

МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.879:628.381:631.51:633.863.2(470.45)

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-2-53-67

Практическое применение осадка сточных бытовых вод на примере возделывания сафлора красильного

Алина Сергеевна Межевова

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Российская Федерация,
asmezhevova@mail.ru

Аннотация. **Цель:** изучение основных показателей илового осадка сточных бытовых вод г. Волжского и возможности его практического использования на полях сельскохозяйственного назначения. **Материалы и методы.** Объект исследований – осадок сточных вод с очистных сооружений г. Волжского Волгоградской области. В лабораторных условиях изучали химический состав осадка сточных вод. Полевые эксперименты закладывали в соответствии с общепринятыми методиками. **Результаты и обсуждения.** Экспериментальными исследованиями установлено, что в осадке сточных вод отмечено повышенное содержание азота (3,3 %), фосфора (4,27 %), калия (0,31 %), содержание органического вещества составило 32,0 %. Данные анализа водной вытяжки указывают на повышенное содержание катионов кальция (33,25 ммоль/100 г почвы) и магния (14,25 ммоль/100 г почвы), а также анионов сульфата (5,80 ммоль/100 г почвы). В осадке присутствуют тяжелые металлы, но их количество значительно ниже предельно допустимой концентрации. При апробации осадка сточных вод в полевых условиях было установлено, что в сочетании с чизельной обработкой почвы достигается снижение плотности сложения почвы до 1,10 т/м куб. (доза осадка сточных вод 5 т/га) и до 1,07 т/м куб. (доза осадка сточных вод 10 т/га). Анализ данных об урожайности сафлора красильного показывает, что при внесении переработанного осадка сточных вод увеличивается урожайность семян сафлора во все годы исследований. Предпочтительным оказался вариант совместного действия осадка в дозе 10 т/га и чизельной обработки почвы, который позволил повысить урожайность сафлора красильного до 1,51 т/га в среднем за годы исследований. **Выводы:** в засушливых условиях Волгоградской области для повышения продуктивности сафлора красильного и снижения плотности сложения почвы целесообразно применение глубокой чизельной обработки почвы в сочетании с осадком сточных вод в дозе 10 т/га.

Ключевые слова: осадок сточных вод, обработка почвы, сафлор красильный, плотность сложения почвы, урожайность

Работа выполнена в рамках государственного задания НИР ФНЦ агроэкологии РАН № FNFE-2022-0007 «Теория и принципы формирования адаптивных агролесомелиоративных комплексов сухостепной зоны юга РФ в контексте климатических изменений».

Для цитирования: Межевова А. С. Практическое применение осадка сточных бытовых вод на примере возделывания сафлора красильного // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 2. С. 53–67. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-53-67>.



LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Practical application of domestic sewage sludge waters on the example of safflower cultivation

Alina S. Mezhevova

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation, asmezhevova@mail.ru

Abstract. Purpose: to study the main indicators of sewage sludge in the town Volzhsky and the possibility of its practical application on farmlands. **Materials and methods.** The object of research is sewage sludge from waste treatment plants of the town Volzhsky, Volgograd region. The chemical composition of sewage sludge was studied under laboratory conditions. Field experiments were laid in accordance with generally accepted methods. **Results and discussions.** Experimental studies have determined that high concentration of nitrogen (3.3 %), phosphorus (4.27 %), potassium (0.31 %) was noted in the sewage sludge, the organic matter content was 32.0 %. The water extract analysis data indicate a high concentration of calcium cations (33.25 mmol/100 g of soil) and magnesium (14.25 mmol/100 g of soil), as well as sulfate anions (5.80 mmol/100 g of soil). Heavy metals are present in the sludge, but their amount is much lower than the maximum permissible concentration. When testing sewage sludge in the field, it was found that, a decrease in soil bulk density to 1.10 t/m cub. is achieved in combination with chisel tillage. (dose of sewage sludge is 5 t/ha) and up to 1.07 t/m cub. (dose of sewage sludge is 10 t/ha). The data analysis on the safflower yield shows that the processed sewage sludge application increases the yield of safflower seeds in all years of research. The variant of combined action of sludge at a dose of 10 t/ha and chisel tillage turned out to be preferable, which made it possible to increase the safflower yield to 1.51 t/ha on average over the years of research. **Conclusions:** under the arid conditions of Volgograd region, it is advisable to use deep chisel tillage in combination with sewage sludge at a dose of 10 t/ha in order to increase the productivity of safflower and reduce the bulk density.

Keywords: sewage sludge, tillage, safflower, bulk density, yield

The work was carried out within the framework of the State Task of research topic of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences no. FNFE-2022-0007 “Theory and principles of formation of adaptive reclamation afforestation complexes in the dry steppe zone in the south of the Russian Federation in the context of climate change”.

For citation: Mezhevova A. S. Practical application of domestic sewage sludge waters on the example of safflower cultivation. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(2):53–67. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-53-67>.

Введение. Широко известно, что осадки сточных вод могут с пользой применяться на полях сельскохозяйственного назначения для орошения и удобрения почв. Их применение, с одной стороны, решает проблему утилизации отходов, с другой стороны, внесение в почву осадка в качестве удобрения может служить дополнительным источником поступления элементов питания для выращиваемых растений.

Из-за недостатка природных ресурсов в ряде развитых стран стали широко применять компостирование осадков сточных вод для повторного их использования в качестве органоминеральных удобрений. Ряд авторов отмечает, что компосты из отходов и переработанные (прошедшие предварительную очистку, обработку и сушку) городские сточные воды – хорошая альтернатива навозу, позволяющая улучшить качество почвы и к тому же снизить производственные затраты [1, 2]. В исследованиях Н. Hamdi и др. [2], проведенных в условиях засушливого климата, авторами изучалось действие и последствие внесенного илового осадка в различных дозировках. Результаты исследований показали, что все изученные параметры значительно изменялись в зависимости от дозы внесения осадка. Увеличение дозы позволило повысить содержание органического углерода, азота, фосфора и калия.

Во многих исследованиях отмечается также, что использование осадка сточных вод в сельском хозяйстве – перспективное направление, поэтому необходимо разрабатывать и внедрять новые технологии применения органических удобрений на основе осадка сточных вод с целью восстановления деградированных земель и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур [3–9].

Однако при неправильном использовании осадков сточных вод могут возникнуть проблемы с загрязнением почв и растениеводческой продукции, вследствие наличия в осадке тяжелых металлов, синтетических органических соединений, патогенов и других вредных компонентов [10]. Например, из отдельных зарубежных источников известно, что наличие тяжелых металлов в осадке загрязняет почву и неблагоприятно сказывается на росте и развитии растений, а также на почвенной микрофлоре [11]. Некоторые ученые подчеркивают также, что неправильное использование городских сточных вод может приводить к засолению почв, особенно в условиях дефицита

запасов влаги в почве [12]. Деградация почвы может наблюдаться вследствие внесения осадка ненадлежащего качества, его применяемой дозы, частоты внесения. В то же время некоторые ученые [13] отмечают, что органические загрязнители и вредные компоненты в осадке сточных вод представляют минимальный риск и не накапливаются в тканях растений.

Целью исследования являлось изучение основных показателей илового осадка сточных бытовых вод г. Волжского и возможности его практического использования на полях сельскохозяйственного назначения.

Материалы и методы. Осадок сточных вод отбирали на очистных сооружениях в г. Волжском для изучения его основных физико-химических показателей.

Экспериментальные исследования проводили с 2016 по 2018 г. в подзоне светло-каштановых почв на полях УНПЦ «Горная поляна» Городищенского района г. Волгограда. По гранулометрическому составу почвы тяжелосуглинистые. В опытах использовали сорт сафлора красильного Александрит.

Схема двухфакторного опыта:

- фактор А – обработка почвы:

1) контрольный вариант 1, отвальная обработка (ПЛН-4-35 на глубину 0,20–0,22 м);

2) вариант 2, поверхностная дисковая обработка (БДТ-3) на глубину 0,12–0,14 м;

3) вариант 3, чизельная отвальная обработка (ОЧО-5-40 рабочий орган «Ранчо») на глубину 0,37–0,40 м с оборотом верхнего слоя почвы на глубину 0,12–0,15 м;

- фактор В – внесение осадка сточных вод:

1) контрольный вариант 1, без внесения осадка сточных вод;

2) вариант 2, внесение осадка сточных вод в дозировке 5 т/га;

3) вариант 3, внесение осадка сточных вод в дозировке 10 т/га.

Апробировали осадок в качестве удобрения при возделывании сафлора красильного (сорт Александрит). Сафлор отличается адаптивностью к засухам и высоким температурам, способностью давать стабильные урожаи на малопродуктивных, в т. ч. и засоленных, почвах.

Предшественником в опыте была озимая пшеница.

Дозы внесения осадка сточных вод 5 и 10 т/га определяли в соответствии с расчетной формулой максимально допустимых доз внесения удобрений на основе осадка сточных вод согласно ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Сухие осадки вносились на поверхность поля в виде мульчирующего слоя (осадок вносили вручную).

Водородный показатель (рН) определяли согласно ГОСТ Р 27979-88; для определения влажности осадка использовали термостатно-весовой метод; общий и аммонийный азот определяли согласно ГОСТ Р 26715-85, 26716-85 методом Кьельдаля с помощью комплекса «Кельтран»; общий фосфор определяли согласно ГОСТ Р 26717-85 фотометрическим методом на спектрофотометре ПЭ-5400; общий калий определяли методом пламенной спектроскопии на пламенном автоматическом фотометре ФПА-2-01 согласно ГОСТ Р 26718-85; органическое вещество в осадке сточных вод определяли термогравиметрическим методом по ГОСТ Р 27980-88.

Ионы хлорида определяли согласно ФР.1.31.2018.30583 (Р 76/199-2016), ионы сульфата в водной вытяжке определяли согласно ПНД Ф 16.1:2.2.2.3.53-08, натрий и калий согласно ГОСТ 26427-85, кальций и магний согласно ФР.1.31.2018.30004 (Р 76/192-2016), ионы гидрокарбоната согласно ГОСТ 26424-85. Содержание тяжелых металлов в осадке сточных вод определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на атомно-абсорбционном спектрометре фирмы Thermo (модель ICE 3000). Плотность почвы определяли методом режущего кольца. Учет урожая про-

водили поделяночно методом прямого комбайнирования. Достоверность результатов в опытах обеспечивали их 4-кратной повторностью, а статистическую обработку данных выполняли методом дисперсионного анализа.

Результаты и обсуждения. Применение иловых осадков сточных бытовых вод в сельском хозяйстве регламентируется различными нормативными документами, в частности ГОСТ Р 54651-2011. В связи с тем, что состав сточных вод очень разнообразен, в каждом конкретном случае должны проводиться экспериментальные исследования. Поэтому перво-степенной задачей было изучение в лабораторных условиях основных физико-химических показателей осадка, прошедшего предварительную очистку, обработку и сушку (таблица 1).

Анализ химического состава осадка сточных вод показал, что в абсолютно сухих осадках содержится 32 % органического вещества, общие формы азота (3,30 %), фосфора (4,27 %), калия (0,31 %), аммонийный азот (0,19 %). Анализ данных катионно-анионного состава водной вытяжки осадка позволил установить, что в нем повышенное содержание катионов Ca^{2+} (33,25 ммоль/100 г почвы) и Mg^{2+} (14,25 ммоль/100 г почвы), а также анионов сульфата (5,80 ммоль/100 г почвы). Следует отметить, что химические элементы, поступающие в растения, выполняют очень важные функции, в частности, катионы кальция и магния особенно значимы для нормального развития и функционирования корневой системы, а ионы SO_4^{2-} обладают биогенной активностью и положительно влияют на жизнедеятельность микрофлоры, а также являются незаменимым источником минерального питания.

В отношении содержания загрязнителей и тяжелых металлов в иловом осадке были получены результаты значительно ниже максимальных пределов, установленных в ГОСТ Р 54651-2011 для удобрений II и I группы (таблица 2).

Таблица 1 – Химический состав осадка сточных вод

Table 1 – Chemical composition of sewage sludge

pH	Показатель, ммоль/100 г почвы (осадка)							Массовая доля питательных веществ на абсолютно сухое вещество, %				
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ²⁻	Общий азот	Аммонийный азот	Общий фосфор	Общий калий	Органическое вещество
6,6	0,30	0,20	33,25	14,25	5,80	0,10	0,30	3,3	0,19	4,27	0,31	32,0

Таблица 2 – Результаты анализа проб осадка сточных вод на наличие тяжелых металлов и загрязнителей

Table 2 – Results of the analysis of sewage sludge samples for the presence of heavy metals and pollutants

Показатель	Научная документация на испытание	Предельно допустимое значение	Результат исследований
Pb, мг/кг	Методические указания ЦИНАО 1992 г. [14]	500,0	24,0
Cd, мг/кг		30,0	1,33
Zn, мг/кг		3500,0	135,0
Cu, мг/кг		750,0	131,0
Ni, мг/кг		400,0	22,4
Hg, мг/кг		15,0	1,9
As, мг/кг		20,0	0,5
ГХЦГ-изомеры, мг/кг	М. А. Клисенко, Л. Г. Александрова, 1983 г. [15]	Не допускается	–
ДДТ и его метаболиты, мг/кг		Не допускается	–
Цезий, мг/кг	ГОСТ Р 54038-2010 [16]	Не нормируется	–

Фактическое содержание особо токсичных металлов ртути и мышьяка – 1,9 и 0,5 мг/кг соответственно. Эти значения ниже предельно допустимых концентраций (ПДК) и полностью удовлетворяют требованиям нормативной документации. Остальные тяжелые металлы в осадке также содержатся в количествах, не превышающих ПДК. ГХЦГ-изомеры, ДДТ и его метаболиты, а также радионуклиды (цезий) не обнаружены.

Анализ данных свидетельствует, что полученный на очистных сооружениях г. Волжского осадок сточных вод отвечает требованиям ГОСТ Р 54651-2011, при этом, согласно данному нормативу, осадок относится к I группе удобрений, т. е. может использоваться для выращивания технических, кормовых, зерновых и сидеральных культур, в личном подсобном хозяйстве при выращивании рассады овощных и цветочных культур [17].

Одной из существующих проблем является разуплотнение почвы. Известно, что разрыхлить поверхностный пахотный слой почвы достаточно просто, его необходимо вспахать, взрыхлить различными почвообрабатывающими орудиями. Но разрыхлить агрегаты значительно сложнее. Считается, что почвенные агрегаты – основное хранилище питательных веществ, воды, почвенной биоты [18]. В связи с этим необходимо применение органических или зеленых удобрений, которые способствуют восстановлению внутриагрегатной порозности [18]. Известно также, что плотность почвы во многом определяет величину урожая. При этом необходимо подчеркнуть, что низкая эффективность традиционных удобрений в условиях сухого земледелия и их дороговизна диктуют необходимость изыскивать новые ресурсы питания для управления продукционными процессами в интенсивно используемых агроландшафтах.

В наших опытах при возделывании сафлора красильного изучали влияние различных приемов основной обработки почвы и илового осадка сточных бытовых вод на плотность сложения почвы. Результаты представлены на рисунке 1.

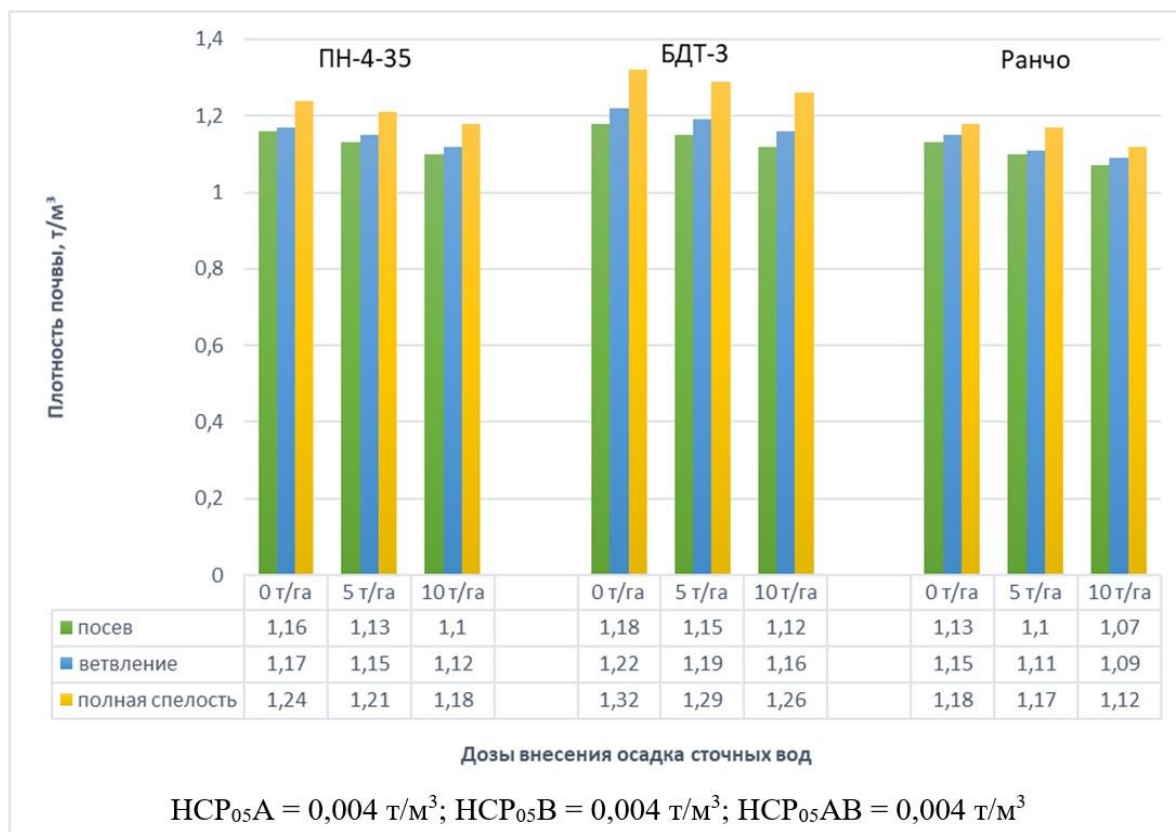


Рисунок 1 – Плотность сложения почвы в слое 0–0,4 м при различных обработках и внесении осадка сточных вод (среднее за 2016–2018 гг.)
Figure 1 – Soil bulk density in the 0–0.4 m layer at various treatments and sewage sludge application (average for 2016–2018)

Плотность сложения почвы определяли в различные фенологические фазы сафлора красильного. Основную обработку почвы проводили осенью, осадок вносили перед посевом сафлора. Внесение на участки осадка сточных вод в дозах 5 и 10 т/га позволило снизить плотность почвы. Тенденция снижения плотности за счет увеличения глубины рыхления также сохранялась. При дозе внесения осадка 5 т/га плотность составила 1,13 т/м³ на фоне отвальной обработки на глубину 0,20–0,22 м, 1,15 т/м³ на фоне дисковой обработки на глубину 0,12–0,14 м, 1,10 т/м³ на фоне чизельной обработки на глубину 0,37–0,40 м. При дозе внесения 10 т/га осадка – 1,10; 1,12; 1,07 т/м³ соответственно. В течение всего вегетационного периода сафлора красильного во всех вариантах наблюдалось уплотнение пахотного горизонта.

Рассматривая урожайность сафлора красильного по годам исследований, следует подчеркнуть, что на величину урожая повлияли как погодные условия в период проведения экспериментов, так и изучаемые факторы.

В 2016 г. выпало почти 332 мм осадков, что при сумме температур за вегетационный период 2720,8 °С характеризует территорию как слабозасушливую с ГТК = 1,22. Результаты возделывания сафлора (рисунок 2) показали, что при чизельной обработке и внесении на участки илового осадка сточных вод в дозах 5 и 10 т/га сформировалась самая высокая урожайность – 1,47 и 1,56 т/га соответственно. При этом в варианте, где не вносили осадок, на фоне чизельной обработки почвы урожайность составила 1,37 т/га. Применение в качестве основной обработки почвы классической отвальной и дисковой существенно снизило урожай семян сафлора, но тенденция увеличения урожайности за счет использования осадка сточных вод сохранялась.

При дозе внесения 5 т/га осадка на фоне дисковой обработки урожайность повышалась до 1,30 т/га, при дозе внесения 10 т/га на фоне отвальной обработки до 1,37 т/га.

В 2017 г. с апреля по август выпало 243 мм осадков (ГТК 0,94), а в 2018 г. не более 142 мм (ГТК = 0,48), поэтому урожайность сафлора закономерно снизилась в сравнении с 2016 г. Как и в предыдущий год исследований, самая высокая урожайность отмечалась на участке, где использовали чизельную обработку, при дозе внесения 5 т/га – 1,41 т/га (2017 г.) и 1,37 т/га (2018 г.). Увеличение дозы внесения осадка до 10 т/га позволило достигнуть урожайности 1,50 т/га (2017 г.) и 1,46 т/га (2018 г.). В вариантах обработки почвы отвальным плугом и дискатором урожайность снижалась во все годы исследований.

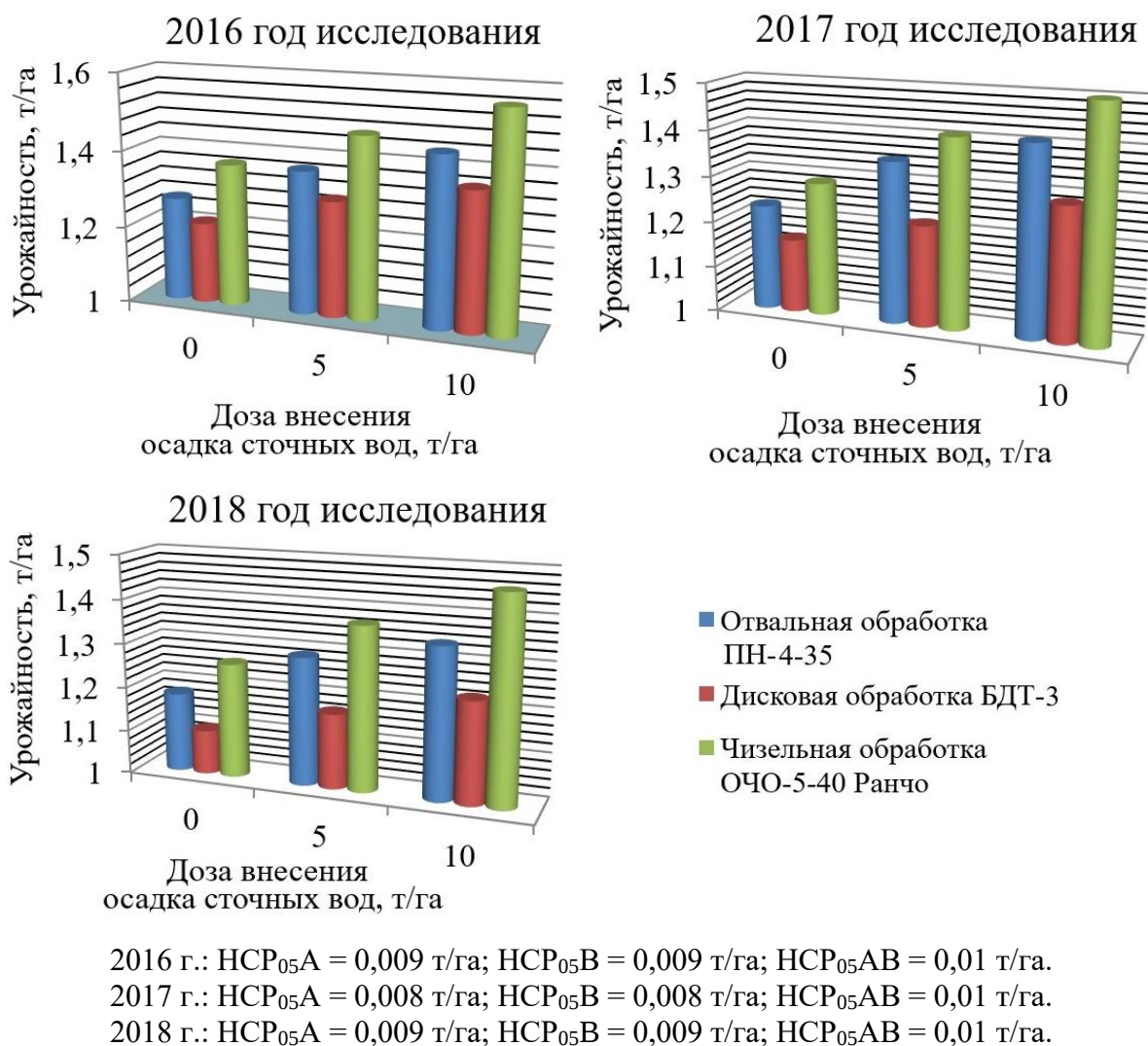


Рисунок 2 – Урожайность сафлора красильного
Figure 2 – Yield of safflower

Выводы

1 Исследование химического состава абсолютно сухих осадков сточных вод показало, что содержание азота составило 3,3 %, фосфора – 4,27 %, калия – 0,31 %. Содержание органического вещества – 32,0 %. Также установлено, что в осадке сточных вод повышенное содержание катионов Ca^{2+} (33,25 ммоль/100 г почвы) и Mg^{2+} (14,25 ммоль/100 г почвы), а также анионов сульфата (5,80 ммоль/100 г почвы).

2 В осадке сточных вод зафиксировано содержание тяжелых металлов, но они не превышают предельно допустимых значений, а содержание

особо токсичных металлов ртути и мышьяка не превышает 1,9 и 0,5 мг/кг, что допускает нормативная документация.

3 Использование илового осадка сточных вод в безопасных дозах в сочетании с глубокой чизельной обработкой позволяет снизить плотность сложения почвы в большей степени по сравнению с контролем.

4 В ходе проведенных исследований установлено, что в засушливых условиях Волгоградской области повышение урожайности сафлора красного возможно при применении чизельной обработки почвы и внесении осадка сточных вод в дозе 10 т/га.

Список источников

1. Assessment of the effect of repetitive municipal solid waste compost application on soil using physico-chemical analyses, solid-phase bioassays and microbial activity characterization / S. Benzarti, H. Hamdi, I. Aoyama, N. Jedidi, A. Hassen, A. Dahmane // *Japanese Journal of Environmental Toxicology*. 2007. Vol. 10. P. 19–30.
2. Repetitive land application of urban sewage sludge: Effect of amendment rates and soil texture on fertility and degradation parameters / H. Hamdi, S. Hechmi, M. N. Khelil, I. R. Zoghalmi, S. Benzarti, S. Mokni-Tlili, A. Hassen, N. Jedidi // *Catena*. 2019. Vol. 172. P. 11–20. DOI: 10.1016/j.catena.2018.08.015.
3. Ильинский А. В., Евсенкин К. Н., Нефедов А. В. Обоснование экологически безопасного использования осадков сточных вод канализационных очистных сооружений жилищно-коммунального хозяйства // *Агрохимический вестник*. 2020. № 1. С. 60–64. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10009.
4. Рабинович Г. Ю., Подолян Е. А., Зинковская Т. С. Использование осадка сточных вод и режим органического вещества дерново-подзолистой почвы // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 4. С. 37–41. DOI: 10.31857/S2500262720040092.
5. Касатиков В. А. Влияние мелиоративных доз осадка городских сточных вод на азотный режим дерново-подзолистой почвы и продуктивность зерновых культур // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 64–68. DOI: 10.31857/S0002188120060058.
6. Sustainable approach to biotransform industrial sludge into organic fertilizer via vermicomposting: a mini-review / L. H. Lee, T. Y. Wu, K. P. Y. Shak, S. L. Lim, K. Y. Ng, M. N. Nguyen, W. H. Teoh // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2018. Vol. 93, iss. 4. P. 925–935. <https://doi.org/10.1002/jctb.5490>.
7. Ten years of application of sewage sludge on tropical soil. A balance sheet on agricultural crops and environmental quality / W. Melo, D. Delarica, A. Guedes, L. Lavezzo, R. Donha, A. Araújo, G. de Melo, F. Macedo // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 643. P. 1493–1501. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.254>.
8. Mezhevova A. S. Wastewater silt sludge application in case of *Carthamus tinctorius* cultivation on light chestnut soils of the Volgograd region, Russia // *South of Russia: Ecology, Development*. 2020. Vol. 15, № 3. P. 43–52. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-3-43-52.
9. Стельмах К. Н. Влияние осадков сточных вод в комплексе с цеолитсодержащей породой на физико-химические свойства почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур // *Агрохимический вестник*. 2020. № 3. С. 67–70. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10043.

10. Konczak M., Oleszczuk P. Application of biochar to sewage sludge reduces toxicity and improve organisms growth in sewage sludge-amended soil in long term field experiment // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 625. P. 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.118>.

11. Longterm amendment of Spanish soils with sewage sludge: Effects on soil functioning / N. Roig, J. Sierra, E. Martí, M. Nadal, M. Schuhmacher, J. L. Domingo // *Agriculture Ecosystems & Environment*. 2012. Vol. 158. P. 41–48. DOI: 10.1016/j.agee.2012.05.016.

12. Solid-phase bioassays and soil microbial activities to evaluate PAH-spiked soil ecotoxicity after a long-term bioremediation process simulating landfarming / H. Hamdi, S. Benzarti, L. Manusadzianas, I. Aoyama, N. Jedidi // *Chemosphere*. 2007. Vol. 70. P. 135–143. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2007.06.043.

13. Smith S. R. Organic contaminants in sewage sludge (biosolids) and their significance for agricultural recycling // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2009. Vol. 367. P. 4005–4041. <https://doi.org/10.1098/rsta.2009.0154>.

14. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных и продукции растениеводства / А. В. Кузнецов, А. П. Фесюн, С. Г. Самохвалов, Э. П. Махонько. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.

15. Клисенко М. А., Александрова Л. Г. Определение остаточных количеств пестицидов. Киев: Здоровье, 1983. 248 с.

16. ГОСТ Р 54038-2010. Почвы. Методика определения Cs-137 в почвах сельскохозяйственных. Введ. 2012-10-01. М.: Стандартинформ, 2019. 5 с.

17. ГОСТ Р 54651-2011. Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия. Введ. 2013-01-01. М.: Стандартинформ, 2011. 17 с.

18. Шейн В. Е. Курс физики почв: учебник. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.

References

1. Benzarti S., Hamdi H., Aoyama I., Jedidi N., Hassen A., Dahmane A., 2007. Assessment of the effect of repetitive municipal solid waste compost application on soil using physico-chemical analyses, solid-phase bioassays and microbial activity characterization. *Japanese Journal of Environmental Toxicology*, vol. 10, pp. 19-30.

2. Hamdi H., Hechmi S., Khelil M.N., Zoghلامي I.R., Benzarti S., Mokni-Tlili S., Hassen A., Jedidi N., 2019. Repetitive land application of urban sewage sludge: Effect of amendment rates and soil texture on fertility and degradation parameters. *Catena*, vol. 172, pp. 11-20, DOI: 10.1016/j.catena.2018.08.015.

3. Ilyinsky A.V., Evsenkin K.N., Nefedov A.V., 2020. *Obosnovanie ekologicheskoi bezopasnosti ispol'zovaniya osadkov stochnykh vod kanalizatsionnykh ochistnykh sooruzheniy zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva* [Substantiation of the environmentally safe application of sewage sludge from sewage treatment plants of housing and communal services]. *Agrokhimicheskiy vestnik* [Agrochemical Bulletin], no. 1, pp. 60-64, DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10009. (In Russian).

4. Rabinovich G.Yu., Podolyan E.A., Zinkovskaya T.S., 2020. *Ispol'zovanie osadka stochnykh vod i rezhim organicheskogo veshchestva dernovo-podzolistoy pochvy* [The use of sewage sludge and the regime of organic matter in soddy-podzolic soil]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* [Russian Agricultural Science], no. 4, pp. 37-41, DOI: 10.31857/S2500262720040092. (In Russian).

5. Kasatkov V.A., 2020. *Vliyanie meliorativnykh doz osadka gorodskikh stochnykh vod na azotnyy rezhim dernovo-podzolistoy pochvy i produktivnost' zernovykh kul'tur* [Effect of reclamation doses]. *Agrokhiya* [Agrochemistry], no. 6, pp. 64-68, DOI: 10.31857/S0002188120060058. (In Russian).

6. Lee L.H., Wu T.Y., Shak K.P.Y., Lim S.L., Ng K.Y., Nguyen M.N., Teoh W.H.,

2018. Sustainable approach to biotransform industrial sludge into organic fertilizer via vermicomposting: a mini-review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 93, iss. 4, pp. 925-935, <https://doi.org/10.1002/jctb.5490>.

7. Melo W., Delarica D., Guedes A., Lavezzo L., Donha R., Araújo A., De Melo G., Macedo F., 2018. Ten years of application of sewage sludge on tropical soil. A balance sheet on agricultural crops and environmental quality. *Science of the Total Environment*, vol. 643, pp. 1493-1501, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.254>.

8. Mezhevova A.S., 2020. Wastewater silt sludge application in case of *Carthamus tinctorius* cultivation on light chestnut soils of the Volgograd region, Russia. *South of Russia: Ecology, Development*, vol. 15, no. 3, pp. 43-52, DOI: 10.18470/1992-1098-2020-3-43-52.

9. Stelmakh K.N., 2020. *Vliyanie osadkov stochnykh vod v komplekse s tseolitsoderzhashchey porodoy na fiziko-khimicheskie svoystva pochvy i produktivnost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Influence of sewage sludge in combination with zeolite-containing rock on physical and chemical properties of soil and productivity of crops]. *Agrokhimicheskiy vestnik* [Agrochemical Bulletin], no. 3, pp. 67-70, DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10043. (In Russian).

10. Konczak M., Oleszczuk P., 2018. Application of biochar to sewage sludge reduces toxicity and improve organisms growth in sewage sludge-amended soil in long term field experiment. *Science of the Total Environment*, vol. 625, pp. 8-15, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.118>.

11. Roig N., Sierra J., Martí E., Nadal M., Schuhmacher M., Domingo J.L., 2012. Longterm amendment of Spanish soils with sewage sludge: Effects on soil functioning. *Agriculture Ecosystems & Environment*, vol. 158, pp. 41-48, DOI: 10.1016/j.agee.2012.05.016.

12. Hamdi H., Benzarti S., Manusadžianas L., Aoyama I., Jedidi N., 2007. Solid-phase bioassays and soil microbial activities to evaluate PAH-spiked soil ecotoxicity after a long-term bioremediation process simulating landfarming. *Chemosphere*, vol. 70, pp. 135-143, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2007.06.043.

13. Smith S.R., 2009. Organic contaminants in sewage sludge (biosolids) and their significance for agricultural recycling. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 367, pp. 4005-4041, <https://doi.org/10.1098/rsta.2009.0154>.

14. Kuznetsov A.V., Fesyun A.P., Samokhvalov S.G., Makhonko E.P., 1992. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvakh sel'khozugodiy i produktsii rasteniyevodstva* [Guidelines for Determination of Heavy Metals in Soils of Agricultural Lands and Crop Production]. 2nd ed., rev., Moscow, TsINAO Publ., 61 p. (In Russian).

15. Klisenko M.A., Alexandrova L.G., 1983. *Opredelenie ostatochnykh kolichestv pestitsidov* [Determination of Pesticide Residues]. Kyiv, Health Publ., 248 p. (In Russian).

16. GOST R 54038-2010. *Pochvy. Metodika opredeleniya Cs-137 v pochvakh sel'khozugodiy* [Soils. Method for determination of Cs-137 in agricultural soils]. Moscow, Standartinform Publ., 2019, 5 p. (In Russian).

17. GOST R 54651-2011. *Udobreniya organicheskie na osnove osadkov stochnykh vod. Tekhnicheskie usloviya* [Organic fertilizers based on sewage sludge. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2011, 17 p. (In Russian).

18. Shein V.E., 2005. *Kurs fiziki pochv: uchebnik* [Course of Soil Physics: Textbook]. Moscow, Moscow State University Publ., 432 p. (In Russian).

Информация об авторе

А. С. Межевова – заведующий лабораторией анализа почв, кандидат сельскохозяйственных наук.

Information about the author

A. S. Mezhevova – Head of the Soil Analysis Laboratory, Candidate of Agricultural Sciences.

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.01.2022; одобрена после рецензирования 18.03.2022; принята к публикации 22.03.2022.

The article was submitted 28.01.2022; approved after reviewing 18.03.2022; accepted for publication 22.03.2022.