

## Использование кремнийсодержащих удобрений как биостимуляторов при возделывании сахарной свеклы

Е. В. Жеряков<sup>✉</sup>, С. А. Семина

Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

<sup>✉</sup>E-mail: zheryakov.e.v@pgau.ru

**Аннотация.** Цель исследований – оценка фитотоксичности современных гербицидов для растений сахарной свеклы, применяемых совместно с удобрениями, содержащими кремний. **Методы.** Исследования проводили в условиях полевого опыта, заложенного в 4-кратной повторности в 2022–2023 гг. Фотосинтетические пигменты в листьях определяли по оптической плотности в вытяжке 96-процентным этанолом. Анализировали влияние гербицидов и биостимуляторов на формирование массы растений, а также содержание хлорофилла в листьях и урожайность сахарной свеклы различных гибридов. **Результаты.** Установлено, что совместное применение кремнийсодержащих удобрений «Микровит-6 Кремний», «Келик Калий+Кремний» и гербицидов способствовало увеличению массы одного растения сахарной свеклы после трех гербицидных обработок на 13–17 % в зависимости от гибрида по сравнению с вариантом, где проводилась обработка только гербицидами, а фитотоксичность пестицидов не превысила 2,0–2,5 %. Формирование продуктивности сахарной свеклы зависело от токсикологической нагрузки на растения культуры. При совместном применении с гербицидами «Микровит-6 Кремний» и «Келик Калий+Кремний» общее содержание зеленого пигмента было на 49–74 % больше, чем в растениях, испытывавших стресс от воздействия гербицидов, а хлорофилла *a* возрастало в 3,1–4,5 раза. Наибольшей устойчивостью к ингибированию процессов фотосинтеза отличались гибриды отечественной селекции F1 Волна и F1 Скала. **Научная новизна** работы заключается в том, что впервые в условиях Среднего Поволжья на черноземе выщелоченном определены наиболее перспективные для снижения гербицидного стресса растений сахарной свеклы кремнийсодержащие удобрения, способствующие улучшению процесса фотосинтеза за счет увеличения концентрации хлорофилла, большему среднесуточному приросту биомассы и увеличению урожайности корнеплодов, а также выделены гибриды отечественной селекции, наиболее стрессоустойчивые к негативному воздействию гербицидов.

**Ключевые слова:** сахарная свекла, гибриды, гербициды, кремнийсодержащие удобрения, фитотоксичность, урожайность

**Для цитирования:** Жеряков Е. В., Семина С. А. Использование кремнийсодержащих удобрений как биостимуляторов при возделывании сахарной свеклы // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 08. С. 970–980. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-08-970-980>.

**Дата поступления статьи:** 28.01.2024, **дата рецензирования:** 26.04.2024, **дата принятия:** 22.05.2024.

## Use of silicon-containing fertilizers as biostimulants when cultivating sugar beets

E. V. Zheryakov<sup>✉</sup>, S. A. Semina

Penza State Agrarian University, Penza, Russia

<sup>✉</sup>E-mail: zheryakov.e.v@pgau.ru

**Abstract.** The current article is aimed at assessing the resistance of sugar beet plants of various hybrids to the phytotoxic effects of herbicides used both in pure form and in combination with silicon-containing ones. **Methods.** The research was carried out under the conditions of a field experiment, based on 4 repetitions in 2022–2023. Photosynthetic pigments in leaves were determined by optical density in an extract with 96 % ethanol. The influence of herbicides and biostimulants on the formation of plant mass, as well as the chlorophyll content in the leaves and the sugar beets yield of various hybrids were analyzed. **Results.** It was identified that the combined use of silicon-containing fertilizers “Mikrovit-6 Kremnyi”, “Kelik Kaliy+Kremnyi” in combination with herbicides contributed to an increase in the weight of one sugar beet plant after three herbicide treatments by 13–17 % depending on the hybrid compared to the option where only herbicides were treated, and the phytotoxicity of pesticides did not exceed 2.0–2.5 %. The sugar beet productivity depended on the toxicological load on the crop plants. In combination with the herbicides Mikrovit-6 Silicon and Kelik Potassium+Silicon, the total content of green pigment was 49–74 % higher than in plants stressed by herbicides, and chlorophyll *a* increased by 3.1–4.5 times. The domestic selection hybrids F1 Volna and F1 Skala were the most resistant to inhibition of photosynthesis processes. **The scientific novelty** of the current research lies in the fact that for the first time in the conditions of the Middle Volga region on leached chernozem, the most efficient silicon-containing fertilizers for reducing herbicidal stress of sugar beet plants have been identified. The identified results also contribute to the improvement of the photosynthesis process by increasing the concentration of chlorophyll, a greater average daily increase in biomass and an increase in the yield of sugar beet plants, as well as hybrids of domestic selection that are more stress-resistant to the negative effects of herbicides.

**Keywords:** sugar beet, hybrids, herbicides, silicon-containing fertilizers, phytotoxicity, productivity

**For citation:** Zheryakov E. V., Semina S. A. Use of silicon-containing fertilizers as biostimulants when cultivating sugar beets. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (08): 970–980. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-08-970-980>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 28.01.2024, **date of review:** 26.04.2024, **date of acceptance:** 22.05.2024.

### Постановка проблемы (Introduction)

Сахарная свекла в Российской Федерации является одной из основных экономически важных сельскохозяйственных культур. Корнеплоды сахарной свеклы богаты углеводами, они являются источником производства сахара. Несмотря на то что в настоящее время Россия занимает первое место в мире по площади посевов сахарной свеклы, доля семян отечественных гибридов данной культуры, используемых сельхозтоваропроизводителями, составляет менее 3 % [1].

Основными причинами вытеснения российских семян с рынка являются высокий биологический потенциал гибридов иностранной селекции, их более совершенная предпосевная подготовка к севу и лучшая пригодность растений к уборке зарубежными комбайнами. Однако экономический анализ и широкая производственная проверка подтвердили, что гибриды иностранной селекции дороже отечественных и уступают им по способности к хране-

нию, цитоплазматическим свойствам, устойчивости к корневым и кагатным гнилям, по фитопатологическим и технологическим показателям [2; 3]. Конкурентоспособность отечественных гибридов зависит от возможности практической реализации заложенного в них генетического потенциала. Одним из факторов повышения продуктивности свекловичных плантаций должно быть увеличение производства семян отечественных гибридов, адаптированных к почвенно-климатическим условиям российских свеклосеющих регионов, что позволит также достигнуть задачи импортозамещения.

В современной системе выращивания сахарной свеклы по интенсивной технологии важное место занимает защита посевов от сорняков с помощью гербицидов. За последние годы наметилась тенденция увеличения засоренности посевов всех культур, в том числе и сахарной свеклы, явившаяся следствием введения в севооборот залежных земель, нарушения агротехники возделывания, в первую

очередь несоблюдения севооборотов и системы обработки почвы. Произошло значительное увеличение численности многолетних и трудноистребимых однолетних сорных растений [4].

Засоренность посевов часто носит сложный характер. В агроценозе сахарной свеклы присутствуют около 60 видов сорных растений, которые относятся к различным биологическим группам: однолетние и многолетние однодольные, однолетние и многолетние двудольные. С момента появления всходов и до смыкания рядков культура слабо конкурирует с сорняками [5]. Ведущая роль в уничтожении сорняков в посевах сахарной свеклы принадлежит гербицидам, подбор которых должен осуществляться с учетом их видового состава и численности [6; 7]. При обработке гербицидами сахарной свеклы большое внимание уделяют двудольным сорнякам [8; 9]. В настоящее время нет ни одного селективного гербицида для сахарной свеклы, который мог бы надежно защитить посевы от всего спектра двудольных сорняков, поэтому для достижения желаемого результата применяют различные гербицидные смеси. Несмотря на избирательность, растения сахарной свеклы испытывают стресс от применения гербицидов, а при вынужденном повышении концентрации – угнетение [10; 11].

Последствия стресса на биохимическом и физиологическом уровнях проявляются в изменении баланса фитогормонов, а также подавлении фотосинтетических процессов, что в целом приводит к изменению физиологического состояния растений и проявлению симптомов страдания. После такой резкой внутренней перестройки растений наступает фаза адаптации, в которой организм перестраивает свой биохимизм для преодоления стрессового состояния и возвращения гомеостаза [12].

Устойчивость растений к повреждающему действию пестицидов зависит от анатомо-морфологических и физиологических особенностей вида, условий произрастания, типа почвы. Нарастание массы корнеплода зависит от функциональной активности листьев и сформированности листового аппарата. Поэтому адаптация растений сахарной свеклы к воздействию гербицидов посредством активации роста листового аппарата (количество, масса и площадь листьев) может протекать в диспропорции с нарастанием корнеплода. При уборке посевов с химической прополкой сорняков нередко отмечается недобор урожая корнеплодов у растений с хорошо сформированным листовым аппаратом вследствие незавершенной биологической спелости сахарной свеклы [13].

За последнее десятилетие значительно возросло использование различных видов биостимуляторов роста растений, которые способны улучшать рост и продуктивность растений, качество урожая, устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам.

Многочисленные современные исследования свидетельствуют, что активные формы кремния положительно влияют на рост растений и устойчивость к стрессам различной природы.

Известно несколько кремний-опосредованных механизмов, обеспечивающих защиту растений в условиях стресса:

1) механическая защита благодаря аккумуляции кремния в эпидермальных тканях и образованию двойного кремний-эпидермального слоя, препятствующего атакам насекомых, вредителей и развитию грибковых заболеваний;

2) физиологическая защита за счет улучшения развития корневой системы и усиления фотосинтеза;

3) защита посредством химического взаимодействия между монокремниевой кислотой и токсичными соединениями в тканях растений;

4) транспорта микро- и макроэлементов [14; 15].

В связи с этим несомненный интерес представляет применение кремнийсодержащих удобрений, которые помогают индуцировать иммунитет растений и повышают способность противостоять неблагоприятным факторам внешней среды.

Цель исследований – оценка фитотоксичности современных гербицидов для растений сахарной свеклы, применяемых совместно с удобрениями, содержащими кремний.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Полевые исследования проводились в 2022–2023 гг. в условиях полевого опыта в ООО «Красная горка» Колышлейского района Пензенской области на типичной почве Среднего Поволжья – черноземе выщелоченном среднемоющем среднесуглинистом.

Для решения поставленных задач был проведен двухфакторный полевой опыт, заложенный по схеме: фактор А – гибрид: 1 – F1 Кайман; 2 – F1 Бриз; 3 – F1 Буря; 4 – F1 Волна; 5 – F1 Скала; фактор В – кремнийсодержащее удобрение: 1 – контроль (ручная прополка + обработка водой); 2 – «Эталон» (гербициды избирательного действия; баковая смесь составлялась с учетом количества сорняков, их фазы развития, а также видового состава); 3 – «Эталон» + «Микровит-6 Кремний» (микроудобрение с содержанием микроэлементов Mn, Zn, Cu, Mo на основе ОЭДФ (оксизетилендифосфоновой кислоты) и кремния (13 %) – 1,0 л/га; 4 – «Эталон» + «Келик Калий+Кремний» (удобрение с иммунопротекторными свойствами, содержащее калий (15 %) и кремний (10 %) в хелатной форме) – 1,5 л/га; 5 – «Эталон» + «Силиплант универсальный» (микроудобрение жидкое с содержанием K<sub>2</sub>O не менее 1,0 %; Si – не менее 7,0 %; Mg – не менее 100 мг/л, Fe – не менее 300 мг/л, Mn – не менее 150 мг/л, B – не менее 90 мг/л, Cu – не менее 70 мг/л, Zn – не менее 80 мг/л, Co – не менее 15 мг/л) – 0,4 л/га; 6 – «Эталон» + «НаноКремний» (удобрение минераль-

ное с микроэлементами Si –17–22 %, Fe – 1–4 %, Cu – 0,05–0,1 %, Zn – 0,05–0,1 %). При проведении исследований общая площадь делянки составила 540 м<sup>2</sup>, учетная – 54 м<sup>2</sup>, размещение вариантов рендомизированное, повторность четырехкратная.

Агротехника в опыте принятая в хозяйстве. Сахарная свекла возделывалась в паровом звене зернопаропропашного севооборота. Предшественник – озимая пшеница. Посев проводили сеялкой Мопорил-Ассорд. Норма высева – 120 тыс. шт/га. Убирали урожай вручную. Общим фоном под культивацию вносились минеральные удобрения (N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>).

Фотосинтетические пигменты (хлорофилл *a* и *b*) в листьях определяли по оптической плотности в вытяжке 96-процентным этанолом на спектрометре СФ-46 при длине волн 649 и 665 нм [16].

Учет урожайности корнеплодов, т. е. массы всех корнеплодов на опытной делянке, очищенных от почвы и ботвы с обрезкой хвостика до толщины 10 мм, отнесенной к площади 1 га, а также определение технологических качеств корнеплодов проведено в соответствии с Послерегистрационными испытаниями сортов и гибридов сахарной свеклы в сырьевой зоне сахарного завода, Методикой полевого опыта в свекловодстве.

### Результаты (Results)

Для полевой оценки фитотоксичного действия гербицидов часто используют показатель массы

100 растений либо массы одного растения вне зависимости от их возраста [19; 20].

Гербициды тормозят нарастание массы растений. Сахарная свекла испытывает стресс и после обработки останавливается в росте и развитии. В это время срабатывают механизмы адаптации к воздействию гербицидов, после чего растения возобновляют активный рост. Стрессовое состояние растений сахарной свеклы в зависимости от дозы гербицидов, условий среды, фазы развития растений длится от 6 до 14 суток. Поэтому массу растений определяли после окончания стрессового состояния растений – через 6 суток после проведения обработки.

После трех гербицидных обработок (вариант 2) масса одного растения сахарной свеклы у гибрида иностранной селекции F1 Кайман была на 1,88–13,37 % больше, чем у гибридов отечественной селекции. Среди российских наибольшая масса была у гибрида F1 Волна и составила 32,96 г.

Показатель массы растений характеризует интенсивность роста растений сахарной свеклы и отражает степень воздействия препарата на процессы роста и развития, которые в сильной степени снижают вегетативную массу. Установлено, что гербициды, применяемые для защиты сахарной свеклы, оказывали достоверное ингибирующее влияние на нарастание биомассы. Фитотоксичность гербицидов на растениях сахарной свеклы составила 13,3–17,5 % в зависимости от гибрида (таблица 1).

Таблица 1  
Масса растений сахарной свеклы после трех гербицидных обработок, г/растение, среднее за 2 года

Кремнийсодержащее удобрение (фактор В)	Гибрид (фактор А)				
	F1 Кайман	F1 Бриз	F1 Буря	F1 Волна	F1 Скала
Вода	38,74	35,00	34,94	39,95	37,42
Эталон	33,59	29,89	29,10	32,96	31,51
Микровит-6 Кремний	38,99	33,84	33,72	38,65	36,24
Келик Калий+Кремний	39,15	33,97	33,83	38,67	36,38
Силиплант универсальный	40,63	35,25	35,17	39,87	37,54
НаноКремний	40,33	35,00	34,84	39,59	37,48

НСР<sub>05</sub>: частных различий – 0,35 т/га, фактор А – 0,14, фактор В и взаимодействие АВ – 0,16

Table 1  
Weight of sugar beet plants after three herbicide treatments, g/plant, average for 2 years

Silicon fertilizer (factor B)	Hybrid (factor A)				
	F <sub>1</sub> , Kayman	F <sub>1</sub> , Briz	F <sub>1</sub> , Shtorm	F <sub>1</sub> , Volna	F <sub>1</sub> , Skala
Water	38.74	35.00	34.94	39.95	37.42
Etalon	33.59	29.89	29.10	32.96	31.51
Mikrovit-6 Kremniy	38.99	33.84	33.72	38.65	36.24
Kelik Kaliy+Kremniy	39.15	33.97	33.83	38.67	36.38
Siliplant universal'nyy	40.63	35.25	35.17	39.87	37.54
NanoKremniy	40.33	35.00	34.84	39.59	37.48

LSD<sub>05</sub>: partial differences – 0.35 t/ha, factor A – 0.14, factor B and interaction AB – 0.16

При этом важно отметить, что гибрид иностранной селекции F1 Кайман быстрее возобновляет свой активный рост после негативного воздействия гербицидов, чем гибриды отечественной селекции. Среди изучаемых отечественных гибридов наибольшей гербицидной стрессоустойчивостью обладает F1 Бриз.

Стресс-фактор активирует сигнальную систему растений сахарной свеклы, инициируя дополнительный синтез стресс-белков и антиоксидантов. Одновременно с этим растение усиливает поглощение кремния извне и инициирует перераспределение уже накопленного кремния в подверженный стрессу орган, т. е. листья. Поэтому именно совместное фолиарное внесение гербицидов и кремнийсодержащих удобрений как биостимуляторов способствовало снижению фитотоксичности пестицидов. Масса одного растения сахарной свеклы на вариантах с совместным применением гербицидов и кремнийсодержащих удобрений «Микровит-6 Кремний» и «Келик Калий+Кремний» составила в среднем по опыту 36,29–36,40 г, а фитотоксичность пестицидов не превысила 2,5 %. Химическая прополка в сочетании с кремнийсодержащими удобрениями «Силиплант универсальный» и «НаноКремний» вызывала более кратковременное торможение роста с последующей активизацией накопления массы не только относительно контроля с ручной прополкой, но и варианта с «чистым» применением гербицидов.

Применение современных гербицидов с обязательным соблюдением регламента их применения способствует остановке развития, роста сорных растений и, соответственно, их гибели. Гербициды, применяемые на посевах сахарной свеклы против однолетних двудольных сорняков, содержат действующие вещества фенмедифам, десмедифам (производные бискарбамата). Десмедифам обладает характерными свойствами ингибитора фотосинтеза, например, возрастающей фитотоксичностью при высокой интенсивности света и зависимостью фитотоксичности от климатических условий.

Один из показателей интенсивности фотосинтеза – содержание хлорофилла. Интенсивность фотосинтеза возрастает с увеличением содержания хлорофилла. «Хлорофилл является важнейшим компонентом фотосинтетического аппарата листьев, является фотокатализатором, и его нехватка ограничивает скорость фотосинтеза. Его содержание обусловлено генетической природой культуры, вследствие чего может быть использовано в качестве физиологического показателя, характеризующего онтогенетические, возрастные и генетические особенности растения» [21]. Количество пигментов отражает и реакцию растительного организма на условия произрастания. С продуктивностью расте-

ний связано содержание пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) и их состояние в листьях. Содержание пигментов, их соотношение являются важными показателями сформированности фотосинтетического аппарата.

В результате проведенных исследований было установлено, что под действием гербицидов в листьях сахарной свеклы уменьшалось общее содержание хлорофилла. Анализ показал, что через шесть суток после проведения третьей гербицидной обработки общее содержание хлорофилла в листьях на эталонном варианте уменьшилось в среднем на 0,083 абс. % по сравнению вариантом, где была проведена ручная прополка. Совместное применение с гербицидами удобрений «Микровит-6 Кремний» и «Келик Калий+Кремний» способствовало уменьшению фитотоксичного воздействия на растения сахарной свеклы. Общее содержание зеленого пигмента было на 49–74 % больше, чем в растениях сахарной свеклы, испытывавших стресс от воздействия гербицидов. При обработке гербицидами без кремнийсодержащих удобрений период адаптации к воздействию гербицидов и возобновление активного роста затягиваются. Исследования показали, что через шесть суток после проведения третьей пестицидной обработки совместное применение удобрений «Силиплант универсальный» и «НаноКремний» с гербицидами способствует более быстрому возобновлению активного роста, у испытуемых растений сахарной свеклы динамика индукции флуоресценции хлорофилла восстанавливалась до уровня контрольных растений (рис. 1).

Нарушение содержания зеленых пигментов определялось и изменениями количества хлорофилла *a*, который играет ключевую роль в процессе фотосинтеза.

Экспериментально установлено, что при добавлении кремнийсодержащих удобрений в баковую смесь с гербицидами концентрация хлорофилла *a* возрастала в 3,1–4,5 раза по сравнению с односторонним применением гербицидов (рис. 2), но эффективность их как биостимуляторов несколько отличалась: при применении препарата «Микровит-6 Кремний» содержание хлорофилла *a* в листьях составляло 1,037–1,116 % в зависимости от гибрида, «Келик Калий+Кремний» – 1,258–1,354, «Силиплант универсальный» – 1,441–1,549 %, а совместное применение гербицидов и «НаноКремния» способствовало увеличению содержания хлорофилла *a* на 1,18–1,275 абс. % по сравнению «чистым» применением гербицидов и на 0,671–0,740 абс. % содержания хлорофилла *a* в интактных листьях.

Исследования механизмов адаптации растений к экстремальным факторам среды на уровне сортовой, гибридной или видовой устойчивости не утратили своей значимости и в настоящее время.

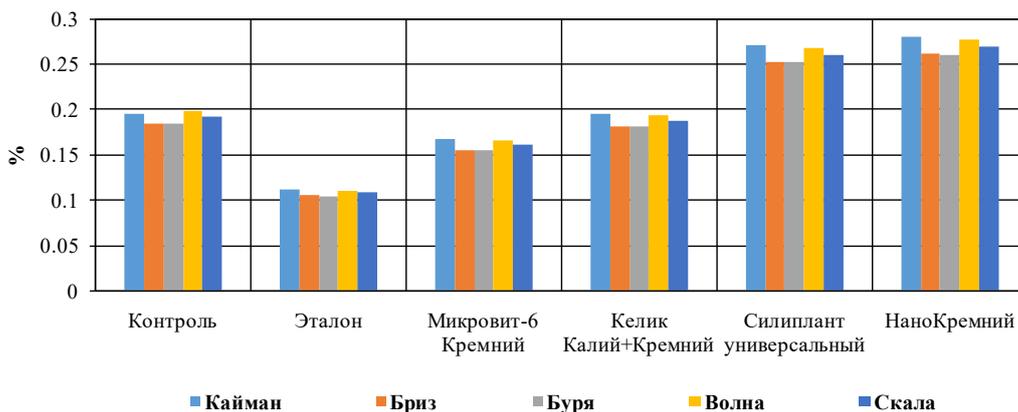


Рис. 1. Общее содержание хлорофилла после третьей обработки гербицидами, % массы листьев

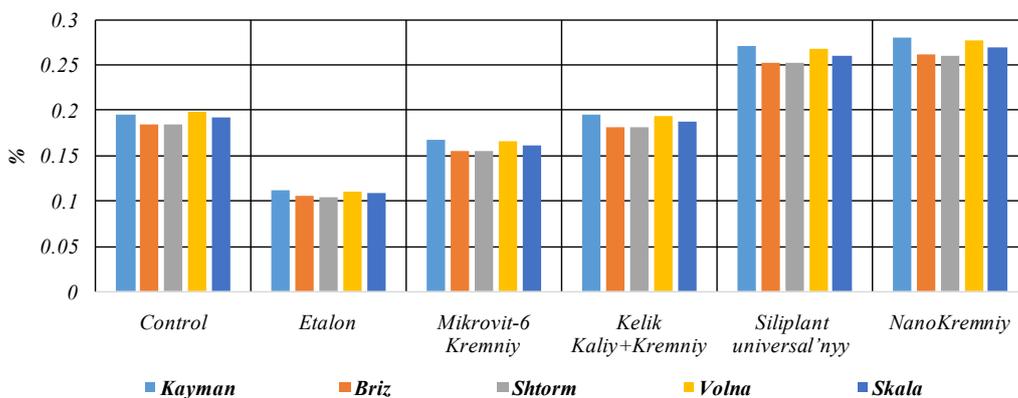


Fig. 1. Total chlorophyll content after the third treatment with herbicides, % leaf mass

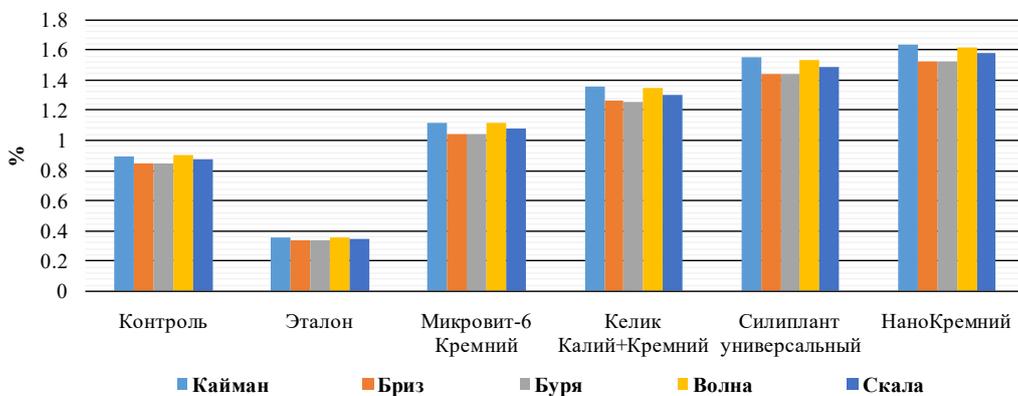


Рис. 2. Содержание хлорофилла а после третьей обработки гербицидами, % массы листьев

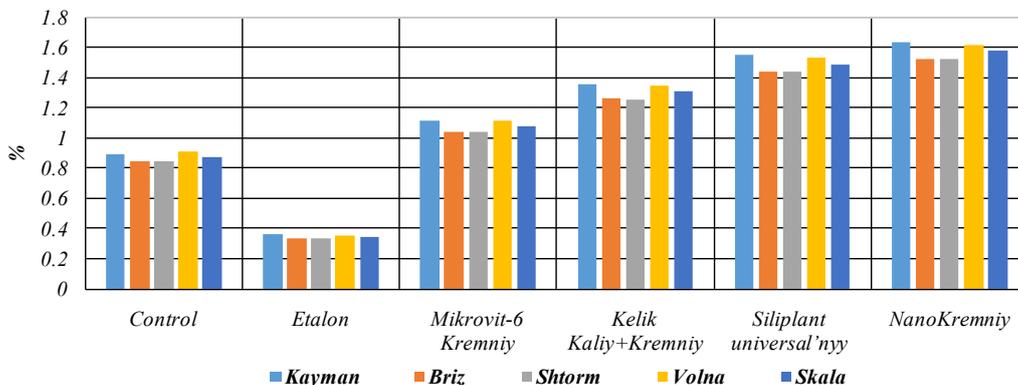


Fig. 2. Chlorophyll a content after the third treatment with herbicides, % of leaf mass

Поэтому очень важна оценка пластичности гибридов сахарной свеклы отечественной селекции. Установлено, что общее содержание хлорофилла в интервале 0,192–0,198 % было в листьях гибрида сахарной свеклы отечественной селекции F1 Волна, F1 Скала и иностранной селекции F1 Кайман. Гибриды F1 Буря и F1 Бриз характеризовались меньшим содержанием хлорофилла – 0,185 %. По данному показателю была проведена оценка устойчивости различных гибридов сахарной свеклы к негативному воздействию гербицидов на культурные растения. Наибольшей устойчивостью к ингибированию процессов фотосинтеза отличались гибриды отечественной селекции F1 Волна (0,111 %) и F1 Скала (0,109 %). У гибридов F1 Буря и F1 Бриз отмечено более низкое общее содержание хлорофилла (0,104 % и 0,106 %), т. е. период адаптации к воздействию гербицидов удлинен. Совместное применение кремнийсодержащих удобрений с гербицидами позволило растениям сахарной свеклы

всех изучаемых гибридов быстрее адаптироваться к воздействию ингибиторов фотосинтеза и возобновить активный рост. По степени устойчивости к фитотоксичности гербицидов изучаемые удобрения можно расположить в следующем порядке (по возрастанию): «Микровит-6 Кремний» → «Келик Калий+Кремний» → «Силиплант универсальный» → «НаноКремний».

Нарастание массы корнеплода зависит от функциональной активности листьев. Поэтому адаптация растений сахарной свеклы к воздействию гербицидов посредством активации роста листового аппарата может протекать в диспропорции с нарастанием корнеплода. Вследствие этого химическая обработка посевов от сорных растений нередко приводит к недополучению урожая корнеплодов у растений с хорошо сформированным листовым аппаратом (незавершенная биологическая спелость корнеплода) [13].

Таблица 2

**Эффективность кремнийсодержащих удобрений при использовании в качестве антидотов совместно с гербицидами, среднее за 2022–2023 гг.**

Гибрид F1 (фактор А)	Кремнийсодержащее удобрение (фактор В)	Урожайность, т/га	Различие с контролем, т/га	Антидотный эффект	
				т/га	%
Кайман	Контроль	60,12			
	Эталон	54,74	–5,38		
	Микровит-6 Кремний	61,45	1,33	6,71	12,26
	Келик Калий+Кремний	61,67	1,55	6,93	12,66
	Силиплант универсальный	63,93	3,81	9,19	16,79
	НаноКремний	63,49	3,37	8,75	15,98
Бриз	Контроль	57,14			
	Эталон	51,64	–5,50		
	Микровит-6 Кремний	57,25	0,11	5,61	10,86
	Келик Калий+Кремний	57,44	0,30	5,80	11,24
	Силиплант универсальный	59,55	2,41	7,91	15,32
	НаноКремний	59,15	2,01	7,51	14,54
Буря	Контроль	57,09			
	Эталон	50,95	–6,14		
	Микровит-6 Кремний	57,14	0,05	6,19	12,15
	Келик Калий+Кремний	57,32	0,23	6,37	12,50
	Силиплант универсальный	59,48	2,39	8,53	16,74
	НаноКремний	59,01	1,92	8,06	15,82
Волна	Контроль	61,05			
	Эталон	54,23	–6,82		
	Микровит-6 Кремний	61,18	0,13	6,95	12,82
	Келик Калий+Кремний	61,29	0,24	7,06	13,02
	Силиплант универсальный	63,34	2,29	9,11	16,79
	НаноКремний	62,90	1,85	8,67	16,00
Скала	Контроль	59,08			
	Эталон	53,02	–6,06		
	Микровит-6 Кремний	59,24	0,16	6,22	11,73
	Келик Калий+Кремний	59,44	0,36	6,42	12,11
	Силиплант универсальный	61,45	2,37	8,43	15,90
	НаноКремний	61,20	2,12	8,18	15,44
НСР <sub>05</sub> : фактор А – 0,19 т/га, фактор В, взаимодействие АВ – 0,21, частных различий – 0,47 т/га					

Table 2

*Efficiency of silicon-containing fertilizers when used as antidotes in combination with herbicides, average for 2022–2023*

Hybrid F1 (factor A)	Silicon fertilizer (factor B)	Productivity, t/ha	Difference with control, t/ha	Antidote effect	
				t/ha	%
Kayman	Control	60.12			
	Etalon	54.74	-5.38		
	Mikrovit-6 Kremniy	61.45	1.33	6.71	12.26
	Kelik Kaliy+Kremniy	61.67	1.55	6.93	12.66
	Siliplant universal'nyy	63.93	3.81	9.19	16.79
	NanoKremniy	63.49	3.37	8.75	15.98
Briz	Control	57.14			
	Etalon	51.64	-5.50		
	Mikrovit-6 Kremniy	57.25	0.11	5.61	10.86
	Kelik Kaliy+Kremniy	57.44	0.30	5.80	11.24
	Siliplant universal'nyy	59.55	2.41	7.91	15.32
	NanoKremniy	59.15	2.01	7.51	14.54
Shtorm	Control	57.09			
	Etalon	50.95	-6.14		
	Mikrovit-6 Kremniy	57.14	0.05	6.19	12.15
	Kelik Kaliy+Kremniy	57.32	0.23	6.37	12.50
	Siliplant universal'nyy	59.48	2.39	8.53	16.74
	NanoKremniy	59.01	1.92	8.06	15.82
Volna	Control	61.05			
	Etalon	54.23	-6.82		
	Mikrovit-6 Kremniy	61.18	0.13	6.95	12.82
	Kelik Kaliy+Kremniy	61.29	0.24	7.06	13.02
	Siliplant universal'nyy	63.34	2.29	9.11	16.79
	NanoKremniy	62.90	1.85	8.67	16.00
Skala	Control	59.08			
	Etalon	53.02	-6.06		
	Mikrovit-6 Kremniy	59.24	0.16	6.22	11.73
	Kelik Kaliy+Kremniy	59.44	0.36	6.42	12.11
	Siliplant universal'nyy	61.45	2.37	8.43	15.90
	NanoKremniy	61.20	2.12	8.18	15.44

*LSD<sub>05</sub>: factor A – 0.19 t/ha, factor B, interaction AB – 0.21, partial differences – 0.47 t/ha*

Увеличить продуктивность сахарной свеклы возможно и при иницировании процессов синтеза органического вещества на конкретных этапах органогенеза. При этом результаты воздействия фитоактиватора на культурное растение на поздних фазах возможно запланировать обработкой на начальных этапах их развития.

Установлено, что подавление растений сахарной свеклы гербицидами в раннем возрасте в регламентированных нормах расхода приводит к снижению урожайности корнеплодов (таблица 2).

Биологическая урожайность корнеплодов при одностороннем применении гербицидов составила 51,64–54,74 т/га в зависимости от гибридов, что на 8,95–11,17 % ниже, чем на контрольном варианте.

Совместное применение кремнийсодержащих удобрений и гербицидов способствовало увеличению урожайности по сравнению и с контрольным вариантом, и с вариантом, где применялись только

гербициды, что позволило дополнительно получить от 5,61 до 9,11 т/га корнеплодов. Наибольший антидотный эффект от применения кремнийсодержащих удобрений был получен при совместном применении гербицидов и «Силиплант универсальный» – 15,32–16,79 % в зависимости от гибрида. Лишь немного уступает ему по эффективности «НаноКремний», способствующий приросту урожайности на 7,51–8,67 т/га, или 14,54–16,00 %. Установлено, что при воздействии гербицидов достоверное снижение урожайности отмечено у всех изучаемых гибридов. Наибольшая фитотоксичность гербицидов была отмечена при возделывании гибридов отечественной селекции F1 Буря и F1 Волна, а урожайность корнеплодов была ниже на 6,14 и 6,82 т/га по сравнению с контролем. Наименьшая продолжительность депрессии от применения гербицидов была у гибридов F1 Кайман и F1 Бриз, а сбор корнеплодов составил 54,74 т/га и 51,64 т/га соответственно. При

совместной обработке посевов удобрением «Силиплант универсальный» и гербицидами наибольшая урожайность была получена у гибридов F1 Кайман и F1 Волна.

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, использование кремнийсодержащих удобрений в качестве антидотов имеет высокий агротехнологический эффект. Применение препаратов данной группы в интенсивных фитосанитарных технологиях позволит значительно снизить отрицательные последствия применения пестицидов и значительно повысить продуктивность сахарной свеклы. По степени снижения фитотоксичности гербицидов изучаемые удобрения можно расположить в следующем порядке (по возрастанию): «Микровит-6 Кремний» → «Келик Калий+Кремний» → «Силиплант универсаль-

ный» → «НаноКремний». Наиболее перспективным для снижения гербицидного стресса растений сахарной свеклы является применение удобрений «Силиплант универсальный» и «НаноКремний», способствующих улучшению процесса фотосинтеза за счет увеличения концентрации светособирающего пигмента хлорофилла и, как следствие, большему среднесуточному приросту биомассы и увеличению урожайности корнеплодов. Наибольшей устойчивостью к ингибированию процессов фотосинтеза (по содержанию общего хлорофилла) отличались гибриды отечественной селекции F1 Волна (0,111 %) и F1 Скала (0,109 %). Наибольший прирост урожайности корнеплодов был получен при совместном применении гербицидов и «Силиплант универсальный» – 15,32–16,79 % в зависимости от гибрида.

#### Библиографический список

1. Минакова О. А., Александрова Л. В., Вилков В. М. Влияние различных уровней удобренности почв на особенности потребления NPK и урожайность гибридов сахарной свеклы отечественной и иностранной селекции в центральном черноземном регионе // *Агрохимия*. 2022. № 10. С. 38–46. DOI: 10.31857/S0002188122100064.
2. Zheryakov E. V. Influence of the field storage on the content of basic molasses in roots of various sugar beet hybrids // *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2020. Vol. 63, No. 1. Pp. 642–646.
3. Zheryakov E. V., Semina S. A., Gavryushina I. V. Duration of Storage and Quality of Sugar Beet Roots // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018. Vol. 9, No. 3. Pp. 1096–1100.
4. Жеряков Е. В., Дмитриева С. Ю., Близнов В. А. Засоренность посевов сахарной свеклы и ее влияние на урожайность корнеплодов // *Научная жизнь*. 2019. № 1. С. 15–23.
5. Дядюченко Л. В., Дмитриева И. Г. Поиск гербицидных антидотов для растений сахарной свеклы // *Агрохимия*. 2021. № 5. С. 621–627. DOI: 10.31857/S0002188121050045.
6. Четкин Ю. М. Эффективность воздействия совместного применения гербицидов и регуляторов роста на урожайность и технологические качества корнеплодов сахарной свеклы // *Сахар*. 2020. № 9. С. 40–41. DOI: 10.24411/2413-5518-2020-10904.
7. Дворянkin Е. А. Фитотоксичность различных комбинаций гербицидов для сахарной свеклы в зависимости от нормы расхода препаратов и фазовой устойчивости к ним сорняков // *Сахар*. 2023. № 5. С. 39–43. DOI: 10.24412/2413-5518-2023-5-39-43.
8. Веневцев В. З., Захарова М. Н., Рожкова Л. В. Эффективность использования гербицидов в посевах сахарной свеклы // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2019. № 5. С. 50–53. DOI: 10.30850/vrnsn/2019/5/50-53.
9. Спиридонов Ю. Я., Ларина Г. Е., Шестаков В. Г. Методическое руководство по изучению гербицидов, применяемых в растениеводстве. Москва: Печатный Город, 2009. 252 с.
10. Islamgulov D., Ismagilov R., Alimgafarov R., Bakirova A., Enikeev R. Technological qualities of sugar beetroot crops under the conditions of the middle cis-ural region // *Periódico Tchê Química*. 2020. Vol. 17, No. 36. Pp. 72–84. DOI: 10.21498/2518-1017.15.1.2019.162492.
11. Гамуев О. В., Вилков В. М. Система защиты сахарной свеклы от сорняков в севообороте // *Сахар*. 2019. № 12. С. 40–43. DOI: 10.24411/2413-5518-2019-00004.
12. Чумикина Л. В., Арапова Л. И., Колпакова В. В., Топунов А. Ф. Фитогормоны и абиотические стрессы (обзор) // *Химия растительного сырья*. 2021. № 4. С. 5–30. DOI: 10.14258/jcprm.2021049196.
13. Дворянkin Е. А. Потери урожая сахарной свеклы от фитотоксичности гербицидов. Методика исследования токсичности гербицидов // *Сахар*. 2018. № 7. С. 25–29. DOI: 10.24411/2413-5518-2018-00041.
14. Гранкина А. О., Бочарникова Е. А., Матыченков В. В. Влияние кремнийсодержащих биостимуляторов на холодостойкость пшеницы и сахарной свеклы // *Агрохимия*. 2022. № 2. С. 22–27. DOI: 10.31857/S0002188122080075.
15. Куликова А. Х., Карпов А. В., Яшин Е. А. Кремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Ульяновск: УлГАУ, 2020. 176 с.

16. Практикум по физиологии растений: учеб. пособие для агрономических специальностей / Под ред. Н. Н. Третьякова. Москва: КолосС, 2003. 288 с.
17. Послерегистрационные испытания сортов и гибридов сахарной свеклы в сырьевой зоне сахарного завода. Методические рекомендации / Под ред. А. В. Корниенко. Рамонь: [б. и.], 2010. 50 С.
18. Корниенко А. В., Нанаенко А. К. Методика полевого опыта в свекловодстве. Рамонь: [б. и.], 2004. 104 с.
19. Дворянkin Е. А. Особенности роста и развития сахарной свеклы в период обработки послеуборочными гербицидами // Сахар. 2020. № 10. С. 32-35. – DOI: 10.24411/2413-5518-2020-00001.
20. Дворянkin Е.А. Специфические и неспецифические реакции растений на гербициды // Сахар. 2019. № 8. С. 26–29. – DOI: 10.24411/2413-5518-2019-00046.
21. Глаз Н. В., Казакова Н. И., Уфимцева Л. В. Методические подходы к выбору условий пробоотбора и оценке содержания хлорофилла в листьях растений кукурузы // Вестник КрасГАУ. 2015. № 3. С. 73–77.

#### Об авторах:

**Евгений Викторович Жеряков**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Растениеводство и лесное хозяйство», Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия;

ORCID 0000-0003-1288-6323, AuthorID 321563. E-mail: zheryakov.e.v@pgau.ru

**Светлана Александровна Семина**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Переработка сельскохозяйственной продукции», Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0000-0002-7015-8175, AuthorID 569105. E-mail: semina.s.a@pgau.ru

#### References

1. Minakova O. A., Aleksandrova L. V., Vilkov V. M. Influence of different levels of soil fertilization on the characteristics of NPK consumption and the yield of sugar beet hybrids of domestic and foreign breeding in the Central Black Earth Region. *Eurasian Soil Science*. 2022; 10: 38-46. DOI: 10.31857/S0002188122100064. (In Russ.)
2. Zheryakov E. V. Influence of the field storage on the content of basic molasses in roots of various sugar beet hybrids. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2020; 63 (1): 642–646.
3. Zheryakov E. V., Semina S. A., Gavryushina I. V. Duration of Storage and Quality of Sugar Beet Roots. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018; 3 (9): 1096–1100.
4. Zheryakov E. V., Dmitriyeva S. Yu., Bliznov V. A. Weed infestation of sugar beet crops and its impact on the root plants yield. *Scientific Life*. 2019; 1: 15–23. (In Russ.)
5. Dyadyuchenko L. V., Dmitrieva I. G. Search for herbicide antidotes for sugar beet plants. *Eurasian Soil Science*. 2021; 5: 621–627. DOI: 10.31857/S0002188121050045. (In Russ.)
6. Chechetkin Yu. M. The effectiveness of the impact of the combined use of herbicides and growth regulators on the yield and technological qualities of sugar beet roots. *Sugar*. 2020; 9: 40–41. DOI: 10.24411/2413-5518-2020-10904. (In Russ.)
7. Dvoryankin E. A. Phytotoxicity of various combinations of herbicides for sugar beet with the application rate of the preparations and the phase of weed resistance. *Sugar*. 2023; 5: 39–43. DOI: 10.24412/2413-5518-2023-5-39-43. (In Russ.)
8. Venevtsev V. Z., Zakharova M. N., Rozhkova L. V. Effectiveness of herbicides application in sowings of sugar beet. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2019; 5: 50–53. DOI: 10.30850/vrsn/2019/5/50-53. (In Russ.)
9. Spiridonov Yu. Ya., Larina G. E., Shestakov V. G. *Methodological guidelines for the study of herbicides used in plant growing*. Moscow: Pechatnyy Gorod, 2009. 252 p. (In Russ.)
10. Islimgulov D., Ismagilov R., Alimgafarov R., Bakirova A., Enikeev R. Technological qualities of sugar beetroot crops under the conditions of the middle cis-ural region. *Periódico Tchê Química*. 2020; 36 (17): 72–84. DOI: 10.21498/2518-1017.15.1.2019.162492.
11. Gamuev O. V., Vilkov V. M. Sugar beet protecting system from weeds in crop rotation. *Sugar*. 2019; 12: 40–43. DOI: 10.24411/2413-5518-2019-00004. (In Russ.)
12. Chumikina L. V., Arabova L. I., Kolpakova V. V., Topunov A. F. Phytohormones and abiotic stresses (review). *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2021; 4: 5–30. DOI: 10.14258/jcprm.2021049196. (In Russ.)
13. Dvoryankin E. A. Yield losses from phytotoxicity of herbicides. Methods of herbicide toxicity study. *Sugar*. 2018; 7: 25–29. DOI: 10.24411/2413-5518-2018-00041. (In Russ.)
14. Grankina A. O., Bocharnikova E.A., Matychenkov V.V. Effect of Silicon-Containing Biostimulants on the Cold Resistance of Wheat and Sugar Beet. *Eurasian Soil Science*. 2022; 2: 22–27. DOI: 10.31857/S0002188122080075. (In Russ.)

15. Kulikova A. Kh., Karpov A. V., Yashin E. A. Iliceous rocks in crop fertilization system. Ul'yanovsk: UIGAU, 2020. 176 p. (In Russ.)
16. *Practical Work on Plant Physiology: textbook for agricultural students* / Under the editorship of N. N. Tret'yakov. Moscow: KolosS, 2003. 288 p. (In Russ.)
17. *Post-Registration Testing of Sugar Beet Varieties and Hybrids in the Raw Material Area of a Sugar Factory: methodological recommendations* / Under the editorship of A. V. Korniyenko. Ramon', 2010. 50 p. (In Russ.)
18. Korniyenko A. V., Nanayenko A. K. *Methodology of Field Experiment in Beet Growing*. Ramon', 2004. 104 p. (In Russ.)
19. Dvoryankin E. A. Features of growth and development of sugar beet during treatment with post-emergence herbicides. *Sugar*. 2020; 10: 32–35. DOI: 10.24411/2413-5518-2020-00001. (In Russ.)
20. Dvoryankin E. A. Specific and nonspecific reactions of plants to herbicides. *Sugar*. 2019; 8: 26–29. DOI: 10.24411/2413-5518-2019-00046. (In Russian.)
21. Glaz N. V., Kazakova N. I., Ufimtseva L. V. Methodical approaches to the choice of the sampling conditions and the assessment of the chlorophyll content in the maize plant leaves. *The Bulletin of KrasGAU*. 2015; 3: 73–77. (In Russ.)

**Authors' information:**

**Evgeniy V. Zheryakov**, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department “Plant growing and forestry”, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0000-0003-1288-6323, AuthorID 321563.  
*E-mail: zheryakov.e.v@pgau.ru*

**Svetlana A. Semina**, doctor of agricultural sciences, professor of the department “Agricultural products processing”, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0000-0002-7015-8175, AuthorID 569105.  
*E-mail: semina.s.a@pgau.ru*