8. Костюченко, Н. Н. Агрохимический состав почвы, используемой для хранения подстилочного навоза / Н. Н. Костюченко, А. А. Волчек // Почвоведение в прошлом, настоящем и будущем : материалы междунар. научн.-практ. конф., Баку, 5–6 дек. 2022 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Азербайджана, ун-т Хазар ; редкол.: В. Гасанов [и др.]. – Баку, 2023. – С. 238–241.
9. Костюченко, Н. Н. Динамика содержания подвижных соединений фосфора и калия в почве при хранении подстилочного навоза в полевых условиях / Н. Н. Костюченко А. А. Волчек // Сб. науч. тр. – Краснодар. – 2024. – Вып. 2 : Экол. география: соврем. векторы в науке. – С. 128–133.
10. Методика крупномасштабного агрохимического и радиационного обследования почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич [и др.] ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2020. – 48 с.
11. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020) / И. М. Богдевич [и др.] ; под общ. ред. И. М. Богдевича ; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2022. – 276 с.
12. Zhao, Y. Critical review on soil phosphorus migration and transformation under freezing-thawing cycles and typical regulatory measurements [Electronic resource] / Y. Zhao, Y. Li, F. Yang // Science of The Total Environment. – 2021. – Vol. 751. – P. 141614. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141614>. – Date of access: 13.06.2024.
13. Research progress on the effects of droughts and floods on phosphorus in soil-plant ecosystems based on knowledge graph / W. Bi [et al.] // HydroResearch. – 2023. – Vol. 6. – P. 29–35.
14. Смирнов, П. М. Агрохимия / П. М. Смирнов, Э. А. Муравин. – 2-е изд. – М. : Колос, 1984. – 304 с.
15. Магницкий, К. П. Диагностика потребности растений в удобрениях / К. П. Магницкий. – М. : Моск. рабочий, 1972. – 271 с.
16. Анализ состояния фосфора в агросерых почвах Владимирского ополья / Д. В. Карпова [и др.] // Агрохим. вестн. – 2016. – № 3. – С. 15–19.
17. Самофалова, И. А. Химический состав почв и почвообразующих пород / И. А. Самофалова. – Пермь : ФГОУ ВПО Перм. ГСХА, 2009. – 130 с.

18. Акімова, А. С. Круговорот соединений фосфора в почве [Электронный ресурс] / А. С. Акімова // Междунар. науч.-исслед. журн. – 2023. – № 8 (134). – Режим доступа: <https://research-journal.org/archive/8-134-2023-august/10.23670/IRJ.2023.134.38>. – Дата доступа: 13.06.2024.

REFERENCES

1. Issledovaniye zagriazneniya pochviennogo pokrova zhivotnovodchieskimi komplikatsami / V. A. Rybak [i dr.] // Viestn. Poloc. gos. un-ta. Sier. F. – 2007. – № 12. – S. 165–169.
2. Kol'ga, D. F. Novye tiekhnologii i tiekhnichieskiye sriedstva utilizacii navoza na zhivotnovodchieskikh fiermakh i kompleksakh / D. F. Kol'ga, N. V. Kazarovec. – Minsk : BGATU, 2014. – 144 s.
3. Fosfor v pochvakh i sistiemie udobrienij siel'skokhoziajstviennykh kul'tur v Riespublikie Bielarus' / V. G. Sychiov [i dr.] // Plodorodije. – 2023. – № 5. – S. 47–50.
4. Chiekmariov, P. A. Monitoring sodierzhanija podvizhnykh form fosfora i kalija v pakhotnykh pochvakh Bielgorodskoj oblasti / P. A. Chiekmariov, S. V. Lukin // Dostizhenija nauki i tiekhniki APK. – 2020. – № 2. – S. 5–9.
5. Agroekologichieskoje obosnovaniye viedienija siel'skokhoziajstviennogo proizvodstva na mieliorirujemykh dlitel'no ispol'zujemykh, narushennykh i zagriaznionnykh ziemliakh / I. V. Gurina [i dr.]. – Riazan' : FGBOU VPO RGATU, 2014. – 484 s.
6. Miorzlaja, G. Ye. Ispol'zovaniye svinogo navoza dlja udobrienija siel'skokhoziajstviennykh kul'tur / G. Ye. Miorzlaja, I. V. Shchiogolieva, M. V. Lieonov // Pierspiektivnoje svinovodstvo. Tieorija i praktika. – 2012. – № 6. – S. 3–8.
7. Tarasov, S. I. Vlijanije dlitel'nogo rieguliarnogo primienienija biespodstilochnogo navoza na plodorodije, ekologichieskuju biezopasnost' diernovo-podzolistoj supieschanoj pochvy / S. I. Tarasov, M. Ye. Kravchienko, T. A. Buzhina // Tiekhnika i tiekhnologii v zhivotnovodstvie. – 2020. – № 2 (38). – S. 90–99.
8. Kostiuchienko, N. N. Agrokhimichieskij sostav pochvy, ispol'zujemoj dlja khranienija podstilochnogo navoza / N. N. Kostiuchienko, A. A. Volchiek // Pochvoviedienije v proshlom, nastojshchem i budushchem : materialy miezhdunar. nauchn.-prakt. konf., Baku, 5–6 diek. 2022 g. / In-t pochvoviedienija i agrokhimii NAN Azierbajdzhana, un-t Khazar ; riedkol.: V. Gasanov [i dr.]. – Baku, 2023. – S. 238–241.
9. Kostiuchienko, N. N. Dinamika sodierzhanija podvizhnykh sojedinenij fosfora i kalija v pochvie pri khranienii podstilochnogo navoza v polievnykh uslovijakh / N. N. Kostiuchienko, A. A. Volchiek // Sb. nauch. tr. / KubGAU. – Krasnodar, 2024. – Vyp. 2 : Ekol. gieografija: sovriem. viektory v naukie. – S. 128–133.
10. Mietodika krupnomasshtabnogo agrokhimichieskogo i radiacionnogo obsliedovaniya pochv siel'skokhoziajstviennykh ziemiel' Riespubliki Bielarus' / I. M. Bogdievich [i dr.] ; Nac. akad. nauk Bielarusi, In-t pochvoviedienija i agrokhimii. – Minsk : In-t sistiem. isslied. V APK NAN Bielarusi, 2020. – 48 s.
11. Agrokhimichieskaja kharaktieristika pochv siel'skokhoziajstviennykh ziemiel' Riespubliki Bielarus' (2017–2020) / I. M. Bogdievich [i dr.] ; pod obshch. ried. I. M. Bogdievicha ; In-t pochvoviedienija i agrokhimii – Minsk : In-t sistiem. isslied. v APK NAN Bielarusi, 2022. – 276 s.
12. Zhao, Y. Critical review on soil phosphorus migration and transformation under freezing-thawing cycles and typical regulatory measurements [Electronic resource] / Y. Zhao, Y. Li, F. Yang // Science of The Total Environment. – 2021. – Vol. 751. – P. 141614. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141614>. – Date of access: 13.06.2024.

13. Research progress on the effects of droughts and floods on phosphorus in soil-plant ecosystems based on knowledge graph / W. Bi [et al.] // HydroResearch. – 2023. – Vol. 6. – P. 29–35.
14. Smirnov, P. M. Agrokhimija / P. M. Smirnov, E. A. Muravin. – 2-je izd. – M. : Kolos, 1984. – 304 s.
15. Magnickij, K. P. Diagnostika potrebnosti rastenij v udobrienijakh / K. P. Magnickij. – M. : Mosk. rabochij, 1972. – 271 s.
16. Analiz sostojanija fosfora v agrosierykh pochvakh Vladimirskogo opol'ja / D. V. Karpova [i dr.] // Agrokhim. viestn. – 2016. – № 3. – S. 15–19.
17. Samofalova, I. A. Khimichieskij sostav pochv i pochvoobrazujushchikh porod / I. A. Samofalova. – Pierm': FGOU VPO Pierm. GSKhA, 2009. – 130 s.
18. Akimova, A. S. Krugovorot sojedinenij fosfora v pochvie [Elektronnyj riesurs] / A. S. Akimova // Miezhdunar. nauch.-issled. zhurn. – 2023. – № 8 (134). – Riezhim dostupa: <https://research-journal.org/archive/8-134-2023-august/10.23670/IRJ.2023.134.38>. – Data dostupa: 13.06.2024.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 22.09.2024