

# ПЕРВЫЕ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ГИБРИДЫ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

**Логвинов А.В.**, доктор сельскохозяйственных наук  
**Мищенко В.Н.**, кандидат сельскохозяйственных наук  
**Логвинов В.А.**, кандидат биологических наук  
**Шилов И.А.**, доктор биологических наук  
**Шевченко А.Г.**, доктор сельскохозяйственных наук  
**Жабатинская Ю.В., Плешаков А.А.**,  
научные сотрудники  
ФГБНУ «Первомайская селекционно-опытная  
станция сахарной свеклы»  
e-mail: 1maybest@mail.ru

**Аннотация.** Представлен анализ экспериментальных данных исследований на основе использования достижений в области генной инженерии и классической селекции по созданию биотехнологических линий и гибридов сахарной свеклы, устойчивых к глифосату. Даны ссылки на предшествующие собственные публикации, отражающие разработку и освоение методологических и методических подходов. Установлен характер наследования у гетерозиготных форм сахарной свеклы, устойчивых к глифосату. Созданы и апробированы в селекционной практике первые раздельноплодные стерильные линии ТМС 8-93 и ТМС 3-127, устойчивые к глифосату, а также сростноплодные фертильные линии-доноры ТОн 3-99, ТОн Кр24 и ТОн 2-110 с устойчивостью к глифосату 96–100 %, в качестве отцовских компонентов скрещивания. Высокую продуктивность показал первый устойчивый к глифосату и церкоспорозу биотехнологический гибрид сахарной свеклы ТГ-1385 с урожайностью 61,4 т/га. Гибель сорных растений после опрыскивания глифосатом в поле составила 98,5 %, при этом сохранность растений сахарной свеклы в среднем за два года составила 98 %.

**Ключевые слова:** сахарная свекла, селекция, линии-доноры биотехнологического гибрида, устойчивость, глифосат, испытание, урожайность.

В программе исследований по созданию новых гибридов сахарной свеклы предусматривался контроль численности сорных растений в агроценозах разных гибридов [3, 5, 7]. В условиях повышенного негативного влияния биотических и абиотических факторов на растения сахарной свеклы актуальными стали новые подходы в использовании генно-инженерных материалов, позволяющих изменять генотипы сахарной свеклы и создавать устойчивые к глифосату формы, тем самым существенно снижать засоренность посе-

вов, а также сокращать кратность и объемы внесения агрохимикатов [1, 4, 6, 8].

В настоящее время обобщены достаточно обширные материалы исследований зарубежных и отечественных авторов, обосновавшие целесообразность форсирования исследований по созданию гибридов сахарной свеклы, устойчивых к глифосату [2, 7, 9].

Метод получения принципиально новых генотипов включал два основных этапа исследований (рис. 1). На первом этапе в специализированных высокотехнологичных лабораториях выделялись целевые клетки – трансформанты с генетическим материалом, обуславливающим устойчивость к глифосату для создания константных линий.

Второй этап включал методы традиционной классической селекции, но с использованием генно-инженерных материалов. В полевых условиях ежегодно проводились отборы растений с целевыми признаками. Отбирались генетически однородные потомки, устойчивые к глифосату и церкоспорозу, способные к воспроизводству и наследованию устойчивости к глифосату [1, 5].

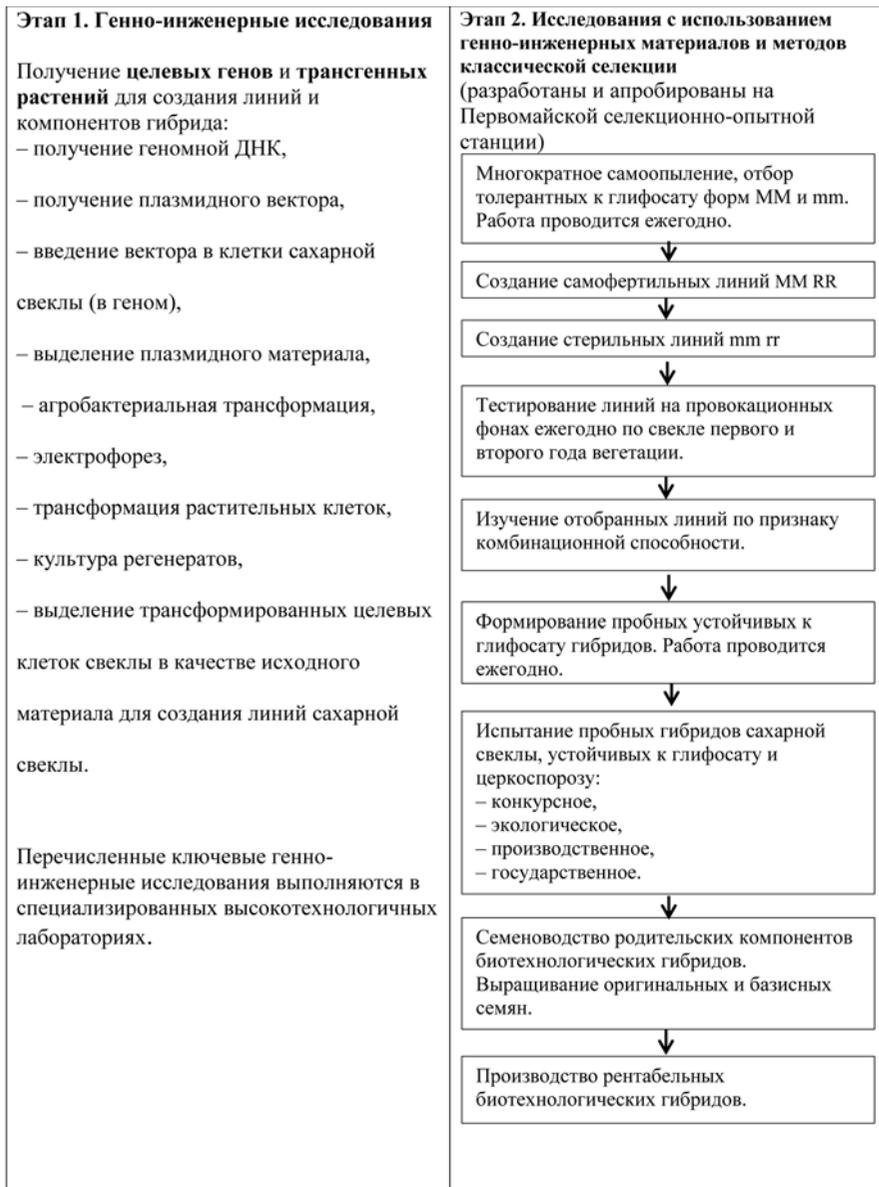
**Цель исследований** – выделить и отобрать устойчивые к глифосату комбинационно способные линии сахарной свеклы в качестве компонентов скрещивания и доноров устойчивости. Конечной целью является **создание рентабельных, устойчивых к глифосату и церкоспорозу отечественных биотехнологических гибридов сахарной свеклы.**

В основу нашей работы были положены следующие концептуальные положения и термины:

1. **Сахар** имеет химическую формулу  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , не содержит белок и ДНК и не зависит от геномной модификации. Из этого можно сделать вывод, что публикации в СМИ о трансгенном сахаре не имеют научного обоснования [4, 9].

2. **Глифосат**  $C_3H_8NO_5P$  – N-(фосфонометил)-глицин – системный неселективный гербицид для сплошного уничтожения растений. Он подавляет синтез ароматических аминокислот – фенилаланина и тирозина, блокируя работу гена – фермента EPSPS (5-енолпирувил шикимат-3-фосфат синтаза). После опрыскивания вызывает гибель растений в агроценозе обычной сахарной свеклы, при выращивании устойчивых к глифосату гибридов растения культуры остаются невредимыми. Для человека и теплокровных животных безопасен [4].

Рисунок 1. Схема поэтапного создания биотехнологических форм и гибридов сахарной свеклы, устойчивых к глифосату (публикуется впервые в упрощенном виде)



3. **Линия сахарной свеклы** – генетически однородные потомки, устойчивые к глифосату, созданные с использованием современных достижений биотехнологии и классической селекции, содержащие привнесенный в клетки сахарной свеклы генно-инженерный материал ДНК для получения целевых свойств. Растения линии способны к воспроизводству и наследованию устойчивости к глифосату при репродукции.

4. **Биотехнологический гибрид сахарной свеклы** – это гетерозиготный организм, устойчивый к глифосату, созданный с использованием современных достижений биотехнологии и классической селекции, содержащий привнесенный в клетки сахарной свеклы генно-инженерный материал ДНК для повышения продуктивности и качества продукции.

Исследования проводили на экспериментальной базе Первомайской селекционно-опытной станции и в научно-производственном хозяйстве «Кубань» Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина.

Ранние исследования показали, что устойчивость или толерантность к глифосату контролируется доминантным геном EPSPS.

В работе использовали следующие обозначения: RR – гомозигота по доминантному признаку устойчивости к глифосату, rr – гомозигота по рецессивному признаку устойчивости, а Rr – гетерозигота по признаку устойчивости к глифосату.

T-формы – это растения, в потомстве которых растения первого и второго года жизни или погибали, или оставались невредимыми после обработки глифосатом. Каждый год проводили самоопыление и отбор по признаку устойчивости.

Для создания константного селекционного материала в качестве реципиента использовали следующие формы растений сахарной свеклы, ранее полученные на Первомайской селекционно-опытной станции:

1. Фертильные линии-опылители (MM) разного происхождения, многосемянные.

2. Фертильные линии O-типа (mm), проверенные на закрепительную способность по признаку ЦМС (генотип Nxxxz), односемянные.

3. MC-линии, в качестве MC-тестера, со стерильной пылью,

с генотипом Sxxxz (MC) для получения гибридных семян отечественных TMC-гибридов (устойчивых к глифосату).

В методическом плане для разных групп скрещивания и гибридных комбинаций были разработаны индивидуальные подходы:

1. В процессе самоопыления и размножения по типу sibсов применяли индивидуальные и парные изоляторы, групповые и вегетационные кабины.

2. Для получения пробных гибридных комбинаций компоненты скрещивания высаживали на небольших пространственно изолированных участках (на расстоянии 3–5 км друг от друга) для свободного переопыления.

3. Полученные в опытах пробные TMC-гибриды и отцовские компоненты (TMM) ежегодно оценивали

по устойчивости к глифосату, сравнивали с контрольным гибридом по урожайности, качеству продукции, устойчивости к церкоспорозу и рентабельности. Растения выращивали по общепринятым методикам с некоторыми модификациями, которые были представлены ранее в наших работах [1, 5].

Исследуемые растения Т-форм, экспериментальных гибридов и гибридных комбинаций от анализирующих и насыщающих скрещиваний обрабатывали глифосатом в фазе первой или второй пары настоящих листьев. Растения, не выжившие в ходе эксперимента, относили к генотипу «гг». Оставшиеся в живых растения фенотипически не различались по генотипу, предположительно были типа «Rg» или «RR». Дальнейший отбор шел по фенотипу. Сохранность растений сахарной свеклы и гибель сорняков учитывали через 7 и 10 дней после опрыскивания глифосатом.

Статистическую обработку данных проводили ежегодно, рассчитывали все показатели стандартными методами с использованием пакетов прикладных программ EXCEL и STATISTICA.

На первом этапе селекционных работ создание устойчивых к глифосату линий ограничивалось получением сростноплодной гомозиготной отцовской линии с геном RR и обычной линией МС mm гг. Отцовская линия создавалась самофертильной (для сохранения генотипа), комбинационно способной (КС) и устойчивой к болезням. Такую форму многократно скрещивали с обычной МС линией для получения гибридных F1 семян. При таком способе скрещивания в гибридном потомстве формировали генотип Rg, устойчивый к глифосату (рис. 2). При использовании таких гибридных семян в производственных посевах можно применять любой гербицид, содержащий глифосат в соответствии с разработанными рекомендациями.



Тестирование устойчивых к глифосату гибридов на ранних этапах развития в лабораторных условиях

Рисунок 2. Устойчивость к глифосату потомков при скрещивании неустойчивой материнской линии и устойчивой отцовской линии

		Материнская форма	
		г	г
Отцовская форма	R	Rr	Rr
	R	Rr	Rr

Рисунок 3. Устойчивость потомков к глифосату при скрещивании гетерозиготных родительских компонентов скрещивания

		Материнская форма	
		R	г
Отцовская форма	R	RR	Rr
	г	Rr	гг

Рисунок 4. Устойчивость потомков к глифосату при скрещивании неустойчивой материнской формы с гетерозиготной по устойчивости к глифосату отцовской формой

		Материнская форма	
		г	г
Отцовская форма	R	Rr	Rr
	г	гг	гг

При скрещивании устойчивой формы RR с обычной гг половые клетки R и г от другого родителя объединяются. Все генотипы Rg будут устойчивыми к глифосату (см. рис. 2).

При скрещивании (или самоопылении) гибридов F1 Rg во втором поколении F2 происходит расщепление по генотипу в соответствии 1 RR:2 Rr:1 гг, а по фенотипу в соотношении 3 Rr:1 гг. В данном событии 75 % растений будут устойчивыми, а 25 % – погибнут от действия глифосата (рис. 3).

Сохранившиеся растения при скрещивании с обычной неустойчивой формой в следующем третьем поколении снова дадут расщепление (рис. 4). Если сохранившиеся гетерозиготные растения снова скрестить с обычной формой, то в потомстве при обработке глифосатом погибнет 50 % растений сахарной свеклы.

Устойчивые к глифосату формы по фенотипу существенно не отличались от обычных, кроме как по привнесенному гену (признаку).

Из представленных схем и расчетов следует, что только гомозиготная по гену R отцовская линия RR при скрещивании с обычной материнской линией mm гг способна давать 100 % ге-

терозиготных растений, устойчивых к глифосату (см. рис. 2–4). Размножение и надежное сохранение генотипа с доминантным геном R возможно путем самоопыления и внутрисемейного (сибсового) размножения после трех-четырёх самоопылений и отбора.

Достоверность устойчивости линий к глифосату подтверждалась в процессе ежегодных тестирований на стабильность экспрессии привнесенного гена.

Получены и включены для размножения первые стерильные раздельноплодные линии ТМС 8-93 и ТМС 3-127 и константные сростноплодные фертильные линии – доноры Топ 3-99, Топ Кр24 и Топ 2-110 с устойчивостью к глифосату 96–100 %.

В экологическом испытании высокую продуктивность в течении ряда лет подтвердил устойчивый к глифосату **биотехнологический гибрид сахарной свеклы ТГ 1385** (табл.).

Согласно средним данным, полученным в экологическом испытании, урожайность первого биотехнологического гибрида ТГ 1385 достигла 61,4 т/га, что на 4,7 т/га выше стандарта гибрида Рубин, а прибавка по урожайности соответственно 8,3 %. По содержанию сахара значительных отличий не обнаружено. Сбор сахара у гибрида ТГ 1385 составил 10,0 т/га, что на 7,5 % больше по сравнению с коммерческим гибридом Рубин (см. табл.). Устойчивость к глифосату составила 98 %. Пораженность церкоспорозом не превышала 1,5 балла, засоренность посевов перед уборкой отмечена на уровне 1,6 %. Другой гибрид – ТГ 1386 по основным показателям уступал стандарту.

Таким образом, только гомозиготная по гену R отцовская линия RR при скрещивании с обычной материнской линией mm gg способна давать 100 % гетерозиготных растений, устойчивых к глифосату.



Тестирование устойчивых к глифосату гибридов сахарной свеклы в полевых условиях

Ежегодно достоверность устойчивости линий сахарной свеклы к глифосату подтверждалась в процессе самоопыления, сибсового размножения и тестирования на стабильность экспрессии привнесенного гена.

Получены и планируются для семеноводства первые стерильные раздельноплодные линии ТМС 8-93 и ТМС 3-127 и константные сростноплодные фертильные линии - доноры устойчивости Топ 3-99, Топ Кр24 и Топ 2-110 с устойчивостью к глифосату 96–100 %. **Линии подлежат регистрации в Госреестре селекционных достижений Российской Федерации.**

В экологическом испытании высокую урожайность 61,4 т/га и сбор сахара 10,0 т/га показал первый биотехнологический гибрид устойчивый к глифосату ТГ 1385. Гибель сорных растений после опрыскивания глифосатом составила более 98 %.

Для продолжения исследований выращены семена и корневой материал селекционных образцов.

Таблица. Продуктивность первых биотехнологических гибридов сахарной свеклы устойчивых к церкоспорозу и глифосату по данным экологического испытания (средние показатели испытания по двум экологическим пунктам в 2022–2023 гг.)

Номер в каталоге	Гибрид	Густота, тыс/га	Урожайность (биол.), т/га	Сахаристость, %	Сбор сахара, т/га	Устойчивость к глифосату, %	Засоренность, %	Поражение церкоспорозом, балл
2253	ТГ 1385	118	61,4	16,3	10,0	98	1,6	1,5
2254	ТГ 1386	115	56,0	16,1	9,0	97	1,5	1,8
–	Рубин, стандарт	119	56,7	16,3	9,3	0	2,9	1,5



Общий вид участка испытания гибридов сахарной свеклы после обработки глифосатом против сорняков. Сорные растения на испытательном участке погибли, при этом устойчивые к глифосату гибриды сахарной свеклы остались невредимыми.

#### Список использованной литературы

1. Балков, И.Я. Особенности создания толерантных к глифосату форм сахарной свеклы / И.Я. Балков, В.А. Логвинов, А.Н. Евсеева, В.В. Моисеев, В.Н. Мищенко, А.В. Логвинов, А.А. Шувалов, Р.Н. Райлян // Труды Кубанского государственного аграрного университета. - 2017. - № 1(64). - С. 58-65.

2. Борлоуг, Н.Э. Семена возможностей: перспектива сельскохозяйственной биотехнологии / Н.Э. Борлоуг // Доклад на международной конференции. - Лондон. - 2001.

4. Кирпичников, М.П. Принципы создания генно-инженерно-модифицированных растений / М.П. Кирпичников // Генетически модифицированные источники пищи: оценка безопасности и контроль. - М.: РАМН. - 2007. - С. 15-34.

5. Логвинов, А.В. Новые гибриды сахарной свеклы / А.В. Логвинов, В.Н. Мищенко, В.А. Логвинов, И.А. Шилов, А.В. Моисеев // Труды Кубанского государственного аграрного университета. - Краснодар. - 2020. - № 1(82). - С. 80-89.

6. Смирнов, М.А. Производство сахарной свеклы в России: состояние, проблемы, направления развития / М.А. Смирнов // Сахарная свекла. - 2018. - № 7. - С. 2-7.

7. Угрюмов, Е.П. Трансгенные гербицидоустойчивые сельскохозяйственные растения: эффективность и условия безопасности применения в практике / Е.П. Угрюмов, А.П. Савва, В.Д. Надыкта и др. // Материалы международной научно-производственной конференции. - Краснодар, 2003.

8. Харченко, П.Н. Биотехнология в растениеводстве / П.Н. Харченко // Вестник РАСХН. - 2011. - №11. - С. 30-32.

9. Чемерис, А.В. Борьба с ГМО как неолысенковщина / А.В. Чемерис, Д.А. Чемерис, А.Х. Баймиев, А.В. Князев, Б.Р. Кулуев, И.В. Максимов // Биомика. - 2015. - Том 7. - № 1. - С. 1-39.

**The first biotechnological hybrids of sugar beet**  
**Logvinov A.V., Mishchenko V.N., Logvinov V.A., Shilov I.A., Shevchenko A.G., Zhabatinskaya Yu.V., Pleshakov A.A.**

**Summary.** An analysis of experimental research data is presented based on the use of achievements in the field of genetic engineering and classical selection to create biotechnological lines and hybrids of sugar beet resistant to glyphosate. Links are given to previous own publications reflecting the development and exploration of methodological and methodical approaches. The nature of inheritance in heterozygous forms of sugar beet resistant to glyphosate has been established. The first separate sterile lines TMS 8-93 and TMS 3-127, as well as fertile donor lines TOP 3-99, TOP Kr24 and TOP 2-110 with glyphosate resistance of 96–100 %, were created and tested in breeding practice as paternal ones. crossing components. The first biotechnological hybrid of sugar beet TG-1385, resistant to glyphosate and cercosporosis, showed high productivity with a yield of 61.4 t/ha. The death of weeds after spraying with glyphosate in the field was 98.5 %, the safety of sugar beet plants on average over two years was 98 %.

**Key words:** sugar beet, breeding, donor lines, biotechnological hybrid, resistance, glyphosate, testing, yield.