

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.171

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-31-38>

Технология производства бионутриентов на основе активированных копролитов и оценка их эффективности

*Ю.А. Широков¹, В.Н. Платонов²*¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия² ООО НПЦ «Новые технологии»; г. Москва, Россия¹ shirokov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5196-7447>² npctech@yandex.ru

Аннотация. Производство бионутриентов в условиях промышленного производства и сельскохозяйственных предприятий требует разработки технологии и технологической линии для стабильного качественного их производства без применения химических реагентов. С этой целью авторами разработаны технология и технологическая линия производства бионутриентов на основе переработки отходов животноводства в копролиты и применения кавитации для повышения их биологической эффективности. Представлены методика и технологическая схема производства бионутриентов. Апробация технологии и полученного бионутриента АБТ-Плант проводилась в Белгородской области на сахарной свёкле ЛМС-94 согласно схеме опыта. В контрольном образце семена смачивались водой. В 4 вариантах осуществлялась обработка бионутриентом АБТ-Плант: в первом варианте – обработка семян; во втором – опрыскивание вегетирующих растений сахарной свёклы в фазу 6-8 настоящих листьев (20 г/т); в третьем – опрыскивание вегетирующих растений (15 г/га) перед смыканием листьев в междурядьях сахарной свёклы; в четвертом – обработка семян (20 г/т) и опрыскивание вегетирующих растений (15 г/га) перед смыканием листьев в междурядьях свёклы. Установлено положительное влияние бионутриента АБТ-Плант на продуктивность сахарной свёклы. Наилучшие результаты достигнуты при двукратном использовании препарата АБТ-Плант при обработке семян (20 г/т), и период вегетации растений в фазу смыкания листьев свёклы в междурядьях (15 г/га) обеспечил прибавку урожайности корнеплодов сахарной свёклы на 3,5 т/га. Сахаристость корнеплодов сахарной свёклы увеличилась по сравнению с контролем на 5,5-6%, сбор сахара – на 0,85 т/га, или на 11,2%.

Ключевые слова: производство бионутриентов, переработка отходов животноводства, копролиты, технологическая линия производства бионутриентов, кавитация, эффективность бионутриентов, бионутриент АБТ-Плант

Для цитирования: Широков Ю.А., Платонов В.Н. Технология производства бионутриентов на основе активированных копролитов и оценка их эффективности // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 6. С. 31-38. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-31-38>.

ORIGINAL PAPER

Technology of producing bionutrients based on activated coprolites and evaluation of their effectiveness

*Yu.A. Shirokov¹, V.N. Platonov²*¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia² LLC NPC “New Technologies”; Moscow, Russia¹ shirokov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5196-7447>² npctech@yandex.ru

Abstract. The production of bionutrients in the conditions of industrial production and agricultural enterprises requires the development of technology and a production line for the production of bionutrients of stable quality without the use of chemical reagents. To this end, the authors have developed a technology and a technological line for the production of bionutrients based on the processing of animal waste into coprolites and the use of cavitation to increase their biological efficiency. The article presents the methodology and technological scheme of the production of bionutrients. The technology and the obtained bionutrient ABT-Plant were tested in the Belgorod

region on sugar beet LMS-94. In the control sample, the seeds were moistened with water. In four variants, ABT-Plant bionutrient was treated: in the first – seeds; in the second – spraying of vegetative sugar beet plants in the phase of 6-8 real leaves ($20 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$); in the third – spraying of vegetative plants ($15 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$) before closing the leaves in the row spacing of sugar beet; in the fourth – seed treatment ($20 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$) and spraying of vegetative plants ($15 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$) before closing the leaves in the row spacing of sugar beet. The positive effect of the bionutrient ABT-Plant on the productivity of sugar beet has been established. The best results were achieved when the ABT-Plant preparation was used twice during seed treatment ($20 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$) and the vegetation period of plants in the phase of closing beet leaves in row spacing ($15 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$) provided an increase in the yield of sugar beet of $3.5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. The sugar content of sugar beet increased by 5.5-6% compared to the control, the sugar harvest by 0.85 t/ha or by 11.2%.

Keywords: bionutrient production, animal waste processing, coprolites, bionutrient production line, cavitation, bionutrient efficiency, ABT-Plant bionutrient.

For citation: Shirokov Yu.A., Platonov V.N. Technology of producing bionutrients based on activated coprolites and evaluation of their effectiveness. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(6):31-38. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-31-38>.

Введение. Бионутриенты, применяемые в сельском хозяйстве многих стран [1], активизируют обменные процессы растений [2], повышают их иммунный статус [3] и улучшают усвоение питательных веществ [1, 3]. Бионутриенты способствуют снижению потребности в химических пестицидах и минеральных удобрениях при росте устойчивости к климатическим стрессам [4].

Среди бионутриентов выделяются копролиты (биогу́мус) – продукты жизнедеятельности красных калифорнийских червей *Eisenia Foetida* [4, 5], содержащие фитогормоны, ферменты, витамины, а также биогенный кальций. Лабораторными и полевыми опытами установлено стимулирующее и адаптогенное действие на клеточном и субклеточном уровнях гуминовых веществ копролитов [6].

Некоторыми учёными [7] отмечается снижение эффективности действия биогу́муса копролитов в сухом климате и при повышенных температурах, что обусловлено особым строением гумусовых веществ копролитов, а также характером их связи с минеральной частью [8, 9]. Молекулы гуминовых веществ способны образовывать стохастические соединения молекул размером до $500 \dots 1500 \text{ нм}$. При размере пор клеточной стенки корней и листьев растений $3,5 \dots 5,2 \text{ нм}$ перенос в клеточных стенках фульвокислот (длина молекул $5,3 \dots 6,4 \text{ нм}$) и гуминовых кислот ($9,4 \dots 10,7 \text{ нм}$) сильно затруднен, а тем более – длинных конгломератов их молекул (рис. 1) [10, 11].

Проблема снижения размера молекул гуминовых веществ частично решается путём совмещения химического и физического воздействия на продукты, содержащие гуминовые вещества (каменный уголь, торф, сапропель) [8] и стабилизацией свойств гуминовых веществ за счёт получения биогу́муса в процессе переработки органических отходов животноводства кольчатыми червями

в копролиты (биогу́мус) [10]. Дробление конгломератов молекул гуминовых веществ биогу́муса на низкомолекулярные части возможно при воздействии ультразвуковых колебаний или пульсирующего сверхвысокого давления в гидродинамическом кавитаторе [11, 12]. В результате формируется коллоидная суспензия раздробленных гуматов (активированные частицы – радикалы, ионы, ионно-радикальные образования) [13, 14].

Производство бионутриентов в условиях промышленности и сельскохозяйственных предприятий требует разработки технологии и технологической линии для бионутриентов стабильного качества без применения химических реагентов.

Цель исследований: разработать технологию и технологическую линию производства бионутриентов на основе переработки отходов животноводства в копролиты и применения кавитации для повышения их биологической эффективности; выявить влияние полученного бионутриента на продуктивность растений на примере сахарной свёклы.

Материалы и методы. Компост как основа для жизнедеятельности дождевых червей готовится

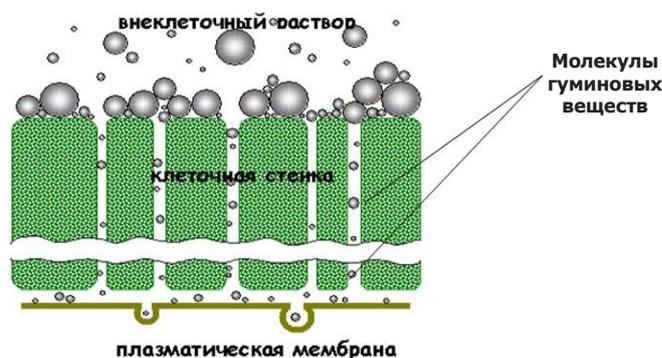


Рис. 1. Прохождение молекул гуминовых веществ через поры стенок клеток растений

Fig.1. Diagram of the passage of humic substances through the pores in the walls of plant cells

путем ускоренной биотехнологической переработки навоза животных и других органических материалов. Черви, перерабатывая органические и минеральные вещества, формируют копролиты (почвенный матричный гумус, закреплённый на поверхности почвенных частиц), который используется как основа для производства бионутриентов.

Для обеспечения гарантированного прохождения гуминовых веществ через мембрану клетки предложен метод получения бионутриентов путем дробления конгломератов молекул гуминовых веществ биогумуса на низкомолекулярные части под воздействием гидродинамического насоса-кавитатора типа УКГ 14-35. Он оказывает гидродинамическое и акустическое воздействие на водный раствор биогумуса, обеспечивает турбулентность, пульсацию давления и скорости потока жидкости, интенсивную кавитацию, ударные волны и вторичные нелинейные акустические эффекты [15].

Для выявления влияния полученного бионутриента АБТ-Плант на продуктивность растений исследовался его состав. Определялись: рН бионутриента по ГОСТ 27979-88; сухой остаток согласно ГОСТ 26713-85; азот общий – ГОСТ 26715-85; фосфор общий – ГОСТ 26717-85; калий общий – ГОСТ 26718-85; органическое вещество – ГОСТ 27980-88. Содержание общего углерода, гуминовых кислот, углерода гуминовых кислот определялось по ГОСТ 26213-91. Состав гумуса определялся по методу М.М. Кононовой и Н.П. Бельчиковой. Химический состав бионутриента АБТ-Плант определялся согласно методическим указаниям¹.

Полевые испытания полученного бионутриента АБТ-Плант в качестве биорегулятора роста и развития растений и антистрессового препарата на посевах сахарной свёклы проводились в Белгородской области на опытных участках Белгородского государственного аграрного университета. Опыты проводились на посевах гибрида сахарной свёклы ЛМС-94. Посев осуществлялся с нормой 140 тыс. семян на 1 га.

Почва опытного участка – типичный среднemocный выщелоченный чернозём, тяжелосуглинистый на лёссовидном суглинке. Содержание гумуса составляет 5,0%, P_2O_5 -25 мг, K_2O – 18 мг на 100 г сухой почвы, рН = 5,8, гидролитическая кислотность – 3,01 мг-экв. на 100 г почвы, сумма поглощённых оснований – 42,4 мг-экв. на 100 г почвы. Предшественник сахарной свёклы – озимая пшеница.

¹ Методические указания по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293771/4293771886.htm>.

Обработка семян и растений сахарной свёклы бионутриентом АБТ-Плант проводилась по следующей схеме:

1. Контроль (без обработки).
2. АБТ-Плант: обработка семян из расчёта 20 г препарата на 1 т семян.
3. АБТ-Плант: опрыскивание вегетирующих растений сахарной свёклы в фазу 6...8 настоящих листьев из расчёта 15 г препарата на 1 га (расход рабочей жидкости – 260 л/га).
4. АБТ-Плант: опрыскивание вегетирующих растений перед смыканием листьев в междурядьях сахарной свёклы из расчёта 15 г препарата на 1 га.
5. АБТ-Плант: обработка семян из расчёта 20 г препарата на 1 т семян, опрыскивание вегетирующих растений перед смыканием листьев в междурядьях свёклы из расчёта 15 г препарата на 1 га.

Обработка участков культур препаратом АБТ-Плант проводилась с помощью ранцевого опрыскивателя СР-15 (Lurmark). Делянки сахарной свёклы размещались в четырёхкратной повторности.

Учёт урожайности сахарной свёклы производили вручную. На всей площади учётной делянки площадью 25 м² выкапывались растения сахарной свёклы с последующей обрезкой ботвы и взвешиванием корнеплодов.

Учёты, наблюдения и оценка биологической и хозяйственной эффективности проводились по общепринятым методикам и в соответствии с методическими рекомендациями ВИЗР. Математическая обработка урожайности проведена по Б.А. Доспехову.

Результаты и их обсуждение. Для практической реализации возможностей бионутриентов нового поколения разработаны технология и проект экспериментальной технологической линии для их производства в промышленных объёмах.

Технологический процесс начинается с ферментирования свежего навоза, для чего навоз предварительно укладывают в ферментатор или бурты. Субстрат готовят из смеси ферментированного навоза, почвы, соломенной резки, при необходимости добавляя небольшое количество известковой муки для обеспечения кислотности среды в пределах рН 6,5...7,5. Ленты конвейера заполняются субстратом, который периодически увлажняют водой через форсунки до оптимальной влажности 70...80% и температуру которого поддерживают в пределах 20...25°C. Далее субстрат заселяют червями с плотностью около 3...5 тыс. особей на 1 м² и укрывают плотным воздухопроницаемым материалом.

На следующем этапе биомасса копролитов направляется в производственный цех. Технологическая схема цеха и экспериментальный цех для производства бионутриентов представлены на рисунках 2, 3.

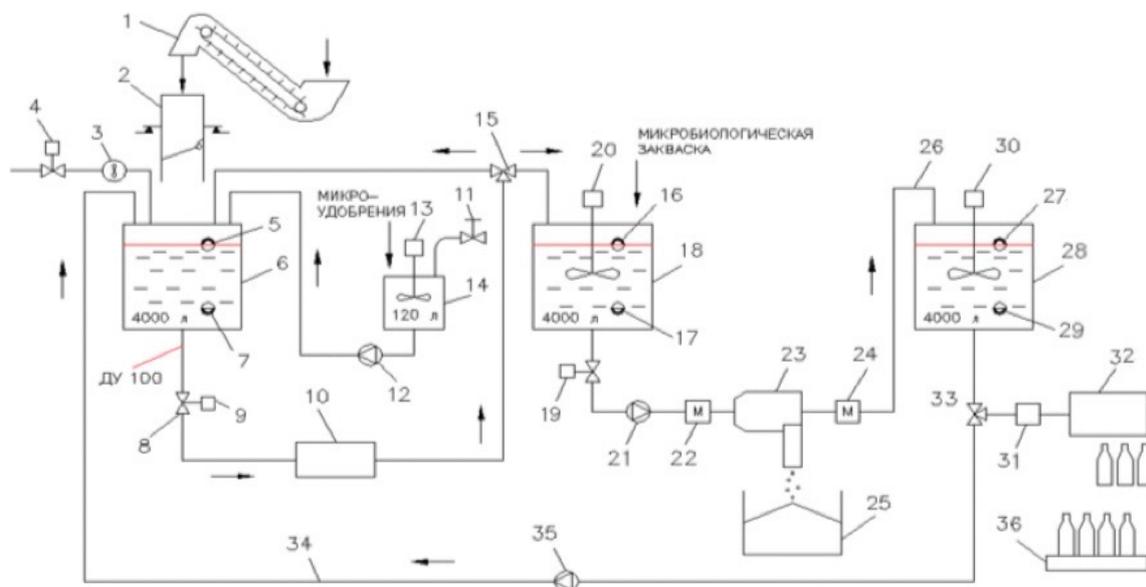


Рис. 2. Технологическая схема цеха для производства бионутриентов нового поколения:

- 1 – ленточный конвейер с приемным бункером; 2 – весовой дозатор на 120 кг; 3 – расходомер воды;
- 4, 8, 19, 33 – клапан электромагнитный; 5, 16, 27 – датчик верхнего уровня; 6 – ёмкость смешительная на 4000 л;
- 7, 17, 29 – датчик нижнего уровня; 9, 31 – расходомеры; 10 – насос-кавитатор; 11 – ручной кран воды;
- 12, 21, 24 – насос; 13, 20, 30 – мешалка; 14 – ёмкость на 120 л; 15, 33 – электрический магнитный клапан-тройник;
- 18 – ёмкость смеси на 4000 л; 22 – насос грязевой; 23 – центрифуга; 25 – накопительная ёмкость твёрдой фракции;
- 26 – трубопровод жидкой фракции; 28 – ёмкость на 4000 л; 32 – фасовщик-дозатор;
- 34 – трубопровод возврата промывочной воды; 35 – насос возврата промывочной воды; 36 – стол упаковочный

Fig. 2. Technological layout of the workshop for the production of a new generation of bionutrients:

- 1 – conveyor belt with a receiving hopper; 2 – weight dispenser for 120 kg; 3 – water flow meter; 4, 8, 33 – electromagnetic valve;
- 5, 16, 27 – upper level sensor; 6 – mixing tank for 4000 liters; 7, 17, 29 – lower level sensor; 9, 19, 31 – flow meters;
- 10 – cavitator pump; 11 – manual water tap; 12, 21, 24 – pump; 13, 20, 30 – agitator; 14-120 l capacity tank;
- 15, 33 – electric magnetic tee valve; 18-4000 l mixture capacity tank; 22 – mud pump; 23 – centrifuge;
- 25 – solid fraction storage tank; 26 – liquid fraction pipeline; 28-4000 l capacity tank; 32 – filling dispenser;
- 34 – flushing water return pipeline; 36 – packing table



Рис. 3. Экспериментальный цех для производства бионутриентов

Fig. 3. Experimental workshop for the production of organomineral bionutrients

Приём биомассы копролитов (биогумуса) производится из автотранспорта в открытую накопительную площадку (под навесом), а оттуда в летнее

время фронтальным погрузчиком биомасса загружается в приёмный бункер 1 с дозатором 2. В холодное время биогумус загружается на накопительную площадку, обогреваемую инфракрасными излучателями, и в нагретом состоянии перегружается подборщиком-выгрузчиком в приёмный бункер 1. Дозатор 2 подаёт дозированное количество биогумуса (0,5 т) в сепаратор биогумуса для отделения механических примесей, которые транспортёром выводятся в накопитель и вывозятся на поля в качестве мелиоранта почвы.

Очищенный биогумус подаётся в смешительную ёмкость 6, заполненную заблаговременно водой, подаваемой через расходомер 3 при открытии клапана 4. Перед загрузкой биогумуса включается насос-кавитатор 10, в котором при одновременном воздействии ультразвуковых колебаний и пульсирующего сверхвысокого давления происходит дробление молекул гуминовых веществ.

На последней стадии коллоидная суспензия гуматов смешивается с микроэлементами и природными биологически активными веществами или их

синтетическими аналогами: например, природными ауксинами и гибберлинами или их органоминеральными аналогами (1-хлорметилсилатран, мивал), а также эссенциальными микроэлементами, которые являются ключевыми для данной культуры.

Обработанная кавитацией масса подаётся по трубопроводу под давлением обратно в ёмкость 6 для более активного перемешивания компонентов. Одновременно в ёмкость 6 из ёмкости приготовления маточного раствора 18 заливают насосом 12 водный раствор солей микроэлементов, биологически активных и поверхностно активных веществ в соответствии с рецептурой. Далее включается электромагнитный клапан 19, и приготовленная суспензия поступает без разделения на фракции по трубопроводу через грязевой насос 21 и расходомер 22 в фасовщик-дозатор 23 для заполнения цистерн тракторных опрыскивателей. Приготовленная суспензия может направляться через центрифугу 23, после которой твёрдая фракция (используется как мелиорант почвы) поступает в накопительную ёмкость 25 и собирается в контейнеры (биг-беги) для вывоза на поля, а жидкая фракция поступает в накопительную ёмкость 28, и далее – на фасовщик-дозатор 32 или возвращается по трубопроводу 34 в ёмкость 6 для коррекции качества продукта.

Применение насоса-кавитатора позволило обеспечить высокую производительность и эффективность процесса: более 40% гуминовых веществ соответствовали размеру менее 3 нм и стали доступными для прохождения через мембраны клетки (рис. 4).

Результатом взаимодействия гуминовых удобрений и живых клеток является как стимулирование компетентных генов, отвечающих за ростовые процессы, так и высвобождение энергии, которая вместо того, чтобы расходоваться на компенсацию неблагоприятных воздействий внешней среды, может быть затрачена клеткой на рост и размножение, что в итоге приводит к усилению конкурентоспособности данного организма [12].

Для выявления влияния полученного бионутриента АБТ-Плант на продуктивность растений исследовался его состав (табл. 1).

Полевые испытания бионутриента АБТ-Плант в качестве биорегулятора роста и развития растений и антистрессового препарата проводились на гибриде сахарной свёклы ЛМС-94.

После уборки предшествующей культуры озимой пшеницы поле два раза рыхлили противозерононным культиватором КПЭ-3,8 на глубину 14...16 см. В середине октября под сахарную свёклу проведена вспашка плугом ПН-5-35 на глубину 27...30 см с последующим выравниванием почвы

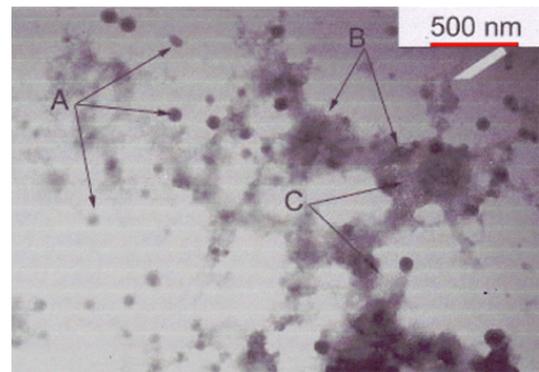


Рис. 4. Гуматы после дробления

Fig. 4. Humates after crushing

Таблица 1

Состав бионутриента АБТ-Плант

Table 1

Composition of the AB-Plant bionutrient

Наименование показателя, ед. изм. <i>Indicator, unit of measurement</i>	Значение <i>Value</i>
Физико-химические показатели / Physico-chemical parameters	
pH, ед. pH	8,50
Сухой остаток, г/л / <i>Dry residue, g/l</i>	19,17
Азот общий, г/л / <i>Total nitrogen, g/l</i>	0,77
Фосфор общий, мг/л / <i>Total phosphorus, mg/l</i>	387,00
Калий общий, мг/л / <i>Total potassium, mg/l</i>	4624,00
Органическое вещество, г/л <i>Organic matter, g/l</i>	10,29
Общий углерод, г/л / <i>Total carbon, g/l</i>	4,72
Углерод гуминовых кислот, г/л <i>Carbon of humic acids, g/l</i>	0,87
Гуминовые кислоты, г/л / <i>Humic acids, g/l</i>	1,63
Углерод фульвокислот, г/л <i>Carbon of fulvic acids, g/l</i>	3,85
Фульвокислоты, г/л / <i>Fulvic acids, g/l</i>	8,67
Сумма гуминовых и фульвокислот, г/л <i>Sum of humic and fulvic acids, g/l</i>	10,29
Содержание химических элементов, мг/л <i>Content of chemical elements</i>	
Cu	0,51
Zn	289,00
Co	52,84
Mn	540,70
Cr	0,96
Mg	278,50
Mo	668,90
Fe	153,70
B	1,02

культиватором КПС-4. Весной, после созревания почвы, проведено боронование поля с одновременным выравниванием сцепкой из борон ВНИС-Р и шлейф-борон. Непосредственно перед посевом проводилась обработка почвы на глубину заделки семян под свёклу боронами ВНИС-Р. Сахарная свёкла выращивалась на фоне минерального питания $N_{120}P_{120}K_{120}$, кг д.в., на 1 га. Посев сахарной свёклы производился 29 апреля с междурядьями 45 см сеялками ССТ.

Дополнительные мероприятия по уходу за опытными деланками (снегозадержание, подкормка минеральными удобрениями, борьба с болезнями и насекомыми) не проводились. При массовом появлении всходов сорняков (23 мая) на посевах сахарной свёклы проводилась гербицидная обработка баковой смесью препаратов Бицепс Гарант (1,1 л/га) с Миурой (0,6 л/га). По второй волне сорняков (6 июня) применялась баковая смесь в составе: Бетанес (1,5 л/га) + Карибу (30 г/га) + Лонтрел-300 (0,5 л/га) + Зеллек-супер (0,5 л/га).

После посева сахарной свёклы 29 апреля её проростки появились на поверхности почвы 10 мая,

полные всходы зафиксировали 19 мая. Уборка проводилась 19 сентября.

Семена сахарной свёклы обрабатывались препаратом АБТ-Плант непосредственно перед посевом. Одновременно для контрольного варианта семена были обработаны водой в объёме, соответствующем объёму препарата АБТ-Плант. Обработка растений сахарной свёклы препаратом АБТ-Плант проводилась 20 июня (в фазу 6-8 листьев) и 5 июля (перед фазой смыкания в междурядьях).

Исследованиями установлено, что всхожесть сахарной свёклы не зависела от обработки семян и находилась на уровне 6,2...6,5 шт. на 1 пог. м (табл. 2).

Густота растений перед уборкой была несколько выше в вариантах с применением препарата АБТ-Плант (табл. 3). Так, на контрольном варианте густота растений составила 91 тыс. шт/га, а в вариантах с использованием АБТ-Плант колебалась в пределах от 94 до 98 тыс. шт/га.

Установлено, что в вариантах, где применялся препарат, развитие корневых гнилей было несколько ниже. В то же время средний вес одного корня на контрольном варианте составлял 570 г. В трёх вариантах,

Таблица 2

Всхожесть сахарной свёклы, шт/пог. м

Table 2

Sugar beet germination, pcs./ m of run

Вариант опыта <i>Experiment variant</i>	Повторения / <i>Replications</i>				Среднее / <i>Average</i>
	1	2	3	4	
Контроль (вода) / <i>Control (water)</i>	6,0	7,0	7,0	6,0	6,5
Семена, обработанные препаратом АБТ-Плант <i>Seeds treated with ABT-Plant preparation</i>	6,0	6,0	6,0	7,0	6,2

Таблица 3

Густота растений и вес корнеплодов сахарной свёклы в период уборки

Table 3

Plant density and weight of sugar beets during the harvesting period

Вариант опыта <i>Experiment variant</i>	Густота растений, тыс. шт/га <i>Plant density, thousand plants/ha</i>	Вес одного корнеплода, г <i>Weight of one root crop, g</i>
1. Контроль (вода) / <i>1. Control (water)</i>	91	570
2. АБТ-Плант: обработка семян из расчёта 20 г на 1 т <i>2. ABT-Plant: seed treatment at a rate of 20 grams per ton</i>	95	560
3. АБТ-Плант: опрыскивание растений в фазе 6-8 листьев <i>3. ABT-Plant: spraying of plants in the phase of 6-8 leaves</i>	94	550
4. АБТ-Плант: опрыскивание растений перед смыканием листьев в междурядьях <i>4. ABT-Plant: spraying of plants before the leaves close together in the row spacing</i>	96	580
5. АБТ-Плант: обработка семян + опрыскивание растений перед смыканием листьев в междурядьях <i>5. ABT-Plant: seed treatment + spraying of plants before the leaves close together in the row spacing</i>	98	560

где использовался препарат, средний вес корнеплода был несколько ниже 550...560 г, в варианте с опрыскиванием препаратом растений перед смыканием листьев в междурядьях средний вес корнеплода был максимальным – 580 г.

Результаты исследований показывают, что достоверную прибавку урожайности сахарной свёклы по сравнению с контролем обеспечил вариант с двукратным использованием препарата АБТ-Плант: при обработке семян (20 г/т) в период вегетации растений в фазу смыкания листьев свёклы в междурядьях (15 г/га) (табл. 4). Прибавка урожайности корнеплодов сахарной свёклы составила 3,5 т/га, НСР₀₅ для данного опыта – 2,5 т/га, что свидетельствует о достоверном увеличении урожая. По остальным

вариантам (2, 3, 4) прибавка 0,6...2,2 т/га не превысила уровня наименьшей существенной разницы, но выявила положительный эффект от применения препарата.

Препарат АБТ-Плант оказал положительное влияние также на сахаристость корнеплодов сахарной свёклы. Так, в контрольном варианте сахаристость составила 15,05%, в то время как на вариантах с применением препарата она колебалась от 15,66 до 15,97%.

Одним из главных показателей продуктивности культуры является выход сахара. В нашем опыте наибольший показатель был получен в пятом варианте (8,41 т/га), в то время как на контрольном варианте он был самым низким (7,56 т/га). В остальных вариантах выход сахара колебался от 8,11 до 8,16 т/га.

Таблица 4

Продуктивность сахарной свёклы

Table 4

Sugar beet yield

Вариант опыта <i>Experiment variant</i>	Урожайность, т/га <i>Yield, tons/ha</i>	+/- к контролю <i>+/- to contro</i>	Сахаристость, % <i>Sugar content, %</i>	Выход сахара, т/га <i>Sugar yield, tons/ha</i>
1. Контроль (вода) / 1. Control (water)	50,2	-	15,05	7,56
2. АБТ-Плант: обработка семян из расчёта 20 г на 1 т <i>2. ABT-Plant: seed treatment at a rate of 20 grams per ton</i>	52,4	+2,2	15,57	8,16
3. АБТ-Плант: опрыскивание растений в фазе 6-8 листьев <i>3. ABT-Plant: spraying of plants in the phase of 6-8 leaves</i>	50,8	+0,6	15,97	8,11
4. АБТ-Плант: опрыскивание растений перед смыканием листьев в междурядьях <i>4. ABT-Plant: spraying of plants before the leaves close together in the row spacing</i>	51,6	+1,4	15,78	8,14
5. АБТ-Плант: обработка семян + опрыскивание растений перед смыканием листьев в междурядьях <i>5. ABT-Plant: seed treatment + spraying of plants before the leaves close together in the row spacing</i>	53,7	+3,5	15,66	8,41
НСР ₀₅	2,5			

Выводы

Разработанная технология производства бионутриентов на основе переработки отходов животноводства в копролиты позволила получить бионутриент АБТ-Плант, положительно влияющий на продуктивность сахарной свёклы:

– двукратное использование препарата АБТ-Плант при обработке семян (20 г/т)

и период вегетации растений в фазу смыкания листьев свёклы в междурядьях (15 г/га) обеспечили прибавку урожайности корнеплодов сахарной свёклы на 3,5 т/га;

– сахаристость корнеплодов сахарной свёклы увеличилась по сравнению с контролем на 5,5...6%, выход сахара – на 0,85 т/га, или на 11,2%.

Список литературы / References

1. Nardi S., Pizzeghello D., Schiavon M., Ertani A. Plant biostimulants: Physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*. 2016;73(1):18-23. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0006>
2. Nardi S., Muscolo A., Vaccaro S., Baiano S., Spaccini R., Piccolo A. Relationship between molecular characteristics of soil humic fractions and glycolytic pathway and Krebs cycle in maize seedlings. *Soil Biology and Biochemistry*. 2007;39(12):3138-3146. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.07.006>
3. Mao J., Chen N., Cao X. Characterization of humic substances by advanced solid state NMR spectroscopy: Demonstration of a systematic approach. *Organic Geochemistry*. 2011;42(8):891-902. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2011.03.023>
4. Широков Ю.А. Дехимизация растениеводства за счёт кремнийорганических соединений // Аграрная Россия. 2008. № 2. С. 33-36. EDN: TNHEGF.
5. Широков Ю.А. Дехимизация растениеводства за счёт кремнийорганических соединений // Аграрная Россия. 2008;2:33-36. (In Rus.)
6. Canellas L.P., Olivares F.L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2014;1:3. <https://doi.org/10.1186/2196-5641-1-3>
7. Katsumi N., Yonebayashi K., Okazaki M., Nishiyama Sh., Nishi T., Hosaka A., Watanabe Ch. Characterization of soil organic matter with different degrees of humification using evolved gas analysis-mass spectrometry. *Talanta*. 2016;155:28-37. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.04.007>
8. Кутюкова О.В. Характеристика гумусовых веществ агродерново-подзолистой почвы и копролитов дождевых червей // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2012. № 69. С. 46-59. EDN: OYNGTX.
9. Kutovaya O.V. Characteristics of humus and coprolites of earthworms in soddy podzolic farm soils. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2012;69:46-59 (In Rus.)
10. Прусак А.В., Смагин А.В., Костина Н.В., Умаров М.М., Богданова Т.В. Гидрофизические свойства и биологическая активность копролитов дождевых червей разных эколого-трофических групп // Фундаментальные исследования. 2008. № 2. С. 50-51. EDN: HNSSLJ.
11. Prusak A.V., Smagin A.V., Kostina N.V., Umarov M.M., Bogdanova T.V. Hydrophysical properties and biological activity of earthworm coprolites of different ecological and trophic groups. *Fundamentalnye Issledovaniya*. 2008;2:50-51. (In Rus.)
12. Демин В.В., Тихонов В.В., Вызов Б.А. Модификация дождевыми червями структуры и биологической активности гуминовых кислот // Труды V Всероссийской конференции «Гуминовые вещества в биосфере». СПб.: Издательство Санкт-Петербургского государственного университета. 2010. Т. 1. С. 19-25. EDN: SKGFHN.
13. Demin V.V., Tikhonov V.V., Vyzov B.A. Modification by earthworms of the structure and biological activity of humic acids. *Trudy V Vserossiyskoy konferentsii "Guminovye Veshchestva v Biosphere"*. Part 1. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State University. 2010:19-25. (In Rus.)
14. Datta S., Singh J., Singh S., Singh S.J. Earthworms, pesticides and sustainable agriculture: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016;23:8227-8243. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6375-0>
15. Широков Ю.А., Тихоненко В.Г., Ивакина Е.Г., Имамзаде А.И. Результаты исследования эффективности гуминовых удобрений, активированных гидродинамическими и акустическими эффектами // Труды V Всероссийской конференции «Гуминовые вещества в биосфере». СПб.: Издательство Санкт-Петербургского государственного университета. 2010. Т. 1. С. 19-25. EDN: SKGFHN.
16. Shirokov Y., Tikhonenko V., Ivakina E., Imamzade A. Results of the Study of the Effectiveness of Humic Fertilizers Activated by Hydrodynamic and Acoustic Effects. *Lecture Notes in Networks and Systems*. [this link is disabled](https://doi.org/10.1007/978-3-031-21219-2_178). 2023. 575 LNNS. Pp. 1601-1608. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21219-2_178
17. Широков Ю.А., Тихоненко В.Г., Ивакина Е.Г., Имамзаде А.И. Технология активирования гуминовых удобрений гидродинамическим и акустическим воздействием и оценка их эффективности // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: Юбилейный сборник научных трудов XV Международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону, 2022. С. 205-210. EDN: ZKLCVN.
18. Shirokov Yu.A., Tikhonenko V.G., Ivakina E.G., Imamzade A.I. Technology of activation of humic fertilizers by hydrodynamic and acoustic effects and evaluation of their effectiveness. In: *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa. Yubileyniy sbornik nauchnykh trudov XV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Rostov-on-Don. 2022:205-210. (In Rus.)
19. Fujisawa N., Fujita Y., Yanagisawa K., Fujisawa K., Yamagata T. Simultaneous observation of cavitation collapse and shock wave formation in cavitating jet. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2018;94:159-167. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusc.2018.02.012>
20. Stanley C., Barber T., Rosengarten G. Re-entrant jet mechanism for periodic cavitation shedding in a cylindrical orifice. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2014;50:169-176. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2014.07.004>
21. Watanabe R., Yanagisawa K., Yamagata T., Fujisawa N. Simultaneous shadowgraph imaging and acceleration pulse measurement of cavitating jet. *Wear*. 2016;358-359:72-79. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.03.036>

Информация об авторах

Юрий Александрович Широков, д-р техн. наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; <https://orcid.org/0000-0001-5196-7447>; shirokov@rgau-msha.ru

Владимир Николаевич Платонов, генеральный директор, ООО НПЦ «Новые технологии»; 115054, Россия, г. Москва, пер. 5-й Монетчиковский, 20, стр. 3; npctech@yandex.ru

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 15.08.2023, после рецензирования и доработки 02.11.2023; принята к публикации 03.11.2023

Information about the authors

Yuri A. Shirokov, DSc (Eng), Professor; Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russia; <http://orcid.org/0000-0001-5196-7447>; shirokov@rgau-msha.ru

Vladimir N. Platonov, General Director; LLC NPC “New Technologies”; 115054, PAGE3, 20, 5th Monetchikovskiy Lane, Moscow, Russia; npctech@yandex.ru

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper are equally responsible for plagiarism.

Received 15.08.2023; revised 02.11.2023; accepted 03.11.2023