

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-69-80>

Влияние микроудобрений и регуляторов роста на технологические качества корнеплодов сахарной свеклы

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Евгений Викторович Жеряков
E-mail: zheryakov.e.v@pgau.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Жеряков Е.В., Семина С.А., Жеряков И.С. Влияние микроудобрений и регуляторов роста на технологические качества корнеплодов сахарной свеклы. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(2):69-80. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-69-80> EDN OMASVN

ПОСТУПИЛА: 03.12.2025

ДОРАБОТАНА: 20.05.2026

ПРИНЯТА: 21.05.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Жеряков Е.В., Семина С.А., Жеряков И.С.



Е.В. Жеряков , С.А. Семина , И.С. Жеряков

Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. В условиях лесостепи Среднего Поволжья (Россия), характеризующихся контрастными погодными условиями, оптимизация микроэлементного питания сахарной свеклы с использованием хелатных форм микроудобрений и регуляторов роста является важным направлением повышения урожайности и технологических качеств корнеплодов. Однако системные данные о синергическом или антагонистическом влиянии их совместного применения на баланс накопления сахарозы и мелассообразующих веществ в регионе отсутствуют.

ЦЕЛЬ. Установить закономерности и количественные оценки влияния некорневой обработки хелатными микроудобрениями в сочетании с регуляторами роста на формирование технологических качеств корнеплодов сахарной свеклы и выявить наиболее синергичные комбинации, обеспечивающие минимизацию мелассообразующих веществ при максимизации выхода сахара.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Объект исследований — односемянный диплоидный гибрид сахарной свеклы на стерильной основе N-типа Скала селекции «СоюзСемСвекла». Работу выполняли в 2024–2025 гг. на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом в условиях Пензенской области. Некорневую обработку проводили в фазе 3–4 пар настоящих листьев сахарной свеклы различными микроэлементными удобрениями (Микровит-7 Бор, Амицид «Бор» и Микровит Стандарт) и регуляторами роста (Фуrolан, Цитодеф-100 и Стимунол ЕФ).

РЕЗУЛЬТАТЫ. В среднем за годы эксперимента максимальная сахаристость (17,93 %) и наибольший прогнозируемый сбор сахара (10,33 т/га) были получены при совместном применении Микровит Стандарт + Стимунол ЕФ. Наименьшие технологические потери сахара в мелассе (1,21 %) отмечены в варианте Микровит-7 Бор + Фуrolан. Применение Амицид «Бор» повышало сахаристость, но сопровождалось накоплением α-аминного азота и калия, ухудшающих выход сахара.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Для лесостепи Среднего Поволжья выявлено разнонаправленное действие различных хелатных форм микроудобрений и регуляторов роста на технологический баланс «сахароза — мелассообразующие вещества». Для производственных условий рекомендовано совместное применение Микровит Стандарт и регулятора роста Стимунол ЕФ, обеспечивающее оптимальный баланс между накоплением сахарозы и минимизацией потерь сахара в мелассе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сахарная свекла, микроудобрения, регулятор роста, некорневая обработка, сахаристость, сбор сахара

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-69-80>

Influence of micronutrient fertilizers and growth regulators on the technological qualities of sugar beet roots

CORRESPONDENCE:

Evgeny V. Zheryakov

E-mail: zheryakov.e.v@pgau.ru

FOR CITATION:

Zheryakov E.V., Semina S.A., Zheryakov I.S. Influence of micronutrient fertilizers and growth regulators on the technological qualities of sugar beet roots. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(2):69-80. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-69-80>

RECEIVED: 03.12.2025

REVISED: 20.05.2026

ACCEPTED: 21.05.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Zheryakov E.V.,

Semina S.A.,

Zheryakov I.S.



Evgeny V. Zheryakov , Svetlana A. Semina , Igor S. Zheryakov 

Penza State Agrarian University, Penza, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. In the forest-steppe conditions of the Middle Volga region (Russia), which are characterized by contrasting weather patterns, optimizing the micronutrient nutrition of sugar beet using chelated forms of micronutrient fertilizers and plant growth regulators is an important strategy for increasing productivity and the technological quality of roots. However, systematic data on the synergistic or antagonistic effects of their combined application on the balance of sucrose accumulation and molassogenic substances in the region are lacking.

AIM. To establish the patterns and quantitative estimates of the effect of foliar treatment with chelated micronutrient fertilizers in combination with plant growth regulators on the formation of technological quality traits of sugar beet roots, and to identify the most synergistic combinations that minimize molassogenic substances while maximizing sugar yield.

MATERIALS AND METHODS. The paper studied the single-seed diploid sugar beet hybrid Skala (N-type sterile basis), bred by SoyuzSemSvekla. The work was carried out in 2024–2025 on leached heavy loamy chernozem under the conditions Penza Region. Foliar treatment was applied at the stage of 3–4 pairs of true leaves of sugar beet using various micronutrient fertilizers (Microvit-7 Bor, Amicide “Bor”, Microvit Standard) and plant growth regulators (Furolan, Tsitodef-100, Stimmul EF).

RESULTS. On average over the experiment years, the maximum sugar content (17.93%) and the highest predicted sugar yield (10.33 t/ha) were obtained with the combined application of Microvit Standard + Stimmul EF. The lowest technological sugar losses to molasses (1.21%) were recorded in the Microvit-7 Bor + Furolan treatment. The application of Amicide “Bor” increased sugar content but was accompanied by the accumulation of α -amino nitrogen and potassium, which reduced sugar yield.

CONCLUSION. In the forest-steppe of the Middle Volga region, chelated micronutrient fertilizers and plant growth regulators exhibited multidirectional effects on the technological “sucrose — molassogenic substances” balance. For production conditions, the combined application of Microvit Standard and Stimmul EF is recommended, as it provides an optimal balance between sucrose accumulation and reduced sugar losses to molasses.

KEYWORDS: sugar beet, micronutrient fertilizers, growth regulator, foliar treatment, sugar content, sugar yield

ВВЕДЕНИЕ

Сахарная свекла занимает второе место среди сахароносных культур в мире после сахарного тростника, обеспечивая около 20–25 % мирового производства сахара [1; 2]. Ежегодное производство корнеплодов в мире достигает приблизительно 278 миллионов тонн, причем лидирующие позиции занимает Европейский Союз, где производится около 17 миллионов тонн свекловичного сахара в год [3]. По имеющимся оценкам, потери урожайности сахарной свеклы от водного стресса в Европе могут достигать 15–40 %, а инфицирование вирусными заболеваниями (такими как вирус желтухи свеклы) снижает урожайность до 47 % [2].

Основным сырьем для производства сахара в России является сахарная свекла, с 2012 года ее доля превышает 90 %. Пензенская область по площади посева сахарной свеклы является одним из лидеров в Приволжском федеральном округе (ПФО): в 2025 г. — 65,4 тыс. га, или 28,9 % от общей площади в ПФО. Урожайность сахарной свеклы в Пензенской области в сезоне 2025 года составила 45,7 т/га, что на 12,3 % больше, чем в ПФО [4].

Основными элементами, которые сахарная свекла потребляет в относительно больших объемах, являются азот, фосфор, калий, однако немаловажное значение в питании данной культуры принадлежит микроэлементам. Особую значимость в системе минерального питания приобретают бор, марганец, цинк и медь, выступающие в роли существенных кофакторов ферментативных систем. Дефицит элементов в критические периоды органогенеза детерминирует нарушения в углеводном и белковом метаболизме, что негативно отражается на сахаронакоплении и технологических свойствах корнеплодов [5; 6]. Физиологическая роль микроэлементов проявляется в их участии в активации ключевых ферментов фотосинтеза, синтезе ауксинов и других фитогормонов, стабилизации клеточных мембран, формировании механизмов антиоксидантной защиты [7].

Современные исследования [8–10] демонстрируют выраженную региональную специфику эффективности различных хелатных форм микроэлементов. Оптимизация микроэлементного питания представляет собой стратегическое направление интенсификации свекловодства, обеспечивающее повышение коэффициента использования макроэ-

лементов, усиление стрессоустойчивости растений, улучшение технологических качеств сырья [11–13].

Хелатные формы микроэлементов представляют собой комплексные соединения, в которых ион металла (например, Zn^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+}) связан с органическим лигандом (чаще всего EDTA, ДТРА или EDDHA) посредством координационных связей. Ключевое отличие хелатных удобрений от неорганических солей заключается в их повышенной биодоступности и стабильности в различных условиях среды. При внекорневом (фолиарном) применении хелатные микроудобрения обеспечивают значительно более высокую эффективность по сравнению с традиционными минеральными солями. Исследования показывают, что хелатные формы обеспечивают более быстрое проникновение через кутикулу листа благодаря оптимальному размеру и липофильности молекул комплекса, удержание листьями до момента поглощения, что особенно важно в дождливую погоду, а также высокую транслокационную мобильность: некоторые хелатные формы (в частности, бора и молибдена) активно перемещаются по флоэме к точкам роста и запасующим органам, включая корнеплоды [14; 15].

Регуляторы роста растений — это органические соединения, которые в малых концентрациях модулируют физиолого-биохимические процессы в растениях. Исследования показывают, что обработка Фуrolан, Цитодеф-100, Стимунол ЕФ увеличивает интенсивность фотосинтеза на 8,0–12,3 % по сравнению с необработанными посевами [16].

Несмотря на установленную исследованиями высокую потенциальную эффективность хелатных форм микроэлементов и регуляторов роста растений, а также понимание того, что их действие носит выраженный региональный и погодозависимый характер, в условиях лесостепи Среднего Поволжья (Пензенская область) отсутствуют системные данные о синергическом или антагонистическом влиянии совместного применения различных типов хелатных микроудобрений (моно- и поликомпонентных) и регуляторов роста разной химической природы на технологические показатели качества сахарной свеклы, в особенности на баланс накопления сахарозы и мелассообразующих веществ (K, Na, α -аминного азота). Также остается невыясненным, какое сочетание обеспечивает стабильный технологический эффект в контрастных по увлажнению условиях вегетации.

Цель исследований — установить закономерности и количественные оценки влияния некорневой обработки хелатными микроудобрениями в сочетании с регуляторами роста на формирование технологических качеств корнеплодов сахарной свеклы и выявить наиболее синергичные комбинации, обеспечивающие минимизацию мелассообразующих веществ при максимизации выхода сахара.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Условия проведения исследования

Испытания проведены в двухфакторном полевом опыте в условиях ООО «Красная Горка» Колышлейского района Пензенской области в России (52°33'43" с. ш., 44°31'09" в. д.). ООО «Красная Горка» является сельскохозяйственным предприятием, занимающимся выращиванием сахарной свеклы и зерновых культур. Почва — чернозем выщелоченный среднесуглинистый, пахотный слой которого характеризовался следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса — 5,49–5,65 % (по Тюрину в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26213–91); подвижных форм — азота 103–108 мг/кг (по Корнфилду), фосфора — 81–94, калия — 112–119 (по Чирикову) (ГОСТ 26204–91); рН_{KCl} 5,21–5,52 (потенциометрически, ГОСТ 26483–85); Нг — 4,8–5,1 мг-экв. (ГОСТ 26212–91); сумма поглощенных оснований 28,6–30,2 мг-экв/100 г почвы (ГОСТ 27821–88). Предшественник — озимая пшеница. Норма высева 120 тыс. шт/га. На все делянки опыта под культивацию были внесены минеральные удобрения ($N_{120}P_{120}K_{120}$ — рекомендованная доза для чернозема выщелоченного в почвенно-климатических условиях Пензенской области).

Объект исследований

В качестве объекта исследования выступал односемянный диплоидный гибрид сахарной свеклы на стерильной основе N-типа Скала селекции «СоюзСемСвекла». Технология возделывания сахарной свеклы на опытах не отличалась от зональной технологии. Погодные условия 2024 г. отличались недостаточным количеством выпавших за вегетацию осадков (115,0 мм) на фоне повышенных температур, что не позволило полностью реализовать потенциальные возможности гибрида сахарной свеклы. В мае среднесуточная температура

воздуха была на 2,57 °С ниже среднесезонной. Наиболее теплыми были июнь и июль (средняя температура воздуха 21,5–22,5 °С). В августе и сентябре среднесуточная температура была на уровне среднесезонных значений. Распределение осадков было неравномерным и дефицитным, за исключением августа. Наблюдались длительные засушливые периоды: в третьей декаде мая, первой и третьей декадах августа, а также полное отсутствие дождей в течение всего сентября. Основным объемом осадков был отмечен в августе (55 мм) и 32 мм в июле. В период вегетации 2025 г. количество осадков составило 190,3 мм, и выпадали они достаточно равномерно, а температура воздуха была на уровне среднесезонных значений, что положительно отразилось на формировании урожайности корнеплодов. Температурный режим был умеренно теплым. Среднесуточная температура воздуха в мае составила 14,9 °С, что соответствовало среднесезонным значениям. В июне температура была на 0,5 °С ниже климатической нормы, а в июле, наоборот, на 1,7 °С выше среднесезонных значений. В августе и сентябре температура воздуха была на уровне среднесезонных значений. Количество осадков в мае составило 18,5 мм, при этом более 70 % от общего количества пришлось на первую декаду. В июне было отмечено равномерное выпадение осадков по декадам, а общее количество за месяц было на 23 мм больше среднесезонных значений. За июль выпало 53 мм осадков, из которых 30 мм пришлось на первые десять суток. В августе выпало 48 мм осадков.

Схема исследования

Фактор А — Микроудобрение: 1. Контроль (без микроудобрения); 2. Микровит-7 Бор (В — 130 г/л, N — 50 г/л, Мо — 1 г/л) — 1,0 л/га; 3. Амицид «Бор» (N — 70 г/л; В — 150 г/л; Мо — 5 г/л; L-аминокислоты — 50 г/л; янтарная кислота — 10 г/л; гидроксикарбоновые кислоты — 40 г/л — 1,0 л/га; 4. Микровит Стандарт (N — 100,5 г/л; P — 1 г/л; K₂O — 26 г/л; SO₃ — 140 г/л; Mg — 30 г/л; Fe — 30 г/л; Mn — 25 г/л; В — 9 г/л; Zn — 8 г/л; Cu — 8 г/л; Мо — 5 г/л; Co — 1 г/л; органические энергетические кислоты — 173 г/л) — 2,0 л/га. Фактор В — Регулятор роста растений: 1. Контроль (без регулятора роста); 2. Фуrolан (2-(1,3-диоксоланил-2) фурана) — 3,4 мл/га; 3. Цитодеф-100 (N-(1,2,4-триазол-4-ил)-N-фенилмочевины) — 0,3 кг/га; 4. Стимунол ЕФ (L-аргинин +

+ L-пролин + L-лейцин) — 0,3 л/га. В контроле проведена обработка водой. Некорневую обработку проводили в фазе 3–4 пар настоящих листьев сахарной свеклы. Микроэлементы в удобрениях в разных соотношениях находятся в форме хелатов. Дозы микроудобрений и регуляторов роста растений взяты из рекомендаций производителя. Учетная площадь делянки — 54 м². Повторность — 4-кратная.

Методы анализа

В корнеплодах определяли: сахаристость — методом холодного водного дигерирования (ГОСТ Р 53036–2008), содержание калия и натрия — потенциометрически, α-аминного азота — фотометрически. Стандартные потери сахара при образовании мелассы рассчитывали по формуле Брауншвейгского университета. Содержание очищенного сахара вычисляли как разницу между сахаристостью и потерями сахара при экстракции.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Главным критерием качества сахарной свеклы является содержание сахара в корнеплодах. В результате технологической оценки корнеплодов выявлено, что на содержание сахарозы влияли как экспериментальные микроудобрения и регуляторы роста, так и гидротермические условия вегетации. В условиях более засушливого лета и неравномерного выпадения осадков в 2024 г. получены корнеплоды с большим содержанием сахарозы, а при ГТК 0,82–1,72 за вегетацию 2025 г. получена большая урожайность, но сформировались корнеплоды с меньшей сахаристостью (таблица 1). По результатам двухлетних исследований (2024–2025 гг.) установлено, что применение микроудобрений и регуляторов роста оказывало неоднозначное влияние на сахаристость корнеплодов сахарной свеклы, при этом выявлен сильный лимитирующий фактор погодных условий второго года исследований (2025 г.), вызвавший снижение содержания сахара по всем вариантам в среднем на 3,5–4,5 % по сравнению с 2024 г.

Таблица 1

Сахаристость корнеплодов сахарной свеклы, %

Table 1

Sugar content in sugar beet roots, %

Микроудобрение (фактор А)	Регулятор роста растений (фактор В)	2024 г.	2025 г.	Среднее за 2024–2025 гг.
Контроль (без микроудобрения)	Контроль (без регулятора роста)	19,28	15,19	17,24
	Фуrolан	19,54	15,24	17,39
	Цитодеф-100	19,31	15,44	17,38
	Сtimмунол ЕФ	19,26	15,16	17,21
Микровит-7 Бор	Контроль (без регулятора роста)	19,25	14,58	16,92
	Фуrolан	19,29	14,91	17,10
	Цитодеф-100	19,86	14,45	17,16
	Сtimмунол ЕФ	19,57	14,39	16,98
Амицид «Бор»	Контроль (без регулятора роста)	20,04	15,37	17,70
	Фуrolан	20,31	15,44	17,88
	Цитодеф-100	20,01	15,36	17,68
	Сtimмунол ЕФ	19,84	15,17	17,50
Микровит стандарт	Контроль (без регулятора роста)	19,07	14,54	16,80
	Фуrolан	19,76	15,35	17,56
	Цитодеф-100	19,95	14,87	17,41
	Сtimмунол ЕФ	20,11	15,75	17,93
HCP ₀₅ А		0,25	0,19	—
HCP ₀₅ В и АВ		0,25	0,19	—
HCP ₀₅ частных различий		0,49	0,38	—

Наиболее стабильное и статистически значимое повышение сахаристости относительно контроля (17,24 %) обеспечило применение Амицид «Бор» (средняя 17,69 %). Варианты с «Микровит-7 Бор» и «Микровит стандарт» в среднем по фактору А не превысили контрольный уровень или уступали ему, что указывает на возможный антагонизм компонентов или несбалансированность состава на фоне стрессовых условий. В 2024 г. достоверное превышение контроля отмечено в варианте Амицид «Бор» + Фуrolан (20,31 %) и Амицид «Бор» без регулятора (20,04 %). В 2025 г. только вариант Микровит стандарт + Стимунол ЕФ (15,75 %) значимо превысил контроль по году (15,19 %), что подтверждает стабилизирующую роль этой комбинации в стрессовых условиях.

В среднем за два года наибольший прирост сахаристости относительно контроля без регулятора (17,16 %) обеспечивало внесение Стимунол ЕФ (17,40 %), однако эта разница находилась на границе статистической значимости. Препараты Фуrolан и Цитодеф-100 показали близкие однонаправленные тренды, но их действие сильно варьировало по годам.

Наибольшее значение сахаристости корнеплодов было отмечено при совместном применении Микровит стандарт + Стимунол ЕФ (17,93 %), что превысило контроль на 0,69 % и оказалось выше НСР₀₅ частных различий (0,49). Это свидетельствует о синергизме данной комбинации за счет оптимизации борного

питания и стимуляции метаболизма углеводов. Внесение микроудобрений без учета регуляторов роста неэффективно, а в случае с Микровитом-7 Бор приводит к достоверному снижению сахаристости (16,92 % против 17,24 % в контроле). Наибольший агрономический и статистический эффект достигается только при совместном применении «микроудобрение — регулятор роста», где выделена комбинация Микровит стандарт + Стимунол ЕФ.

Установлено, что комбинация микроудобрений и регуляторов роста достоверно повышала биологический сбор сахара. На контроле (без обработок) средний сбор составил 9,18 т/га. Обработка регуляторами без микроудобрений увеличивала показатель на 6,2 %. При совместном внесении Микровит-7 Бор с Фуrolаном сбор сахара составил 10,25 т/га, а Амицид «Бор» с Фуrolаном — 10,83 т/га. Наибольшее значение биологического сбора сахара были отмечены при обработке посевов сахарной свеклы Микровит Стандарт + Стимунол ЕФ, который составил 11,13 т/га, что на 21,2 % выше контроля (9,18 т/га). Увеличение выхода сахара из корнеплодов наряду с повышением их сахаристости возможно путем снижения содержания мелассобразующих веществ. Наиболее низкое содержание калия обеспечивало применение Микровит-7 Бор в сочетании с Фуrolаном, что ниже контроля на 0,43 ммоль/100 г. Обработка только Амицид «Бор» способствовала значительному росту концентрации K⁺ до 4,45 ммоль/100 г (таблица 2).

Таблица 2
Влияние приемов возделывания на содержание несахаристых веществ в корнеплодах сахарной свеклы, среднее за 2024–2025 гг.

Table 2
Effect of cultivation technologies on non-sugar content in sugar beet roots, average for 2024–2025

Микроудобрение (фактор А)	Регулятор роста растений (фактор В)	Содержание, ммоль/100 г свеклы		
		K+	Na+	α-аминоазот
Контроль (без микроудобрения)	Контроль (без регулятора роста)	3,47	0,71	0,72
	Фуrolан	3,67	0,66	1,30
	Цитодеф-100	3,47	0,63	1,31
	Стимунол ЕФ	3,29	0,76	1,11
Микровит-7 Бор	Контроль (без регулятора роста)	3,24	0,79	1,14
	Фуrolан	3,03	0,80	1,11
	Цитодеф-100	3,83	0,82	1,30
	Стимунол ЕФ	3,61	0,94	1,40

Продолжение

Микроудобрение (фактор А)	Регулятор роста растений (фактор В)	Содержание, ммоль/100 г свеклы		
		К+	Na+	α-аминоазот
Амицид «Бор»	Контроль (без регулятора роста)	4,45	0,67	1,98
	Фуrolан	4,14	0,46	2,19
	Цитодеф-100	3,86	0,65	1,98
	Стиmmунол ЕФ	3,44	0,84	1,53
Микровит стандарт	Контроль (без регулятора роста)	4,11	0,69	1,37
	Фуrolан	3,63	0,64	1,43
	Цитодеф-100	3,59	0,65	1,39
	Стиmmунол ЕФ	3,13	0,57	1,33
HCP ₀₅ А		0,05–0,08	0,01–0,02	0,02–0,03
HCP ₀₅ В и АВ		0,05–0,08	0,01–0,02	0,02–0,03
HCP ₀₅ частных различий		0,10–0,17	0,02–0,04	0,05–0,06

Содержание натрия в корнеплодах изменялось в пределах от 0,46 ммоль/100 г свеклы в варианте Амицид «Бор» + Фуrolан, до 0,94 ммоль/100 г свеклы в варианте Микровит-7 Бор + Стиmmунол ЕФ. В то же время при применении Амицид «Бор», но с регулятором Стиmmунол ЕФ содержание натрия, напротив, повышалось. Следовательно, эффект регуляторов роста не является односторонним и сильно зависит от фона микроэлементного питания. Наибольшее технологическое преимущество по фактору снижения Na⁺ отмечено при совместном применении Амицид «Бор» + Фуrolан. Содержание α-аминоазота оказалось максимальным именно в вариантах с Амицид «Бор»: от 1,53 до 2,19 ммоль/100 г, что в 2,1–3,0 раза выше, чем на контроле. Наименьшее содержание α-аминоазота было отмечено при применении только регулятора роста Стиmmунол ЕФ и совместной обработке Микровит-7 Бор + Фуrolан, что соответствовало 1,11 ммоль/100 г. Технологически ценным является сочетание низкого содержания всех трех мелассообразователей, и этому критерию наиболее полно удовлетворяет вариант Микровит-7 Бор + Фуrolан.

Проведенные исследования выявили разнонаправленное действие изучаемых агроприемов на технологическое качество корнеплодов сахарной свеклы. Установлено, что применение Амицид «Бор» независимо от регулятора роста приводит

к статистически значимому накоплению α-аминоазота и калия, ухудшающих выход сахара, а Микровит-7 Бор, особенно в сочетании с Фуrolаном, способствует формированию наиболее сбалансированного биохимического состава корнеплодов с минимальным содержанием мелассообразующих веществ.

Потери сахара в мелассе являются интегральным показателем технологического качества сырья: чем они ниже, тем эффективнее переработка. Минимальное значение зафиксировано в варианте Микровит-7 Бор + Фуrolан и составило 1,21 %, что ниже контроля на 0,15 %. Максимальные потери в мелассе были отмечены в вариантах с Амицид «Бор»: контроль без регулятора роста — 1,57 %, с Фуrolаном — 1,55 %, что связано с высоким содержанием α-аминоазота и калия, установленным ранее (таблица 3).

Прогнозируемый выход сахара в тоннах с гектара является конечным хозяйственно значимым показателем. Абсолютный максимум был получен в варианте Микровит Стандарт + Стиmmунол ЕФ и составил 10,33 т/га, что на 22,4 % выше контроля. Близкие значения были отмечены при совместном применении Микровит Стандарт + Фуrolан (10,03 т/га) и Микровит стандарт + Цитодеф-100 (10,01 т/га), что подтверждает высокую эффективность микроудобрения «Микровит Стандарт».

Таблица 3
Влияние приемов возделывания на прогнозируемый выход сахара, среднее за 2024–2025 гг.

Table 3
Effect of cultivation technologies on promising sugar yield, average for 2024–2025

Микроудобрение (фактор А)	Регулятор роста растений (фактор В)	Потери сахара в мелассе, %	Прогнозируемый выход сахара	
			%	т/га
Контроль (без микроудобрения)	Контроль (без регулятора роста)	1,36	15,88	8,44
	Фуrolан	1,32	16,08	8,81
	Цитодеф-100	1,29	16,10	9,01
	Сtimмунол ЕФ	1,23	15,98	9,02
Микровит-7 Бор	Контроль (без регулятора роста)	1,24	15,69	9,09
	Фуrolан	1,21	15,92	9,51
	Цитодеф-100	1,35	15,81	9,34
	Сtimмунол ЕФ	1,36	15,63	9,33
Амицид «Бор»	Контроль (без регулятора роста)	1,57	16,15	9,44
	Фуrolан	1,55	16,36	9,87
	Цитодеф-100	1,49	16,19	9,72
	Сtimмунол ЕФ	1,36	16,14	9,65
Микровит Стандарт	Контроль (без регулятора роста)	1,38	15,43	9,26
	Фуrolан	1,33	16,23	10,03
	Цитодеф-100	1,32	16,08	10,01
	Сtimмунол ЕФ	1,24	16,69	10,33

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате двухлетних полевых исследований установлено, что применение микроудобрений и регуляторов роста оказывает разнонаправленное влияние на технологические качества корнеплодов сахарной свеклы. Наибольший прогнозируемый сбор сахара (т/га) был получен при сочетании Микровит Стандарта и регулятора роста Сtimмунол ЕФ. Максимальная сахаристость отмечена на вариантах с Амицид «Бор», однако он же сопровождался повышенным накоплением α-аминоазота и калия, что увеличивало потери сахара в мелассе. Наименьшие технологические потери сахара зафиксированы на варианте Микровит-7 Бор + Фуrolан, однако он уступал по абсолютному сбору сахара. Контрольный вариант без обработок ожидаемо показал наихудшие результаты по большинству показателей.

Полученные результаты подтверждают положение, согласно которому хелатная форма микроэлементов обеспечивает более высокую сахаристость кор-

неплодов по сравнению с неорганическими солями. Согласно проведенным ранее исследованиям [17], некорневая обработка микроэlementными удобрениями способствует повышению сахаристости корнеплода на 0,62–1,72 абс. % в зависимости от генотипа гибрида. Авторы также отмечают, что наиболее перспективной является некорневая обработка борсодержащим удобрением, способствующая повышению биологического сбора сахара на 19,2–23,2 %. В проведенных исследованиях максимальные значения сахаристости и прогнозируемого выхода сахара были достигнуты на вариантах с хелатными формами (Амицид «Бор», Микровит Стандарт), что согласуется с литературными данными. О. А. Минакова и др. [18] в исследованиях на черноземных почвах ЦЧР установили, что применение Микровита совместно с Органо-Бором на фоне основного внесения N₅₀P₅₀K₅₀ обеспечивает прибавку урожайности корнеплодов до 9,8 т/га, подтверждая высокую эффективность комплексного применения микроудобрений на фоне сбалансированного макроэlementного питания.

Согласно данным А. Рахими и др. [19], содержание калия, натрия и α -аминоазота в корнеплодах сахарной свеклы изменяется в широких пределах в зависимости от обеспеченности микроэлементами, при этом доля кристаллического сахара может составлять 77,72–79,59 %. В наших исследованиях прогнозируемый выход сахара в процентах варьировал от 15,43 до 16,69 %, что соответствует доле кристаллического сахара около 88–92 % от валовой сахаристости. Расхождения могут объясняться различиями в почвенно-климатических условиях и генотипах исследуемых гибридов.

В наших предыдущих исследованиях [17] применение борсодержащих удобрений сопровождалось увеличением содержания калия в корнеплодах, но снижало содержание натрия и α -аминоазота. В нашем опыте на фоне Амицид «Бор» также отмечено повышение калия (до 4,45 ммоль/100 г) и снижение натрия (минимально 0,46 ммоль/100 г на варианте с Фуроланом), однако α -аминоазот, вопреки ожиданиям, возростал (до 2,19 ммоль/100 г). Это расхождение может быть связано с тем, что в состав Амицид «Бор» входят L-аминокислоты и янтарная кислота, которые сами могут служить предшественниками α -аминоазота или изменять направленность азотного метаболизма. По данным производителя, Амицид «Бор» содержит 150 г/л бора в органической форме, а также 50 г/л L-аминокислот и 10 г/л янтарной кислоты. Аминокислотная составляющая, с одной стороны, повышает проникающую способность компонентов баковой смеси и проявляет антистрессовый эффект, но с другой — может увеличивать пул свободных аминокислот в тканях корнеплода, что мы и наблюдали в виде повышенного содержания α -аминоазота.

С. Гейдарзаде и др. [20] в исследованиях на сахарной свекле показали, что некорневое применение микроэлементов (Mn, Zn, B) способствует снижению содержания Na и аминоказота в корнеплодах, что улучшает количественные и качественные показатели. В наших исследованиях максимальный выход сахара (т/га) достигнут при сочетании Микровит Стандарт и Стимунол ЕФ. Этот регулятор роста обеспечил наилучшие результаты именно на фоне хелатного микроудобрения, что указывает на синергетический эффект комбинации. В работе [21] было установлено, что влияние фолиарных препаратов на урожайность и качество сахарной свеклы высокодостоверно зависит от погодных условий: в год с достаточным увлажнением препараты значительно увеличивали урожайность и саха-

ристость, снижая содержание мелассообразующих веществ. Наши данные подтверждают этот вывод: в менее благоприятном 2025 г. эффективность обработок оказалась ниже, однако вариант Микровит Стандарт + Стимунол ЕФ сохранил преимущество, что свидетельствует об адаптогенном эффекте данной комбинации.

Сравнивая эффективность различных форм бора, следует отметить, что Микровит Стандарт, содержащий комплекс EDTA-хелатированных микроэлементов с высоким содержанием бора (6 %), обеспечил максимальный выход сахара (10,33 т/га) в сочетании со Стимунол ЕФ. Этот факт согласуется с данными производителя о том, что полная хелатация микроэлементов обеспечивает их быструю доступность растениям и способствует высокому содержанию сахара при снижении α -аминоазота в корнях. Особого внимания заслуживает влияние изучаемых приемов на содержание α -аминоазота — одного из главных мелассообразующих веществ. Высокое качество сахарной свеклы характеризуется не только количеством сахарозы, но и низким содержанием α -аминоазота, калия и натрия, поскольку эти вещества не удаляются в ходе очистки сока и увеличивают количество сахара в мелассе. В своих предыдущих исследованиях [17] мы отмечали, что увеличение выхода сахара из корнеплодов, наряду с повышением их сахаристости, возможно путем снижения содержания мелассообразующих веществ. В нашем опыте наименьшие потери сахара в мелассе (1,21 %) зафиксированы в варианте Микровит-7 Бор + Фуролан, что коррелирует с умеренным содержанием калия и α -аминоазота в этом варианте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты в целом согласуются с основными положениями о преимуществе хелатных форм микроэлементов и положительной роли регуляторов роста. Однако по результатам проведенных исследований выявлено важное уточнение: максимальная сахаристость не гарантирует максимального выхода сахара с гектара из-за возможного ухудшения несахаристого комплекса. Наиболее эффективной в условиях опыта была обработка Микровит Стандарт + Стимунол ЕФ, которая обеспечивала наилучший баланс между сахаристостью и потерями в мелассе. Данный вывод расширяет и дополняет рекомендации, имеющиеся в литературе, и может служить основой для корректировки

региональных систем удобрения сахарной свеклы. Результаты исследований имеют непосредственное практическое значение для сельскохозяйственных предприятий, возделывающих сахарную свеклу, а также для перерабатывающих заводов. На основании комплексной оценки сахаристости, содер-

жания несахаристых веществ, потерь сахара в мелассе и прогнозируемого выхода сахара с единицы площади установлено, что для производственных условий наиболее эффективной является технология совместного применения Микровит Стандарт и регулятора роста Стимунол ЕФ.

Вклад авторов

Е. В. Жеряков: проведение исследования, написание черновика рукописи.

С. А. Семина: научное руководство, написание рукописи — рецензирование и редактирование.

И. С. Жеряков: проведение исследования, написание черновика рукописи.

Contributions

E. V. Zheryakov: investigation, writing-original draft.

S. A. Semina: supervision, writing-review & editing.

I. S. Zheryakov: investigation, writing-original draft.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chen S., Zhang C., Liu J. et al. Current status and prospects of the global sugar beet industry. *Sugar Tech.* 2024;26:1199-1207. <https://doi.org/10.1007/s12355-024-01508-8>
2. Mall A.K., Srivastava S., Mulet J. M. et al. Sugar beet special issue: biotechnology and breeding techniques for stress-resistant sugar beet. *Sugar Tech.* 2024;26:1195-1198. <https://doi.org/10.1007/s12355-024-01501-1>
3. Jan-Peter Nap, Frank J. de Ruijter, Daan S. van Es et al. The case of sugar beet in Europe: a review of the challenges for a traditional food crop on the verge of climate change and circular agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research.* 2025;24:102343.
4. Голобоков С.В., Чукарева М.М., Медведева С.Н. и др. Влияние затрат энергии на экономические показатели сахарного комбината. *Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : сборник материалов Международной научно-практической конференции.* Саранск : Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, 2019;144-151.
Golobokov S.V., Chukareva M.M., Medvedeva S.N. et al. Influence of energy costs on the economic indicators of a sugar refinery. *Energy-Efficient and Resource-Saving Technologies and Systems : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference.* Saransk : Ogarev Mordovia State University; 2019:144-151. (In Russ.)
5. Семина С.А., Жеряков Е.В., Жерякова Ю.И. Динамика содержания макроэлементов в растениях сахарной свеклы при применении микроудобрений. *Аграрный вестник Урала.* 2021;1(204):21-29. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-204-01-21-29>
Semina S.A., Zheryakov E.V., Zheryakova Yu.I. Dynamics of the macronutrients content in sugar beet plants under the application of microfertilizers. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2020;1(204):21-29. (In Russ.) <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-204-01-21-29>
6. Аристархов А.Н., Яковлева Т.А. Агрохимическая и агроэкономическая эффективность применения борных удобрений разными способами под сахарную свеклу (*Beta vulgaris* L. var. *sacharifera* alef.). *Агрохимия.* 2019;(2):21-36. <https://doi.org/10.1134/S0002188119020030>
Aristarkhov A.N., Yakovleva T.A. Agrochemical and agro-economic efficiency of application of boron fertilizers in different ways for sugar beet (*Beta vulgaris* L. var. *sacharifera* alef.). *Agrokhimiya.* 2019;(2):21-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0002188119020030>
7. Ёрова Б.С., Бекова Г.М. Роль микроэлементов в жизни растений. *Вестник науки.* 2024;(2(71)):693-697.
Erova B.S., Bekova G.M. Role of trace elements in plant life: author's research. *Vestnik Nauki (Herald of Science).* 2024;(2(71)):693-697. (In Russ.)
8. Минакова О.А., Косякин П.А., Александрова Л.В. Удобрение сахарной свеклы в центрально-черноземном районе РФ. *Агрохимия.* 2022;(1):10-20. <https://doi.org/10.31857/S0002188122010082>

- Minakova O.A., Kosyakin P.A., Alexandrova L.V. Sugar beet fertilizing in the central black-earth region. *Agricultural Chemistry*. 2022;(1):10-20. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0002188122010082>
9. Уткин А.А. Системы удобрения сахарной свеклы. *Сахар*. 2024;(1):20-28. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2024-1-20-28>
- Utkin A.A. Fertilizer systems for sugar beet. *Sugar*. 2024;(1):20-28. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2024-1-20-28>
10. Лицуков С.Д., Акинчин А.В., Трофимова Е.А. Влияние микроудобрений на урожай и качество сахарной свеклы в условиях юго-западной части ЦЧР. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2014;(9):40-42.
- Litsukov S.D., Akinchin A.V., Trofimova E.A. Influence of micronutrient fertilizers on the yield and quality of sugar beet in the southwestern part of the Central Chernozem Region. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2014;(9):40-42. (In Russ.)
11. Подрезов П.И., Мязин Н.Г., Кожокина А.Н. Влияние многолетнего внесения удобрений на урожайность и качество урожая сахарной свеклы, выращиваемой на черноземе типичном. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2021; (14, 4(71)): 49-57. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_4_49
- Podrezov P.I., Myazin N.G., Kozhokina A.N. Long-term application of fertilizers and its impact on crop productivity and quality of yield of sugar beet cultivated on typical chernozem. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2021;14(4):49-57. (In Russ.) https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_4_49
12. Märlander B., Lange T., Wulkow A. Dispersal principles of sugar beet from seed to sugar with particular relation to genetically modified varieties. *Journal für Kulturpflanzen*. 2011;(63,11):349-373.
13. Füllgrabe H., Claassen N., Hilmer R. et al. Potassium deficiency reduces sugar yield in sugar beet through decreased growth of young plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2022;(185,5):545-553. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200064>
14. Ducatti R.D.B., Tironi S.P. Enhancing the efficiency and sustainability of foliar fertilization in agriculture. *Agronomy Science and Biotechnology*. 2024;(10):1-21.
15. Putilina L.N., Kosyakin P.A., Minakova O.A. et al. Efficiency of foliar fertilization in crops of modern sugar beet hybrids under various soil methods. *Russian Agricultural Sciences*. 2022;(48): 482-491.
16. Жеряков И.С., Семина С.А., Жеряков Е.В. и др. Влияние оптимизации условий выращивания на фотосинтетическую деятельность посевов и продуктивность сахарной свеклы. *Нива Поволжья*. 2025;(3(75)):1015. <https://doi.org/10.36461/NP.2025.75.3.026>
- Zheryakov I.S., Semina S.A., Zheryakov E.V. et al. Impact of cultivation conditions on photosynthetic activity and yield of sugar beet crops. *Niva Povolzhya*. 2025;(3(75)):1015. (In Russ.) <https://doi.org/10.36461/NP.2025.75.3.026>
17. Жеряков Е.В., Семина С.А., Жерякова Ю.И. Роль микроэлементных удобрений в повышении технологических качеств сахарной свеклы. *Сахар*. 2023;(5):34-38. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2023-5-34-38>
- Zheryakov E.V., Semina S.A., Zheryakova Yu.I. The role of micronutrient fertilizers in improving the technological quality of sugar beet. *Sugar*. 2023;(5):34-38. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2023-5-34-38>
18. Минакова О.А., Тамбовцева Л.В., Александрова Л.В. Сравнительная эффективность применения удобрений в период вегетации сахарной свеклы. *Земледелие*. 2016;(1):25-28.
- Minakova O.A., Tambovtseva L.V., Alexandrova L.V. Comparative efficiency of fertilizer application during sugar beet vegetation. *Zemledelie*. 2016;(1):25-28.19. (In Russ.)
19. Rahimi A., Arslan N., Esmazad S. Effect of Micronutrients (Fe, Zn, B and Mn) on Quality Criteria of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). *Biotech Studies*. 2016;(25):071-076. <http://doi.org/10.21566/tarbitderg.281853>
20. Heydarzadeh S., Gitari H., Rahimi A. et al. Yield and Quality Traits of Field-grown Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) in Response to Foliar Application of Micronutrients and Different Levels of Manure. *International Journal of Bioresource Science*. 2021;(08(02)):103-112.
21. Fecková J., Pačuta V., Černý I. Effect of foliar preparations and variety on sugar beet yield and quality. *Journal of Central European Agriculture*. 2005;(3):295-308.

Сведения об авторах

Жеряков Евгений Викторович —

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
кафедры растениеводства и лесного хозяйства,
Пензенский государственный аграрный университет,
Пенза, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-1288-6323>

SPIN-код: 7261-0379

zheryakov.e.v@pgau.ru

Семина Светлана Александровна —

доктор сельскохозяйственных наук, профессор
кафедры переработки сельскохозяйственной
продукции, Пензенский государственный
аграрный университет, Пенза, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-7015-8175>

SPIN-код: 3607-1613

semina.s.a@pgau.ru

Жеряков Игорь Сергеевич —

аспирант, Пензенский государственный аграрный
университет, Пенза, Россия

<https://orcid.org/0009-0000-5734-9463>

hikapik2525@mail.ru

About the authors

Evgeny V. Zheryakov —

Cand. Sci. (Agric.), Assoc. Prof., Department
of Crop Production and Forestry, Penza State
Agrarian University, Penza, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-1288-6323>

zheryakov.e.v@pgau.ru

Svetlana A. Semina —

Dr. Sci. (Agric.), Prof., Department of Processing
of Agricultural Products, Penza State Agrarian
University, Penza, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-7015-8175>

semina.s.a@pgau.ru

Igor S. Zheryakov —

Postgraduate student, Penza State Agrarian
University, Penza, Russia

<https://orcid.org/0009-0000-5734-9463>

hikapik2525@mail.ru