

ЗАЩИТА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ОТ БОЛЕЗНЕЙ ЛИСТОВОГО АППАРАТА С ПОМОЩЬЮ АБОРИГЕННЫХ ШТАММОВ АЭРОБНЫХ СПОРООБРАЗУЮЩИХ БАКТЕРИЙ *VACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS* – АНТАГОНИСТОВ ФИТОПАТОГЕНОВ

Безлер Н.В., доктор сельскохозяйственных наук

Федорова О.А., кандидат биологических наук

Саяева Ю.Н.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт

сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова»

e-mail: bezler@list.ru

Аннотация. Объектом исследования являлись штаммы бактерий-антагонистов фитопатогенов *Vacillus amyloliquefaciens* 20 и 17 (8). Цель исследований – создать способ защиты сахарной свеклы от болезней листового аппарата на основе наиболее перспективных аборигенных штаммов *Vacillus amyloliquefaciens* – антагонистов патогенов. В лабораторных условиях определена их способность колонизировать корни проростков сахарной свеклы гибридов РМС 501 и РМС 503. Выявлена высокая степень колонизации корешков. Определена активность азотфиксации бактериальных культур. Установлена способность изучаемых культур к фиксации азота: *Vacillus amyloliquefaciens* 20 – 1,82 мг N₂/мл/час., а *Vacillus amyloliquefaciens* 17/8 – 2,26 мг N₂/мл/час. Обработка листового аппарата суспензией живых культур указанных штаммов способствовала заселению ими филопланы, о чем свидетельствует увеличение численности спорообразующих бактерий. Отмечено активное развитие в филоплане микроорганизмов, принимающих участие в круговороте азота, благодаря чему улучшались показатели фотосинтетической активности. Одновременно замечено снижение распространения многих заболеваний листового аппарата. Обработка посевов суспензией *Vacillus amyloliquefaciens* 20 и 17(8) повысила урожайность сахарной свеклы на 5,4–7,9 т/га, сократила потери сахара в мелассе на 5–18 % (относ.); сбор сахара вырос на 0,97 и 1,60 т/га соответственно.

Ключевые слова: антагонисты патогенов, активность азотфиксации, филоплана, *Vacillus amyloliquefaciens*, сахарная свекла.

Введение. Черноземные почвы характеризуются тем, что их органическая и минеральная части находятся в наиболее оптимальном сочетании. Несмотря на то, что чернозем представляет собой довольно устойчивую природную систему, при производстве

сельскохозяйственных культур происходит сильное воздействие на его составные компоненты и окружающую среду в целом [1].

В настоящее время экономически значимым способом борьбы с заболеваниями сельхозкультур является химический. В процессе возделывания сахарной свеклы систематически используются фунгициды (при обработке семян), гербициды, инсектициды, применяются несбалансированные дозы минеральных удобрений и осуществляется постоянная механическая нагрузка на почву вследствие обработок. В результате использования пестицидов, обладающих высокой стойкостью, неспецифичностью действия и способностью накопления в экосистемах, загрязняется окружающая среда, что приводит к снижению численности агрономически полезных микроорганизмов, нарушению гомеостаза микробного сообщества почвы, круговорота азота и сокращению супрессивности почвы, падению плодородия и качества продукции [2]. В результате нарушений в агроэкосистеме отмечается эпифитотийное распространение в посевах сахарной свеклы заболеваний листового аппарата грибной этиологии: церкоспороза (*Cercospora beticola*) и мучнистой росы (*Erysiphe betae*) и других, которые снижают продуктивность культуры. Преждевременные потери ассимиляционной поверхности листового аппарата вызывают затраты пластических веществ корнями на новообразование листьев, что влечет за собой снижение урожайности и ухудшает технологические качества корнеплодов [3].

В концепциях развития аграрной науки в РФ придается существенное значение созданию инновационных биопрепаратов для защиты растений. В настоящее время уровень биологизации сельскохозяйственного производства в ряде стран повышается. В некоторых странах ЕС на значительных площадях реализуется программа полного отказа от применения средств

химической защиты и предоставления преимуществ биологическому методу [4].

Одним из наиболее перспективных направлений в борьбе с заболеваниями растений является использование биопрепаратов на базе бактерий рода *Bacillus*. На сегодняшний день известны препараты на основе представителей антагонистов фитопатогенов: Фитоспорин-М, Бактофит, Трихотецин, Фитобактериомицин, Гамаир и др. [5].

Для восстановления гомеостаза микробного сообщества почвы, получения высокой и экологически безопасной продукции необходимо применять биологические способы борьбы с заболеваниями листового аппарата сахарной свеклы на основе бактерий, проявляющих антагонистические свойства по отношению к возбудителям болезней культуры [6, 7]. Кроме того, многие прокариоты способны фиксировать азот и продуцировать фитогормоны [8].

Таким образом, повышается актуальность биологической защиты растений, основанной на способности микробов-антагонистов (актиномицетов, грибов, бактерий) поставлять в окружающую среду биологически активные вещества, в том числе антибиотики, подавляющие возбудителей заболеваний и обладающие фиторегуляторной активностью [9].

К испытанию новых микробиофунгицидов, а также разработке регламентов их применения в системе защиты растений проявляется огромный интерес, что требует всестороннего изучения.

Наиболее известен препарат Алирин Б на основе штамма *Bacillus subtilis* 10-ВИЗР и другие препараты – на основе триходермы [10]. Эффект от применения микробиологических препаратов достигает 60–90 %, что позволяет получить прибавку урожая 20–25 % [11]. В США и странах Европы биопрепараты используются в овощеводстве, плодоводстве и на ягодных культурах [4], а в полеводстве в широких масштабах – фунгициды.

Одним из достоинств биопрепаратов является возможность их применения во все фазы культур, акцентируя внимание на уязвимые фазы патогенов. Кроме того, диапазон температур, при котором они действуют, находится в пределах от 14 °С до 28–30 °С. Химические препараты при высоких температурах способны обжигать растения. Сигналом для использования биопрепаратов являются первые признаки симптоматики [11, 12].

Цель исследований – создать систему защиты сахарной свеклы от болезней листового аппарата на основе наиболее перспективных аборигенных штаммов *Bacillus amyloliquefaciens* – антагонистов патогенов.

Новизна исследований состоит в выявлении в лабораторных условиях способности *Bacillus amyloliquefaciens* 20 и 17(8) колонизировать корни проростков сахарной свеклы. Впервые обнаружена способность этих штаммов бактерий фиксировать азот. Выявлена взаимосвязь *Bacillus amyloliquefaciens* 20 и

Таблица 1. Антагонистические свойства культур *Bacillus amyloliquefaciens* 20 и *Bacillus amyloliquefaciens* 17(8)

Фитопатоген	Диаметр зоны подавления роста фитопатогена, мм	
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 20	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 17(8)
<i>Alternaria alternata</i>	49	35
<i>Fusarium avenaceum</i>	30	27
<i>Fusarium oxysporum</i>	12	20

17(8) с эпифитной микрофлорой растений сахарной свеклы, а также их способность влиять на распространение и развитие болезней листового аппарата *Erysiphe betae*, *Cercospora beticola*, *Phoma betae*. Установлено их положительное влияние на продуктивность культуры.

В лабораторных условиях определили антагонистические свойства бацилл по отношению к факультативным фитопатогенам. Использовали классическую среду МПС (табл. 1).

Таким образом, дана первичная оценка способности культур *Bacillus amyloliquefaciens* 20 и *Bacillus amyloliquefaciens* 17(8) влиять на рост возбудителей основных болезней сахарной свеклы.

В 2025 г. продолжили работы по изучению свойств *Bacillus amyloliquefaciens* 20 и 17(8). Изучение колонизирующей способности штаммов микроорганизмов проводили в лабораторных условиях.

Корешки проростков покрыты колонизирующими бактериями *Bacillus amyloliquefaciens* (рис. 1). Следовательно, можно предположить способность бактерий взаимодействовать и с надземными частями растений.

Активность фиксации азота *Bacillus amyloliquefaciens* 20 и 17(8) на среде Федорова составила соответственно 493,39 и 605,01 нМ С₂Н₄/ч или 1,82 и 2,26 мкг N₂/мл/ч (табл. 2).

Опрыскивание листового аппарата сахарной свеклы *Bacillus amyloliquefaciens* 20 и *Bacillus*



Рисунок 1. Развитие *Bacillus amyloliquefaciens* 20 (а) и *Bacillus amyloliquefaciens* 17/8 (б) на корневой системе сахарной свеклы PMC 503

Таблица 2. Определение азотфиксирующей активности штаммов на различных питательных средах *Bacillus amyloliquefaciens* 20

Питательная среда	Штаммы	АФ, нМ C ₂ H ₄ /ч	мкг N ₂ /мл/ч
Среда Федорова	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 20	493,39	1,82
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 17(8)	605,01	2,26

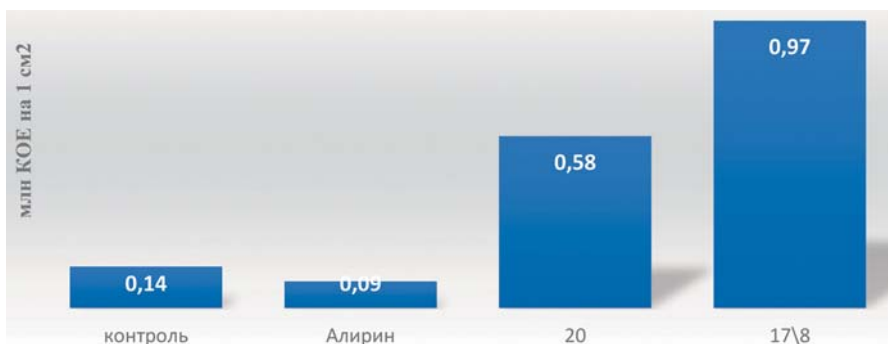


Рисунок 2. Влияние интродукции штаммов *Bacillus amyloliquefaciens* 20 и *Bacillus amyloliquefaciens* 17(8) на численность спорообразующих бактерий в филлоплане

amyloliquefaciens 17(8) проходило в жестких температурно-влажностных условиях (2023–2025 гг.). Тем не менее, при раннем сроке опрыскивания (превентивном) численность спорообразующих бактерий увеличилась до 0,58 и 0,97 тыс. КОЕ на 1 см² (в контроле – 0,14), что подтверждало приживаемость штаммов бактерий на поверхности листового аппарата культуры (рис. 2).

На поверхности листьев формируется сложное по составу сообщество бактерий [13].

Дiazотрофы – микроорганизмы, усваивающие молекулярный азот. Все они имеют сходный биохими-

ческий механизм фиксации азота воздуха, в основе которого лежит процесс восстановления N₂. Это свидетельствует о большом значении развития этих микроорганизмов для жизни растений.

Использование для превентивного опрыскивания посевов сахарной свеклы *Bacillus subtilis* 17/8 и 20 повысило численность diaзотрофов в филлоплане соответственно до 7,8 и 34,9 тыс. КОЕ на 1 см² (в контроле – 5,12). Двукратное опрыскивание этими препаратами существенно не изменило численность diaзотрофов.

Аммонифицирующие бактерии выделяют ферменты, участвующие в трансформации содержащих азот органических соединений, чем обуславливают высвобождение доступного растениям аммонийного азота.

Их численность в филлоплане растений после превентивной обработки *Bacillus subtilis* 17/8 составляла 15,6 тыс. КОЕ на 1 см² (в контроле – 9,02, а при обработке Алирином-Б – 10,73 тыс. КОЕ) и 8,72 – после двукратной (табл. 3).

Несколько иначе действует *Bacillus amyloliquefaciens* 20: после превентивной обработки численность аммонификаторов снизилась до 3,49 тыс. КОЕ на 1 см², при двукратной увеличилась до 13,41.

Иммобилизация – это биологический процесс, контролируемый бактериями, которые потребляют неорганический азот и образуют аминокислоты и биологические макромолекулы (органические формы). Микроорганизмы, принимающие участие в этом процессе, называют иммобилизаторами.

Их численность коррелирует с численностью аммонификаторов. Наибольшая численность последних в филлоплане отмечена при превентивном опрыскивании посевов *Bacillus amyloliquefaciens* 17/8. Соответственно и численность иммобилизаторов была наибольшей под влиянием этого препарата – 18,7 тыс. тыс. КОЕ на 1 см². Превентивная обработка листовой поверхности штаммом *Bacillus amyloliquefaciens* 20 способствовала снижению численности иммобилиза-

Таблица 3. Микроорганизмы филлопланы, участвующие в круговороте азота, тыс. КОЕ. на 1 см² 2024–2025 гг.

Вариант	Срок обработки	Дiazотрофы	Аммонификаторы	Иммобилизаторы азота
Контроль		5,12	9,02	14,15
Алирин-Б	Превентивная	7,26	10,73	14,15
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 17(8)	Превентивная	7,8	15,60	18,7
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 20	Превентивная	34,9	3,49	6,05
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 17(8)	Превентивная + через 2 недели	5,38	8,72	8,97
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 20	Превентивная + через 2 недели	2,93	13,41	5,85

Таблица 4. Эффективность использования *Bacillus subtilis* 20 и 17/8 по отношению болезней листового аппарата % (относительно Алирин-Б)

Препарат	Норма применения	Эффективность, %				Сохраненный урожай, т/га в среднем за 2023–2025 гг.
		эризифоз	церкоспороз	желтуха	альтернариоз	
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 20	2*1010 кл/м ² / 200 л/га	20	17	21	58	3,8–5,4
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 17(8)	2*1010 кл/м ² / 200 л/га	47	30	51	46	1,8–7,9

торов азота до 6,05 тыс. КОЕ на 1 см², а двукратная – 5,85, что, по-видимому, связано с активным потреблением минеральных форм азота растущим растением. При двукратной обработке посевов *Bacillus subtilis* 17/8 численность этой группы микроорганизмов снизилась до 8,97 тыс. КОЕ на 1 см² (в контроле – 14,15).

Эффективность использования *Bacillus subtilis* 20 и 17/8 по отношению заболеваний листового аппарата сахарной свеклы грибной этиологии оценивали по сравнению с эталоном – препаратом Алирин-Б и выражали в относительных процентах.

Интегральным показателем, характеризующим эффективность применения *Bacillus subtilis* 20 и 17/8, служит продуктивность культуры. Установлено, что наибольшей результативностью обладал штамм *Bacillus amyloliquefaciens* 17(8) при превентивной обработке посевов сахарной свеклы по листовому аппарату, а *Bacillus amyloliquefaciens* 20 – при двукратной обработке: урожайность повысилась соответственно в среднем на 8,2 и 5,4 т/га (табл. 5).

Сахаристость корнеплодов достоверно не изменилась, сбор сахара с гектара вырос соответственно на 1,60 и 0,97 т/га.

Заключение. Статистика фитосанитарной обстановки последних десятилетий показывает, что снижение разнообразия севооборотов и повышение химизации сельского хозяйства ведет к ухудшению ситуации с болезнями грибной этиологии в посевах сахарной свеклы. Химические средства защиты растений имеют много преимуществ, но наряду с этим они могут абсорбироваться в почве, тем самым подавлять агрономически ценные микроорганизмы и вызывать резистентность возбудителей заболеваний. На основе данного факта встает вопрос создания и оценки систем защиты растений с использованием биологических методов. В работе показано, что использование штаммов *Bacillus amyloliquefaciens* 20 и 17(8) отображает их закрепление на поверхности листьев и оптимизирует структуру микробного сообщества филопланы сахарной свеклы. Благодаря этому снижается распространение заболеваний листового аппарата сахарной свеклы грибной этиологии и повышается продуктивность культуры.

Список использованной литературы

1. Щербаков, А.П. Агроэкологический биомониторинг: влияние удобрений на структуру комплекса микромицетов чернозема / А.П. Щербаков, И.П. Свистова, Н.В. Малыгина // Вестник ВГУ. Серия химия, биология. - 2001. - № 2. - С. 168-171.
2. Торопова, Е.Ю. Факторы индукции супрессивности почвы агроценозов / Е.Ю. Торопова, М.П. Селюк,

Таблица 5. Влияние *Bacillus amyloliquefaciens* на продуктивность сахарной свеклы

Вариант	Срок обработки	Урожайность		Сахаристость		Сбор сахара	
		т/га	±d	%	±d	т/га	±d
Контроль	-	29,0		16,8		4,87	
Алирин-Б	Превентивная	28,7	-0,3	17,0	0,2	4,88	0,01
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 17(8)	Превентивная	37,2	8,2	17,4	0,4	6,47	1,60
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 20	Превентивная	29,4	0,4	16,3	-0,5	4,79	-0,08
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 17(8)	+ через 2 недели	28,8	-0,2	17,0	0,2	4,90	0,03
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 20	+ через 2 недели	34,4	5,4	17,0	0,2	5,85	0,97
НСР ₀₅		2,02	-	нет	-	0,31	-

О.А. Казакова, М.С. Соколов, А.П. Глинушкин // Агрохимия. -2017. - № 4. - С. 51-64.

3. Шпаар, Д. Сахарная свекла (Выращивание, уборка, хранение) / Д. Шпаар. -Мн.: ЧУП «Орех», 2004. - 326 с.

4. Захаренко, В.А. Тенденции и перспективы химической и биологической защиты растений / В.А. Захаренко // Защита и карантин растений. - № 3. - С. 6-10.

5. Емцев. В.Т. Микробиология: учебник для вузов / В.Т. Емцев. - М.: Дрофа, 2014. - 445 с.

6. Сираева, З.Ю. Биопрепарат для стимуляции роста и защиты растений от болезней на основе *Bacillus amyloliquefaciens* ВКПМ В-11008. - Автореф. на соискание степени к.-биол. н. / З.Ю. Сираева. - Казань: ФГАОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», 2012. - 24 с.

7. Леляк, А.А. Антагонистический потенциал сибирских штаммов *Bacillus* spp. в отношении возбудителей болезней животных и растений / А.А. Леляк, М.В. Штерншис // Вестник Томского государственного университета. Биология. - 2014. - № 1(25). - С. 42–55.

8. Зурочка, А.В. Бактерии как продуценты цитокиноподобных веществ / А.В. Зурочка // Российский иммунологический журнал. - 2017. - Т. 11(20). - № 3. - С. 374-376.

9. Козлова, Е.А. Биологизация систем защиты сельскохозяйственных культур от болезней / Е.А. Козлова // Вестник аграрной науки. - 2022. - № 1(94). - С.28-33.

10. Шенин, Ю.Д. Характеристика Алирина Б, основного компонента и фунгицидного препарата, продуцируемого штаммом *Bacillus subtilis*–10– ВИЗР / Ю.Д. Шенин, И.И. Новикова, Г.Л. Матевосян, Л.Ф. Кругликова, Г.В. Калько // Антибиотики и химиотерапия. - 1995. - Т. 40. - № 5. - С. 3-7.

11. Тихонович, И.А. Биопрепараты в сельском хозяйстве (Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве) / И.А. Тихонович, А.П. Кожемяков, В.К. Чеботарь и др. - М.: Россельхозакадемия, 2005. - 154 с.

12. Колесникова, М.В. Восстановление плодородия почвы в условиях гербицидной нагрузки с помощью

запашки соломы озимой пшеницы с целлюлозолизующим микромицетом / М.В. Колесникова, Н.В. Безлер // Современные тренды развития почвоведения: мат. Всеросс. научно-практ. конф. Орел, 14-15 апреля 2015. - Орел: «Картуш», 2015. - С. 23-26.

13. Bakkar, G.R. Assessment of Phylloplan microorganism populations in Canterbury apple orchards NZ / G.R. Bakkar, C.M. Frampton, M.V. Jaspers, A. Staward, M. Walter // Plant Protection. - 2002. - V. 55. - P. 129-134.

Sugar beet protection from leaf diseases with the help of aboriginal strains of aerobic spore-forming bacteria *Bacillus amyloliquefaciens* – phytopathogen antagonists

Bezler N.V., Fedorova O.A., Saeeva Yu.N.

Summary. The object of the study was bacterial antagonist strains of the phytopathogens *Bacillus amyloliquefaciens* 20 and 17(8). The aim of the research was to create a method for protecting sugar beet from diseases of the leaf apparatus based on the most promising aboriginal strains of *Bacillus amyloliquefaciens*, pathogen antagonists. Their ability to colonize the roots of sugar beet seedlings of the RMS 501 and

RMS 503 hybrids was determined in laboratory conditions. A high degree of colonization of the roots was revealed. The nitrogen fixation activity of bacterial cultures was determined. The ability of the studied cultures to fix nitrogen has been established: *Bacillus amyloliquefaciens* 20 – 1.82 micrograms N₂/ml/hour, and *Bacillus amyloliquefaciens* 17/8 – 2.26 micrograms N₂/ml/hour. Treatment of the leaf apparatus with a suspension of live cultures of these strains contributed to their colonization of the phylloplana, as evidenced by an increase in the number of spore-forming bacteria. The active development of microorganisms involved in the nitrogen cycle in the phylloplane was noted, which improved the indicators of photosynthetic activity. At the same time, a decrease in the spread of many diseases of the leaf apparatus has been observed. Treatment of crops with *Bacillus amyloliquefaciens* suspension 20 and 17(8) increased sugar beet yields by 5.4–7.9 t/ha, reduced sugar losses in molasses by 5–18 % (relative); sugar harvest increased by 0.97 and 1.60 t/ha, respectively.

Keywords: pathogen antagonists, nitrogen fixation activity, phylloplane, *Bacillus amyloliquefaciens*, sugar beet.

ИНФОРМАЦИЯ

Крым наращивает производство семян сахарной свеклы: ставка на отечественные гибриды

В Крыму ежегодно увеличиваются площади под семенниками сахарной свеклы, выращенными безвысадочным способом. В 2025 г. под урожай 2026 г. заложено более 440 га участков гибридизации, все – отечественной селекции. Специалисты Россельхозцентра провели полный цикл полевых обследований и подтвердили: семенники ушли в зиму в хорошем состоянии, а весенние проверки показали высокую сохранность растений.

Сахарная свекла – стратегическая культура, обеспечивающая продовольственную безопасность страны. И Крым вносит весомый вклад в ее семеноводство. Уникальные климатические условия полуострова позволяют выращивать семенники культуры безвысадочным способом. Данная технология снижает затраты и повышает качество семенного материала. Площади под семенниками в регионе ежегодно растут, что подтверждает курс на импортозамещение и развитие отечественной селекции.

Филиал ФГБУ «Россельхозцентр» по Республике Крым сопровождает весь цикл производства семян – от закладки семенников до рекомендаций по защите. В 2025 г., перед уходом в зиму, специалисты провели полевые обследования участков гибридизации на площади более 440 га. Оценивались густота насаждений семенников; пораженность болезнями (особенно корневыми гнилями), поврежденность вредителями (свекловичные блошки, долгоносики, минирующая муха), заселенность мышевидными грызунами. По результатам апробации семенники уходили на перезимовку в хорошем состоянии. Хозяйства получили подробные рекомендации от специалистов по защите от болезней, вредителей и сорняков.

Весной 2026 г., в фазу начала отрастания розетки листьев, было проведено повторное полевое обследование. На этот

раз определялись густота насаждений, процент сохранности растений, площадь сохранившихся семенников. По итогам весеннего мониторинга даны новые рекомендации: боронование, рыхление, подкормка, прореживание, борьба с сорняками, вредителями и болезнями. Такой системный подход позволит минимизировать потери и получить качественные семена отечественной селекции.

Особого внимания заслуживает сортовой состав. Участки гибридизации под урожай 2026 г. были заложены преимущественно гибридами селекционеров ООО «СоюзСемСвекла» – из 14 гибридов 11 предоставлены этим селекционно-генетическим центром. Компания специализируется на создании высокопродуктивных и устойчивых к заболеваниям гибридов сахарной свеклы.

«Эти гибриды уже не первый год высеваются в Крыму, показывая стабильные результаты, а посевные площади под ними увеличиваются из года в год, – комментирует руководитель филиала Андрей Алексеенко. – Мы видим, что отечественная селекция способна конкурировать с лучшими мировыми образцами. Крымские условия позволяют получать семенной материал высшего качества, и наша задача – сопровождать этот процесс на всех этапах: от обследования семенников до фитосанитарного контроля и рекомендаций по защите.

Развитие семеноводства сахарной свеклы – это вклад в продовольственную безопасность России, и Крым находится на передовой».

Увеличение посевных площадей семенников сахарной свеклы в Крыму – не просто цифры. Это реальный шаг к обеспечению аграриев страны семенами отечественной селекции, снижение зависимости от импорта и укрепление суверенитета в стратегически значимой отрасли – сахаропроизводстве.

Россельхозцентр