

**ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ И  
ФИТОТОКСИЧНОСТЬ АГРОЧЕРНОЗЕМА КВАЗИГЛЕЕВАТОГО**

Ж. Л. Алексеева, Ю. А. Азаренко

ФГБОУ ВО Омский ГАУ,

644008, г. Омск, Институтская пл., д. 1;

E-mail: zhl.alekseeva@omgau.org

*Поступила в редакцию 13.09.2022 г., принята к печати 30.11.2022 г.*

Представлены результаты исследований по изучению влияния твердой фракции бесподстильного свиного навоза на активность ферментов каталазы, уреазы и инвертазы, а также на фитотоксичность агрочернозема квазиглееватого среднепахотного легкосуглинистого. Полевые эксперименты проведены в 2016–2019 гг. на опытном поле Омского ГАУ (г. Омск). Изучены варианты с внесением навоза в дозах 20 и 60 т га<sup>-1</sup>. Органическое удобрение имело следующий химический состав: N – 0,59%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 1,13%, K<sub>2</sub>O – 0,14%, органическое вещество – 82,1%, pH солевой суспензии – 7,4. Слой 0–20 см исследуемой почвы характеризовался низкой активностью ферментов в связи с малым содержанием гумуса и легким гранулометрическим составом, обусловленными процессами плоскостного смыва. Применение органического удобрения в дозах 20 и 60 т га<sup>-1</sup> оказало наибольшее влияние на активность уреазы, которая увеличилась в год действия навоза на 15,8 и 68,4% соответственно, а в первый и второй годы последействия – на 9,5–42,8%. Активность каталазы усилилась в период действия и первый год последействия удобрения на 8,8–14,6%, во второй год последействия существенное увеличение активности фермента (на 10,7%) наблюдалось только при дозе навоза 60 т га<sup>-1</sup>. Активность инвертазы увеличивалась под действием удобрения на 5,8% в год внесения и 11,1–12,2% в годы последействия. Лабораторные эксперименты с тест-культурой редисом показали, что применение навоза не привело к проявлению фитотоксичности агрочернозема. Уменьшение длины корешков отмечено только в год действия навоза при его внесении в дозе 60 т га<sup>-1</sup> (на 13,2%), в других вариантах и при последействии удобрения наблюдалось стимулирование их развития.

**Ключевые слова:** бесподстильный свиной навоз, агрочернозем, каталаза, уреазы, инвертаза, фитотоксичные свойства.

**THE INFLUENCE OF MANURE ON THE ENZYMATIC ACTIVITY AND PHYTOTOXICITY OF  
AGRICHERNOZEM QUASIGLEIC**

Zh. L. Alekseeva, Yu. A. Azarenko

Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin,

1, Institutskaya Square, Omsk;

E-mail: zhl.alekseeva@omgau.org

The results of studies on the effect of the solid fraction of litter-free pig manure on the activity of catalase, urease and invertase enzymes, as well as on the phytotoxicity of quasigley loamy agrochernozem are presented. Field experiments were carried out in 2016–2019 on the experimental field of the Omsk State Agrarian University. Manure was applied in rates from 20 to 60 t ha<sup>-1</sup>. The manure contained 0.59% of N, 1.13% of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0.14% of K<sub>2</sub>O, 82.1% of organic matter and had pH of 7.4. The 0–20 cm layer of the studied soil was characterized by low activity of enzymes due to the low content of humus (1.97–2.10%), light texture caused by the processes of planar erosion. The use of manure in rates of 20 and 60 t ha<sup>-1</sup> had the greatest impact on urease activity, which increased in the year of manure application, respectively, by 15.8 and 68.4%. In the first and the second years of aftereffect it was also 9.5–42.8% higher. The activity of catalase increased after manure application and the first year of aftereffect by 8.8–14.6%, in the second year of the aftereffect a significant increase in the activity of the enzyme (by 10.7%) was observed only at a rate of manure of 60 t ha<sup>-1</sup>. The activity of invertase increased under the influence of the manure application from 5.8% in the year of application to 11.1–12.2% – in the years of aftereffect. Laboratory experiments with radish as a test culture showed that the use of the manure did not cause development of any phytotoxic properties in the agrochernozem. A decrease in the length of radish roots was noted only in the year of manure application for 60 t ha<sup>-1</sup> treatment (by 13.2%), in the other treatments and with the aftereffect of the manure, an increase in the indicator was observed.

**Keywords:** quasigley agrochernozem, liquid pig manure, enzymatic activity, phytotoxicity.

## ВВЕДЕНИЕ

Для оценки биологического состояния почв в настоящее время используется широкий спектр показателей, что обусловлено многообразием функций почвенной биоты. Одним из них является деятельность ферментов, которая представляет собой интегральный показатель биохимической активности почвы, ее функционально-экологического состояния и уровня плодородия (Хазиев, 2005, 2015, 2018; Зинченко и др., 2017; Романов и др., 2019).

Почвенные ферменты являются продуктом метаболизма всего комплекса живых организмов (Звягинцев и др., 2005). Они отличаются строгой специфичностью действия и зависимостью от изменений условий внешней среды, поэтому ферментативная деятельность служит одним из важнейших индикаторов трансформации свойств почв под влиянием антропогенных, в том числе агрогенных, нагрузок. Одним из приемов повышения продуктивности агроценозов, стабилизации плодородия почв и активизации в них биологических процессов является применение минеральных и органических удобрений (Воронин и др., 2006; Куликова и др., 2017).

В то же время перестройка компонентов живой фазы почвы в результате ее сельскохозяйственного использования может оказать не только положительное, но и негативное влияние на возделываемые растения. Так, при выращивании на одном месте близких по биологии культур в почве накапливаются фитотоксические вещества, снижающие их урожайность и плодородие почв. Источником поступления токсичных веществ в почву являются корневые выделения сельскохозяйственных растений и почвенные микроорганизмы, особенно отдельные виды грибов (*Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus* и др.), поселяющихся на неразложившихся послеуборочных остатках (Берестецкий, 1978). Имеются сведения о появлении биологической токсичности почвы под влиянием минеральных удобрений (Зинченко, Селицкая, 2011). Применение навоза, в частности свиного, изготовленного с нарушением технологии, также может привести к нарушению роста и развития сельскохозяйственных культур, поскольку в нем могут содержаться токсичные соединения в значительных концентрациях (Мерзлая и др., 2012). В связи с этим влияние применяемых систем удобрений на почву и растения с агроэкологических позиций должно оцениваться с использованием показателей биологической активности.

Исследования, проведенные в последнее время в Омской области, указывают на высокую агрономическую эффективность применения бесподстилочного свиного навоза при возделывании зерновых культур на агрочерноземах – преобладающих почвах пахотных угодий (Бобренко и др., 2022). Однако экологическая оценка его воздействия на свойства почвы не проводилась. Поэтому целью настоящего исследования являлось установление влияния органического удобрения на ферментативную активность и фитотоксичность агрочернозема квазиглееватого.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на опытном поле Омского ГАУ (г. Омск) в период с 2016 по 2019 гг. Район исследования расположен в южной лесостепи Западной Сибири. Климат континентальный, среднегодовая температура воздуха составляет  $+0,5^{\circ}\text{C}$ , годовое количество осадков – 350 мм (Рейнгард и др., 2016). Объектом исследования являлся агрочернозем квазиглееватый среднепахотный легкосуглинистый (по классификации почв 1977 г. – лугово-черноземная маломощная слабогумусированная легкосуглинистая почва). Данный тип почвы является одним из преобладающих в составе пахотных земель агроценозов лесостепи Омской области. Рельеф опытного участка представлен плоской слабонаклоненной поверхностью второй надпойменной террасы р. Иртыш. Почвообразующие породы – четвертичные карбонатные лессовидные суглинки, подстилаемые аллювиальными отложениями. За счет формирования на склоне южной экспозиции с крутизной  $1^{\circ}$  почва подвержена процессам плоскостного смыва, по степени эродированности она относится к среднесмытой (Рейнгард и др., 2016).

Пахотный слой агрочернозема характеризовался следующими показателями: содержание гумуса (по Тюрину в модификации Симакова) составляло 1,97–2,10%; сумма обменных оснований –  $20,2 \text{ смоль кг}^{-1}$ ; pH водной суспензии – 6,75; содержание  $\text{N-NO}_3$ , определенное дисульфифенольным методом, –  $4,48 \text{ мг кг}^{-1}$ ; содержание подвижных  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{K}_2\text{O}$  по Чирикову, – 108,5 и  $311 \text{ мг кг}^{-1}$  соответственно.

В качестве органического удобрения применялась твердая фракция свиного бесподстилочного навоза, полученного сепарированием с последующим термическим обеззараживанием на животноводческом комплексе ООО «РУСКОМ-Агро» (с. Сосновка, Кормиловский район Омской области). Удобрение имело следующий химический состав: N – 0,59%;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 1,13%;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,14%; органическое вещество – 82,1%; pH солевой суспензии – 7,4; влажность – 73,7%. Активность ферментов и фитотоксичность почвы исследовались в следующих вариантах опыта: контроль; навоз в дозе  $20 \text{ т га}^{-1}$ ; навоз в дозе  $60 \text{ т га}^{-1}$ . Площадь делянки составляла  $20 \text{ м}^2$ , повторность – трехкратная. Навоз вносился весной до посева с последующей заделкой под вспашку на глубину 0–20 см. Выращиваемая культура – яровая пшеница сорта Дуэт.

Погодные условия как фактор, оказывающий влияние на биологические процессы в почвах, за время проведения исследований (2016–2019 гг.) существенно различались по количеству осадков и температуре воздуха в отдельные месяцы вегетационных периодов. Так, весенне-летний период 2016 г. в целом был влажным и жарким при засушливых условиях в мае и августе. Вегетационный сезон 2017 г. отличался засушливой, теплой и жаркой погодой с превышением среднемесячной температуры в июне и августе на  $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$ . В 2018 г. наиболее сильные отклонения от нормы по температуре (меньше на  $4,8^{\circ}\text{C}$ ) и количеству

осадков (207% от среднегодовой величины) наблюдались в мае при засушливых условиях в июне и сентябре. Вегетационный период 2019 г. был засушливым, с холодной погодой в июне (температура ниже нормы на 1,1°C) и недобором осадков в июле и августе.

Отбор проб почвы проводился после уборки пшеницы буром на глубину 0–20 см. Из почвы удалялись растительные остатки, затем почва доводилась до воздушно-сухого состояния, измельчалась и просеивалась через сито с размером ячеек 1,0 мм. До проведения анализа упакованные в бумажные пакеты пробы хранились в прохладном месте. Активность инвертазы устанавливалась по В. Ф. Купревичу с конечным определением сахаров по Бертрану, уреазы – по Гоффману с колориметрическим окончанием, каталазы – газометрическим методом (Хазиев, 2005). Пробы почвы для оценки фитотоксичности также отбирались из слоя 0–20 см агрочернозема в фазу кущения пшеницы. Токсичность определялась в свежих образцах при полевой влажности с помощью биотеста по методике, разработанной В. Г. Минеевым с соавт. (1991). В качестве тест-культуры использовался редис (*Raphanus sativus* L.) сорта 18 дней, так как данная культура обладает повышенной чувствительностью к содержанию поллютантов в почве, отличается быстрым прорастанием семян и почти стопроцентной всхожестью. Повторность лабораторных

исследований – четырехкратная. После прорастания семян проводились учет общей длины корней проростков, расчет их средней величины и сравнение с контролем, которым служили семена, замоченные в том же объеме стерильной водопроводной воды. Уменьшение длины корней проростков по отношению к контролю (чистой воде), выраженное в процентах, является показателем общей токсичности почвы, а по отношению к почвенному контролю – показателем биологической токсичности. Согласно методике, токсичными считаются почвы, снижающие всхожесть семян или угнетающие рост проростков и корней не менее чем на 20%. Статистический анализ данных активности ферментов проведен на основе расчета t-критерия Стьюдента.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В опытах были проведены исследования активности почвенных ферментов, относящихся к классу гидролаз и оксидоредуктаз и играющих важную роль в формировании почвенного плодородия (табл. 1). Так, инвертаза и уреазы участвуют в гидролитическом расщеплении и трансформации органических веществ и соединений азота, каталаза – в окислительно-восстановительных реакциях. Они также принимают участие в процессах синтеза гумуса и формирования пула подвижных форм элементов питания для растений.

Таблица 1. Ферментативная активность слоя 0–20 см агрочернозема в зависимости от применяемой дозы твердой фракции свиного навоза

| Вариант                             | Каталаза,<br>см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> мин <sup>-1</sup> г <sup>-1</sup> * | t    | Уреазы,<br>мг NH <sub>3</sub> сутки <sup>-1</sup> г <sup>-1</sup> * | t    | Инвертаза,<br>мг инвертного<br>сахара сутки <sup>-1</sup> г <sup>-1</sup> * | t    |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| 2016 г., действие навоза            |                                                                                 |      |                                                                     |      |                                                                             |      |
| Контроль                            | 1,70±0,018                                                                      | –    | 0,19±0,006                                                          | –    | 6,9±0,10                                                                    | –    |
| Навоз, 20 т га <sup>-1</sup>        | 1,85±0,029                                                                      | 5,00 | 0,22±0,017                                                          | 1,68 | 7,3±0,06                                                                    | 3,46 |
| Навоз, 60 т га <sup>-1</sup>        | 1,93±0,017                                                                      | 9,58 | 0,32±0,011                                                          | 10,1 | 7,3±0,10                                                                    | 2,86 |
| 2017 г., 1-й год последствий навоза |                                                                                 |      |                                                                     |      |                                                                             |      |
| Контроль                            | 1,57±0,04                                                                       | –    | 0,26±0,017                                                          | –    | 6,3±0,07                                                                    | –    |
| Навоз, 20 т га <sup>-1</sup>        | 1,72±0,017                                                                      | 3,75 | 0,26±0,029                                                          | 0    | 6,3±0,06                                                                    | 0    |
| Навоз, 60 т га <sup>-1</sup>        | 1,80±0,058                                                                      | 3,29 | 0,35±0,012                                                          | 4,50 | 7,0±0,10                                                                    | 5,83 |
| 2018 г., 2-й год последствий навоза |                                                                                 |      |                                                                     |      |                                                                             |      |
| Контроль                            | 1,87±0,04                                                                       | –    | 0,21±0,012                                                          | –    | 4,9±0,06                                                                    | –    |
| Навоз, 20 т га <sup>-1</sup>        | 1,83±0,018                                                                      | 1,00 | 0,30±0,029                                                          | 3,00 | 5,5±0,15                                                                    | 3,75 |
| Навоз, 60 т га <sup>-1</sup>        | 2,07±0,035                                                                      | 3,77 | 0,23±0,017                                                          | 0,98 | 5,5±0,12                                                                    | 4,62 |

**Примечание:** контроль – без внесения навоза; \* – среднее ± ошибка среднего; t<sub>05</sub> = 2,78 при уровне значимости p < 0,05, (n = 3).

Почва контрольного варианта, согласно шкале Д. Г. Звягинцева (Звягинцев, 1978), оценивалась как бедная по содержанию каталазы (1,57–1,87 O<sub>2</sub> см<sup>3</sup> мин<sup>-1</sup> г<sup>-1</sup>) и инвертазы (4,9–6,9 мг инвертного сахара сутки<sup>-1</sup> г<sup>-1</sup>) и очень бедная – по содержанию уреазы (0,19–0,26 мг NH<sub>3</sub> сутки<sup>-1</sup> г<sup>-1</sup>). При этом по годам исследований отмечалась динамика активности ферментов, которая могла быть обусловлена изменением гидротермических условий. Наибольший уровень содержания каталазы отмечен в 2018 г., уреазы – в 2017 г., инвертазы – в 2016 г. Для сравнения можно отметить, что исследуемая почва близка по

активности уреазы и каталазы, но значительно уступает по активности инвертазы среднему гумусовым лугово-черноземным почвам Омского Прииртышья (Хамова и др., 2019). Бедность исследуемого агрочернозема по содержанию ферментов объясняется его свойствами и режимом использования. Почва имеет малое содержание гумуса (1,97–2,10%) и фракций физической глины (22,8%) и, следовательно, обладает низкой сорбционной способностью по отношению к ферментам. Основной причиной деградации свойств агрочернозема явилось воздействие процессов плоскостного смыва.

В вариантах с внесением навоза наблюдалось увеличение активности ферментов, зависящее от дозы удобрения и периода после его внесения. В год действия навоза отмечалось существенное увеличение активности каталазы, которая возросла по сравнению с контролем на 8,8 и 13,5% при дозах 20 и 60 т га<sup>-1</sup> соответственно. В меньшей степени изменялась инвертазная активность, которая увеличивалась всего на 5,8% вне зависимости от дозы удобрения. Активность уреазы существенно увеличилась только в варианте с внесением навоза в дозе 60 т га<sup>-1</sup> (на 68,4%).

В первый год последствия удобрения сохранялось положительное влияние его доз 20 и 60 т га<sup>-1</sup> на активность каталазы. Усиление активности уреазы и инвертазы происходило только при максимальной дозе навоза. При этом увеличение активности уреазы по сравнению с годом действия удобрения было менее значительным (на 34,6%), а инвертазы, напротив, несколько более (11,1%). Следует отметить, что на активность ферментов в 2017 г. могли повлиять засушливые условия вегетационного сезона.

Во второй год последствия удобрения каталазная активность возросла только в варианте с внесением навоза в дозе 60 т га<sup>-1</sup>. Инвертазная активность агрочернозема была выше во всех удобренных вариантах (на 12,2% к контролю) при ее общем снижении по сравнению с предыдущими годами и не зависела от дозы навоза. Существенное увеличение активности уреазы было отмечено при внесении навоза в дозе 20 т га<sup>-1</sup>. То, что прямая связь между активизацией ферментов и дозой удобрения прослеживалась не всегда, может быть обусловлено его неравномерным внесением в почву.

В целом ферментативная активность агрочернозема при удобрении навозом оставалась низкой, однако отмечено усиление активности всех

изученных ферментов. Вероятно, оно было связано с повышением содержания органического вещества и элементов питания. Так, ранее было установлено увеличение содержания органического углерода, в том числе подвижных гумусовых соединений, в агрочерноземе на 12–56,5% при использовании навоза (Алексеева, Азаренко, 2020). Применение органического удобрения также обеспечило существенное увеличение содержания подвижных форм азота и фосфора. Концентрация нитратного азота в почве изменилась от низкого уровня (3,2–4,52 мг кг<sup>-1</sup>) в контроле до высокого (21,8–42,6 мг кг<sup>-1</sup>) в вариантах с внесением навоза в фазы кущения и колошения пшеницы. Содержание подвижного фосфора увеличилось от 111–114 мг кг<sup>-1</sup> в контрольном варианте до 156–191 мг кг<sup>-1</sup> под действием органического удобрения. Связь деятельности почвенных энзимов с содержанием гумуса и элементов питания подтверждена многочисленными исследованиями (Воронин и др., 2006; Хазиев, 2018).

В рамках настоящего исследования была проведена оценка фитотоксичности почвы в зависимости от применения органического удобрения. Использование почвы в агроценозах при отсутствии естественного обновления и снижении поступления растительных остатков приводит к формированию специфического микробного ценоза. Так, в ходе исследований, проведенных на черноземе выщелоченном Омской области, в вариантах с применением соломы отмечался слабовыраженный фитотоксичный эффект, который, как правило, сопровождался увеличением численности почвенных грибов (Шулико и др., 2016).

Результаты анализа фитотоксичности агрочернозема квазиглееватого за годы исследований в полевом опыте представлены в табл. 2.

Таблица 2. Оценка фитотоксичности агрочернозема квазиглееватого при внесении различных доз твердой фракции свиного навоза, тест-культура – редис (*Raphanus sativus* L.)

| Вариант                               | Средняя длина корней,<br>см* | Изменение длины корней, % |                       |
|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------|
|                                       |                              | к контролю**              | к почвенному контролю |
| 2016 г., год действия навоза          |                              |                           |                       |
| Контроль                              | 4,94±0,05                    | +15,4                     | –                     |
| Навоз, 20 т га <sup>-1</sup>          | 5,22±0,08                    | +22,0                     | +5,7                  |
| Навоз, 60 т га <sup>-1</sup>          | 4,29±0,10                    | +0,23                     | –13,2                 |
| 2017 г., 1-й год последействия навоза |                              |                           |                       |
| Контроль                              | 4,68±0,20                    | –1,27                     | –                     |
| Навоз, 20 т га <sup>-1</sup>          | 5,36±0,14                    | +13,1                     | +14,5                 |
| Навоз, 60 т га <sup>-1</sup>          | 5,39±0,08                    | +14,4                     | +15,2                 |
| 2018 г., 2-й год последействия навоза |                              |                           |                       |
| Контроль                              | 2,85±0,03                    | +26,7                     | –                     |
| Навоз, 20 т га <sup>-1</sup>          | 2,90±0,05                    | +28,9                     | +1,7                  |
| Навоз, 60 т га <sup>-1</sup>          | 3,05±0,03                    | +35,6                     | +7,0                  |
| 2019 г., 3-й год последействия навоза |                              |                           |                       |
| Контроль                              | 2,60±0,08                    | +18,7                     | –                     |
| Навоз, 20 т га <sup>-1</sup>          | 2,82±0,06                    | +28,8                     | +8,5                  |
| Навоз, 60 т га <sup>-1</sup>          | 3,15±0,08                    | +38,4                     | +21,5                 |

**Примечание:** \* – среднее ± ошибка среднего; \*\* – контроль: стерильная водопроводная вода; n = 100.

Результаты показали, что в почве без внесения удобрения фитотоксичность во все годы исследований не проявлялась. Тенденция к уменьшению длины

корней тест-культуры наблюдалась в 2017 г., однако данный показатель был на уровне абсолютного

контроля. В остальные годы величина средней длины корешков редиса превышала контроль на 15,4–26,7%.

В вариантах с применением свиного навоза почвенная токсичность в фазу кущения пшеницы также не была выявлена. В год действия навоза, внесенного в дозе  $20 \text{ т га}^{-1}$ , установлено увеличение длины корней тест-культуры на 22%. При этом внесение удобрения в максимальной дозе привело к уменьшению данного показателя по сравнению с контролем и дозой  $20 \text{ т га}^{-1}$ , однако отмеченное снижение не указывало на проявление токсичности почвы, поскольку было менее 20%. Во все годы последствия органического удобрения наблюдалось стимулирование развития корней растений. Таким образом, использование твердой фракции свиного навоза в опытах не привело к формированию фитотоксичности агрочернозема. Полученные результаты согласуются с данными исследований других авторов, указывающими на ослабление фитотоксичности пахотных почв при использовании органических удобрений. Так, в результате исследований, проведенных на черноземе типичном Курской области, при возделывании ячменя выявлено уменьшение угнетения корней тест-растений (с 15,2 до 2,8%) при увеличении доз внесения навоза от  $6 \text{ т га}^{-1}$  до  $12 \text{ т га}^{-1}$  (Дудкина, 2019). В ходе исследований, проведенных на серой лесной почве, при

использовании навоза установлено снижение биологической токсичности, проявившейся на интенсивном минеральном фоне (Зинченко, Селицкая, 2011).

## ВЫВОДЫ

Таким образом, проведенные исследования показали, что применение органического удобрения на основе твердой фракции бесподстилочного свиного навоза повышало ферментативную активность агрочернозема квазиглееватого. Наиболее устойчивое влияние на активность ферментов оказало внесение органического удобрения в дозе  $60 \text{ т га}^{-1}$ . В период его действия в наибольшей степени (на 15,8–68,4%) увеличивалась активность уреазы. Более слабое, но существенное влияние удобрение оказало на активность каталазы (8,8–13,5%) и инвертазы (5,8%). В годы последствия навоза сохранялся более высокий уровень активности ферментов при неустойчивом характере ее изменения в зависимости от дозы. Применение свиного навоза не привело к формированию фитотоксичности агрочернозема, что может служить одним из показателей экологичности данного вида удобрения. В целом проведенные исследования свидетельствуют о положительном влиянии навоза на биологические процессы в агрочерноземе.

## Список литературы

- Алексеева Ж.Л., Азаренко Ю.А. Влияние свиного навоза на гумусное состояние агрочернозема квазиглееватого южной лесостепи Омского Прииртышья // Вестник Омского ГАУ. 2020. № 2(38). С. 23–32.
- Берестецкий О.А. Фитотоксины почвенных микроорганизмов и их экологическая роль // Фитотоксичные свойства почвенных микроорганизмов. Л.: ВНИИСХМ, 1978. С. 7–31.
- Бобренко И.А., Шалак И.О., Гоман Н.В., Трубина Н.К., Кормин В.П. Эффективность применения свиного бесподстилочного навоза под зерновые культуры // Вестник Омского ГАУ. 2022. № 1(45). С. 13–19.
- Воронин А.А., Протасова Н.А., Беспалова Н.С. Динамика ферментативной активности чернозема обыкновенного в условиях полевого стационарного опыта федерального полигона «Каменная степь» // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2006. № 2. С. 122–127.
- Дудкина Т.А. Влияние севооборотов, минеральных и органических удобрений на токсичность почвы под ячменем // Материалы XIII международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству». Барнаул, 15–16 февраля 2018 г. Барнаул: Алтайский ГАУ, 2018. С. 288–290.
- Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкала для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–54.
- Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: МГУ, 2005. 445 с.
- Зинченко М.К., Зинченко С.И., Борин А.А., Камнева О.П. Ферментативная активность аграрных почв Верхневолжья // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 3. С. 34–37.
- Зинченко М.К., Селицкая О.В. Биологическая токсичность серой лесной почвы в зависимости от систем удобрений // Агрохимический вестник. 2011. № 5. С. 38–41.
- Куликова А.Х., Антонова С.А., Козлов А.В. Ферментативная активность почвы в зависимости от системы удобрения // Вестник Ульяновской ГСХА. 2017. № 4 (40). С. 36–43.
- Мерзлая Г.Е., Щеглова И.В., Леонов М.В. Использование свиного навоза для удобрения сельскохозяйственных культур // Перспективное свиноводство: теория и практика. 2012. № 5. С. 3–9.
- Минеев В.Г., Ремпе Е.Х., Воронина Л.П., Коваленко Л.В. Определение суммарной токсичности почвы, корневой системы и конечной продукции при применении химических средств защиты растений: методика и результаты // Вестник сельскохозяйственной науки. 1991. № 6 (417). С. 63–71.
- Рейнгард Я.Р., Рейнгард Л.М., Долженко С.В., Рейнгард М.С. Почвы и почвенный покров зеленой зоны города Омска «Сельхозакадемическая». Омск: Литера, 2016. 194 с.
- Романов В.Н., Заушинцева А.В., Кожевников Н.В. Применение показателей активности ферментов для оперативной диагностики экологического состояния агрогенных почв // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 7. С. 44–47.
- Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 254 с.
- Хазиев Ф.Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2015. Т. 15. № 2 (78). С. 14–24.
- Хазиев Ф.Х. Экологические связи ферментативной активности почв // Экобиотех. 2018. Т. 1 № 2. С. 80–92.

- Хамова О.Ф., Юшкевич Л.В., Воронкова Н.А., Бойко В.С., Шулико Н.Н. Биологическая активность лугово-черноземных почв Омского Прииртышья: монография. Омск: Омскбланкиздат, 2019. 94 с.
- Шулико Н.Н., Хамова О.Ф., Тукмачева Е.В. Фитотоксичность чернозема выщелоченного при выращивании ячменя ярового // Вестник Омского ГАУ. 2016. № 4 (24). С. 52–57.

## References

- Alekseyeva Zh.L., Azarenko Yu.A. Vliyaniye svinogo navoza na gumusnoye sostoyaniye agrochernozema kvazigleyevatogo yuzhnoy lesostepi Omskogo Priirtysh'ya [The influence of pig manure on the humus state of the agrochernozem of the quasi-clay southern forest-steppe of the Omsk Pre-Irtysh region] // *Vestnik Omskogo GAU*, 2020, no. 2 (38), pp. 23–32.
- Berestetskiy O.A. Fitotoksiny pochvennykh mikroorganizmov i ikh ekologicheskaya rol' [Phytotoxins of soil microorganisms and their ecological role] // *Fitotoksichnyye svoystva pochvennykh mikroorganizmov*. Leningrad: All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, 1978, pp. 7–31.
- Bobrenko I.A., Shalak I.O., Goman N.V., Trubina N.K., Kormin V.P. Effektivnost' primeneniya svinogo bespodstilochnogo navoza pod zernovyye kul'tury [The effectiveness of the use of pig bespodstilochny manure for grain crops] // *Vestnik Omskogo GAU*, 2022, no. 1 (45), pp. 13–19.
- Voronin A.A., Protasova N.A., Bepalova N.S. Dinamika fermentativnoy aktivnosti chernozema obyknovennogo v usloviyakh polevogo statsionarnogo opyta federal'nogo poligona «Kamennaya step'» [Dynamics of enzymatic activity of ordinary chernozem in the conditions of the field stationary experiment of the federal landfill «Kamennaya Step»] // *Vestnik VGU. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2006, no. 2, pp. 122–127.
- Dudkina T.A. Vliyaniye sevooborotov, mineral'nykh i organicheskikh udobreniy na toksichnost' pochvy pod yachmenem [The effect of crop rotations, mineral and organic fertilizers on the toxicity of soil under barley] // *Materialy XIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaystvu»*. Barnaul, 15–16 fevralya 2018 g. [Materials of the XIII International scientific and practical conference «Agrarian science – to agriculture». Barnaul, February 15–16, 2018]. Barnaul: Altai State University, 2018, pp. 288–290.
- Zvyagintsev D.G. Biologicheskaya aktivnost' pochv i shkala dlya otsenki nekotorykh yeye pokazateley [Biological activity of soils and a scale for evaluating some of its indicators] // *Pochvovedeniye*, 1978, no. 6, pp. 48–54.
- Zvyagintsev D.G., Bab'yeva I.P., Zenova G.M. *Biologiya pochv* [Soil biology]. Moscow: Moscow University Publishing House, 2005, 445 p.
- Zinchenko M.K., Zinchenko S.I., Borin A.A., Kamneva O.P. Fermentativnaya aktivnost' agrarnykh pochv Verkhnevolzh'ya [Enzymatic activity of agricultural soils of the Upper Volga region] // *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2017, no. 3, pp. 34–37.
- Zinchenko M.K., Selitskaya O.V. Biologicheskaya toksichnost' seroy lesnoy pochvy v zavisimosti ot sistem udobreniy [Biological toxicity of gray forest soil depending on fertilizer systems] // *Agrokhimicheskii vestnik*, 2011, no. 5, pp. 38–41.
- Kulikova A.Kh., Antonova S.A., Kozlov A.V. Fermentativnaya aktivnost' pochvy v zavisimosti ot sistemy udobreniya [Enzymatic activity of the soil depending on the fertilizer system] // *Vestnik Ul'yanovskoy GSKhA*, 2017, no. 4 (40), pp. 36–43.
- Merzlaya G.Ye., Shcheglova I.V., Leonov M.V. Ispol'zovaniye svinogo navoza dlya udobreniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [The use of pig manure for fertilizing crops] // *Perspektivnoye svinovodstvo: teoriya i praktika*, 2012, no. 5, pp. 3–9.
- Mineyev V.G., Rempe Ye.Kh., Voronina L.P., Kovalenko L.V. Opredeleniye summarnoy toksichnosti pochvy, kornevoy sistemy i konechnoy produktsii pri primeneni khimicheskikh sredstv zashchity rasteniy: metodika i rezul'taty [Determination of the total toxicity of soil, root system and final products when using chemical plant protection products: methodology and results] // *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*, 1991, no. 6 (417), pp. 63–71.
- Reyngard Ya.R., Reyngard L.M., Dolzhenko S.V., Reyngard M.S. *Pochvy i pochvennyy pokrov zelenoy zony goroda Omska «Sel'khozakademicheskaya»* [Soils and soil cover of the green zone of the city of Omsk «Sel'khozakademicheskaya»]. Omsk: Litera, 2016, 194 p.
- Romanov V.N., Zaushintsena A.V., Kozhevnikov N.V. Primeneniye pokazateley aktivnosti fermentov dlya operativnoy diagnostiki ekologicheskogo sostoyaniya agrogennykh pochv [The use of enzyme activity indicators for the operational diagnosis of the ecological state of agrogenic soils] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2019, vol. 33, no. 7, pp. 44–47.
- Khaziyev F.Kh. *Metody pochvennoy enzimologii* [Methods of soil enzymology]. Moscow: Nauka, 2005, 254 p.
- Khaziyev F.Kh. Funktsional'naya rol' fermentov v pochvennykh protsessakh [Functional role of enzymes in the soil processes] // *Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan*, 2015, vol. 15, no. 2 (78), pp. 14–24.
- Khaziyev F.Kh. Ekologicheskiye svyazi fermentativnoy aktivnosti pochv [Ecological connections of the enzymatic activity of soils] // *Ekobiotekh*, 2018, vol. 1, no. 2, pp. 80–92.
- Khamova O.F., Yushkevich L.V., Voronkova N.A., Boyko V.S., Shuliko N.N. *Biologicheskaya aktivnost' lugovo-chernozemnykh pochv Omskogo Priirtysh'ya: monografiya* [Biological activity of meadow-chernozem soils of the Omsk Pre-Irtysh region: monograph]. Omsk.: Omskblankizdat, 2019, 94 p.
- Shuliko N.N., Khamova O.F., Tukumacheva E.V. Fitotoksichnost' chernozema vyshchelochennogo pri vyrashchivani yachmenya yarovogo [Phytotoxicity of leached chernozem at the cultivation of spring barley] // *Vestnik Omskogo GAU*, 2016, no. 4 (24), pp. 52–57.