

**Ольга Евгеньевна Чезлова<sup>1</sup>, Анатолий Николаевич Лицкевич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>канд. биол. наук, науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института  
Национальной академии наук Беларуси

<sup>2</sup>зав. лаб. гидроэкологии и экотехнологий

Полесского аграрно-экологического института Национальной академии наук Беларуси

**Olga Chezlova<sup>1</sup>, Anatoly Litskevich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Candidate of Biological Sciences, Employee of the Polesie Agrarian-Ecological Institute  
of National Academy of Sciences of Belarus

<sup>2</sup>Head of the Laboratory of Hydroecology and Ecotechnologies

of the Polesie Agrarian-Ecological Institute of National Academy of Sciences of Belarus

e-mail: <sup>1</sup>olgachezlova@tut.by; <sup>2</sup>hydropaei@gmail.com

## **ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ НЕГАШЕНОЙ И ГАШЕНОЙ ИЗВЕСТИ**

Выполнена оценка эффективности применения негашеной и гашеной извести для обеззараживания осадка сточных вод. Внесение негашеной извести в количестве 10 и 20 % от массы (из расчета на сухое вещество) в осадке сточных вод с влажностью 82,6 % и выдерживанием в течение 24 ч приводит к обеззараживанию осадка до нормируемых значений. Внесение в осадок сточных вод гашеной извести ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) в объеме 20 и 30 % от массы осадка сточных вод и выдерживание в течение 24 ч не приводят к достаточному обеззараживающему эффекту.

**Ключевые слова:** осадки сточных вод, микроорганизмы, обеззараживание, гашеная известь, негашеная известь.

## **Disinfection of Sewage Sludge with Quicklime and Slapped Lime**

The efficiency of using quicklime and slaked lime for disinfecting sewage sludge has been assessed. Adding quicklime in amounts of 10 and 20 % of the mass (based on dry matter) to sewage sludge with a moisture content of 2,6 % and holding for 24 hours results in disinfection of the sludge to the standardized values. Adding slaked lime ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) to sewage sludge in amounts of 20 and 30 % of the sewage sludge mass and holding for 24 hours does not result in a sufficient disinfection effect.

**Key words:** sewage sludge, microorganisms, disinfection, slaked lime, quicklime.

### **Введение**

Ежегодно в Республике Беларусь при очистке сточных вод образуется около 180 – 197 тыс. т осадков по сухому веществу. Из них только 4–5 % от всего объема используется в сельском хозяйстве, в основном же осадки хранятся на территории очистных сооружений и вывозятся на полигоны [1]. Опыт утилизации осадков сточных вод (ОСВ) в ФРГ, США, Франции, Финляндии и ряде других стран свидетельствует о том, что при наличии эффективной технологии обработки осадков и контроле за их применением, большая их часть (до 60 %) может быть использована в качестве удобрения в сельском хозяйстве, в городском озеленении, а также при рекультивации земель, лесовосстановительных и других работах [2].

Одним из ключевых процессов обработки ОСВ, содержащих широкий спектр патогенных микроорганизмов, паразитов (яиц гельминтов, цист простейших и др.), является обеззараживание, позволяющее обеспечить их безопасность по санитарно-бактериологическим, санитарно-вирусологическим и паразитологическим показателям и дает возможность дальнейшего использования в качестве удобрений [3; 4].

Химические методы обеззараживания основаны на использовании химических реагентов, которые нарушают реакцию и состав среды обитания, снижают жизнеспособность патогенной микробиоты, нарушают процессы токсино- и спорообразования и приводят к гибели микроорганизмов, а биомассу к обеззараживанию. Наиболее известны следующие реагенты: молотая негашеная известь, аммиачная вода (20 %-й

раствор  $\text{NH}_3$  в воде), жидкий аммиак, совместное использование масляного альдегида и аммиака, пестициды, препарат комплексного действия тиозон [5; 6].

Эти методы позволяют получить осадок, который длительное время сохраняет необходимое качество и устойчивость ко вторичному заражению (сохраняет остаточную бактерицидность).

В результате обработки ОСВ негашеной известью достигается их стабилизация и обеззараживание. При дозе извести до 30 % по сухому веществу осадка происходит деформация и гибель яиц гельминтов, сальмонеллы практически полностью погибают. Развитие патогенной флоры после стабилизационной обработки ОСВ известью минимально, т. к. необходимое значение pH поддерживается в течение длительного времени, что позволяет безопасно хранить обработанные известью осадки на иловых площадках [6].

Эффективность действия негашеной извести зависит от того, используется она для обработки жидких или обезвоженных ОСВ. Известь в форме известкового молока обычно добавляется к жидким ОСВ с низким содержанием сухого вещества.

Негашеная известь, как правило, вводится в обезвоженные ОСВ. Требуемая доза негашеной извести рассчитывается исходя из необходимости повышения температуры осадка до 60 °C и более [6]. В работе [7] показано, что внесение негашеной извести в иловый осадок хозяйственно-бытовых сточных вод (влажностью 97–98 %) в концентрации 7–9 % приводило к полной гибели микроорганизмов.

Наряду с использованием негашеной извести в качестве дезинфектанта ОСВ может выступать гидроксид кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (гашеная известь). Известно, что это соединение в 10–20 %-й концентрации не относится к особо токсичным и экологически безопасна для окружающей среды [8]. Однако бактерицидная активность ее ниже, чем у негашеной извести.

В данной работе оценена эффективность обеззараживания ОСВ с помощью негашеной и гашеной извести по бактериологическим показателям.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись сообщества санитарно-показательных микроорганизмов обезвоженного сброженного ОСВ Брестского мусороперерабатывающего завода при внесении в них негашеной и гашеной извести.

Негашеная известь произведена ООО «Факториал» (г. Брянск). Содержание активного  $\text{CaO} + \text{MgO}$  – не менее 85 %, фракционный состав – 0–15 мм.

Гашеная известь (порошкообразная без добавок) произведена ОАО «Красносельстройматериалы» (Республика Беларусь) по ГОСТу 9179-77.

Содержание активного  $\text{CaO} + \text{MgO}$  – не менее 60 %.

При оценке обеззараживающей способности негашеной извести в нативный образец ОСВ влажностью 82,64 % и массой 1 кг вносили оксид кальция в количестве 10 и 20 % от массы исследуемого осадка из расчета на сухое вещество, тщательно перемешивали и выдерживали в закрытой пластиковой емкости в течение 24 ч.

Оценку эффективности обеззараживания ОСВ с помощью гашеной извести проводили аналогично эксперименту с негашеной известью. В нативный образец ОСВ (влажность 82,64 %) массой 1 кг вносили гидроокись кальция в количестве 20 и 30 % от массы исследуемого осадка из расчета на сухое вещество, перемешивали и выдерживали в закрытой пластиковой емкости в течение 24 ч. Экспериментальные исследования для репрезентативности проводили в трех повторностях.

Бактериологические испытания образцов ОСВ проводились по стандартным методикам, принятым в Республике Беларусь, в лаборатории отдела бактериальных инфекций Института экспериментальной ветеринарии имени С. Н. Вышелесского.

Оценка проводилась по четырем бактериологическим показателям: бактериям группы кишечной палочки (БГКП), энтерококкам, общему микробному числу (ОМЧ), а также патогенным микроорганизмам в т. ч. сальмонеллам.

Из образцов ОСВ готовились серии десятичных разведений в физиологическом растворе и производился посев на элективные и селективные питательные среды для выделения чистой культуры микроорганизмов.

Идентификация выделенных штаммов бактерий до рода и вида производилось на анализаторе бактерий Vitek – 2 compact.

### Результаты исследования и их обсуждение

В ходе антибактериальной обработки ОСВ смешивали с химическими реагентами в стерильных пластмассовых емкостях: для негашеной извести в соотношении по объему 10 и 20 %, для гашеной – 20 и 30 %.

После выдерживания установленное время дезинфекции (24 ч) обработанные образцы ОСВ помещали в стерильные полиэтиленовые пакеты.

С целью создания асептических условий в процессе транспортирования и хранения подготовленные образцы вакуумировали для доставки в бактериологическую лабораторию.

Транспортирование экспериментальных образцов ОСВ происходило в термоконтейнере Cool box при 6 °С.

Основными действующими факторами обеззараживания при применении негашеной извести являются повышение температуры и увеличение рН среды.

Изменение температуры и значения рН в исследуемых образцах ОСВ в результате внесения СаО в нашем эксперименте отражено в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры процесса обеззараживания ОСВ негашеной известью

| Вариант опыта                                         | Параметры обеззараживания ОСВ, ( $M \pm m$ ), $n = 3$ |                 |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|
|                                                       | максимальная температура, °С                          | значение рН     |
| ОСВ, обработка СаО, 10 % по массе (на сухое вещество) | $26,3 \pm 0,8$                                        | $9,01 \pm 0,19$ |
| ОСВ, обработка СаО, 20 % по массе (на сухое вещество) | $28,6 \pm 0,1$                                        | $9,87 \pm 0,67$ |

Примечание –  $M$  – среднее арифметическое,  $m$  – стандартное отклонение.

Максимальная температура ОСВ достигалась в течение первых минут после внесения СаО и составила в среднем 26,3 и 28,6 °С при обработке СаО 10 и 20 % соответственно. Далее температура постепенно снижалась.

Очевидно, что данный фактор не обладал достаточным обеззараживающим действием в отношении патогенной микробиоты. Деконтаминация ОСВ достигается при 70 °С и выше [9].

В исследованиях по обеззараживанию ОСВ, проводимых в Белорусском технологическом университете, максимальная температура нагрева образцов изменялась от 51 до 82 °С при изменении содержания СаО от 10 до 20 %, что связано, по всей видимости, с большей влажностью образца и качеством химиката [10].

Значение рН в эксперименте находилось в диапазоне от 9,01 до 9,87 при обработке СаО 10 и 20 % соответственно.

Данные значения обладают ингибирующим действием в отношении патогенной и условно-патогенной микробиоты. Результаты бактериологических исследований отражены в таблице 2 и на рисунке.

Таблица 2 – Бактериологические показатели ОСВ, обработанного негашеной известью

| Вариант опыта                                         | Бактериологические показатели, ( $M \pm m$ ), $n = 3$ |                    |                               |                                                 |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                                       | БГКП, КОЕ/г                                           | Энтерококки, КОЕ/г | ОМЧ, КОЕ/г                    | Титр патогенных бактерий, в т. ч. сальмонелл, г |
| ОСВ, контроль (до обработки)                          | >1000                                                 | $49 \pm 7$         | >1000                         | 0,01                                            |
| ОСВ, обработка СаО, 10 % по массе (на сухое вещество) | $6 \pm 4$                                             | $2 \pm 2$          | $(7,06 \pm 3,15) \times 10^2$ | не обнаружены                                   |
| ОСВ, обработка СаО, 20 % по массе (на сухое вещество) | $1 \pm 1$                                             | $3 \pm 3$          | $(2,64 \pm 0,94) \times 10^2$ | не обнаружены                                   |

Примечание –  $M$  – среднее арифметическое,  $m$  – стандартное отклонение.

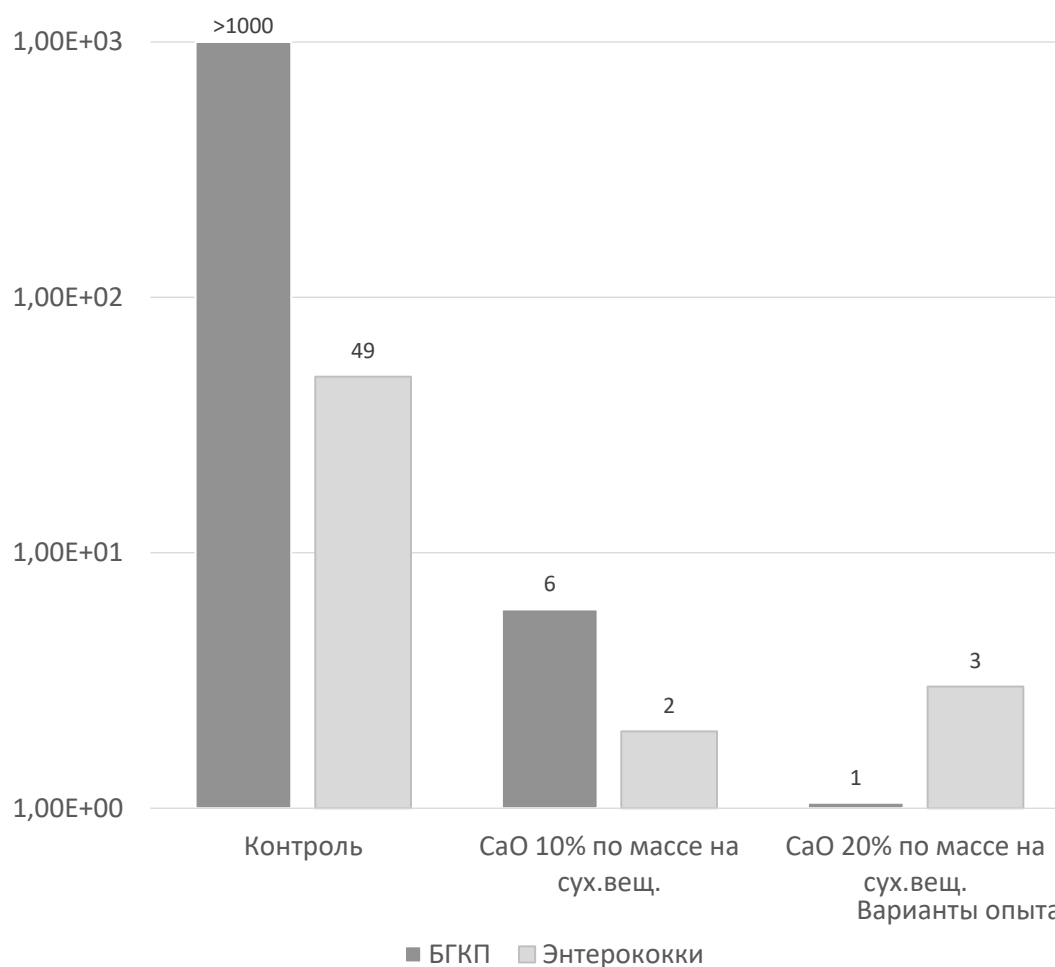


Рисунок – Динамика обеззараживания ОСВ негашеной известью, КОЕ/г

Динамика отмирания санитарно-показательных микроорганизмов выражена как в варианте со внесением 20 % негашеной извести, так и при внесении ее 10 % от массы исследуемого осадка. Так, через сутки после контакта с СаО во всех экспериментальных образцах отсутствовали патогенные бактерии, в т. ч. сальмонеллы, в то время как в нативном ОСВ без химической обработки бактерии р. *Salmonella* обнаруживались до титра 0,01 г. БГКП и энтерококки обнаруживались в варианте 1 (10 % СаО) в количестве 6 и 2 КОЕ/г соответственно.

В варианте 2 (20 % СаО) БГКП и энтерококки находились в количестве 1 и 3 КОЕ/г соответственно. По показателю энтерококков эффективность обеззараживания составила 93,9–95,9 %. В исследованиях А. В. Игнатенко обработка СаО (15 %) ОСВ очистных сооружений ЖКХ не приводила к нормируемым значениям по показателю БГКП [10]. Однако в данных исследованиях время воздействия негашеной извести было ограничено несколькими часами.

Среднее количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (показатель ОМЧ) в ОСВ снижалось при обработке негашеной известью и составило при внесении СаО 10 % –  $7,06 \times 10^2$ , а при 20 % –  $2,64 \times 10^2$  КОЕ/г (таблица 2).

Внесение гашеной извести в ОСВ не приводило к существенному изменению температуры осадка. Значение водородного показателя в обработанных образцах находилось в пределах 7,28–7,97 (рН необработанного осадка – 7,83).

Результаты бактериологических исследований экспериментальных образцов ОСВ приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Бактериологические показатели ОСВ, обработанного гашеной известью

| Вариант опыта                                                                | Бактериологические показатели, ( $M \pm m$ ), $n = 3$ |                       |               |                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|-------------------------------------------------------|
|                                                                              | БГКП,<br>КОЕ/г                                        | Энтерококки,<br>КОЕ/г | ОМЧ,<br>КОЕ/г | Титр патогенных<br>бактерий, в т. ч.<br>сальмонелл, г |
| ОСВ, контроль<br>(до обработки)                                              | >1000                                                 | $49 \pm 7$            | >1000         | 0,01                                                  |
| ОСВ, обработка<br>Са(ОН) <sub>2</sub> , 20 % по массе<br>(на сухое вещество) | >1000                                                 | $68 \pm 10$           | >1000         | 0,01                                                  |
| ОСВ, обработка<br>Са(ОН) <sub>2</sub> , 30 % по массе<br>(на сухое вещество) | >1000                                                 | $59 \pm 21$           | >1000         | 0,01                                                  |

Примечание –  $M$  – среднее арифметическое,  $m$  – стандартное отклонение.

Данные таблицы 3 свидетельствуют, что внесение указанных выше объемов гашеной извести не оказало дезинфицирующего действия на ОСВ. Более того, для некоторых санитарно-бактериологических показателей наблюдалось увеличение значения. Так, по показателю энтерококков произошло увеличение на 39 и 20 % при внесении Са(ОН)<sub>2</sub> в объеме 20 и 30 % соответственно.

Содержание БГКП по всем вариантам исследования превышало 1000 КОЕ/г. Особенную обеспокоенность вызывает тот факт, что во всех обработанных гашеной известью образцах обнаруживались сальмонеллы в титре 0,01 г. Кроме того, в образцах ОСВ с внесением Са(ОН)<sub>2</sub> в объеме 30 % обнаруживались гнилостные бактерии *Proteus spp.*

Известно, что данные бактерии обладают значительным патогенным потенциалом, вызывая гнойно-септические инфекции различной локализации, диарею, уроинфекции и другие заболевания.

Проведенные исследования [11] показывают, что почва является хорошей средой обитания для данных бактерий.

Вышеприведенные факты свидетельствуют, что применение обработанного гашеной известью осадка в качестве органического удобрения сопряжено с риском загрязнения окружающей среды широким спектром микроорганизмов, причем не только условно-патогенных, но и патогенных (бактерии рода *Salmonella*).

### Заключение

1. Внесение негашеной извести в количестве 10 и 20 % от массы (из расчета на сухое вещество) в ОСВ с влажностью 82,6 % и выдерживание в течение 24 часов приводит к обеззараживанию осадка до нормируемых значений, что дает возможность использовать его в качестве органического удобрения при отсутствии других ограничений.

2. Внесение в ОСВ гашеной извести ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) в объеме 20 и 30 % от массы ОСВ (из расчета на сухое вещество) и выдерживание в течение 24 часов не приводит к достаточному обеззараживающему эффекту, что препятствует использованию обработанного осадка в качестве органического удобрения.

3. Обработка гашеной известью ОСВ в объеме 20 и 30 % от массы осадка приводит к ухудшению его санитарно-бактериологического состояния: увеличение количества энтерококков на 39 и 20 % соответственно; появление бактерий рода *Proteus*.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вострова, Р. Н. Особенности использования осадков сточных вод очистных сооружений города Гомеля в качестве удобрений / Р. Н. Вострова, Р. Н. Мохарева // Вода. – 2008. – № 9. – С. 12.
2. Прикладная экибиотехнология : учеб. пособие : в 2 т. / А. Е. Кузнецов, Н. Б. Градова, С. В. Лушников. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – Т. 1. – 629 с.
3. Пахненко, Е. П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения : учеб. пособие / Е. П. Пахненко. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 311 с.
4. Валиев, В. С. Способы утилизации осадков городских сточных вод (обзор) / В. С. Валиев, Д. В. Иванов, Р. Р. Шагидуллин // Российский журнал прикладной экологии. – 2020. – № 4 (24). – С. 52–63.
5. Новикова, О. К. Обработка осадков сточных вод / О. К. Новикова. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 96 с.
6. Щербаков, В. И. Известкование как способ обеззараживания осадка сточных вод / В. И. Щербаков, В. В. Помогаева, С. С. Сухов // Российский инженер. – 2016. – Вып. № 2 (5). – С. 32–37.
7. Журавлев, П. В. Определение дезинфицирующего действия негашеной извести на микрофлору иловых осадков сточных вод очистных сооружений канализации и животноводческих комплексов / П. В. Журавлев, В. В. Алешня, Б. И. Марченко // Гигиена и санитария. – 2019. – № 5. – С. 483–488.
8. Сайпуллаев, М. С. Дезинфекционная активность гашеной извести с хлоридом натрия / М. С. Сайпуллаев, А. М. Батырова // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 1970. – № 2. – С. 58–62.
9. Охрана природы. Почвы. Требования к осадкам сточных вод при использовании их в качестве удобрений : ГОСТ Р 17.4.3.07 – 2001. – Введ. 01.10.2001. – М. : Стандартинформ, 2008. – 5 с.
10. Игнатенко, А. В. Деконтаминация осадков сточных вод и методы ее контроля / А. В. Игнатенко // Труды БГТУ. – 2016. – № 4. – С. 210–213.
11. Пилип, Л. В. Бактерии рода *Proteus* в побочных продуктах животноводства и почве / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина // Известия КГТУ. – 2024. – № 75. – С. 40–51.

### REFERENCES

1. Vostrova, R. N. Osobennosti ispol'zovaniya osadkov stochnykh vod ochistnykh sooruzhenii goroda Gomelya v kachestve udobrenii / R. N. Vostrova, R. N. Mokhareva // Voda. – 2008. – № 9. – S. 12.
2. Prikladnaya ekobiotekhnnologiya : ucheb. posobie : v 2 t. / A. Ye. Kuznetsov, N. B. Gradova, S. V. Lushnikov. – M. : BINOM. Laboratoriya znanii, 2010. – T. 1. – 629 s.

3. Pakhnenko, Ye. P. Osadki stochnykh vod i drugie netraditsionnye organicheskie udobreniya : ucheb. posobie / Ye. P. Pakhnenko. – M. : BINOM. Laboratoriya znaniy, 2007. – 311 s.
4. Valiev, V. S. Sposoby utilizatsii osadkov gorodskikh stochnykh vod (obzor) / V. S. Valiev, D. V. Ivanov, R. R. Shagidullin // Rossiiskii zhurnal prikladnoi ekologii. – 2020. – № 4 (24). – S. 52–63.
5. Novikova, O. K. Obrabotka osadkov stochnykh vod / O. K. Novikova. – Gomel' : BelGUT, 2015. – 96 s.
6. Shcherbakov, V. I. Izvestkovanie kak sposob obezzarazhivaniya osadka stochnykh vod / V. I. Shcherbakov, V. V. Pomogaeva, S. S. Sukhov // Rossiiskii inzhener. – 2016. – Vyp. № 2 (5). – S. 32–37.
7. Zhuravlev, P. V. Opredelenie dezinfitsiruyushchego deistviya negashenoi izvesti na mikrofloru ilovykh osadkov stochnykh vod ochistnykh sooruzhenii kanalizatsii i zhivotnovodcheskikh kompleksov / P. V. Zhuravlev, V. V. Aleshnya, B. I. Marchenko // Gigiena i sanitariya. – 2019. – № 5. – S. 483–488.
8. Saipullaev, M. S. Dezinfektsionnaya aktivnost' gashenoi izvesti s khloridom natriya / M. S. Saipullaev, A. M. Batyrova // Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. – 1970. – № 2. – S. 58–62.
9. Okhrana prirody. Pochvy. Trebovaniya k osadkam stochnykh vod pri ispol'zovanii ikh v kachestve udobrenii : GOST R 17.4.3.07 – 2001. – Vved. 01.10.2001. – M. : Standartinform, 2008. – 5 s.
10. Ignatenko, A. V. Dekontaminatsiya osadkov stochnykh vod i metody ee kontrolya / A. V. Ignatenko // Trudy BGTU. – 2016. – № 4. – S. 210–213.
11. Pilip, L. V. Bakterii roda Proteus v pobochnykh produktakh zhivotnovodstva i pochve / L. V. Pilip, N. V. Syrchina // Izvestiya KGTU. – 2024. – № 75. – S. 40–51.

*Рукапіс паступіў у рэдакцыю 14.10.2025*