

# Результаты этапных исследований по созданию биотехнологических гибридов сахарной свёклы

**А.В. ЛОГВИНОВ**, канд. с/х. наук, **В.Н. МИЩЕНКО**, канд. с/х. наук, **В.А. ЛОГВИНОВ**, канд. биолог. наук,

**А.Г. ШЕВЧЕНКО**, д-р с/х. наук

ФГБНУ «Первомайская селекционно-опытная станция сахарной свёклы» (e-mail: 1maybest@mail.ru)

**И.А. ШИЛОВ**, д-р биолог. наук

ФГБНУ «Всероссийский НИИ сельскохозяйственной биотехнологии»

## Введение

По мере дальнейшего развития отрасли свекловодства для повышения конкурентоспособности свекловичного подкомплекса потребуется шире внедрять в производство новые гибриды и современные интенсивные технологии, направленные на получение стабильных урожаев даже в условиях нестабильности почвенно-погодных факторов [12, 15].

Сахарная свёкла относится к культурам интенсивного земледелия, требующим при возделывании значительного расхода финансовых средств и материальных ресурсов [11, 12, 15]. Главным показателем интенсификации производства культуры остаётся урожайность корнеплодов новых гибридов, которая отражает не только выход продукции с единицы площади, но и уровень развития агротехнологии [16, 17]. В то же время не решён вопрос зависимости свекловодства от поставки свеклосемян гибридов зарубежной селекции, техники и пестицидов. Основным направлением селекции является сохранение стабильности достигнутого уровня и повышение продуктивности перспективных гибридов [10–12].

Среди приоритетных факторов в процессе реализации государ-

ственной политики импортозамещения важную роль играют следующие мероприятия:

– ускоренное создание новых рентабельных гибридов, в том числе биотехнологических, полученных на основе современных методов биотехнологии и генной инженерии;

– организация системы первичного и репродукционного семеноводства новых гибридов сахарной свёклы;

– внедрение ресурсосберегающих агротехнологий производства, обеспечивающих снижение материальных затрат и нагрузки на окружающую среду.

Традиционная селекция далеко не исчерпала возможности повышения продуктивности сахарной свёклы, тем не менее сегодня она уже не может обеспечить коренную перестройку растения. Поэтому особую значимость приобретает использование способов биотехнологии для создания большего генетического разнообразия и отбора форм с целевыми признаками и свойствами [13].

В нашей стране внедрение биотехнологических подходов к селекции долгое время не включалось в планы практических работ селекционно-семеноводческих учреждений, и только в 2012 г. за-

дания по генной инженерии были включены в Комплексную программу развития биотехнологии в России на период до 2020 года – «БИО-2020». В ряде публикаций учёных содержалось предостережение, что без использования биотехнологических инноваций сельскохозяйственное производство в Российской Федерации будет по-прежнему высокочрезвычайно затратным и будет проигрывать в конкурентоспособности зарубежным странам [12–14]. Отмечалось также, что в основе генетического улучшения различных признаков сортов и гибридов, включая борьбу с сорняками, а также устойчивость к биотическим и абиотическим факторам, лежит классическая селекция [3, 14, 17].

Правительство РФ 23 сентября 2013 г. приняло Постановление № 839 «О государственной регистрации генно-инженерно-модифицированных организмов, предназначенных для выпуска в окружающую среду, а также продукции, полученной с применением таких организмов или содержащей такие организмы». В документах отмечалось, что развитие биотехнологических исследований позволит устранить многолетнее отставание сельскохозяйственной науки в области генетики, гетеро-

зисной селекции и научного семеноводства [8–10].

Значение биотехнологий многократно подчёркивал в своих трудах старейший учёный, лауреат Нобелевской премии Норман Эрнест Борлоуг [6]. В докладе на Международной конференции «Семена возможностей: перспективы сельскохозяйственной биотехнологии» (Лондон, 2001 г.) он отмечал: «Почти все наши традиционные продукты питания представляют собой результат естественных мутаций и генетической трансформации, которые служат движущими силами эволюции. Не будь этих основополагающих процессов, мы всё ещё барахтались бы в донных осадках первобытного океана». Он напомнил, что пшеница приобрела свои современные качества в результате необычных, но вполне естественных, природных скрещиваний между различными видами трав, а сегодняшний пшеничный хлеб – результат комбинаций трёх растительных геномов. В этом смысле пшеничный хлеб следовало бы отнести к трансгенным, или генетически модифицированным (ГМО), продуктам. Ещё один результат трансгенной гибридизации – современная кукуруза, появившаяся благодаря скрещиванию разных видов *Teosinte* и *Tripsacum* (трипсакум – древний аллополиплоид). По мнению Н. Борлоуга, «на протяжении последних 100 лет учёные смогли применить свои резко расширившиеся познания в генетике, селекции, физиологии растений и других дисциплинах для того, чтобы ускорить процесс совмещения высокой урожайности с высокой устойчивостью к различным стрессам».

Важно главное: природа создала пшеницу из растительных геномов трёх разных видов – тритикуму урарту и двух видов эгилопсов [14].

Проанализировав геном 631 вида растений, учёные пришли к выводу, что к генно-модифицирован-

ными организмам относятся клубника, батат, арахис, хмель, грецкий орех и др. В 2016 г. более ста Нобелевских лауреатов и учёных с мировым именем обратились к правительствам всех стран перестать критиковать использование ГМО-культур в сельском хозяйстве.

В последние годы в зарубежных странах особое ускорение придаётся созданию высокорентабельных биотехнологических гибридов сахарной свёклы, обладающих толерантностью к глифосату – гербициду сплошного действия, наименее вредоносному для теплокровных организмов и наиболее эффективно контролирующему засорённость посева [1, 6, 10]. В Российской Федерации до недавнего времени практически не создавались биотехнологические гибриды сахарной свёклы нового поколения, устойчивые к гербицидам, засухе, пониженным температурам и другим неблагоприятным условиям среды [2, 4, 5].

Президент РФ В.В. Путин 28 ноября 2018 г. подписал Указ № 680 «О развитии генетических технологий в Российской Федерации». Правительству поручалось в течение трёх месяцев разработать и утвердить федеральную научно-техническую программу развития генетических технологий на 2019–2027 гг. В апреле 2019 г. было издано Постановление Правительства РФ № 479 «Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития генетических технологий на 2019–2027 годы», в котором геномное редактирование организма, генетически модифицированные организмы в нашей стране легализованы и преследуется цель «биобезопасности и обеспечения технологической независимости страны».

#### **Актуальность исследований**

Самый большой урон продуктивности гибридов сахарной свёклы наносят сорные растения.

Сахарная свёкла по сравнению с другими полевыми культурами восприимчива к сорным растениям на всех этапах роста и развития. Гербициды как сильные ингибиторы метаболизма, уничтожая сорные растения, в течение 7–10 дней оказывают токсическое воздействие и на сахарную свёклу. Поэтому создание гибридов сахарной свёклы, устойчивых к гербицидам, следует признать одной из приоритетных целей отечественной селекции.

#### **Цель исследований**

Основной целью исследования было поставлено создание толерантных к глифосату линий сахарной свёклы в качестве доноров устойчивости на базе отечественных ранее полученных самофертильных отдельноплодных линий О-типа, МС-форм и сростноплодных опылителей. Практическим результатом является получение рентабельных, устойчивых к глифосату биотехнологических гибридов, с помощью которых существенно снизятся риски нанесения вреда сахарной свёкле и окружающей среде путём уменьшения гербицидной нагрузки.

#### **Материалы и методы исследований**

На первом этапе работы решалась задача классическими селекционно-генетическими методами создать новые отдельноплодные линии *mm* и сростноплодные линии *MM*, обладающие толерантностью (устойчивостью) к церкоспорозу и глифосату.

На втором этапе продолжалась селекционная работа по изучению биолого-хозяйственных признаков генетически изменённых комбинационно-способных линий, их гибридизация, всестороннее испытание и отбор наиболее ценных гибридов. После тщательного анализа цифровых данных принималось решение об использовании

наиболее продуктивных и рентабельных гибридов.

В исследованиях руководствовались следующими положениями.

1. Сахар (дисахарид), как известно, имеет химическую формулу  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , не содержит ни белков, ни ДНК и не зависит от модификации генов. В этом отношении сахарная свёкла является идеальным объектом для биотехнологии, и растиражированные опасения СМИ о трансгенных мутационных растениях некорректны по отношению к сахару.

2. Для начального изучения методами классической селекции были отобраны гетерозиготные материалы сахарной свёклы неизвестного происхождения, разные биотипы которых частично проявляли признак устойчивости к глифосату и различались по ряду хозяйственно ценных признаков.

3. Глифосат  $C_3H_8NO_5P-N$ - (фосфонометил)-глицин – системный неселективный гербицид для уничтожения сорных растений.

4. Для ускорения процесса селекции использовали теплицу, где проводили самоопыление и парные скрещивания по схеме «реципиент × донор», оценку и отбор наиболее ценных форм.

При подборе материала и методик исследования для определения генотипа сахарной свёклы по признаку толерантности к глифосату в основу были положены Менделевские представления о доминантности и рецессивности. Условно принималось, что толерантность контролируется доминантным геном устойчивости и что RR – гомозигота по доминанте, rr – гомозигота по рецессиву, а Rr – гетерозигота по признаку толерантности. Растения с признаками толерантности к глифосату обозначали как T-формы, например Топ-опылители, ТО-типы, ТМС-линии, ТГ-гибриды.

На первом этапе применяли самоопыление предполагаемых

T-форм, в потомствах которых растения первого и второго года жизни или погибали, или сохранялись после опрыскивания глифосатом в определённых концентрациях. При этом исходили из того, что константные линии (RR) можно получить только последовательным (не менее трёх раз) самоопылением, а отбором в поколениях отслеживать их гетерозиготность.

В наших опытах с целью получения толерантных к глифосату селекционных материалов в качестве реципиента впервые использовали следующие формы, ранее созданные на Первомайской селекционно-опытной станции сахарной свёклы.

1. Многосемянные фертильные линии – опылители (ММ) различного происхождения – отцовские формы для районированных и перспективных гибридов, созданные индивидуальным отбором из популяций в сочетании с последующим инцуктом и оценкой по комбинационной способности.

2. Односемянные фертильные линии O-типа (mm), проверенные на закрепительную способность по признаку ЦМС (генотип Nxxzz), используемые в качестве фертильных аналогов для размножения МС-линий различного типа.

3. В качестве МС-тестера и, возможно, будущего материнского компонента T-гибрида использовали МС-линии, стерильные по пыльце – функционально женские раздельноплодные аналоги линий O-типа с генотипом mmSxxzz (МС). МС-тестеры применяли для принудительных парных скрещиваний в изоляторах с целью уточнения генотипа отцовской T-формы и на пространственно изолированных участках при свободном перекрёстном опылении для получения гибридных семян первых отечественных пробных ТМС-гибридов (толерантных к глифосату).

В процессе самоопыления и размножения по типу sibсов применяли индивидуальные и парные изоляторы, групповые и вегетационные кабины, а для получения пробных гибридов компоненты скрещивания высаживали на небольших пространственно изолированных участках (на расстоянии 2–3 км друг от друга) для свободного переопыления. Эффективность скрещивания во многом зависела от синхронности (или несинхронности) цветения компонентов скрещивания. Полученные в опытах пробные ТМС-гибриды и отцовские компоненты (ТОп) оценивали по устойчивости к глифосату и сравнивали с контрольным коммерческим гибридом по урожайности, качеству продукции, устойчивости к болезням, цветущности. Выращивание проводили по общепринятым методикам с некоторыми изменениями и дополнениями [3].

Растения подопытных T-форм, пробных гибридов и номеров (образцов) от анализирующих и насыщающих скрещиваний обрабатывали глифосатом в фазе первой и (или) второй пары настоящих листьев, а затем в теплице (или в поле, в зависимости от цели опыта) в фазу розетки семенников на втором году жизни. Погибшие экземпляры причисляли к генотипу rr. Оставшиеся в живых растения фенотипически не различались и по генотипу были скорее всего типа Rr или RR. Какие генотипы из них преобладали – определить было невозможно, и растения для дальнейших исследований отбирали по фенотипу. Сохранность растений учитывали через 5, 7 и 10 дней после опрыскивания глифосатом. Наблюдения, учёты и анализ цифровых данных проводили по общепринятым методикам. Контролем (стандартом) во всех опытах служил коммерческий гибрид Кубанский МС 95.

**Результаты исследований**

В табл. 1 представлены результаты тестирования наиболее ценных толерантных к глифосату форм сахарной свёклы.

Учёты проводились на 10-й день после опрыскивания глифосатом. Полную гибель сорняков (100 %) отмечали на 5–7-й день после опрыскивания в зависимости от погодных условий.

Изучаемые формы после 2–4 самоопылений в различной степени были толерантны к воздействию глифосата (от 48 до 100 %) и нуждались в дальнейшем подтверждении своей устойчивости в последующих поколениях, так как определить среди них генотипы MMRR и MMRr пока не представлялось возможным. В 2016 г. было продолжено самоопыление или скрещивание их с обычными и частично толерантными МС-линиями с каталожными номерами 380 и 384 на пространственно изолированных участках («клумбах»), а отдельные линии размножали при свободном переопылении в пределах участка (табл. 2).

Так, на участке («клумбе») № 2 размножали в большом объёме толерантную к глифосату mm TMC-линию под № 384. Гибридизацию с толерантными опылителями на пространственно изолированных участках проводили также и с обычными (не устойчивыми к глифосату) стерильными формами МС 12171, МС 12173, МС 27038 и МС С-1. Наиболее устойчивые из них показаны в табл. 3.

Все экспериментальные гибриды в 2017 г. были протестированы в полевых условиях по признакам устойчивости к глифосату, церкоспорозу, урожайности, сахаристости и комбинационной способности. На отдельных пространственно изолированных участках в условиях строгой изоляции продолжались исследования по созданию толерантных стерильных линий. Результаты создания и тестирова-

**Таблица 1.** Наиболее ценные толерантные ММ-формы сахарной свёклы по признаку устойчивости к глифосату

№ п/п	Т-форма, MMRR, MMRr	Каталожный номер	Устойчивость к глифосату, %				Получено	
			2012	2013	2014	2015	семян, г, шт.	корнеплодов, шт.
1	Растение 2-94	301	48	93	97	90	105 г	186
2	-- 3-99	306	69	99	95	95	75 г	134
3	-- 3-128	314	–	93	98	95	12 г	66
4	Раст. Кр. 10	281	–	–	91	100	900 шт.	9
5	-- Кр. 12	283	–	–	--	94	600 --	13
6	-- Кр. 14	285	–	–	--	90	800 --	14
7	-- Кр. 17	287	–	–	--	100	900 --	13
8	-- Кр. 24	290	--	–	--	97	800 --	14
9	-- Кр. 1	316	–	–	94	85	20 г	94
10	-- Кр. 5	322	–	–	94	79	45 г	109
11	-- Кр. 22	323	–	–	94	93	23 г	142
12	Контроль, гибрид Кубанский МС 95	–	0	0	0	0	–	–

**Таблица 2.** Толерантность к глифосату фертильных ММ-опылителей и mm МС-линий на пространственно изолированных участках в 2016 г. (%)

№ п/п	Т-форма	Каталожный номер	Толерантность на участках			
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1	ММ 2-94	301	75	–	–	–
2	mm TMC	384	100	100	100	100
3	mm TMC	380	100	–	100	100
4	ММ 3-99	306	–	–	94	–
5	ММ Кр. 22	323	–	100	–	100
6	Контроль, гибрид Кубанский МС 95	–	0	0	0	0

**Таблица 3.** Устойчивость к глифосату отдельных пробных МС-гибридов. Семена выращены в 2016 г.

№ п/п	Каталожный номер	Гибриды (или линия)	Устойчивость, %	Всхожесть, %	Масса семян, г
1	704	МС 12171 × ММ 3-99 (к. н. 306)	93	88	478
2	705	МС 12173 × --	91	85	540
3	708	МС 27038 × --	90	84	520
4	709	МС С-1 × --	86	89	717
5	712	МС 12171 × ММ Кр. 22 р. 2	99	85	530
6	729	TMC 1-97 × Оп ММ 6444	92	89	350
7	Контроль, гибрид Кубанский МС 95		0	94	–

Примечание. Всхожесть семян пробных Т-гибридов показана после первичной очистки

ния их на устойчивость к глифосату представлены в табл. 4.

Линии с каталожными номерами 498, 516, 528, 531 и 533 как самые устойчивые были включены в программу дальнейших исследований.

Растения стандарта – гибрида Кубанский МС 95 и сорные растения погибали на 7–10-й день после опрыскивания глифосатом. Наиболее устойчивым оказался горец вьюнковый: погибал на 17–19-й день.

Продуктивность первых экспериментальных (пробных) ТМС-гибридов сахарной свёклы показана в табл. 5. Различия по урожайности, сахаристости и технологическим качествам не превышали НСР<sub>05</sub>. Наибольшую устойчивость показали гибриды с каталожными номерами 469 и 471.

В последние годы исследования особое внимание уделялось созданию и поддержанию односемянных закрепителей стерильности с генотипом RRN<sub>xxxx</sub> mm для толерантных к глифосату МС-линий с генотипом RRS<sub>xxxx</sub> mm. В табл. 6 представлены результаты конкурсного испытания в 2019 г. наиболее толерантных к глифосату гибридов сахарной свёклы. Гибрид с каталожным номером 875 существенно превышал показатели средние по опыту, урожайность и сбор сахара с 1 га составляли соответственно 115 и 112 %.

В экологическом испытании изучались четыре биотехнологических МС-гибрида, устойчивых к глифосату, с каталожными номерами ТГ935(1382), ТГ 937(1383), ТГ 944(1385) и ТГ 946(1386). Учёты проводились в два срока: 10 сентя-

бря и 8 октября при ручной копке (табл. 7) и при механизированной комбайновой уборке 25 октября (табл. 8).

При уборке 10 сентября гибрид с каталожным номером ТГ 944(1385) превышал средние показатели по опыту по урожайности, сахаристости и сбору сахара с 1 га.

В первый срок уборки варьирование показателей среди гибридов составляло:

- по урожайности 53,7–88,0 т/га;
- по сахаристости 15,4–17,1 %;
- по сбору сахара 9,9–14,6 т/га.

Во второй срок уборки гибрид ТГ 944(1385) подтвердил свои преимущества по продуктивности, варьирование показателей было следующим:

- по урожайности 81,6–102,9 т/га;
- по сахаристости 15,6–17,3 %;
- по сбору сахара 12,7–15,9 т/га.

За период с 10 сентября по 8 октября средний прирост по гибридам составил: по урожайности 26,2 т/га (39 %), сбору сахара 4,2 т/га (38 %). Существенных изменений по доброкачественности очищенного сока не отмечено. Устойчивость гибридов сахарной свёклы к глифосату варьировала от 87 до 96 %.

Наибольшее влияние на уровень продуктивности гибридов оказали материнская форма ТМС 8-93 и отцовская форма – опылитель Кр-24 (см. табл. 7).

**Таблица 4.** Толерантность к глифосату различных МС-линий сахарной свёклы

№ п/п	Каталожный номер	МС-линия	Устойчивость, %		Кол-во корнеплодов, шт.
			в поле	в лаборатории	
1	493	(389) ТМС(1-93/Т12 × 11301), В <sub>5</sub> /16	86	96	180
2	498	(148) ТМС(1-93/Т12 × 11301), р. 6, В <sub>4</sub>	95	98	44
3	516	(439) ТМС(3-128/Т13 × 11301), р. 3, В <sub>3</sub>	89	94	140
4	522	(415) ТМС(3-127/Т13 × --), р. 3, В <sub>3</sub>	86	95	105
5	528	(421) ТМС(3-127/Т13 × --), р. 6, В <sub>3</sub>	96	91	128
6	531	(403) ТМС(1-97/Т12 × --), р. 1, В <sub>4</sub>	90	96	140
7	533	(405) ТМС(1-97/Т12 × --), р. 2, В <sub>4</sub>	89	97	250
8	Стандарт, гибрид Кубанский МС 95		0	0	0

**Таблица 5.** Продуктивность отдельных пробных ТМС-гибридов по данным предварительного испытания в 2016 г.

Каталожный номер	Комбинация скрещивания при создании пробных гибридов	Густота, тыс/га	Урожайность, т/га	Сахаристость, %	Сбор сахара, т/га	Доброкачественность очищенного сока, Дб, %	Устойчивость к глифосату, %	
							лабораторная	полевая
469	(Д-110) МС(4-100/Т12 × 11301) В <sub>2</sub> × Оп 6279	102,7	43,3	14,1	6,1	90,2	98,0	94,0
471	(Д-116) МС(3-127/Т13 р-2 J <sub>2</sub> × 4936) В <sub>1</sub> × Оп 6279	94,4	46,0	14,1	6,5	90,7	92,0	91,0
478	МС(27038 × 12127 № 1/08) × Оп 3-128/Т13 р-2 J <sub>3</sub> (Д-18)	93,0	44,9	13,2	5,9	90,1	85,0	75,0
–	Кубанский МС 95, стандарт	83,3	41,9	14,0	5,9	90,5	0,0	0,0
	НСР	–	5,1	0,6	–	–	–	–

Гибриды с каталожными номерами ТГ 937(1383) и ТГ 944(1385) как наиболее устойчивые к глифосату и показавшие высокую про-

дуктивность планируется включать для изучения повторно в экологическое и производственное испытания.

В табл. 8 представлена продуктивность первых толерантных к глифосату гибридов сахарной свёклы при уборке комбайном.

**Таблица 6.** Продуктивность наиболее ценных ТМС-гибридов сахарной свёклы по данным конкурсного испытания в 2019 г.

Каталожный номер гибрида	Густота, тыс/га	Урожайность корнеплодов, биологическая		Сахаристость		Сбор сахара		Устойчивость к глифосату, %
		т/га	в % к среднему по опыту	%	в % к среднему по опыту	т/га	в % к среднему по опыту	
931 МС12173 × 3-99	97	72,6	109	17,4	100	12,6	109	86
941 ТМС1-93 × Кр-24	91	74,8	112	17,2	99	12,9	111	94
882 ТМС8-93 × 2-110	95	72,7	109	17,0	98	12,4	107	89
875 ТМС8-93 × 2-94	98	76,4	115	17,0	98	13,0	112	86
Среднее по опыту	95	66,5	100	17,4	100	11,6	100	85
НСР <sub>05</sub>	—	7,0	—	0,5	—	—	—	—

Примечание. В конкурсном испытании (серия 5) изучались 36 ТМС-гибридов, повторность шестикратная, размещение делянок рендомизированное

**Таблица 7.** Продуктивность пробных толерантных к глифосату МС-гибридов сахарной свёклы по данным экологического испытания в 2019 г. (урожайность биологическая, ручная копка корнеплодов на учётных площадках)

Каталожный номер гибрида	Комбинация скрещивания, экологический пункт	Дата учёта	Густота, тыс/га	Урожай биологический, т/га	Сахар, %	Сбор сахара, т/га	ДБ сока, %	Устойчивость к глифосату, %
<b>ТГ 935 (1382)</b>	<b>ТМС 8-93 × 3-99</b> Опытная станция, г. Гулькевичи	10.09	116	59,6	15,9	9,5	88,0	<b>87</b>
	ООО «Агросахар», поле № 34, Успенский район	10.09 08.10	115 88	73,0 81,6	15,4 15,6	11,2 12,7	87,8 87,5	<b>91</b>
Среднее			<b>106</b>	<b>71,4</b>	<b>15,6</b>	<b>11,1</b>	<b>87,8</b>	
<b>ТГ 937 (1383)</b>	<b>ТМС 3-127 × 3-99</b> Опытная станция, г. Гулькевичи	10.09	123	58,1	17,1	9,9	88,5	<b>85</b>
	ООО «Агросахар», поле № 34, Успенский район	10.09 08.10	122 110	76,0 102,9	15,5 15,8	11,8 16,3	88,1 87,5	<b>96</b>
Среднее			<b>118</b>	<b>79,0</b>	<b>16,1</b>	<b>12,6</b>	<b>88,0</b>	
<b>ТГ 944 (1385)</b>	<b>ТМС 8-93 × Кр24</b> Опытная станция, г. Гулькевичи	10.09	123	53,7	16,1	8,7	88,2	<b>96</b>
	ООО «Агросахар», поле № 34, Успенский район	10.09 08.10	107 94	88,0 101,1	16,6 15,7	14,6 15,9	87,5 88,0	<b>94</b>
Среднее			<b>108</b>	<b>81,0</b>	<b>16,1</b>	<b>13,1</b>	<b>87,9</b>	
<b>ТГ 946 (1386)</b>	<b>ТМС 3-127 × Кр24</b> Опытная станция, г. Гулькевичи	10.09	116	58,9	16,3	9,6	89,0	<b>84</b>
	ООО «Агросахар», поле № 34, Успенский район	10.09 08.10	111 115	74,0 90,0	16,2 17,3	12,0 15,6	88,1 88,5	<b>87</b>
Среднее			<b>114</b>	<b>74,3</b>	<b>16,6</b>	<b>12,4</b>	<b>88,5</b>	
Среднее по опыту, 1-й срок учёта		10.09	117	67,7	16,1	10,9	88,1	<b>90</b>
Среднее по опыту, 2-й срок учёта		08.10	102	93,9	16,1	15,1	87,9	<b>90</b>

**Таблица 8.** Продуктивность наиболее ценных толерантных к глифосату гибридов сахарной свёклы по данным экологического испытания, 2019 г. (уборка механизированная, урожайность зачётная)

Каталожный номер гибрида	Комбинация скрещивания	Дата учёта	Густота насаждения, тыс/га	Урожайность зачётная, т/га	Сахаристость, %	Сбор сахара, т/га	Доброкачественность сока, %	Устойчивость к глифосату, %
ТГ 937 (1383)	ТМС 3-127 × 3-99	25.10	109	66,5	15,8	10,5	85,9	90,5
ТГ 944 (1385)	ТМС 8-93 × Кр 24	25.10	107	64,6	16,7	10,8	86,4	92,3
<b>Среднее по опыту</b>		—	<b>108</b>	<b>65,5</b>	<b>16,2</b>	<b>10,6</b>	<b>86,1</b>	<b>91,4</b>
Среднее по ООО «Агросахар»		25.10	—	54,0	—	—	—	0
Среднее по Успенскому району (агросводка)		25.10	—	49,5	—	—	—	0
Среднее по Краснодарскому краю		25.10	—	52,6	—	—	—	0

Место проведения опыта – предгорная зона Краснодарского края, Успенский район, ООО «Агросахар», поле № 34. Предшественник – озимая пшеница. Посев проводился 24 апреля с нормой высева 1,5 посадочных единиц семян на 1 га. Семена готовились ручным способом в лабораторных условиях опытной станции. Опрыскивание проводилось гербицидом «Тотал 480» в фазу развития растений сахарной свёклы две пары настоящих листьев из расчёта 2 л/га по препарату. Повторного опрыскивания не потребовалось. Уборка проведена комбайном Greeme 25 октября. Сахаристость определялась в 20 корневых пробах в трёхкратной повторности в лаборатории Успенского сахарного завода. Результаты учётов, проведённых в автоматизированном режиме, представлены в табл. 8. Наиболее полно учитываемый показатель – средняя урожайность корнеплодов (зачётная) у толерантных к глифосату гибридов была значительно выше по сравнению с средней урожайностью по хозяйству ООО «Агросахар», превышение составило 11,5 т/га. Затраты на приобретение гербицидов для защиты сахарной свёклы от сорных растений в традиционной и разрабатываемой перспективной технологиях за 2017–2019 гг. представлены в табл. 9–12. Данные исследований подтверждают

**Таблица 9.** Затраты на приобретение гербицидов для защиты сахарной свёклы от сорных растений, 2017 г.

Наименование гербицидов	Расход на 1 га по препарату	Цена за 1 л/кг, р.	Затраты на 1 га, р.
<b>I. Технология, применяемая в свеклосеющих хозяйствах (баковые смеси)</b>			
Первая обработка 26.04			
«Бетанал Эксперт ОФ» (л)	1,0	1580	1580
«Фронтьер Оптима КЭ» (л)	0,2	1730	346
«Арбитр» (кг)	0,03	17 500	525
«Тренд-90 Ж» (л)	0,3	533	160
«Декстер КЭ» (л)	0,15	3500	525
<b>Итого</b>	<b>1,7</b>	—	<b>3126</b>
Вторая обработка 05.05			
«Бетанал 22» (л)	1,2	1350	1620
«Фронтьер Оптима» (л)	0,5	1730	865
«Кари-Макс, СП» (кг)	0,03	17 500	525
«Агрон, ВР» (л)	0,2	3150	630
«Легион» (л)	0,2	1155	231
«Бит 90» (л)	0,2	530	106
<b>Итого</b>	<b>2,33</b>	—	<b>3977</b>
Третья обработка 28.05			
«Бетанал 22» (л)	1,3	1350	1755
«Кари-Макс, СП» (кг)	0,03	17 500	525
«Фронтьер Оптима» (л)	0,5	1730	865
«Декстер» (л)	0,15	3500	525
«Легион Комби» (л)	0,3	1155	347
«Бит 90» (л)	0,2	530	106
<b>Итого</b>	<b>2,5</b>	—	<b>4123</b>
<b>Всего</b>	<b>6,53</b>		<b>11236</b>
<b>II. Перспективная технология защиты сахарной свёклы, устойчивой к гербицидам (экологическое испытание пробных гибридов)</b>			
Первая обработка 05.05			
«Торнадо 500» (л)	2,5	679	1698
Вторая обработка 28.05			
«Торнадо 500» (л)	2,5	679	1698
<b>Всего</b>	<b>5,0</b>	—	<b>3396</b>

явное преимущество перспективной технологии.

Установлено, что расходы на приобретение гербицидов для защиты сахарной свёклы от сорных растений при выращивании толерантных к глифосату гербицидов все три года выращивания были значительно меньше по сравнению с рекомендованными производству способами для обычных гибридов (см. табл. 12). Экономия в расчёте на 1 га составила 6422 р. (8869 – 2447).

Для расчёта экономической эффективности перспективного гибрида ТГ 944 (1385) были взяты два ключевых наиболее контролируемых показателя: прибавка в урожайности (т/га) в денежном выражении и затраты на приобретение гербицидов (р.) для защиты сахарной свёклы от сорных растений.

Схема расчётов была следующей:

– урожайность гибрида ТГ 944 (1385) при уборке комбайном составила 64,6 т/га;

– средняя урожайность гибридов в ООО «Агросахар» составила 54,0 т/га;

– превышение в урожайности составило 10,6 т/га;

– реализационная стоимость прибавки в урожайности в расчёте на 1 га составила:  $10,6 \times 1600 \text{ р.} = 16\,960 \text{ р.}$ ;

– финансовые расходы на приобретение гербицидов в расчёте на 1 га при выращивании толерантного к глифосату гибрида были меньше на 6422 р.

При этом не учитывались следующие оценочные критерии:

– расходы на внесение (зарплата, ГСМ и пр.);

– эксплуатационные затраты;

– снижение вреда для окружающей среды и человека.

Таким образом, по данным экологического испытания, экономическая эффективность выращивания биотехнологического гибрида составила 23 382 р. (16 960 + 6422) в расчёте на 1 га посева.

**Таблица 10.** Затраты на приобретение гербицидов для защиты сахарной свёклы от сорных растений, 2018 г.

Наименование средств защиты растений, гербицидов	Расход на 1 га по препарату	Цена за 1 л/кг, р.	Затраты на 1 га, р.
<b>I. Технология, применяемая в свеклосеющих хозяйствах (баковые смеси)</b>			
Первая обработка, третья декада апреля			
«Бетанал Эксперт ОФ» (л)	1,0	944,3	944,3
«Фронтьер Оптима КЭ» (л)	0,2	1689,1	338
«Арбитр» (кг)	0,03	19 950	599
«Тренд-90 Ж» (л)	0,3	416	125
«Декстер КЭ» (л)	0,15	1529,5	229
<b>Итого</b>	<b>1,68</b>		<b>2235</b>
Вторая обработка, первая декада мая			
«Бетанал 22» (л)	1,2	598,5	718
«Фронтьер Оптима» (л)	0,5	16 891	845
«Кари-Макс, СП» (кг)	0,03	7315	220
«Агрон, ВР» (л)	0,2	2660	532
«Легион» (л)	0,2	1529,5	306
«Бит 90» (л)	0,2	416	83
<b>Итого</b>	<b>2,33</b>		<b>2704</b>
Третья обработка, вторая-третья декада мая			
«Бетанал 22» (л)	1,3	598,5	778
«Кари-Макс, СП» (кг)	0,03	7315	220
«Фронтьер Оптима» (л)	0,5	1689,1	845
«Декстер КЭ» (л)	0,15	1529,5	229
«Легион Комби» (л)	0,3	1529,5	459
«Бит 90» (л)	0,2	416	83
<b>Итого</b>	<b>2,48</b>		<b>2614</b>
<b>Всего</b>	<b>6,49</b>		<b>7553</b>
<b>II. Перспективная технология защиты сахарной свёклы, устойчивой к гербицидам (экологическое испытание)</b>			
Первая обработка, первая декада мая			
«Тотал 480» ВР (л)	2,5	404,7	1012
Вторая обработка, третья декада мая			
«Тотал 480» ВР (л)	2,5	404,7	1012
<b>Всего</b>	<b>5,0</b>		<b>2024</b>
Примечание. Расходы финансовых средств показаны только на приобретение препаратов			

### Заключение

1. В результате применения традиционных приёмов генетики и селекции получены обнадёживающие результаты по созданию принципиально новых биотехнологических линий и гибридов сахарной свёклы. Уточнены схемы наследования устойчивости к церкоспорозу и глифосату у комбинационно-способных раздельноплодных и сростноплодных линий.

2. Созданы первые толерантные к глифосату стерильные линии ТМС 8-93, ТМС 3-127.

3. Подтверждена высокая степень устойчивости к глифосату у церкоспорозустойчивых линий – доноров 3-99 и Кр 24.

4. В предварительном и конкурсном испытаниях высокую комбинационную способность показали раздельноплодные линии ТМС 8-93 и ТМС 3-127.



**Таблица 11.** Затраты на приобретение гербицидов для защиты сахарной свёклы от сорных растений, 2019 г.

Наименование средств защиты, гербицидов	Расход на 1 га по препарату	Цена за л/кг, р.	Затраты на 1 га, р.
<b>I. Технология, применяемая в свеклосеющих хозяйствах (баковые смеси)</b>			
Первая химическая обработка 29.04			
«Синбетан Эксперт ОФ» (л)	1,00	925	925
«Карамболь» (л)	0,03	13 215,0	396,45
«Фронтьер Оптима» (л)	0,20	1890	379
«Декстер» (кг)	0,20	521	104,2
«Агролип 93» (л)	0,20	87	17,4
<b>Итого</b>	1,63		<b>1822,05</b>
Вторая химическая обработка 07.05			
«Синбетан Эксперт ОФ» (л)	0,70	925	647,5
«Карамболь» (л)	0,03	13 215	396,45
«Бетанал Макспро» (л)	0,50	2562	1281
«Альфа-Пиралид» (л)	0,20	1486	297,2
«Декстер» (кг)	0,20	521	104,2
<b>Итого</b>	1,63		<b>2726,35</b>
Третья химическая обработка 20.05			
«Синбетан Эксперт ОФ» (л)	0,70	925	647,5
«Карамболь» (л)	0,03	13 215	396,45
«Бетанал Макспро» (л)	0,50	2562	1281
«Альфа-Пиралид» (л)	0,20	1486	297,2
«Декстер» (кг)	0,20	521	104,2
«Клетомид Плюс Микс» (л)	0,50	1090	545
<b>Итого</b>	2,13		<b>3271,35</b>
<b>Всего</b>	5,39		<b>7819,75</b>
<b>II. Перспективная технология защиты сахарной свёклы, устойчивой к гербицидам (по данным экологического испытания)</b>			
Первая химическая обработка 07.05			
«Тотал 480, ВР» (л)	2,0	480	960
Вторая химическая обработка 20.05			
«Тотал 480, В» (л)	2,0	480	960
<b>Всего</b>	4,0		<b>1920</b>

**Таблица 12.** Суммарные затраты на приобретение гербицидов для защиты сахарной свёклы от сорных растений в период 2017–2019 гг.

№ п/п	Наименование технологии	Затраты на приобретение гербицидов по годам, р.			Сумма за 3 года, р.	Среднее, р/га
		2017	2018	2019		
1	Технология, применяемая в свекловичных хозяйствах (баковые смеси гербицидов)	11 236	7553	7819	26 608	8869
2	Перспективная технология (разработана на Первомайской опытной станции)	3396	2024	1920	7340	2447

5. В экологическом испытании при механизированной уборке средняя зачётная урожайность биотехнологических гибридов составила 65,5 т/га.

6. Затраты на приобретение гербицидов для защиты сахарной свёклы от сорных растений при выращивании устойчивых к глифосату гибридов по сравнению с обычными коммерческими гибридами в расчёте на 1 га в среднем за три года составили соответственно 2447 и 8869 р.

7. Показана возможность повышения экономической эффективности производства сахарной свёклы за счёт существенного снижения затрат на приобретение гербицидов, более эффективной борьбы с сорными растениями и высокой продуктивности новых гибридов.

8. Планируется провести экологическое испытание в 2021 г. в различных экологических пунктах Краснодарского края и Воронежской области.

9. Дальнейшая селекционно-генетическая работа направлена на повышение константности линий, отбор комбинационно-способных, и на их основе – создание нового поколения биотехнологических гибридов.

Полученные результаты этапных исследований позволяют рассматривать методы классической селекции в процессе создания биотехнологических толерантных к глифосату гибридов сахарной свёклы как один из действенных инструментов в практической селекции.

Список литературы

1. Балков, И.Я. Наследование признака толерантности к глифосату в процессе создания новых исходных форм сахарной свёклы / И.Я. Балков [и др.] // Сахарная свёкла. – 2015. – № 1. – С. 6–10.

2. Балков, И.Я. Состояние и перспективы создания рентабельных гибридов сахарной свёклы, устой-

чивых к глифосату / И.Я. Балков [и др.] // Тр. Кубанского гос. агр. ун-та. – 2015. – № 3 (54). – С. 84–88.

3. Балков, И.Я. Особенности создания толерантных к глифосату форм сахарной свёклы / И.Я. Балков [и др.] // Тр. Кубанского гос. агр. ун-та. – 2017. – № 1 (64). – С. 58–65.

4. Балков, И.Я. Перспектива создания биотехнологических гибридов сахарной свёклы / И.Я. Балков [и др.] // Сахар. – 2017. – № 6. – С. 48–54.

5. Балков, И.Я. Новый этап эволюции сахарной свёклы: от урожайности и сахаристости гибридов – к рентабельности их возделывания / И.Я. Балков, А.В. Логвинов, В.А. Логвинов, В.Н. Мищенко // Сахарная свёкла. – 2017. – № 10. – С. 8–13.

6. Борлоуг, Н.Э. Семена возможностей: перспектива сельскохозяйственной биотехнологии / Н.Э. Борлоуг // Доклады на Международ. конф. «Семена возможностей: перспектива сельскохозяйственной биотехнологии». – Лондон, 2001.

7. Богомолов, М.А. Возможности создания ГМ-гибридов сахарной свёклы в России / М.А. Богомолов // Сахарная свёкла. – 2017. – № 5. – С. 6–9.

8. Беспалова, Л.А. Современное состояние и пути повышения конкурентноспособных отечественных семян и семеноводства / Л.А. Беспалова [и др.] // Тр. Кубанского гос. агр. ун-та. – Краснодар, 2015. – № 3(54). – С. 92–102.

9. Гапоненко, А.К. России нужны отечественные ГМ-культуры / А.К. Гапоненко // Защита растений. – 2014. – № 8 (225).

10. Генетически модифицированные источники пищи: оценка безопасности и контроль / Под ред. В.А. Тутельяна. – М. : РАМН, 2007. – 444 с.

11. Иванова, В.Н. Импортозамещение на продовольственном

рынке России: основные факторы, сдерживающие решение данной проблемы / В.Н. Иванова, С.Н. Серёгин, В.С. Гринько // Сахар. – 2014. – № 9. – С. 21–28.

12. Кайшев, В.Г. Возрождение селекции и семеноводства сахарной свёклы: стимулы и ограничения достижения целевых установок / В.Г. Кайшев, С.Н. Серёгин, А.В. Корниенко // Сахарная свёкла. – 2017. – № 10. – С. 2–6.

13. 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.

14. Неттевич, Э.Д. Рождение и жизнь сорта / Э.Д. Неттевич. – М. : 1978. – 175 с.

15. Смирнов, М.А. Производство сахарной свёклы в России: состояние, проблемы, направления развития / М.А. Смирнов // Сахарная свёкла. – 2018. – № 7. – С. 2–7.

16. Угрюмов, Е.П. Трансгенные гербицидоустойчивые сельскохозяйственные растения: эффективность и условия безопасности применения в практике / Е.П. Угрюмов [и др.]. – Матер. Междунар. науч.-произв. конф. – Краснодар, 2003.

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

**Аннотация.** Изложен краткий обзор состояния исследований по селекции новых константных линий – доноров устойчивости к глифосату и перспектив создания биотехнологических гибридов сахарной свёклы. Получены экспериментальные данные о характере наследования устойчивости к глифосату у разных генотипов свёклы (mmSxxxz, mmNxxxz, MM и др.). Получены впервые раздельно- и сростноплодные линии-доноры с устойчивостью к глифосату 90–100 %. В конкурсном и экологическом испытаниях толерантный к глифосату биотехнологический гибрид сахарной свёклы ТГ-944(1385) статистически достоверно превысил стандарт по урожайности и сбору сахара с 1 га. При механизированной (комбайновой) уборке средняя зачётная урожайность гибрида составила 65,5 т/га. Затраты на приобретение гербицидов для защиты сахарной свёклы от сорных растений при выращивании устойчивых к глифосату гибридов, по сравнению с обычными коммерческими гибридами, в расчёте на 1 га в среднем за 2017–2019 гг. составили соответственно 2447 и 8869 р. Завершается разработка технологии выращивания гибридов толерантных к глифосату в производственных условиях. Для продолжения исследований выращены семена и корнеплоды в достаточных объёмах.

**Ключевые слова:** сахарная свёкла, линия-донор, биотехнологический гибрид, толерантность (устойчивость), урожайность, сбор сахара.

**Summary.** A brief overview of the state of research on the selection of new constant lines-donors of resistance to glyphosate and the prospects for creating biotechnological hybrids of sugar beet is presented. Experimental data on the character of glyphosate resistance inheritance in different beet genotypes (mmSxxxz, mmNxxxz, MMTOn, etc.) were obtained. Received for the first time separately – and fertile donor lines with glyphosate resistance 90–100 %. In competitive and environmental tests, the biotechnological hybrid of sugar beet TG-944 (1385), tolerant to glyphosate, statistically significantly exceeded the standard in terms of yield and sugar collection per hectare. With mechanized (combine) harvesting, the average test yield of the hybrid was 65.5 t/ha. The cost of purchasing herbicides to protect sugar beets from weeds when growing glyphosate-resistant hybrids, as compared to conventional commercial hybrids, per 1 hectare on average for 2017–2019 amounted to 2,447 and 8,869 rubles, respectively. The development of a technology for growing glyphosate-tolerant hybrids under production conditions is nearing completion. To continue research, seeds and root crops were grown in sufficient volumes.

**Keywords:** sugar beet, donor line, biotechnological hybrid, tolerance (resistance), yield, sugar collection.