

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-43-48>

УДК 631.4:631.6:631.559:631.86



## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕЛИОРАНТА ПОЧВЫ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Д.М. Бенин, Н.А. Мочунова, Ю.А. Широков

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

**Аннотация.** Представлены результаты разработки состава и технологии производства мелиоранта почвы на основе органических и минеральных отходов свекловичного севооборота и сахарного производства. Цель исследований – разработать состав мелиоранта почвы, технологию комплексной утилизации отходов производства свекловичного сахара и нехозяйственной части растений свекловичного севооборота и проверить эффективность на посевах сахарной свеклы. Проблема деградации почв ввиду интенсификации производства сахарной свеклы решается путем возврата органических и минеральных веществ, накопленных в отходах сахарного производства и нехозяйственной части биомассы растений свекловичного севооборота, обратно в почву для ее рекультивации. Мелиорант включает в себя дефекат, смешанный с водным раствором гуматов низинного торфа и органических остатков биомассы растений свекловичного севооборота. Используются физические методы активации гуматов путем воздействия ультразвуковыми колебаниями и сверхвысоким давлением микровзрывов пузырьков воздуха в гидродинамическом кавитационном генераторе. Учет, наблюдение и оценка биологической и хозяйственной эффективности проводились по общепринятым методикам и в соответствии с методическими рекомендациями Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР). Математическая обработка урожайных данных проведена по Б.А. Доспехову. Показано, что внесение мелиоранта в почву при выращивании сахарной свеклы позволило повысить урожайность на 6,9%, а сбор сахара – на 11,2%. Основным преимуществом предлагаемого способа производства мелиоранта почвы является то, что обеспечивается максимально возможный возврат вынесенных с урожаем питательных элементов обратно в почву. Кроме того, использование побочных продуктов и отходов сахарной промышленности позволяет вернуть для использования в земледелии тысячи гектаров земель, занятых отвалами.

**Ключевые слова:** почва, мелиорант, сахарное производство, дефекат, сточные воды, торф, гуматы, ультразвук, кавитация, урожайность

**Формат цитирования:** Бенин Д.М., Мочунова Н.А., Широков Ю.А. Технология производства мелиоранта почвы и оценка эффективности его применения // Природообустройство. 2024. № 5. С. 43-48. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-43-48>

Scientific article

## TECHNOLOGY OF THE PRODUCTION OF SOIL AMELIORANT AND ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF ITS APPLICATION

D.M. Benin, N.A. Mosunova, Yu.A. Shirokov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, Timiryazevskaya street, 49, Russia

**Abstract.** The results of the development of the composition and technology of production of soil ameliorant based on organic and mineral waste from beet crop rotation and sugar production are presented. The purpose of the study: to develop the composition of the soil ameliorant and the technology of complex utilization of beet sugar production waste and non-economic parts of beet crop rotation plants and to test the effectiveness on sugar beet crops. The problem of soil degradation due to the intensification of sugar beet production is solved by returning organic and mineral substances accumulated in sugar production waste and non-economic part of the biomass of beet crop rotation plants back to the soil for its reclamation. The ameliorant includes a defecate mixed with an aqueous solution of humates of lowland peat and organic residues of biomass of beetroot crop rotation plants. Physical methods of activation of humates are used by exposure to ultrasonic vibrations and ultrahigh pressure of micro-explosions of air

bubbles in a hydrodynamic cavitation generator, Accounting, observation and evaluation of biological and economic efficiency were carried out according to generally accepted methods and in accordance with the methodological recommendations of the All-Russian Scientific Research Institute of Plant Protection (VISR). Mathematical processing of crop data was carried out according to B.A. Dospelkhov. It is shown that the introduction of ameliorant into the soil during the cultivation of sugar beet allowed to increase yields by 6.9%, and sugar harvesting by 11.2%. The main advantage of the proposed method of producing soil ameliorant is that it ensures the maximum possible return of nutrients carried out with the harvest back into the soil. In addition, the use of by-products and waste from the sugar industry makes it possible to return thousands of hectares of land occupied by landfills for use in agriculture.

**Keywords:** soil, ameliorant, sugar production, defecate, wastewater, peat, humates, ultrasound, cavitation, yield

**Format of citation:** Benin D.M., Mochunova N.A., Shirokov Yu.A. Technology of the production of soil ameliorant and assessment of the effectiveness of its application // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 43-48. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-43-48>

**Введение.** В соответствии с Федеральным законом от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (ред. от 8 августа 2024 г.) поставлена задача минимизации загрязнения окружающей среды отходами производства и максимальной утилизации образующихся отходов. Эта проблема касается и сахарных заводов РФ, и предприятий сельского хозяйства [1]. Расширение производства сахара привело не только к увеличению посевных площадей сахарной свеклы, но и к резкому росту объемов дефекационной грязи (дефеката) на производственных площадках сахарных заводов [2, 3]. Например, только в условиях Курской области на территориях сахарных заводов накопилось более 400 тыс. т дефеката, а в целом по стране на 74 сахарных заводах объем отхода-дефеката составил около 2,5 млн т [4]. Естественно, что назрела проблема использования этих запасов.

Все виды отходов сахарного производства в совокупности аккумулируют массу макро- и микроэлементов, вынесенных с площадей выращивания сахарной свеклы: около 1,1 млн га, а с учетом свекловичного севооборота – почти 6 млн га. Это является серьезной проблемой для будущего земледелия на данных площадях, так как почвообразующие породы региона и без того содержат очень мало подвижных соединений микроэлементов [5, 6]. В растворимое состояние переходит не более 23% Си, 14% Со, 10% Мп и Мо, 1-6% В, Zn и I, что обусловлено концентрированием микроэлементов в минералах, устойчивых к выветриванию, а также карбонатностью, ограничивающей их подвижность [7].

Кроме того, на площади свекловичного севооборота в дополнение к отходам сахарного производства образуется огромное количество (более 18 млн т) целлюлозосодержащей нетоварной части растений (солома и пожнивные остатки зерновых и других культур), накопившей так же,

как и корнеплоды сахарной свеклы, массу вынесенных из почвы макро- и микроэлементов [8, 9].

Большая часть нетоварной части растений свекловичного севооборота не утилизируется должным образом и безвозвратно теряется по причине малоэффективных и экологически опасных способов их утилизации: сжигания в рядках, копнах или складирования на краях полей в скирды, которые в итоге сжигаются [1, 10].

Перечисленные проблемы могут быть решены совмещением отходов сахарного производства (дефеката и др.) и нетоварной части растений свекловичного севооборота (соломы и др.).

Кроме того, использование побочных продуктов и многотоннажных отходов сахарной промышленности позволяет возратить для использования в земледелии тысячи гектаров земель, занятых отвалами, что позволит заметно повысить экономические показатели растениеводства [11].

**Цель исследований:** разработать на основе физических методов технологию комплексной утилизации отходов производства свекловичного сахара и нетоварной части растений свекловичного севооборота, состав мелиоранта почвы и проверить эффективность выращивания сахарной свеклы при внесении полученного мелиоранта в почву в полевом опыте.

**Материалы и методы исследований.** Для решения проблемы комплексной утилизации отходов производства свекловичного сахара и нетоварной части растений свекловичного севооборота был сформирован состав мелиоранта.

В состав мелиоранта вводили 30%-ный «отработанный» карбонат кальция с органическими и неорганическими примесями (дефекат), образованный в производственном процессе сахарного завода «Заинский сахар» Республики Татарстан. Состав дефеката при влажности 27% содержал: 64% извести; 12% органических

веществ; 0,7% азота; 0,9% фосфора (в виде  $P_2O_5$ ); 0,4% калия (в виде  $K_2O$ ) и незначительное количество магния, серы и микроэлементов; 40%-ный водный раствор (сточные воды) макро- и микроэлементов (калий, фосфор, кальций, натрий и др.) и органических примесей.

30% состава – сточные воды, сформированные из транспортерно-моечных вод, ловушечных, свекломоечных, элеваторных, которые образованы в период подготовки и переработки сахарной свеклы также сахарного завода «Заинский сахар». В составе последних – ботва и солома, очистки, мезга, корни и частицы корнеплодов, кусочки грунта и растворенные почвенные соединения. Вследствие этого химический состав транспортерно-моечных вод, ловушечных, свекломоечных, элеваторных сточных вод является нестабильным. Нами использованы материалы исследования Н.В. Михальчука и М.М. Дашкевича по среднему химическому составу транспортерно-моечных вод, ловушечных, свекломоечных, элеваторных сточных вод, мг/л: медь – 20,8; марганец – 107,67; цинк – 38,87; железо – 2479,15; кобальт – 0,69; хром – 5,29.

К этому добавляли 8-12% низинного торфа. Торф брали из торфяников в Заинском районе Татарстана на расстоянии 2 км от села Шикмамаево. Состав торфа: углерод – 52,7%; водород – 4,7%; азот – 0,7; сера – 1,23%; кислород – 40,67%. Органический состав добытого торфа: битумы – 2,9%; водорастворимые и легкогидролизуемые углеводы – 27,8%; гуминовые кислоты – 35,5%; фульвокислоты – 7,9%; целлюлоза – 9%; лигнин – 16,9%. В торфе также содержались оксиды: оксид кремния ( $SiO_2$ ), оксид железа ( $FeO_2$ ), оксид алюминия ( $Al_2O_3$ ), оксид кальция ( $CaO$ ), оксид фосфора ( $P_2O_5$ ).

В состав мелиоранта также входила биомасса нетоварной части урожая культур свекловичного севооборота (солома) с влажностью 14-17% из расчета обеспечения влажности конечного продукта на уровне 45-50%. Солому завозили с полей крестьянского хозяйства.

Химический состав компонентов и готового мелиоранта определен в лаборатории кафедры химии почв факультета почвоведения МГУ и в Испытательном центре почвенно-экологических исследований РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Блок-схема технологического процесса представлена на рисунке.

*Технологический процесс.* Торф завозили самосвальным автотранспортом. Прием биомассы торфа производили из автотранспорта на открытую накопительную площадку (под навесом), а оттуда фронтальным погрузчиком загружали

в приемный бункер с дозатором. Дозатор подавал дозированное количество торфа (0,5 т) в сепаратор, где происходило отделение механических примесей, которые транспортером выводились в накопительный бункер и вывозились на поля в качестве самостоятельного мелиоранта почвы. Очищенный торф смешивали в емкости со сточными водами сахарного завода. Затем на полученную смесь воздействовали физическими методами активации, включающими в себя ультразвуковые колебания в диапазоне частот от 18 до 24 кГц с помощью ультразвукового кавитатора S-P20-3000 (5). Ультразвуковое воздействие в частотном диапазоне от 18 до 24 кГц обеспечивает равномерное смешивание компонентов. После этого на смесь воздействует сверхвысокое давление микровзрывов пузырьков воздуха, растворенного в сточных водах, при коэффициенте модуляции, равном 0,4-0,6 в гидродинамическом кавитаторе (6) серии УПЭС (6). При изменении коэффициента модуляции ниже 0,4 и выше 0,6 повышается энергоемкость процесса и снижается эффективность дробления и активизации гуминовых веществ торфа.

Необходимо контролировать режимы, чтобы температура смеси не достигала 70°C. Превышение отмеченного уровня температуры приведет к стерилизации смеси и снижению ее биологической эффективности.

Гидродинамическая кавитация приводит к дроблению органических компонентов смеси и мономеров гуминовых веществ торфа, что

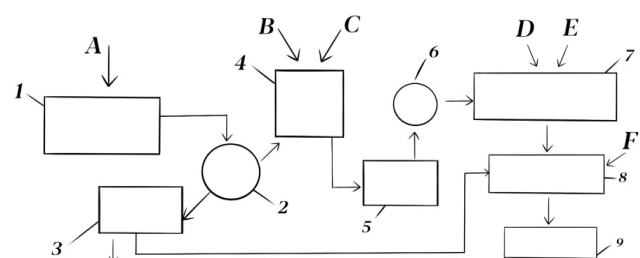


Рис. Блок-схема технологической линии для производства мелиоранта:

- 1 – приемный бункер-дозатор торфа;
- 2 – сепаратор; 3 – накопительный бункер отсева;
- 4 – емкость для приготовления водного раствора торфа;
- 5 – ультразвуковой кавитатор;
- 6 – гидродинамический кавитатор;
- 7 – бункер-смеситель; 8 – бункер- смеситель;
- 9 – накопитель-фасовщик готового продукта.

Вход материальных потоков:

- A – торф; B – сточные воды; C – сточная вода;  
 D – дефекат; E – микробиологические добавки, микроэлементы;  
 F – биомасса нетоварной части урожая культур свекловичного севооборота

повышает их биологическую активность. После этого в емкость (6) в смесь вводили дефекат, а затем в емкости (8) в полученную смесь вводили измельченную до 20-40 мм солому (биомассу нетоварной части урожая культур свекловичного севооборота) с влажностью 14-17% из расчета обеспечения влажности конечного продукта на уровне 45-50%. Солому брали с полей крестьянского хозяйства «Росток» Заинского района. Все компоненты перемешивали. На этом процесс приготовления мелиоранта почвы завершается. Состав одного из вариантов полученных мелиорантов почвы приведен в таблице 1.

**Результаты и их обсуждение.** Изучение эффективности применения приготовленного по разработанной технологии мелиоранта на основе дефеката сахарного производства проведено в технологии возделывания сахарной свеклы в Крестьянском хозяйстве «Росток» Заинского района Республики Татарстан. Опыт проводился на посевах гибрида сахарной свеклы ЛМС-94. Учет, наблюдение и оценка биологической и хозяйственной эффективности проводились в соответствии с методическими

рекомендациями ВИЗР. Математическая обработка урожайных данных проведена по Б.А. Доспехову.

Изучение эффективности применения приготовленного по разработанному способу мелиоранта на основе дефеката сахарного производства выполнено в технологии возделывания сахарной свеклы на посевах гибрида ЛМС-94.

Дата посева культур, норма высева семян, агротехника: гибрид сахарной свеклы был посеян с нормой 140 тыс. семян на 1 га 29 апреля.

*Агротехника опытных участков.* Почва опытного участка – типичный среднесиловой выщелоченный чернозем, тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке. Содержание гумуса составляет 5,0%;  $P_2O_5$ -25 мг;  $K_2O$  – 18 мг на 100 г сухой почвы; pH = 5,8; гидролитическая кислотность – 3,01 мг-экв. на 100 г почвы; сумма поглощенных оснований – 42,4 мг-экв. на 100 г почвы.

Сахарная свекла на контрольном и опытном полях выращивалась на фоне минерального питания  $N_{120}P_{120}K_{120}$  кг д.в. на 1 га. Посев сахарной свеклы производился с междурядьями 45 см сеялками ССТ-12В.

**Таблица 1. Результаты исследований химического состава мелиоранта (Лаборатория кафедры химии почв факультета почвоведения МГУ, Степанов А.А.)**

**Table 1. The results of studies of the chemical composition of the ameliorant (Laboratory of the department of soil chemistry of the faculty of soil science of MSU, Stepanov A.A.)**

Показатель <i>Indicator</i>	Ед.изм <i>Units of measurement</i>	Значение <i>Value</i>
pH	-	7,35
W (Влажность) ( <i>Humidity</i> )	%	50,95
Сухой остаток <i>Dry residue</i>	% г/л / g/l	49,05 490,5
Органические вещества, в т.ч.: Аминокислоты, мг/л (глицин-327, аланин-309, валин-285, Лейцин-195, изолейцин-164, пролин-135, Фенилаланилиновая кислота- 140, глутаминовая кислота –388, цистин-29, Тирозин-35, метеонин-11, серин-103, аспаргиновая кислота-690, теонин-181, лизин-30, аргинин-169, гиститдин-72 и др.). Углеводы мг/л (пентозы-1896, метилпентозы-2627, гексозы-2377) <i>Organic substances, including:</i> <i>Amino acids, mg / l (glycine-327, alanine-309, valine-285, Leucine-195, isoleucine-164, proline-135, Phenylalanylic acid- 140, glutamic acid –388, cystine-29, Tyrosine-35, meteonin-11, serine-103, aspartic acid-690, theonin-181, lysine-30, arginine-169, histidine-72, etc.).</i> <i>Carbohydrates mg / l (pentoses-1896, methylpentoses-2627, hexoses-2377)</i>	г/л g/l	860,3
Гуминовые кислоты / <i>Humic acids</i>	г/л / g/l	29,8
Фульвокислоты / <i>Fulvic acids</i>	г/л / g/l	8,6
Гумин (н.о) / <i>Gumin (insoluble residue.)</i>		47,4
Макроэлементы, мг/л / <i>Macronutrients, mg / l</i>		
N		634,9
P		98,0
K		3704,5
Микроэлементы, мг/кг от с.о. / <i>Trace elements, mg / kg from the dry residue:</i> Ni – 0,07; Co – 0,02; Sr – 0,01; Ba – 7,20; Zn – 67,96; Cu – 43,04; Mn – 67,20; Sn – 0,01; Mo – 0,83		

Делянки сахарной свеклы размещались в 4-кратной повторности.

Уборка урожая сахарной свеклы произведена 19 сентября. Учет урожайности сахарной свеклы выполняли вручную. На всей площади учетной делянки площадью 25 м<sup>2</sup> выкапывались растения сахарной свеклы с последующей обрезкой ботвы и взвешиванием корнеплодов. Результаты полевого опыта приведены в таблице 2.

Таким образом, проведенный в полевых условиях тест показал, что вследствие улучшения агрохимических свойств почвы, в результате

применения разработанного состава и технологии производства мелиоранта достоверно повысилась урожайность сахарной свеклы. Прибавка урожайности корнеплодов сахарной свеклы составила 3,5 т/га, что свидетельствует о достоверном увеличении урожая, так как НСР<sub>05</sub> для данного опыта – 2,5 т/га. Сахаристость возросла с 15,5 до 15,66%. Одним из самых главных показателей продуктивности культуры является сбор сахара. В опыте сбор сахара составил 8,41 т/га, в то время как на контрольном варианте – 7,56 т/га (увеличение – на 11,2%).

Таблица 2. Продуктивность посевов сахарной свёклы

Table 2. Productivity of sugar beet

Вариант опыта <i>Experience option</i>	Урожайность, т/га <i>Yield, t / ha</i>	+/- к контролю <i>+/- to control</i>	Сахаристость, % <i>Sugar content, %</i>	Сбор сахара, т/га <i>Sugar collection, t / ha</i>
Контроль / <i>Control</i>	50,2	-	15,05	7,56
Внесение удобрительно-мелиорирующей смеси, 5 т/га <i>Application of fertilizer-reclamation mixture, 5 t / ha</i>	53,7	+3,5	15,66	8,41
НСР <sub>05</sub> / <i>NSR<sub>05</sub></i>		2,5		

### Выводы

Результатом работы явилось формирование состава мелиоранта почвы и создание на основе физических методов технологии комплексной утилизации отходов производства свекловичного сахара и нетоварной части растений свекловичного севооборота. Основным преимуществом предлагаемого способа производства мелиоранта почвы является то, что обеспечивается максимально возможный возврат вынесенных с урожаем питательных элементов обратно в почву.

Проверка работоспособности технологии и технологической линии показала возможность

их построения на базе стандартного оборудования российского производства. Испытания полученного по разработанной технологии продукта в полевых опытах при 4-кратной повторности показали достаточную эффективность внесения полученного мелиоранта при выращивании сахарной свеклы, так как сбор сахара увеличился на 11,2%. Кроме того, использование побочных продуктов и отходов сахарной промышленности позволяет вернуть для использования в земледелии тысячи гектаров земель, занятых отвалами.

### Список использованных источников

1. Shirokov Y., Tikhnenko V. Analysis of environmental problems of crop production and ways to solve them // E3S Web of Conferences. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021. Rostov-on-Don, 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202127301025.
2. Barbara M Muir. Sugar Beet Processing to Sugars // In book: Sugar Beet Cultivation, Management and Processing. 2022. Pp. 837-862. DOI: 10.1007/978-981-19-2730-0\_42.
3. Anbalagan Krishnaveni, Shivakumar Chinnasamy, Jamuna Elumalai and Pandiyan Mutagen. Waste from the sugar industry as a source of organic carbon for the soil // Shp books: environmental factors affecting human health. 2020. DOI: 10.5772/intechopen.90661.
4. Степанова Т.В. Лабораторные исследования по усовершенствованию технологии очищения отходов сахарной промышленности // Аллея Науки: Научно-практический электронный журнал. 2020. № 6 (45).

### References

1. Shirokov Y., Tikhnenko V. Analysis of environmental problems of crop production and ways to solve them / Collection: E3S Web of Conferences. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021. Rostov-on-Don, 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202127301025
2. Barbara M Muir. Sugar Beet Processing to Sugars // In book: Sugar Beet Cultivation, Management and Processing. 2022. pp. 837-862). DOI: 10.1007/978-981-19-2730-0\_42
3. Anbalagan Krishnaveni, Shivakumar Chinnasamy, Jamuna Elumalai and Pandiyan Mutagen // Waste from the sugar industry as a source of organic carbon for the soil // shp books: environmental factors affecting human health 2020. DOI: 10.5772/intechopen.90661
4. Stepanova T.V. Laboratory studies on improving the technology of purification of sugar industry waste // Scientific and practical electronic journal "Alley of Science", 2020, № 6 (45).

5. **Корчагин В.И.** Микроэлементы в пахотных почвах Воронежской области // Современные проблемы сохранения плодородия черноземов: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.В. Докучаева; Под общ. ред. Н.И. Бухтоярова, Н.М. Дерканосовой, В.А. Гулевского. Воронеж: Воронежский ГАУ им. Императора Петра I, 2016. С. 93-96.

6. Экологический мониторинг состояния почвенных ресурсов Воронежской области // Материалы Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы сельскохозяйственного производства». Агроэкологический вестник. Вып. 9. Воронеж: Воронежский ГАУ им. Императора Петра I, 2020. С. 69-74.

7. **Дьякова Н.А.** Гигиеническая оценка состояния почв антропогенных экосистем Воронежской области // Известия КГТУ. 2020. С. 61-72. DOI: 10.46845/1997-3071-2020-59-61-72.

8. Ahmad et all. Soil Application of Wheat Straw Vermicompost Enhances Morpho Physiological Attributes and Antioxidant Defense in Wheat Under Drought Stress // Frontiers in Environmental Science. 2022. Vol. 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.894517>

9. Chakraborty Arunav, Borah Archita, Debangana Sharmah. Stabilization of Expansive Soil using Sugarcane Straw // Journal of Engineering Technology. 2016. Vol. 4 (1).

10. Tiza Michael, Sitesh Kumar Singhand Anand Kumar, Expansive soil stabilization using industrial solid wastes a review // International journal of advanced technology in Engineering and science. 2016. Vol. 4, Iss. 9.

11. M. Chittaranjan, M. Vijay and D. Keerthi "Agricultural wastes as soil stabilizers". International Journal of Earth Sciences and Engineering .2011, – Vol-04, – Issue No 06 SPesearch Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN: 2395-0056

12. **Широков Ю.А.** Анализ возможностей по управлению себестоимостью продукции растениеводства // Аграрная Россия. 2020. № 2. С. 32-39. DOI: 10.30906/1999-5636-2020-2-32-39.

#### Об авторах

**Дмитрий Михайлович Бенин**, канд. техн. наук, доцент; WoS ResearcherID: ABG-6874-2020; Scopus AuthorID: 57216751281; ORCID: 0000-0003-1265-4071; d.benin@rgau-msha.ru

**Наталья Александровна Мочунова**, канд. техн. наук, доцент; WoS ResearcherID: AAE-5272-2022; Scopus AuthorID: 57321699300; ORCID: 0000-0002-9131-4472; mochunova@rgau-msha.ru

**Юрий Александрович Широков**, д-р техн. наук, профессор; WoS ResearcherID: AAE-5952-2022; Scopus AuthorID: 57218279205; ORCID: 0000-0001-5196-7447; shirokov001@mail.ru

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Бенин Д.М., Мочунова Н.А., Широков Ю.А. провели теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых выполнили обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляет об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interests

#### Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 28.05.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.08.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.08.2024

5. **Korchagin V.I.** Microelements in arable soils of the Voronezh region / Modern problems of preserving the fertility of chernozems / Materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 170th anniversary of V.V. Dokuchaev. Under the general editorship of Bukhtoyarov N.I., Derkanosova N.M., Gulevsky V.A. Voronezh: Voronezh State University named after Emperor Peter I. 2016. pp. 93-96.

6. Ecological monitoring of the state of soil resources of the Voronezh region // Agroecological Bulletin / Materials of the international scientific and practical conference "Ecological problems of agricultural production". Issue 9. Voronezh: Voronezh State University named after Emperor Peter I, 2020, P. 69-74.

7. **Dyakova N.A.** Hygienic assessment of the soil condition of anthropogenic ecosystems of the Voronezh region // Izvestiya KSTU, 2020. P. 61-72. DOI: 10.46845/1997-3071-2020-59-61-72.

8. Ahmad ey all. Soil Application of Wheat Straw Vermicompost Enhances Morpho Physiological Attributes and Antioxidant Defense in Wheat Under Drought Stress. Frontiers in Environmental Science. Volume 10-2022 | <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.894517>

9. Chakraborty Arunav, Borah Archita, Debangana Sharmah. Stabilization of Expansive Soil using Sugarcane Straw. Journal of Engineering Technology, – 2016, ISSN: 2348-7305, – Volume 4(1), AJET..

10. Tiza Michael, Sitesh Kumar Singhand Anand Kumar, Expansive soil stabilization using industrial solid wastes a review. International journal of advanced technology in Engineering and science, 2016, Vol. no. 4, Issue no. 9, ISSN2348-7550, IJATES.

11. M. Chittaranjan, M. Vijay and D. Keerthi "Agricultural wastes as soil stabilizers". International Journal of Earth Sciences and Engineering .2011, – Vol-04, – Issue No 06 SPesearch Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN: 2395-0056

12. **Shirokov Yu.A.** Analysis of opportunities for managing the cost of crop production // Agrarian Russia. 2020. No. 2. P. 32-39. DOI: 10.30906/1999-5636-2020-2-32-39.

#### Author information

**Dmitry M. Benin**, CSc (Eng), associate professor; WoS ResearcherID: ABG-6874-2020; Scopus AuthorID: 57216751281; ORCID: 0000-0003-1265-4071; d.benin@rgau-msha.ru;

**Natalya A. Mochunova**, CSc (Eng), associate professor; WoS ResearcherID: AAE-5272-2022; Scopus AuthorID: 57321699300; ORCID: 0000-0002-9131-4472; mochunova@rgau-msha.ru

**Yury A. Shirokov**, DSc (Eng), professor; WoS ResearcherID: AAE-5952-2022; Scopus AuthorID: 57218279205; ORCID: 0000-0001-5196-7447; shirokov001@mail.ru

Benin D.M., Mochunova N.A., Shirokov Yu.A. conducted theoretical and experimental studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.