МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Научная статья

УДК 631.879:628.381:544.733.2

doi: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-82-91

Использование осадков сточных вод при возделывании сельскохозяйственных культур

Алина Сергеевна Межевова

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

Аннотация. Цель: изучить структуру осадка сточных вод, а также раскрыть возможность его применения в сельском хозяйстве с целью повышения влагозапасов в почве. **Материалы и методы.** Объект исследований – осадок сточных вод с очистных сооружений г. Волжского. Структуру осадка сточных вод исследовали методом сканирующей электронной микроскопии. Полевой эксперимент закладывали в соответствии с общепринятыми методиками. **Результаты и обсуждения.** Исследуемый осадок сточных вод обладает высокой удобрительной ценностью с повышенным содержанием азота (3,30 %), аммиачного азота (0,19 %), фосфора (4,27 %), калия (0,31 %) и оптимальным содержанием органического вещества (32 %), что свидетельствует о широких возможностях его применения в сельском хозяйстве. Анализ микрофотографий осадка сточных вод показал, что он представляет собой наноструктурированный материал, обнаружено наличие пористой структуры, что доказывает присутствие у осадка адсорбционных свойств и способность удерживать влагу при внесении его в качестве удобрения. Получены данные, подтверждающие, что осадок сточных вод способствует повышению количества влаги и ее сохранению в почве на примере возделывания сафлора красильного в условиях отсутствия орошения. Максимальное накопление влаги наблюдалось при внесении осадка сточных вод в дозе 10 т/га, а также при применении глубокой обработки почвы рабочим органом «Ранчо» и составило в слое 0–0,4 м при посеве сафлора красильного 88,5 мм, в фазе полной спелости – 4,4 мм. **Выводы:** для повышения влагозапасов в почве целесообразно использование осадка сточных вод, представляющего собой наноструктурированный материал, обладающий пористой структурой и адсорбционными свойствами.

Ключевые слова: осадок сточных вод, состав, структура, адсорбционные свойства, сканирующая электронная микроскопия, сафлор

LAND RECLAMATION, RECULTIVATION AND LAND PROTECTION

Original article

The use of sewage sludge in crop 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 structure of sewage sludge, as well as to reveal the possibility of its use in agriculture in order to increase moisture reserves in the soil. **Materials and methods.** The object of research is sewage sludge from the Volzhsky wastewater treatment plant. The structure of the sewage sludge was investigated by scanning electron micros-

copy. The field experiment was set up in accordance with generally accepted methods. **Results and discussions.** The investigated sewage sludge has a high fertilizing value with an increased content of nitrogen (3.30 %), ammonia nitrogen (0.19 %), phosphorus (4.27 %), potassium (0.31 %) and an optimal content of organic matter (32 %), which indicates the broad possibilities of its application in agriculture. Analysis of micrographs of sewage sludge showed that it is a nanostructured material, the presence of a porous structure which proves the presence of adsorption properties in the sludge and the ability to retain moisture when applied as a fertilizer was found. Data have been obtained confirming that sewage sludge contributes to an increase in the amount of moisture and its retention in soil by the example of the cultivation of dyeing safflower in the absence of irrigation. The maximum accumulation of moisture was observed with the introduction of sewage sludge at a dose of 10 t/ha, as well as with the use of deep tillage with the “Rancho” working body and amounted to a layer of 0–0.4 m when sowing dyeing safflower 88.5 mm, in the phase of full ripeness – 4.4 mm. **Conclusion:** it is advisable to use sewage sludge, which is a nanostructured material with a porous structure and adsorption properties to increase moisture reserves in soil.

Keywords: sewage sludge, composition, structure, adsorption properties, scanning electron microscopy, safflower

Введение. Известно, что без проведения комплекса организационно-хозяйственных, технических и мелиоративных мероприятий получение устойчиво высоких урожаев в стрессовых климатических условиях практически невозможно. В условиях крайне ограниченных водных ресурсов аридных регионов, а также в связи с возрастающей проблемой дефицита водных ресурсов мира в целом появилась потребность в новых эффективных методах регулирования продукционных процессов в агробиоценозах и управления ими. В условиях засушливого климата определяющим звеном для формирования стабильной качественной продукции остается искусственное орошение, которое является весьма дорогостоящей технологией, а зачастую способствует деградации земель и засолению почвы. Решение данных проблем – получение эффективных нетрадиционных удобрений, обладающих адсорбционными свойствами. Использование осадков сточных вод широко распространено во всем мире [1–5], а эффективность применения их в сельском хозяйстве как органического удобрения неоднократно доказывалась [6–9], однако исследования структуры и влагоудерживающей способности осадка сточных вод практически не ведутся.

Для прогнозирования эффектов от внесения удобрений и понимания закономерности их действия возможно использование метода сканирую-

щей электронной микроскопии (СЭМ) [10], который не нашел должного применения в сельском хозяйстве.

В настоящей работе представлены данные по изучению структуры осадка сточных вод, а также раскрыты возможности его применения в сельском хозяйстве с целью повышения влагозапасов в почве.

Материалы и методы. Осадок сточных вод был получен с очистных сооружений г. Волжского. В лабораторных условиях изучали основные агрохимические показатели осадка сточных вод: общий и аммиачный азот (ГОСТ Р 26715-85, ГОСТ 26716-85), общий фосфор (ГОСТ Р 26717-85) и калий (ГОСТ Р 26718-85), органическое вещество (ГОСТ Р 27980-88) и зола (ГОСТ Р 26714-85), влагосодержание (ГОСТ Р 54651-2011) и кислотно-щелочное равновесие (ГОСТ Р 27979-88).

Морфологию поверхности частиц осадка сточных вод исследовали с помощью растрового (сканирующего) электронного микроскопа JSM-6490LV (Япония). Образцы наносились на специальную подложку из двустороннего углеродного скотча. Остатки образцов, не приклеившихся к подложке, удаляли при помощи струи воздуха. Затем образцы помещали в колонну микроскопа для проведения исследований.

Экспериментальные полевые исследования проводили в подзоне светло-каштановых солонцеватых почв с 2016 по 2018 г. По гранулометрическому составу почвы тяжелосуглинистые. Схема опыта включала:

- приемы основной обработки почвы:

1) отвальная обработка ПН-4-35 на глубину 0,20–0,22 м;

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

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

- дозы внесения осадка сточных вод:

1) без внесения осадка сточных вод;

2) доза внесения 5 т/га;

3) доза внесения 10 т/га.

Дозу внесения осадка сточных вод определяли в соответствии с расчетной формулой максимально допустимых доз внесения удобрений на основе осадка сточных вод согласно ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 [11].

В полевых экспериментах влажность почвы в слое 0–0,4 м определяли термостатно-весовым методом.

Результаты и обсуждение. Известно, что осадки сточных вод являются комплексным органоминеральным удобрением с разнообразным химическим составом, который зависит в основном от способов их хранения и переработки. Химический состав осадка сточных вод, исследуемого в опытах, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав осадка сточных вод

Контролируемый показатель	Результат испытания
Общий азот, %	3,30
Аммиачный азот, %	0,19
Общий фосфор, %	4,27
Общий калий, %	0,31
Массовая доля органического вещества в пересчете на углерод, %	32,0
Массовая доля золы, %	35,0
Массовая доля влаги, %	11,0
Реакция среды, pH солевое	6,60

В ходе исследования химического состава было установлено, что стоки богаты элементами питания, в частности, содержание общего азота составило 3,30 %, аммиачного азота – 0,19 %, общего фосфора – 4,27 %, общего калия – 0,31 %. Для использования осадка в качестве полноценного удобрения необходимо оптимальное содержание органического вещества. В лабораторных условиях установлено, что содержание органического вещества в исследуемом образце осадка сточных вод составило 32 %, это является оптимальным значением и, следовательно, подтверждает целесообразность использования осадка сточных вод в сельском хозяйстве.

Проведенные исследования содержания тяжелых металлов в осадке сточных вод показали, что их количество не превышает предельно допустимые концентрации. Количество свинца составило 24,0 мг/кг, кадмия –

1,33 мг/кг, цинка – 135,0 мг/кг, меди – 131,0 мг/кг, никеля – 22,4 мг/кг, ртути – 1,90 мг/кг, мышьяка – 0,5 мг/кг. ГХЦГ-изомеры не обнаружены, ДДТ (4,4'-дихлордифенил-трихлорэтан) и его метаболиты не обнаружены.

В полевых опытах неоднократно доказывалась эффективность осадка сточных вод в качестве органического удобрения при возделывании различных сельскохозяйственных культур по интегральному показателю урожайности. Однако структура и адсорбционные свойства осадка сточных вод практически не изучаются.

Для получения экспериментальных данных о составе любого материала широко используется метод СЭМ [10]. Микрофотографии осадка сточных вод представлены на рисунке 1.

**Рисунок 1 – Микрофотографии осадка сточных вод
(автор фото А. С. Межевова)**

Проанализировав данные, установили, что осадок сточных вод представляет собой наноструктурированный материал и состоит из множества

частиц размером от 0,1 до 500 мкм, некоторые из которых агрегированные. Ширина видимых пор варьирует от 6 мкм до 4 нм. Осадок представляет собой рыхлую, шероховатую неоднородную пористую структуру с аморфными хлопьями и кристаллическими включениями. Развитая переходная пористость осадка сточных вод, включающая мезо- и макропоры, доказывает присутствие у осадка адсорбционных свойств и способность удерживать влагу при внесении его в качестве удобрения. Для подтверждения полученных данных осадок сточных вод апробировали при возделывании сафлора красильного в засушливой зоне Волгоградской области в условиях отсутствия орошения. Данные представлены на рисунке 2.

Примечание – НСР₀₅ (А) = 0,21; НСР₀₅ (В) = 0,21; НСР₀₅ (АВ) = 0,24.

Рисунок 2 – Динамика запасов влаги в посевах сафлора красильного в слое 0–0,4 м (среднее за 2016–2018 гг.)

Запасы влаги оценивали по фазам роста и развития сафлора красильного при разноглубинных обработках почвы на фоне различных доз осадка сточных вод. Установлено, что максимальное накопление влаги наблюдалось при внесении осадка сточных вод в дозе 10 т/га, а также при применении глубокой обработки почвы рабочим органом «Ранчо» и составило в слое 0–0,4 м при посеве 88,5 мм, в фазе полной спелости – 4,4 мм. Вследствие более высоких запасов влаги и наличия в осадке сточных вод элементов пита-

ния было достигнуто и повышение урожайности сафлора до 1,51 т/га (против 1,31 т/га в контрольном варианте без внесения осадка) [12]. Установлено также, что наименьшее количество влаги перед посевом сафлора красильного отмечено в варианте дисковой обработки БДТ-3 без внесения осадка сточных вод и составило при посеве в слое 0–0,4 м 62 мм с тенденцией понижения по фазам роста и развития сафлора до 2,6 мм.

Следует отметить, что зафиксировано снижение запасов влаги в вариантах отвальной и дисковой обработок, но внесение осадка сточных вод в дозах 5 и 10 т/га способствовало увеличению влагозапасов в почве в данных вариантах, это в очередной раз доказывает адсорбционные и влагоудерживающие способности осадка сточных вод.

Выводы

1 В ходе исследований установлено, что полученный с очистных сооружений г. Волжского осадок сточных вод обладает высокой удобрительной ценностью с повышенным содержанием азота, фосфора, калия и оптимальным содержанием органики, это свидетельствует о широких возможностях его применения в сельском хозяйстве.

2 Анализ микрофотографий осадка сточных вод позволил сделать вывод, что осадок сточных вод представляет собой наноструктурированный материал.

3 Установлено, что в осадке сточных вод присутствуют мезо- и макропоры, обнаружено наличие пористой структуры, что доказывает присутствие у осадка адсорбционных свойств и способность удерживать влагу при внесении его в качестве удобрения.

4 Экспериментальным путем доказаны адсорбционные и влагоудерживающие свойства осадка сточных вод. Получены данные, подтверждающие, что осадок сточных вод способствует повышению количества влаги и ее сохранению в почве на примере возделывания сафлора красильного в условиях отсутствия орошения.

Список источников

1. 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>.
2. Vasilyev S., Domashenko Y. Agroecological substantiation for the use of treated wastewater for irrigation of agricultural land // *Journal of Ecological Engineering*. 2018. Vol. 19, iss. 1. P. 48–54. <https://doi.org/10.12911/22998993/79567>.
3. Wastewater treatment and disposal of individual residential buildings in agriculture / A. E. Novikov, A. A. Poddubskiy, E. Dugin, O. Poddubskaya // *Engineering for Rural Development: 18th International Scientific Conference (Jelgava, Latvia, May 22-24, 2019) / Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Engineering. Jelgava (Latvia), 2019. Vol. 18. P. 397–406. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N207*.
4. Comparative studies on the impact of bio-fertilizer produced from agro-wastes using thermo-tolerant actinomycetes on the growth performance of Maize (*Zea-mays*) and Okro (*Abelmoschus esculentus*) / C. O. Asadu, N. G. Aneke, S. O. Egbuna, A. C. Agulanna // *Environmental Technology and Innovation*. 2018. Vol. 12. P. 55–71. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.07.005>.
5. Yousif S. A., Sulaymon A. H., Al-Faiz M. M. Experimental and theoretical investigations of lead mercury chromium and arsenic biosorption onto dry activated sludge from wastewater // *International Review of Chemical Engineering*. 2013. Vol. 5, № 1. P. 30–40.
6. Пындак В. И., Новиков А. Е., Межевова А. С. Адсорбционные свойства удобрений на основе осадков сточных вод // *Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса*. 2016. № 4(29). С. 61–64.
7. Пындак В. И., Новиков А. Е., Межевова А. С. Действие и последствие не-традиционных удобрений-мелиорантов при орошении // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2016. № 3(43). С. 196–202.
8. 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.
9. 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.
10. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ в примерах практического применения / М. М. Криштал, И. С. Ясников, В. И. Полунин, А. М. Филатов, А. Г. Ульяненок. М.: Техносфера, 2009. 208 с.
11. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. Введ. 2001-10-01. М.: Стандартинформ, 2008. 5 с.
12. Межевова А. С. Совершенствование технологии возделывания сафлора красного при использовании илового осадка на светло-каштановых почвах Волгоградской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. М., 2020. 20 с.

References

1. 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>.
2. Vasilyev S., Domashenko Y., 2018. Agroecological substantiation for the use of

treated wastewater for irrigation of agricultural land. *Journal of Ecological Engineering*, vol. 19, iss. 1, pp. 48-54, <https://doi.org/10.12911/22998993/79567>.

3. Novikov A.E., Poddubskiy A.A., Dugin E., Poddubskaya O., 2019. Wastewater treatment and disposal of individual residential buildings in agriculture. *Engineering for Rural Development. 18th International Scientific Conference*, Jelgava, Latvia, May 22–24, 2019. Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Engineering, Jelgava (Latvia), vol. 18, pp. 397-406, DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N207.

4. Asadu C.O., Aneke N.G., Egbuna S.O., Agulanna A.C., 2018. Comparative studies on the impact of bio-fertilizer produced from agro-wastes using thermo-tolerant actinomycetes on the growth performance of Maize (*Zea-mays*) and Okro (*Abelmoschus esculentus*). *Environmental Technology and Innovation*, vol. 12, pp. 55-71, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.07.005>.

5. Yousif S.A., Sulaymon A.H., Al-Faiz M.M., 2013. Experimental and theoretical investigations of lead mercury chromium and arsenic biosorption onto dry activated sludge from wastewater. *International Review of Chemical Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 30-40.

6. Pyndak V.I., Novikov A.E., Mezhevova A.S., 2016. *Adsorbtsionnye svoystva udobreniy na osnove osadkov stochnykh vod* [Adsorption properties of fertilizers based on sewage sludge]. *Teoreticheskie i prikladnye problemy agropromyshlennogo kompleksa* [Theoretical and Applied Problems of the Agroindustrial Sector], no. 4(29), pp. 61-64. (In Russian).

7. Pyndak V.I., Novikov A.E., Mezhevova A.S., 2016. *Deystvie i posledeystvie netraditsionnykh udobreniy-meliorantov pri oroshenii* [Effect and aftereffect of non-traditional fertilizers-ameliorants during irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. of Nizhnevolzhskiy Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 3(43), pp. 196-202. (In Russian).

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

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

10. Krishtal M.M., Yasnikov I.S., Polunin V.I., Filatov A.M., Ulyanenko A.G., 2009. *Skanirovushchaya elektronnaya mikroskopiya i rentgenospektral'nyy mikroanaliz v primerakh prakticheskogo primeneniya* [Scanning Electron Microscopy and X-Ray Spectral Microanalysis in Examples of Practical Application]. Moscow, Technosphere Publ., 208 p. (In Russian).

11. *GOST R 17.4.3.07-2001. Okhrana prirody. Pochvy. Trebovaniya k svoystvam osadkov stochnykh vod pri ispol'zovanii ikh v kachestve udobreniy* [Protection of nature. Soils. Requirements for the properties of sewage sludge when used as fertilizer]. Moscow, Standartinform Publ., 2008, 5 p. (In Russian).

12. Mezhevova A.S., 2020. *Sovershenstvovanie tekhnologii vzdelyvaniya saflora krasil'nogo pri ispol'zovanii ilovogo osadka na svetlo-kashtanovykh pochvakh Volgogradskoy oblasti. Avtoreferat diss. kand. s.-kh. nauk* [Improving the technology of cultivation of red-strong safflower using silt sediment on light chestnut soils of Volgograd region. Abstract of cand. agri. sci. diss.]. Moscow, 20 p. (In Russian).

Информация об авторе

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

Information about the author

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

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 10.02.2021; одобрена после рецензирования 16.04.2021; принята к публикации 23.04.2021.

The article was submitted 10.02.2021; approved after reviewing 16.04.2021; accepted for publication 23.04.2021.