

МАРЧЕВА МАРГАРИТА МИХАЙЛОВНА

**СОЗДАНИЕ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ЛУКА РЕПЧАТОГО
(*ALLIUM CEPA* L.) ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ НА ГЕТЕРОЗИС В УСЛОВИЯХ
НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РФ**

Специальность: 4.1.2 – Селекция, семеноводство и биотехнология растений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО) в 2020 – 2024 годы.

- Научный руководитель:** **Середин Тимофей Михайлович**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства луковых культур ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»
- Официальные оппоненты:** **Бухарова Альмира Рахметовна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры Экологии и биоресурсов ФГБОУ ВО МСХ РФ «Российский государственный университет народного хозяйства имени В.И. Вернадского» (РГУНХ Минсельхоза России)
Миронов Алексей Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры молекулярной селекции, клеточных технологий и семеноводства ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)
- Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (**ВИР**)

Защита состоится « 15 » октября 2026 г. в 10:00 час. на заседании диссертационного совета 24.1.256.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (143072, Московская обл., Одинцовский г.о., пгт. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14), тел.: 8(495)599-24-42 E-mail: vniissok@mail.ru, aspirantura@vniissok.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» и на официальном сайте: www.vniissok.ru

Автореферат разослан «____» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
 диссертационного совета 24.1.256.01,
 доктор сельскохозяйственных наук



Бондарева Людмила Леонидовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Лук репчатый (*Allium cepa* L.) занимает одно из ведущих мест среди овощных культур по распространению и хозяйственному значению, обладает уникальными лечебными свойствами, благодаря высокому содержанию биохимических элементов и их фитонцидным свойствам (Буренин, Шумилина, 2016; Федоров, 2015).

В рамках программы импортозамещения и для выполнения задач, поставленных в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации (утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20), необходимо создание новых отечественных конкурентоспособных коммерческих отечественных гибридов F_1 лука репчатого, сочетающих высокую продуктивность и устойчивость к стрессовым факторам.

Для создания новых высокопродуктивных гибридов лука репчатого необходимо иметь исходный материал, на основе которого создаются родительские формы, и широкий набор линейного материала, обладающего комплексом ценных признаков, сочетающих высокую продуктивность с устойчивостью к наиболее вредоносным экономически значимым в регионе выращивания болезням, которые могут снижать выход и сохранность товарной продукции до 50 % (Ибрагимбеков, 2014; Пивоваров, Ершов, Агафонов, 2006; Ansari, 2007).

Цель исследования. Создать исходный материал лука репчатого с хозяйственно ценными признаками для селекции на гетерозис в условиях Нечерноземной зоны РФ и выделить перспективные гибридные комбинации F_1 .

Задачи:

1. Провести комплексную оценку коллекционного материала лука репчатого различного происхождения и выделить перспективные источники хозяйственно ценных признаков (урожайность, масса, форма, окраска и сохранность луковиц) для создания родительских линий.
2. Оценить селекционный материал лука репчатого по комплексу хозяйственных признаков, провести корреляционный анализ взаимосвязей между ними в разных группах спелости и выделить ценные стерильные и фертильные линии, наиболее полно отвечающие требованиям модели гибрида F_1 средней группы спелости для Нечерноземной зоны РФ.
3. На основе анализа характера проявления хозяйственных признаков в гибридном потомстве F_1 составить схему гибридизации родительских пар из выделенных линий, провести скрещивания и оценить семенную продуктивность как при самоопылении, так и в гибридных комбинациях.
4. Провести комплексную оценку полученных на основе выделенных линий гибридных комбинаций F_1 по сочетанию хозяйственных признаков, оценить общую (ОКС) и специфическую (СКС) комбинационную способность родительских линий и выделить наиболее ценные из них.

5. Выделить наиболее перспективные гибридные комбинации для создания конкурентоспособных гибридов F_1 лука репчатого средней группы спелости и рассчитать экономическую эффективность их возделывания в условиях Нечерноземной зоны РФ.

Научная новизна. Впервые на основе корреляционного анализа доказано, что сохранность луковиц при хранении имеет положительную связь с интенсивностью коричневой окраски сухих чешуй в зависимости от группы спелости ($r = 0,52-0,70$) и отрицательную – с толщиной шейки луковицы ($r = -0,58$). При комплексном изучении признаков растений первого и второго года жизни лука репчатого установлена положительная взаимосвязь семенной продуктивности с окраской сухих чешуй луковицы ($r = 0,54$), а также с числом стрелок в группе mf-линий ($r = 0,59$) и диаметром соцветия в группе ms-линий ($r = 0,58$).

Выделены ценные родительские линии ms-1000, ms-1002, mf-27, mf-213 и mf-214 с комплексом хозяйственно ценных признаков (масса, форма и окраска луковицы, устойчивость к бактериозу и фузариозу на естественном инфекционном фоне, урожайность, товарность) и высокой комбинационной способностью по основным целевым признакам (масса луковицы, урожайность, сохранность, семенная продуктивность) для создания конкурентоспособных среднеспелых гибридов F_1 лука репчатого в условиях Нечерноземной зоны РФ.

В результате комплексной оценки выделены перспективные гибридные комбинации ГК-3 (1000x213) и ГК-13 (1009x6) с высокой общей (до 72 т/га) и товарной урожайностью (до 70 т/га), сохранностью луковиц при хранении (до 100 %), устойчивостью к фузариозу и бактериозу в условиях *in vitro* и *in vivo*, родительские линии которых отличаются пригодностью к механизированной уборке и высокой семенной продуктивностью как при воспроизводстве mf-линии, так и в результате опыления ms-линии при производстве гибридных семян (до 6 г с растения).

Научно обоснована экономическая эффективность выращивания выделенных перспективных гибридных комбинаций (ГК-3 и ГК-13) в условиях Нечерноземной зоны РФ. Данные комбинации по рентабельности превосходят стандарты Дракон F_1 и Алонсо F_1 в среднем на 60 %.

Практическая значимость. В результате изучения коллекционного и селекционного материала лука репчатого выявлены различия в проявлении хозяйственных селекционных признаков и установлена отрицательная корреляция между продолжительностью межфазных периодов «массовое формирование луковиц – массовое полегание листьев» и «массовое полегание листьев – уборка»; показано отсутствие тесной связи между семенной продуктивностью отцовских компонентов при самоопылении и при их гибридизации с ms-линиями ($r = -0,05$).

Обоснована необходимость комплексного подхода фитопатологической оценки на естественном инфекционном фоне *in vivo* (в поле и после хранения) и на искусственном инфекционном фоне *in vitro* путем искусственного заражения луковиц возбудителями болезней с целью отбора наиболее устойчивых генотипов к фузариозу и бактериозу, наиболее вредоносным в условиях Нечерноземной зоны РФ.

Среди коллекционных образцов выделены перспективные источники хозяйственно ценных признаков из двух групп спелости, как исходный материал для создания родительских инцухт линий лука репчатого (раннеспелые – Ермак и Рассвет; среднеспелые – Здоровья друг, Розовый, Теон 332, Эксель, Золотой лапоть и Делфос); оптимизирована модель гибрида F₁ лука репчатого среднеспелой группы для условий Нечерноземной зоны РФ.

Для получения гетерозисных гибридов F₁ лука репчатого с комплексом хозяйственно ценных признаков разного срока созревания выделено две раннеспелые и одна позднеспелая mf-линии; в группе среднеспелых – четыре ms-линии и 13 mf-линий, среди которых наиболее перспективными являются пять оригинальных родительских линий (ms-1000, ms-1002, mf-27, mf-213 и mf-214) с оптимальным сочетанием большинства признаков: средняя группа спелости, желто-коричневая окраска и округлая форма луковицы, высокая сохранность (до 100 %), устойчивость к бактериозу и фузариозу на естественном инфекционном фоне и после хранения *in vivo*.

Созданы две перспективные среднеспелые гибридные комбинации лука репчатого ГК-3 и ГК-13, с округлой формой и сильным прилеганием сухих чешуй луковицы, устойчивостью к фузариозу и бактериозу *in vitro* и *in vivo*, товарная урожайность которых составила в среднем 70 т/га, сохранность – 96 %, а рентабельность – 113 %.

Методология и методы исследования. Методологическую основу научных исследований определяет анализ отечественной и зарубежной литературы, на основании которого сформулирована цель, определены задачи, разработана программа исследований. Получены новые научные данные на основе использования классических методов селекции. При постановке и проведении полевых опытов, сопутствующих наблюдений и учетов использовали общепризнанные методики, современные методы статистической обработки экспериментальных данных.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Выявление источников хозяйственно ценных признаков лука репчатого среди коллекционных образцов различного происхождения для создания исходного селекционного материала (родительских линий) для селекции на гетерозис.
2. Изучение исходного селекционного материала лука репчатого с оценкой комбинационной способности родительских линий по комплексу хозяйственных

признаков листовой розетки, луковицы, товарной урожайности, сохранности, семенной продуктивности, пригодности к промышленному семеноводству и устойчивости к болезням (фузариоз и бактериоз) с использованием усовершенствованной методики иммунологической оценки.

3. Создание и изучение новых гибридных комбинаций по комплексу основных признаков, в соответствии с моделью среднеспелого гибрида F_1 лука репчатого для Нечерноземной зоны РФ, характеристика лучших родительских линий и двух выделенных гибридных комбинаций ГК-3 и ГК-13, перспективных для создания конкурентоспособных отечественных гибридов F_1 .

Степень достоверности. Достоверность результатов выполненной работы подтверждается многолетним периодом (2020-2024 гг.) экспериментальных исследований, которые проводились в соответствии с требованиями классических методик по закладке и проведению полевых опытов, сопровождались сопутствующими наблюдениями и учетами, современной методикой статистической обработки экспериментальных данных с применением современных средств вычислительной техники.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены на: Международной научной конференции «Агроботехнология-2021» (2021, Россия, Москва, РГАУ-МСХА им. Тимирязева); XI Международной научно-практической конференции молодых ученых «Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения» (2023, Россия, Москва, ФГБНУ ВИЛАР); Международной научно-практической конференции «Современные проблемы и перспективы садоводства и ландшафтной архитектуры», посвященной 160-летию Тимирязевской сельскохозяйственной академии и 105-летию института Садоводства и ландшафтной архитектуры (2025, Россия, Москва, РГАУ-МСХА им. Тимирязева).

Публикация результатов исследований. По теме диссертации опубликовано 6 научных работ, из которых 2 – в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 патент на селекционное достижение.

Личный вклад соискателя. В получении научных результатов, закладке полевых опытов, проведении учетов и наблюдений, статистической обработке и обобщении экспериментальных данных, подготовке к печати научных публикаций автор диссертационной работы принимал непосредственное участие. Личный вклад автора составляет 85 %.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 140 страницах компьютерного текста, содержит 23 таблицы, 37 рисунков, 4 приложения. Состоит из введения, обзора литературы, методической части, результатов исследований (3 глав), выводов, рекомендаций для селекции и семеноводства, библиографического списка, включающего 170 источников, в том числе 65 иностранных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В обзоре литературы приведены сведения: о хозяйственном значении и пищевой ценности, происхождении и систематике, морфологических признаках культуры, основных направлениях селекции лука репчатого, а именно: гетерозис и цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС), использование молекулярных маркеров и биотехнологических методов в селекции лука репчатого, селекции на продуктивность, скороспелость и качество продукции, устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам.

УСЛОВИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования были проведены в 2020-2024 годах в ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», Московской области в открытом грунте и лабораторных условиях. Почвы опытно-производственной базы дерново-подзолистые тяжелосуглинистые. Погодные условия вегетационных периодов 2020 и 2021 года в целом характеризовались большим количеством осадков, а 2023 год – повышенной температурой и недостатком влаги. 2022 и 2024 годы были благоприятными для выращивания лука репчатого.

Материалом исследований являлись толерантные к пероноспорозу 33 коллекционных образца различного эколого-географического происхождения, 81 селекционный образец, работа с которыми велась в лаборатории селекции и семеноводства луковых культур более 10 лет, включая пять стерильных и 76 фертильных образцов. Селекционный процесс состоял из трех этапов: 2020 и 2021 годы оценены коллекционные и селекционные образцы; 2022 и 2023 годы – родительские линии; 2023 и 2024 годы – гибридные комбинации.

Полевые опыты проведены по «Методике полевого опыта» (Доспехов, 1985) и «Методическим указаниям по экологическому испытанию овощных культур в открытом грунте» (1981). Деляночные опыты в открытом грунте (растения лука первого (луковицы) и второго (семенные растения) года жизни) заложены на участках, подготовленных по общепринятой для лука репчатого агротехнике (Пивоваров и др., 2001).

Выращивание луковиц проводили рассадным способом. Посев семян проводили в третьей декаде марта в защищенном грунте в кассеты (8х8), в фазу трех настоящих листьев рассаду высаживали в поле (вторая декада мая). Площадь опытных делянок составляла от 1 до 3 м² в зависимости от количества материала, повторность – двухкратная, размещение – рендомизированное, число учетных растений – 10-15 штук для каждого образца.

В период вегетации проводили фенологические наблюдения и учеты развития растений по целевым признакам (Таблица 1) согласно «Широкому унифицированному классификатору СЭВ и международному классификатору СЭВ

лука репчатого (*Allium cepa* L.)» (1980), «Методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» (1971), «Инструкции по апробации семеноводческих посевов овощных, бахчевых культур, кормовых корнеплодов и кормовой капусты» (2001) и «Руководству по апробации овощных культур и кормовых корнеплодов» (1982). Гибридизацию проводили вручную согласно «Методике скрещиваний в роде *Allium* L.» (1982) и «Методическим указаниям по селекции луковых культур» (1989).

Мониторинг развития фузариоза и бактериоза проводили во время вегетации растений на разных фазах развития и после хранения луковиц визуальным методом с использованием модифицированной шкалы: 0 – отсутствие симптомов; 0,1-0,5 – поражено до 5 % поверхности; 1-1,5 – поражено до 6-20 %, 2 – поражено 21-50 %, 3 – поражено 51-70 %, 4 – поражено более 70 % всей поверхности; 5 – луковица мумифицирована, листья полностью высохшие. В пределах каждого образца по формулам рассчитывали распространенность и степень развития болезни. При дифференциации селекционного материала по группам полевой устойчивости использовали следующую градацию: устойчивые (У) – 0 %; относительно устойчивые (ОУ) – 1-20 %; средневосприимчивые (СВ) – 21-50 %; восприимчивые (В) >51 % (Ветрова и др., 2024, 2025).

Иммунологическую оценку устойчивости образцов вирулентными типированными изолятами возбудителей фузариоза и бактериоза (коллекция ФГБНУ ФНЦО) проводили путем заражения мицелиальными блоками (*F. acuminatum*, *F. annulatum*, *F. oxysporum*) или нанесением культуры бактериальной суспензии (*Pseudomonas spp.*) на высечки из двух наружных сочных чешуй луковицы в пятикратной повторности. По среднему значению объема зоны поражения образцы дифференцировали на устойчивые ($V_a = 0 \text{ мм}^3$); относительно-устойчивые ($V_a = 51-500 \text{ мм}^3$); средневосприимчивые ($V_a = 501-1000 \text{ мм}^3$) и восприимчивые ($V_a \geq 1000 \text{ мм}^3$).

Математическая и статистическая обработка экспериментальных данных проведена методом дисперсионного анализа (Доспехов, 1985) с использованием пакета прикладных программ ANOVA Microsoft Excel 10. Достоверность различий между средними значениями признаков оценивали с помощью t-критерия Стьюдента при уровне значимости $p < 0,05$. Степень варьирования изучаемых признаков оценивали по коэффициенту вариации ($V, \%$). Для оценки связи между количественными и качественными признаками использовали ранговый коэффициент корреляции Спирмена (r) (Рокицкий, 1973). Расчет гетерозиса ($\Gamma_{\text{ист.}}$) выполняли по Омарову (1975).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основании анализа требований рынка и литературных данных были определены параметры основных хозяйственно ценных признаков модели

гибрида F₁ лука репчатого среднеспелой группы для выращивания в условиях Нечернозёмной зоны РФ (Таблица 1), по которым в дальнейшем проводили оценку изучаемого материала.

Таблица 1 – Параметры модели среднеспелого гибрида F₁ лука репчатого для условий Нечерноземной зоны РФ

№	Показатель	Значение
1	Срок созревания, сутки	100-120
2	Товарная урожайность, т/га	от 60,0
3	Товарность, %	95-99
4	Форма луковицы (индекс)	0,9-1,0
5	Масса луковицы, г	100-150
6	Толщина шейки	тонкая, средняя
7	Число листьев, шт.	8-10
8	Длина листа, см	35-40
9	Диаметр листа, см	1,3-2,0
10	Окраска сухих чешуй	желто-коричневая
11	Сохранность:	более 80 %
12	Группа устойчивости к фузариозу и бактериозу при оценке в условиях <i>in vivo</i> и <i>in vitro</i> :	устойчивый, относительно устойчивый

Особое внимание в работе было уделено оценке устойчивости образцов к наиболее экономически значимым для Нечерноземной зоны РФ (помимо пероноспороза) болезням - фузариозу и бактериозу, не только на естественном инфекционном фоне в поле и после хранения *in vivo*, но и в лабораторных условиях *in vitro* методом искусственного заражения луковиц наиболее вредоносными видами возбудителей, что повышает объективность ранжирования изучаемого материала лука репчатого по степени устойчивости, а также позволяет отбирать ценные генотипы уже на ранних стадиях селекционного процесса.

Оценка коллекционных образцов лука репчатого различного происхождения по основным хозяйственно ценным признакам

В 2020-2021 годы в коллекционном питомнике изучено 33 коллекционных образца лука репчатого, которые по признаку группа спелости разделены на ранне- (27 %) и среднеспелые (73 %). Большинство из них отличались зеленой окраской листа (70 %) и малой площадью листовой поверхности (61 %), коричневой и желтой окраской сухих чешуй (49 и 27 % соответственно), тонкой шейкой (85 %), средней степенью прилегания сухих чешуй (42 %) и округло-плоской формой луковицы (45 %), крупные луковицы массой >100 г отмечены у 30 % образцов. Общая урожайность варьировала от 22 т/га (Негал) до 142 т/га (Олимпос), а товарная – от 14 т/га (Каратальский) до 50 т/га (Red Italian). Высокой товарностью луковиц (>90 %) при уборке характеризовались два образца (6 %), а сохранностью в процессе зимнего хранения – 13 образцов (39 %).

По совокупности полученных данных выявлено, что наиболее ценными для дальнейшей селекции как источники хозяйственных признаков являются

образцы: раннеспелые – Ермак и Рассвет; среднеспелые – Здоровья друг, Розовый, Теон 332, Эксель, Золотой лапоть и Делфос (Таблица 2).

Таблица 2 – Характеристика коллекционных образцов, выделенных по комплексу признаков, 2020, 2021 годы

Название образца	Сухие чешуи		Луковица			Урожайность, т/га		Товарность, %	Сохранность, %
	Окраска	Прилега- ние, балл	Толщина шейки, см	Индекс формы	Масса, г	Общая	Товарная		
Раннеспелые									
Ермак (st)	ж-к	2	1,1	1,0	115,4	53,1	48,5	91,4	89,4
Рассвет	ж-к	3	1,1	1,0	105,6	56,3	44,4	78,9	88,0
Среднеспелые									
Талисман (st)	к	1	0,9	0,9	55,8	36,2	23,4	64,7	68,8
Здоровья друг	к	3	1,0	1,0	105,4	49,6	44,3	89,4	90,3
Розовый	к	3	1,1	1,0	101,4	47,6	42,6	89,5	94,3
Теон 332	к	3	1,0	0,9	108,8	51,1	45,7	89,5	91,1
Эксель	к	3	1,0	1,0	113,4	53,9	47,6	88,3	89,6
Золотой лапоть	к	3	1,1	1,0	99,7	47,9	41,9	87,4	95,6
Делфос	к	3	1,1	1,0	110,5	66,5	46,4	69,8	95,1
НСР ₀₅		0,7	0,1	0,1	10,1	8,2	4,2	6,8	6,3

Примечание: окраска сухих чешуй (ж-к – желто-коричневая, к – коричневая); степень прилегания сухих чешуй после досушки, балл (1 – слабое; 2 – среднее, 3 – сильное); толщина шейки, см (0,9-1,1 – тонкая); индекс формы луковицы (0,9 – округло-плоская, 1,0 – округлая)

Выделенные образцы не уступают или превосходят соответствующие стандарты, характеризуются комплексом селекционно ценных признаков, наиболее полно соответствующих модели, важных для создания родительских инцухт линий и конкурентоспособных гибридов F₁ лука репчатого для Нечерноземной зоны РФ.

Оценка селекционных образцов лука репчатого по фенологии, качественным и количественным хозяйственно ценным признакам

В 2020-2021 годы изучен 81 селекционный образец (пять стерильных и 76 фертильных образцов) лука репчатого из коллекции лаборатории селекции и семеноводства луковых культур. Все стерильные (ms) образцы по продолжительности вегетационного периода были отнесены к группе среднеспелых (продолжительность периода 100-120 суток), а фертильные (mf) были разделены на три группы спелости: раннеспелые (80-99 суток), среднеспелые (100-120 суток) и позднеспелые (более 120 суток). В раннеспелую группу вошло 11 mf-образцов (14 %), в среднеспелую – 58 образцов (76 %), а в позднеспелую – семь образцов (9 %). На основе корреляционного анализа была выявлена общая закономерность – отрицательная взаимосвязь между продолжительностью II и III межфазных периодов во всех группах спелости (Рисунок 1). В то же время, зависимость между продолжительностью I и II межфазных периодов меняется от высокой положительной в группе раннеспелых образцов ($r = 0,77$) до высокой отрицательной

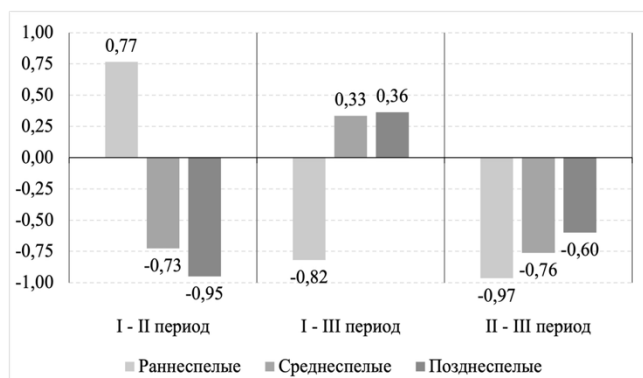


Рисунок 1 – Коэффициенты корреляции между продолжительностью (сутки) межфазных периодов в разных группах спелости селекционных mf-образцов: I период – от всходов до массового формирования луковиц; II период – от массового формирования луковиц до массового полегания листьев; III период – от массового полегания листьев до уборки

($r = -0,95$) в группе позднеспелых образцов, а между продолжительностью I и III периодов значимая отрицательная связь отмечена только в раннеспелой группе ($r = -0,82$). В итоге, для создания гибридов разных групп спелости можно использовать следующие линии: наиболее раннеспелые – mf-57, mf-31, mf-7, mf-40 и позднеспелые образцы – mf-25 и mf-70, как источники данных признаков.

По морфологическим признакам листовой розетки отмечено, что

во всех группах спелости у линий преобладала средняя ширина и зеленая окраска листа (64-100 %). В mf-группе присутствовали образцы от низкорослых (<41 см) до высокорослых (>49 см), а в ms-группе отмечены образцы со средними и высокими растениями. По длине листа наибольшее разнообразие отмечено в среднеспелой группе линий с диапазоном варьирования признака от 24 до 44 см, среди позднеспелых линий отсутствовали растения с коротким листом (<31 см), а в раннеспелой группе линий – отсутствовали образцы с длинными листьями (более 40 см). Все ms-линии характеризовались средней площадью листовой поверхности (400-500 см²); среди фертильной группы все позднеспелые mf-линии – малой площадью (<400 см²), в отличие от среднеспелой и раннеспелой групп, в которых присутствовали также mf-линии со средней или большой (>500 см²) площадью листовой поверхности. В целом, все ms-линии и 76 % mf-линий имели оптимальное сочетание морфологических признаков листовой розетки согласно модели.

Анализ морфологических признаков луковицы позволил выявить следующие особенности: все ms-линии и позднеспелые mf-линии имели тонкую шейку (<0,9 см), тогда как в ранне- и среднеспелой группах mf-линий отмечено разнообразие по этому признаку, как и по степени прилегания сухих чешуй. Среднеспелые ms-линии характеризовались средним (2 балла) и сильным прилеганием (3 балла), а все позднеспелые mf-линии – только средним. Межсортовые отличия также отмечены по окраске сухих чешуй луковицы: в среднеспелой группе большинство ms-линий имели желто-коричневую окраску, а среди mf-линий доминировала коричневая окраска, как и среди позднеспелых mf-линий. Раннеспелые mf-линии по окраске разделилась на четыре практически равноценные группы с разной интенсивностью окраски (от желтой до коричневой).

Наибольшее число образцов с округлой формой отмечено в среднеспелой ms- и mf-группе (Таблица 3).

Таблица 3 – Распределение селекционных образцов по морфологическим признакам луковиц (доля в группе, %), 2020, 2021 годы

Группа спелости ♀/♂		Толщина шейки, см			Степень прилега- ния сухих чешуй (балл)			Форма				Окраска				
		<0,9	0,9-1,1	1,2-1,4	1	2	3	о-п	ок	ов	уд	ж	ж-к	с-к	к	ф
Раннеспелые mf		9	82	9	27	64	9	45	0	45	10	27	19	27	27	0
Средне- спелые	ms	0	100	0	0	40	60	20	80	0	0	20	60	0	20	0
	mf	15	71	14	24	50	26	40	41	19	0	31	12	14	41	2
Позднеспелые mf		0	100	0	0	100	0	57	0	43	0	14	14	14	53	0

Примечание: толщина шейки луковицы (<0,9 – очень тонкая, 0,9-1,1 – тонкая; 1,2-1,4 – средняя); степень прилегания сухих чешуй после досушки (балл) (1 – слабое прилегание, 2 – среднее прилегание, 3 – сильное прилегание); форма луковицы (о-п – округло-плоская, ок – округлая, ов – овальная, уд – удлиненная); окраска сухих чешуй (ж – желтая, ж-к – желто-коричневая, с-к – светло-коричневая, к – коричневая, ф – фиолетовая)

Характеристика образцов по элементам урожайности показала, что наибольшее число образцов с высокими показателями отмечено: с крупной луковицей – в среднеспелых ms- и mf-группе (60 и 47 % соответственно); с высокой общей урожайностью (>60 т/га) – среди ms- и mf-образцов позднеспелой группы (57-60 %); с высокой товарной урожайностью (>50 т/га) – в среднеспелой ms-группе; с высокой товарностью и сохранностью – в среднеспелой mf-группе и ms-группах (Таблица 4).

Таблица 4 – Характеристика селекционных образцов лука репчатого по массе, урожайности, товарности и сохранности луковиц (доля образцов в группе, %), 2020, 2021 годы

Группа спелости ♀/♂		Масса луковицы, г			Урожайность, т/га						Товарность, %			Сохранность, %		
					Общая			Товарная								
		≤60	60-80	≥80	≤40	40-60	≥60	≤30	30-50	≥50	≤60	60-70	≥70	≤60	60-80	≤80
Раннеспелые mf		73	9	18	36	36	28	73	27	0	64	27	9	64	36	0
Средне- спелые	ms	0	40	60	20	20	60	20	40	40	20	20	60	20	40	40
	mf	22	31	47	21	41	38	45	50	5	45	26	29	50	28	22
Позднеспелые mf		43	43	14	43	0	57	71	29	0	86	0	14	100	0	0

С помощью корреляционного анализа между признаками выявлены взаимосвязи: увеличение толщины шейки снижает сохранность луковиц ($r = -0,58$) всех образцов каждой группы спелости, что подтверждает важность отбора селекционных образцов с более тонкой шейкой в соответствии с требованиями модели гибрида F_1 ; среди отдельных градаций окраски сухих чешуй луковицы наиболее тесная положительная связь с сохранностью выявлена для коричневой окраски ($p = 0,56$) и отрицательная корреляция для желтой окраски ($p = -0,61$).

На основе комплексной оценки морфологических признаков листовой розетки и луковиц селекционных образцов лука репчатого для дальнейшей работы

представляют интерес 33 образца (41 %). Среди ранне- и позднеспелых селекционных образцов по совокупности большинства признаков особо можно выделить два образца, характеризующиеся наибольшим суммарным числом хозяйственных признаков: раннеспелый mf-30 и позднеспелый mf-22. Данные образцы можно использовать в селекционной работе для создания гибридов F₁ лука репчатого данных групп спелости.

Для нашей дальнейшей селекционной работы наиболее ценными с точки зрения выровненности и сочетания в генотипе наибольшего числа основных хозяйственно ценных признаков, важных для подбора родительских инцухт линий и создания конкурентоспособных среднеспелых гибридов F₁ лука репчатого являются следующие линии: четыре среднеспелых ms-1000, 1002, 1008, 1009, и 13 среднеспелых mf-6, 17, 19, 27, 29, 36, 61, 62, 67, 213, 214, 343, 1006. Их характеристика по основным целевым признакам представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристика родительских линий по комплексу признаков, 2020-2023 годы

Номер линии	Площадь листовой поверхности, см ²	Сухие чешуи		Луковица			Урожайность, т/га		Товарность, %	Сохранность, %
		Окраска	Прилега- ние, балл	Толщина шейки, см	Индекс формы	Масса, г	Общая	Товарная		
Стерильные ms-линии										
1000	457,0	к	3	1,2	1,0	136,0	86,5	57,2	67,3	84,8
1002	474,2	ж-к	3	1,1	1,0	151,1	86,3	63,5	73,6	77,6
1008	424,6	ж	2	1,0	1,0	72,7	46,2	30,6	66,2	77,8
1009	491,0	ж-к	2	1,2	0,9	53,6	30,2	22,5	74,5	87,5
Фертильные mf-линии										
6	476,7	к	2	1,1	0,9	70,8	43,9	29,7	67,8	98,0
17	499,8	к	2	1,2	1,0	108,3	72,3	45,5	63,1	99,2
19	503,4	ж-к	3	1,1	1,0	85,4	46,9	35,8	76,4	70,6
27	469,0	к	3	1,0	1,0	118,5	69,7	49,8	71,5	77,5
29	473,3	ж	2	1,3	1,0	86,1	52,0	36,2	69,5	79,3
36	440,8	с-к	3	1,1	1,0	63,1	34,9	26,5	76,1	52,1
61	539,1	ж-к	3	1,3	1,0	83,0	47,8	34,9	73,0	88,4
62	474,8	к	2	1,2	1,0	118,7	77,7	49,9	64,2	79,4
67	421,6	к	3	1,2	0,9	102,1	65,8	42,9	65,2	91,0
213	462,0	с-к	3	1,0	1,0	129,1	78,5	54,2	69,1	99,7
214	462,9	ж	3	1,2	1,0	95,4	59,4	40,1	67,5	96,1
343	431,9	ж-к	2	1,3	1,0	74,4	50,6	31,3	61,8	99,2
1006	462,9	ж	3	1,1	1,0	58,7	28,6	24,7	86,2	85,0
НСР ₀₅	15,4		0,3	0,1	0,1	14,8	9,7	6,2	3,1	6,4

Примечание: окраска сухих чешуй (ж – желтая, ж-к – желто-коричневая, с-к – светло-коричневая, к – коричневая); степень прилегания сухих чешуй после досушки, балл (2 – среднее прилегание, 3 – сильное прилегание); толщина шейки, см (0,9-1,1 – тонкая, 1,2-1,4 – средняя); индекс формы луковицы (0,9 – округло-плоская, 1,0 – округлая)

При ранжировании линий по группам полевой устойчивости к фузариозу все выделенные ms-линии и большая часть mf-линий отнесены к устойчивым и относительно устойчивым (73 %), а доля устойчивых к бактериозу составила 87 %. Групповой устойчивостью к фузариозу и бактериозу характеризовались следующие линии: ms-1008 и ms-1009, mf-17, mf-27, mf-62 и mf-343.

Перед составлением схемы скрещивания для подбора пар родительских компонентов был проведен предварительный анализ характера проявления основных хозяйственных признаков в гибридном потомстве на примере полученных ранее в лаборатории селекции и семеноводства луковых культур 25 различных комбинаций скрещивания. Полученные результаты по количественным признакам в основном соответствовали литературным данным. В отношении качественных признаков следует отметить следующие выявленные особенности: вероятность получения гибридных комбинаций с желто-коричневой окраской сухих чешуй луковиц выше при включении в скрещивание ms-линий с желто-коричневой окраской и mf- с коричневой; с сильным прилеганием сухих чешуй – ms-линии со средним и mf- с сильным прилеганием; для получения гибридов с луковицами округлой формы и тонкой шейкой – при использовании родительских линий с близким сочетанием этих признаков (Рисунок 2).

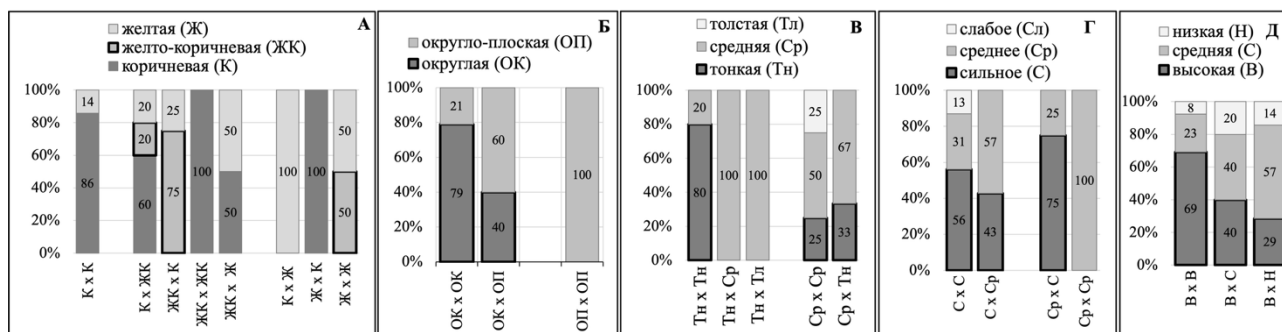


Рисунок 2 – Соотношение гибридных комбинаций в зависимости от комбинации скрещивания родительских линий: А – окраска сухих чешуй луковицы; Б – форма луковицы; В – толщина шейки; Г – степень прилегания сухих чешуй; Д – сохранность

С учетом проведенного анализа и характеристики выделенных нами родительских линий была составлена схема гибридизации, при этом наибольшее число гибридных комбинаций (ГК) было получено на основе материнской линии ms-1000, которая характеризуется сочетанием наибольшего числа требуемых признаков.

Оценка признаков семенных растений выделенных родительских линий лука репчатого и их семенной продуктивности

Выделенные линии в 2022-2023 годы были детально изучены и по основным признакам семенных растений, поскольку это важно для оценки эффективности ведения семеноводства самих линий и их гибридных комбинаций.

Известно, что число стрелок и диаметр соцветия определяют семенную продуктивность, равномерность созревания и качество семян, оптимальным считается их среднее число (3-5 шт.) с диаметром соцветия от 4 до 7 см; высота и диаметр стрелки – устойчивость растений к полеганию и пригодность к механизированной уборке (оптимально – 60-90 см и более 1 см соответственно), что способствует снижению трудозатрат при уходе за растениями и проведении гибридизации при промышленном семеноводстве (Кирпичёв, Скокова, 2022; Лудилов, 2006; Любченко, 2015; Мирзиятов, 2017; Онишко, Пучков, 2009; Пивоваров, Ершов, Агафонов, 2006; Тимин и др., 2013).

Число стрелок большинства линий составило 3-4 шт., пять стрелок отмечены только у mf-214, а три ms-линии формировали только две стрелки. Большинство линий имели среднюю длину стрелки (51-70 см), четыре – менее 60 см, а линия mf-6 – более 90 см. То есть, оптимальной для промышленного семеноводства высотой стрелки (60-90 см) характеризовались 71 % родительских линий. По диаметру стрелки выделено две группы – с большим (более 1,7 см) и средним (1,0-1,7 см) диаметром – 35 и 65 % соответственно. Большинство линий (82 %) имели оптимальный средний диаметр соцветия (4-7 см) и только у трех линий отмечен диаметр менее 4 см (Таблица 6).

Таблица 6 – Характеристика родительских линий лука репчатого по морфометрическим признакам семенных растений, 2022, 2023 годы

Номер линии	Число стрелок, шт.	Высота стрелки, см	Диаметр стрелки, см	Диаметр соцветия, см
Стерильные ms-линии				
1000	3	75,2	2,5	5,2
1002	2	69,4	1,5	3,9
1008	4	68,2	2,3	5,4
1009	3	75,5	1,8	5,8
Фертильные mf-линии				
6	3	93,1	2,7	5,2
17	3	49,2	1,6	3,8
19	3	72,6	1,7	5,5
27	3	52,1	1,2	3,7
29	3	61,8	1,5	4,4
36	2	48,6	1,2	4,1
61	3	62,0	1,9	4,5
62	3	48,1	1,0	4,2
67	3	61,8	1,1	5,1
213	4	85,1	2,4	6,5
214	5	67,2	1,7	4,0
343	2	58,1	1,6	4,9
1006	3	55,4	1,3	5,1
НСР ₀₅	0,4	6,6	0,3	0,4

Оценка семенной продуктивности родительских линий при самоопылении mf-линии (воспроизводство линии) и при опылении стерильной ms-линии

отцовским mf-компонентом (получение гибридных семян) показала, что при опылении стерильных ms-линий высокая семенная продуктивность (более 4 г с растения) отмечена в трех комбинациях ГК-1, ГК-3 и ГК-13. Среди них особо выделяется ГК-1 (7,5 г), отцовский компонент mf-67 которой имеет низкую продуктивность при самоопылении (0,9 г). В то же время, при самоопылении mf-линий других высокопродуктивных комбинаций ГК-3 и ГК-13, напротив, отмечена высокая продуктивность отцовского компонента (более 4 г), что обеспечивает высокую эффективность их размножения. Средняя семенная продуктивность (1-4 г) отмечена у шести ГК (43 %) и mf-линий (46 %), среди которых можно выделить четыре комбинации ГК-6, ГК-9, ГК-12 и ГК-14, отцовские компоненты которых также характеризуются средней семенной продуктивностью (Таблица 7).

Таблица 7 – Семенная продуктивность родительских линий лука репчатого, 2022, 2023 годы

Номер ГК	Комбинация скрещивания ♀x♂		Семенная продуктивность с растения, г	
	♀ms-линия	♂mf-линия	ms-линии (ГК ♀x♂)	самоопыление mf-линии ♂
1	1000	67	7,5	0,9
2	1000	61	0,3	0,3
3	1000	213	5,4	4,4
4	1000	214	0,6	5,5
5	1000	29	0,3	5,9
6	1000	17	2,2	2,8
7	1000	343	0,4	2,6
8	1000	36	0,6	1,4
9	1000	62	3,7	3,5
10	1002	27	2,7	5,7
11	1002	6	1,8	5,3
12	1008	1006	3,6	3,6
13	1009	6	4,1	5,4
14	1009	19	1,8	1,5
НСР ₀₅			1,3	1,1

Таким образом, не все выделенные по морфометрической оценке родительские линии характеризовались высокой семенной продуктивностью. При этом, тесной взаимосвязи между семенной продуктивностью отцовского компонента при самоопылении и при гибридизации не выявлено ($r = -0,05$). В результате корреляционного анализа взаимосвязи семенной продуктивности (СП) с другими селекционно важными признаками растений лука репчатого на всех этапах развития установлена положительная взаимосвязь семенной продуктивности с числом стрелок в группе фертильных линий ($r = 0,59$), диаметром соцветия в группе стерильных линий ($r = 0,58$) и с интенсивностью коричневой окраски сухих чешуй луковицы ($r = 0,54$), что также важно учитывать в дальнейшем при подборе родительских пар для успешного промышленного семеноводства создаваемых гибридов F_1 лука репчатого.

Исходя из морфометрической оценки родительских линий второго года жизни, выделяются три материнских и девять отцовских компонентов. Данные линии характеризуются оптимальным сочетанием большинства признаков, определяющих пригодность к промышленному семеноводству. Однако при самоопылении mf-компонентов высокая продуктивность отмечена только у пяти (mf-6, mf-27, mf-29, mf-213, mf-214), а при опылении линий ms-1000 и ms-1009 – у трех комбинаций ГК-1, ГК-3 и ГК-13, родительские линии которых характеризовались наилучшим сочетанием всех изученных признаков семенных растений.

Оценка гибридных комбинаций F₁ и комбинационной способности родительских линий

В результате скрещиваний родительских линий было получено 14 гибридных комбинаций F₁ (ГК) лука репчатого, по которым в 2023 и 2024 годы проведен детальный анализ ключевых хозяйственно ценных параметров для выявления соответствия ГК модельным требованиям гибрида F₁ лука репчатого. Все ГК вошли в среднеспелую группу, а по площади листовой поверхности разделились на две равные группы – со средней (400-500 см²) и большой площадью (более 500 см²). Коричневая окраска сухих чешуй луковиц отмечена у половины гибридных комбинаций, желто-коричневая – у пяти (36 %), а желтая – у двух (14 %). Половина ГК имели тонкую шейку луковицы (Таблица 8).

Таблица 8 – Характеристика гибридных комбинаций по комплексу признаков, 2023, 2024 годы

Номер ГК	Площадь листовой поверхности, см ²	Сухие чешуи		Луковица			Урожайность, т/га		Товарность, %	Сохранность, %
		Окраска	Прилегание, балл	Толщина шейки, см	Индекс формы	Масса, г	Общая	Товарная		
1	497,8	к	3	1,1	0,9	162,3	95,3	68,2	71,6	87,7
2	515,1	к	1	1,4	1,0	98,0	54,5	41,2	75,6	77,8
3	491,7	к	3	1,1	1,0	164,0	72,3	68,9	95,3	92,0
4	852,8	ж-к	3	1,3	1,0	154,0	82,6	64,7	78,3	61,0
5	481,4	ж-к	2	1,1	0,9	159,4	111,1	66,9	60,2	94,2
6	932,7	к	3	1,4	1,0	161,2	74,8	67,7	90,5	100
7	930,1	ж-к	3	1,3	1,0	87,0	40,4	36,5	90,3	18,0
8	895,8	к	3	1,5	1,0	160,8	90,2	67,5	74,8	81,8
9	907,5	к	2	1,4	1,0	149,0	118,3	62,6	52,9	57,1
10	494,4	ж-к	3	1,1	1,0	174,3	75,6	73,2	96,8	87,4
11	489,5	ж	2	1,1	0,9	146,5	110,6	61,5	55,6	73,1
12	492,9	ж-к	3	1,0	1,0	131,1	94,0	55,1	58,6	97,2
13	434,3	ж	3	1,1	1,0	165,9	72,1	69,7	96,7	100
14	634,2	к	2	1,4	1,0	154,7	80,8	65,0	80,4	97,9
Дракон (st)						152,3	64,5	61,9	95,9	90,3
Алонсо (st)						145,6	63,4	60,3	95,1	87,6
НСР ₀₅	117,9		0,4	0,1	0,1	9,9	8,3	5,3	5,7	7,2

Примечание: окраска сухих чешуй (ж – желтая, ж-к – желто-коричневая, к – коричневая); степень прилегания сухих чешуй после досушки, балл (1 – слабое, 2 – среднее, 3 – сильное); толщина шейки, см (0,9-1,1 – тонкая); индекс формы луковицы (0,9 – округло-плоская, 1,0 – округлая)

Большинство комбинаций (64 %) характеризовались сильным прилеганием сухих чешуй (3 балла), округлой формой луковицы (71 %), массой >100 г (86 %), общей урожайностью >80 т/га (57 %), товарной урожайностью >60 т/га (79 %). Высокая товарность (>90 %) отмечена у пяти комбинаций (36 %). По общей сохранности при длительном хранении выделяются следующие комбинации: ГК-1, ГК-3, ГК-5, ГК-8 и ГК-10 с сохранностью 80-95 %, ГК-6, ГК-12, ГК-13 и ГК-14 – более 95 %, из них групповой полевой устойчивостью к фузариозу и бактериозу обладают – ГК-1, ГК-5, ГК-6. Поскольку определенный интерес по сочетанию других признаков представляют и другие комбинации с высокой сохранностью луковиц при хранении, для них проведена иммунологическая оценка путем искусственного заражения луковиц в условиях *in vitro* наиболее агрессивными изолятами видов рода *Fusarium* и бактериальными штаммами рода *Pseudomonas* spp. из коллекции лаборатории МИИ ФГБНУ ФНЦО (Таблица 9).

В результате две комбинации ГК-3 и ГК-13 проявили высокую устойчивость луковиц к большинству возбудителей, в отличие от ГК-1 с высокой полевой устойчивостью растений в период вегетации. У выделенных ГК распространение симптомов происходило очень медленно и объем зоны поражения высечек всеми изолятами был минимальным (<100 мм³) по сравнению с другими ГК. Высокую устойчивость при заражении бактериальными изолятами проявила также ГК-12 (Таблица 9).

Таблица 9 – Устойчивость ряда изученных гибридных комбинаций лука репчатого при искусственном заражении и при хранении

Номер ГК	Комбинация скрещивания ♀×♂	Группа устойчивости <i>in vitro</i>					Группа устойчивости <i>in vivo</i> (хранение)
		<i>F-A-23-19</i> (<i>F. acuminatum</i>)	<i>F-A-23-21</i> (<i>F. annulatum</i>)	<i>F-A-23-23</i> (<i>F. oxysporum</i>)	<i>Бк-10</i> (<i>Pseudomonas</i> spp.)	<i>Бк-3</i> (<i>Pseudomonas</i> spp.)	
1	1000 x 67	СВ	В	СВ	В	В	ОУ
3	1000 x 213	У	У	У	ОУ	ОУ	ОУ
12	1008 x 1006	СВ	В	СВ	У	ОУ	СВ
13	1009 x 6	У	ОУ	У	У	У	У
14	1009 x 19	В	СВ	В	СВ	У	ОУ

Примечание. У – устойчивые, ОУ – относительно устойчивые, СВ – средневосприимчивые, В – восприимчивые

С целью определения эффективности гибридизации в потомстве проведена оценка эффектов гетерозиса. Установлено, что комбинация ГК-14 является лучшей по эффекту гетерозиса по комплексу признаков среди всех изученных ГК и представляет высокую селекционную ценность. Шесть комбинаций ГК-1, ГК-5, ГК-8, ГК-9, ГК-12 и ГК-13 характеризуются положительным эффектом по четырем из пяти проанализированных признаков, что позволяет выделить их для дальнейшей работы. При этом, у ГК-9 отмечен отрицательный эффект по

сохранности, а у комбинаций ГК-5, ГК-8, ГК-12 и ГК-13 – по семенной продуктивности (Таблица 10).

Таблица 10 – Эффект гипотетического гетерозиса гибридных комбинаций

Номер ГК	Комбинация скрещивания ♀ x ♂	Масса луковицы	Урожайность		Сохранность	Семенная продуктивность
			Общая	Товарная		
1	1000 x 67	38	34	20	0	733
2	1000 x 61	-9	-10	-27	-10	0
3	1000 x 213	24	-6	21	0	23
4	1000 x 214	34	23	14	-32	-89
5	1000 x 29	47	78	18	16	-95
6	1000 x 17	33	0	19	9	-21
7	1000 x 343	-17	-35	-36	-80	-85
8	1000 x 36	64	64	19	25	-57
9	1000 x 62	18	56	10	-29	6
10	1002 x 27	29	-6	13	-4	-53
11	1002 x 6	32	68	-5	-21	-66
12	1008 x 1006	111	155	86	17	0
13	1009 x 6	188	106	143	8	-24
14	1009 x 19	139	122	88	25	20

При анализе общей (ОКС) и специфической комбинационной способности (СКС) родительских линий установлено, что все ms-линии характеризуются положительной ОКС по массе луковицы, общей и товарной урожайности, лучшие показатели имеет линия ms-1009 (ОКС = 77, 33 и 32 соответственно). Положительная ОКС по сохранности отмечена только у двух линий – ms-1008 и ms-1009 (ОКС = 12 и 10 соответственно), а по семенной продуктивности – у ms-1009 (ОКС = 0,3) (Рисунок 3).

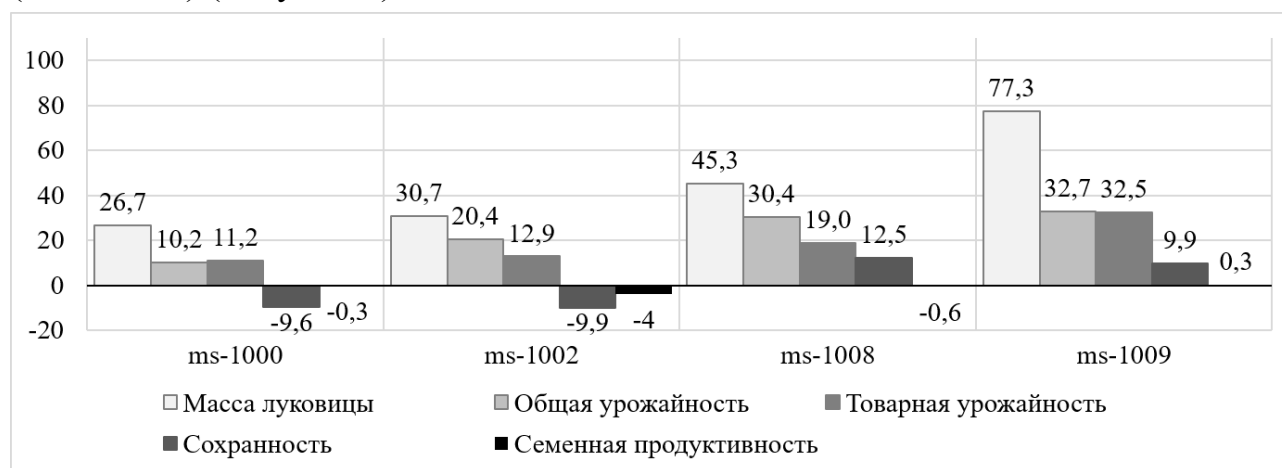


Рисунок 3 – Общая комбинационная способность (ОКС) родительских ms-линий

Таким образом, наибольшую селекционную ценность представляют материнские линии ms-1008 и ms-1009, которые сочетают высокую продуктивность, сохранность и семенную продуктивность (ms-1009). При создании перспективных урожайных гибридных комбинаций с линиями ms-1000 и ms-1002 очень

важен подбор отцовского компонента и анализ СКС, что наглядно видно на примере выборки комбинаций скрещивания с линией ms-1000.

Все mf-опылители гибридных комбинаций с линией ms-1000 по эффектам СКС можно разделить на три группы. К первой группе можно отнести одну линию mf-67, ГК-1 которой в сочетании с ms-1000 характеризуется положительными значениями СКС по всем изученным признакам, несмотря на отрицательный эффект ОКС линии ms-1000 по сохранности и семенной продуктивности. Вторая группа mf-линий также характеризуется положительной СКС по большинству признаков, но при этом имеет отрицательные значения по отдельным признакам: у линии mf-213 по общей урожайности (СКС= -5), у mf-29 и mf-36 по семенной продуктивности (СКС= -2), у mf-62 по сохранности (СКС= -15). У третьей группы mf-линий отмечена отрицательная СКС по двум и более изученным признакам, что позволяет охарактеризовать их как неподходящие опылители для данной ms-линии (Таблица 11).

Таблица 11 – Специфическая комбинационная способность (СКС) отцовских линий при скрещивании с линией ms-1000

Номер ГК	mf- линия	Масса луковицы	Урожайность		Сохранность	Семенная продуктивность
			Общая	Товарная		
1	67	21,5	18,3	9,1	15,8	5,1
2	61	-42,8	-22,5	-17,9	5,9	-2,1
3	213	23,2	-4,7	9,8	20,1	3,0
4	214	13,2	5,6	5,6	-33,2	-1,8
5	29	18,6	34,1	7,8	22,3	-2,1
6	17	20,4	-2,2	8,6	28,1	-0,2
7	343	-53,8	-36,6	-22,6	-53,9	-2,0
8	36	20,0	13,2	8,4	9,9	-1,8
9	62	8,2	41,3	3,5	-14,8	1,3

В результате оценки родительских линий первого и второго года жизни по комплексу хозяйственно ценных признаков, общей и специфической комбинационной способности, выделены две ms- и три mf-линии, как наиболее перспективные для создания конкурентоспособных среднеспелых гибридов F₁ лука репчатого для Нечерноземной зоны РФ:

- **Линия ms-1000.** Луковица округлой формы с шейкой средней толщины, окраска сухих чешуй коричневая, прилегание сильное. Масса луковицы - 135 г, общая урожайность - 74 т/га, товарная - 57 т/га, товарность - 76 %. Высокая семенная продуктивность в ГК с лучшим опылителем mf-67 – до 7,5 г с растения. Семенные растения пригодны к промышленному семеноводству. Положительная ОКС по массе луковицы, общей и товарной урожайности. Относительная устойчивость к хранению – сохранность 84 %.

- **Линия ms-1002.** Луковица округлой формы с тонкой шейкой, окраска сухих чешуй желто-коричневая, прилегание сильное. Масса луковицы - 154 г,

общая урожайность - 89 т/га, товарная - 65 т/га, товарность – до 73 %. Семенная продуктивность в ГК с лучшим опылителем mf-27 – до 2,7 г с растения. Положительная ОКС по массе луковицы, общей и товарной урожайности. Относительная устойчивость к хранению – сохранность 88 %.

- **Линия mf-27.** Луковица округлой формы с тонкой шейкой, окраска сухих чешуй коричневая, прилегание сильное. Масса луковицы - 116 г, общая урожайность - 71 т/га, товарная урожайность – до 49 т/га, товарность – до 69 %. Высокая семенная продуктивность при самоопылении (5,7 г с растения). Устойчивость к фузариозу и бактериозу во время вегетации, относительная устойчивость к хранению – сохранность 95 %.

- **Линия mf-213.** Луковица округлой формы с тонкой шейкой, окраска сухих чешуй светло-коричневая, прилегание сильное. Масса луковицы - 130 г, общая урожайность – в среднем 80 т/га, товарная - 55 т/га, товарность - 68 %. Высокая семенная продуктивность при самоопылении (4,4 г с растения). Семенные растения пригодны к промышленному семеноводству. Положительная СКС в ГК-3 (в комбинации с ms-1000) по массе луковицы, товарной урожайности, сохранности и семенной продуктивности. Устойчивость к хранению – сохранность 100 %.

- **Линия mf-214.** Луковица округлой формы с шейкой средней толщины, окраска сухих чешуй желтая, прилегание сильное. Масса луковицы - 95 г, общая урожайность – в среднем 60 т/га, товарная - 40 т/га, товарность - 66 %. Высокая семенная продуктивность при самоопылении (5,5 г с растения). Семенные растения пригодны к промышленному семеноводству. Положительная СКС в ГК-4 (в комбинации с ms-1000) по массе луковицы, общей и товарной урожайности. Устойчивость к хранению – сохранность 96 %.

Среди полученных ГК по комплексу хозяйственных признаков и эффектам гетерозиса выделены две лучшие комбинации:

- **F₁ ГК-3 (1000x213).** Луковица округлой формы с тонкой шейкой, окраска сухих чешуй коричневая, прилегание сильное. Средняя масса товарной луковицы - 164 г, общая урожайность – до 72 т/га, товарная урожайность - 69 т/га, товарность - 95 %. Положительный ГЭ по массе луковицы, товарной урожайности и семенной продуктивности. Относительная устойчивость к хранению (сохранность 92 %), устойчивость к бактериозу и относительная устойчивость к фузариозу при искусственном заражении. Характеризуется высокой семенной продуктивностью – в среднем 5,4 г с растения. Семенные растения родительских линий пригодны к промышленному семеноводству (Рисунок 4А).

- **F₁ ГК-13 (1009x6).** Луковица округло-плоской формы с тонкой шейкой, окраска сухих чешуй желтая, прилегание сильное. Средняя масса товарной

луковицы - 166 г, общая урожайность - 72 т/га, товарная урожайность - 70 т/га, товарность - 97 %. Положительный ГЭ по массе луковицы, общей и товарной урожайности. Устойчивость к хранению (сохранность 100 %), комплексная устойчивость к фузариозу и бактериозу при искусственном заражении. Характеризуется высокой семенной продуктивностью – в среднем 4,1 г с растения. Семенные растения родительских линий пригодны к промышленному семеноводству (Рисунок 4Б).

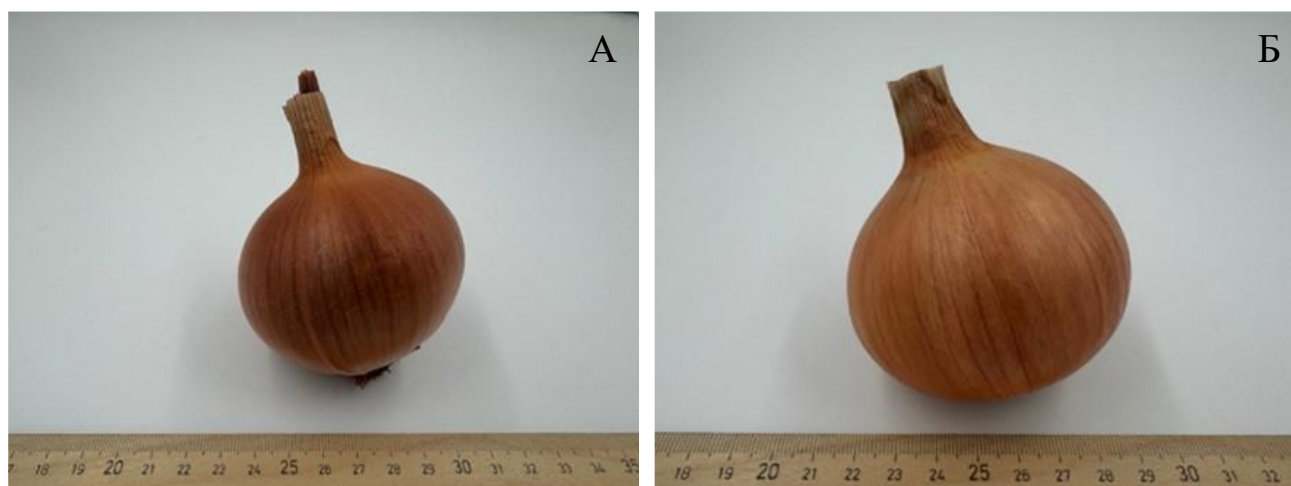


Рисунок 4 – Выделенные гибридные комбинации: А – ГК-3 (1000х213); Б – ГК-13 (1009х6)

Экономическая эффективность возделывания выделенных ГК

На основе комплексной оценки полученных данных проведен расчёт экономической эффективности выращивания выделенных комбинаций ГК-3, ГК-13 и коммерческих гибридов лука репчатого Алонсо F₁ и Дракон F₁ в однолетней культуре. Себестоимость выращивания товарных луковиц созданных ГК составила 5,6-6,0 тыс. руб./т (на уровне отечественного Дракон F₁), что ниже иностранного гибрида Алонсо F₁ на 2,7 тыс. руб./т, который имел высокую закупочную цену семян и проявил высокую восприимчивость к бактериозу при хранении с потерей товарного вида луковиц (Таблица 12).

Таблица 12 – Результаты оценки экономической эффективности выращивания гибридных комбинаций, Московская область, 2024 год

Номер ГК / гибрида F ₁	Товарная урожайность, т/га	Устойчивость		Себестоимость, тыс. руб./т	Цена реализации после хранения, тыс. руб./т	Затраты, тыс. руб./га	Выручка, тыс. руб./га	Чистая прибыль, тыс. руб./га	Рентабельность, %
		БК	Ф						
Дракон F ₁ St	61,9	В	В	6,1	11,3	377,6	699,5	321,9	85,2
Алонсо F ₁ St	60,3	В	У	8,7	9,9	524,6	597,0	72,4	13,8
3	68,9	ОУ	У	6,0	12,1	413,4	833,7	420,3	101,7
13	69,7	У	У	5,6	12,6	390,3	878,2	487,9	125,0
НСР ₀₅	2,4								

Примечание. БК – бактериоз, Ф – фузариоз

То есть, при возделывании устойчивых к фузариозу и бактериозу перспективных комбинаций значения чистой прибыли и рентабельности были наиболее высокими: ГК-13 - 488 тыс. руб./га и 125 %; ГК-3 - 420 тыс. руб./га и 102 % соответственно, что на 100-168 тыс. руб./га и на 17-40 % выше, чем у стандарта Дракон F₁. Низкая рентабельность гибрида Алонсо F₁ (13,8 %) связана с потерями урожая при длительном хранении.

Таким образом, на основании детальной оценки перспективных гибридных комбинаций лука репчатого по комплексу хозяйственно ценных признаков созданы среднеспелые, высокоурожайные гибридные комбинации, отличающиеся высокой устойчивостью к бактериозу и фузариозу. Данные гибридные комбинации (ГК-3 и ГК-13) могут успешно возделываться в условиях Нечерноземной зоны РФ. В настоящее время они включены в конкурсное испытание с целью последующей передачи в Государственную комиссию Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений (ФГБУ «ГОССОРТКОМИССИЯ») как перспективные гетерозисные гибриды F₁ лука репчатого. В период проведения исследований автор принимала участие в создании нового отечественного сорта лука репчатого Новатор для Центрального региона РФ (патент № 14086).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Оптимизирована модель гибрида F₁ лука репчатого среднеспелого срока созревания для выращивания в условиях Нечерноземной зоны РФ в соответствии с современными требованиями рынка; с точки зрения повышения объективности оценки и ранжирования образцов по устойчивости к болезням ключевым фактором является комплексная оценка на устойчивость к бактериозу и фузариозу *in vivo* на естественном инфекционном фоне и после хранения, а также *in vitro* в лабораторных условиях методом искусственного заражения луковиц возбудителями болезней.

2. На основе комплексной оценки коллекционного материала различного происхождения выделены перспективные источники основных хозяйственных признаков для создания родительских инцухт линий и конкурентоспособных гибридов F₁ лука репчатого: раннеспелые – Ермак и Рассвет; среднеспелые – Здоровья друг, Розовый, Теон 332, Эксель, Золотой лапоть и Делфос.

3. В результате анализа разнообразного селекционного материала стерильных и фертильных линий разных групп спелости выявлен характер взаимосвязей между основными селекционно значимыми признаками растений лука репчатого: отрицательная корреляция между продолжительностью межфазных периодов «массовое формирование луковиц – массовое полегание листьев» и «массовое полегание листьев – уборка» (в среднем $r = -0,78$) во всех группах спелости; между сохранностью, с толщиной шейки луковицы ($r = -0,58$) и окраской сухих

чешуй луковицы – $r = 0,52-0,70$ в зависимости от группы спелости (тонкая шейка и темная окраска чешуй способствуют лучшему хранению).

4. Среди всей совокупности изученного материала стерильных и фертильных линий разных групп спелости выделены наиболее ценные по сочетанию в генотипе наибольшего числа основных хозяйственных признаков в качестве родительских компонентов для создания гибридов F_1 лука репчатого: две раннеспелые mf-линии, одна позднеспелая mf-линия; среди среднеспелых – четыре ms-линии и 13 mf-линий, на основе которых создано 14 гибридных комбинаций.

5. На основе изучения характера проявления основных хозяйственных признаков в гибридном потомстве выявлено, что вероятность получения гибридных комбинаций с желто-коричневой окраской сухих чешуй луковиц выше при включении в скрещивание ms-линий с желто-коричневой окраской и mf- с коричневой; с сильным прилеганием сухих чешуй – ms-линии со средним и mf- с сильным прилеганием; для получения гибридов с луковицами округлой формы и тонкой шейкой – при использовании родительских линий с близким сочетанием этих признаков.

6. По результатам комплексной оценки семенных растений по морфологическим признакам и семенной продуктивности установлена положительная взаимосвязь семенной продуктивности с числом стрелок, диаметром соцветия и окраской сухих чешуй луковицы; взаимосвязь между семенной продуктивностью отцовского компонента и продуктивностью гибридных семян при опылении ms-линии не выявлена ($r = -0,05$); выделено две стерильные линии ms-1000 и ms-1009 и четыре отцовских компонента mf-6, mf-29, mf-213 и mf-214, отличающиеся оптимальным сочетанием большинства признаков, определяющих пригодность к промышленному семеноводству, и высокой семенной продуктивностью как при самоопылении mf-линий, так и в гибридных комбинациях ($\text{♀} \times \text{♂}$).

7. На основе оценки комбинационной способности родительских линий по комплексу хозяйственно ценных признаков растений первого и второго года жизни выделены лучшие родительские компоненты для создания конкурентоспособных среднеспелых гибридов F_1 лука репчатого для Нечерноземной зоны РФ: две стерильные линии ms-1000, ms-1002 и три фертильные линии mf-27, mf-213 и mf-214.

8. По итогам комплексной оценки гибридных комбинаций лука репчатого по сочетанию наибольшего числа основных хозяйственных признаков (от восьми) выделены четыре комбинации: ГК-3, ГК-10, ГК-12 и ГК-13, характеризующиеся оптимальными параметрами листовой розетки, сильным прилеганием сухих чешуй, тонкой шейкой, преимущественно округлой формой луковицы и высокой продуктивностью.

9. Возделывание перспективных новых гибридных комбинаций ГК-3 и ГК-13 лука репчатого в условиях Нечерноземной зоны РФ по рентабельности превосходит стандарты Дракон F₁ и Алонсо F₁ (102 и 125 %), то есть экономически эффективно за счет повышения товарной урожайности на 7-9 т/га.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Для создания родительских инцухт линий лука репчатого разных сроков созревания рекомендуем восемь коллекционных образцов: раннеспелые – Ермак и Рассвет; среднеспелые – Здоровья друг, Розовый, Теон 332, Эксель, Золотой лапоть и Делфос.

Для получения среднеспелых гибридов F₁ лука репчатого для условий Нечерноземной зоны РФ рекомендуется использовать четыре ms-линий и 13 mf-линий селекции ФГБНУ ФНЦО со средним сроком созревания (100-120 суток), в том числе источники:

- групповой устойчивости к фузариозу и бактериозу в период вегетации: две линии ms-1008, ms-1009; четыре линии mf-17, mf-27, mf-62, mf-343.
- округлой формы луковицы: три линии ms-1000, ms-1002, ms-1008; 11 линий mf-17, 19, 27, 29, 36, 61, 62, 213, 214, 343, 1006.
- высокой сохранности луковиц при хранении (до 100 %): пять линий mf-6, mf-17, mf-213, mf-214, mf-343.
- высокой семенной продуктивностью (до 7,2 г с растения): пять линий mf-6, mf-27, mf-29, mf-213, mf-214 при самоопылении, две линии ms-1000, ms-1009 при гибридизации.
- с комплексом основных хозяйственно ценных признаков и высокой комбинационной способностью: две линии ms-1000, ms-1002, три линии mf-27, mf-213, mf-214.

Выделенные гибридные комбинации ГК-3 и ГК-13 рекомендуются для дальнейшего конкурсного испытания с целью последующей передачи в Государственную комиссию Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений (ФГБУ «ГОССОРТКОМИССИЯ») как перспективные среднеспелые гетерозисные гибриды F₁ лука репчатого для условий Нечерноземной зоны РФ.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК РФ:

1. Марчева М.М. Приоритетные направления селекции лука репчатого (*Allium cepa* L.) / М.М. Марчева, Т.М. Середин, И.М. Кайгородова, А.В. Солдатенко, Е.В. Баранова // Овощи России. – 2024. – № 6. – С. 30-43. DOI: 10.18619/2072-9146-2024-6-30-43

2. Марчева М.М. Выделение источников устойчивости лука репчатого (*Allium cepa* L.) к возбудителям фузариозной и бактериальной гнили / С.А. Ветрова, М.М. Марчева, Т.М. Середин, А.В. Солдатенко, И.А. Енгальчева, Л.В. Кривенков, В.В. Логунова, К.И. Дацюк, М.В. Каракай // Овощи России. – 2025. – № 5. – С. 32-39. DOI: 10.18619/2072-9146-2025-5-32-39

Прочие издания, материалы конференций и патенты:

3. Патент на селекционное достижение № 14086 Сорт лука репчатого «Новатор» / Кривенков Л.В., Марчева М.М., Середин Т.М., Солдатенко А.В., Шумилина В.В. / ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства». Дата регистрации в государственном реестре селекционных достижений РФ 02.07.2025. Выдан по заявке № 88237 РФ.

4. Марчева М.М. Оценка основных хозяйственно ценных признаков лука репчатого (*Allium cepa* L.) для селекции в условиях Нечерноземья / М.М. Марчева, Т.М. Середин, В.В. Логунова, В.В. Шумилина, А.В. Солдатенко, И.С. Мастяев // Известия ФНЦО. – 2021. – № 3-4. – С. 51-56. DOI: 10.18619/2658-4832-2021-3-4-51-56

5. Марчева М.М. Основные хозяйственно полезные признаки *Allium cepa* L. в условиях Подмосковья / Т.М. Середин, М.М. Марчева, В.В. Логунова, И.С. Мастяев, В.В. Шумилина // Современное состояние, проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса: сборник докладов Международной научно-практической конференции посвященной году науки и технологий Российской Федерации, 100-летию Республики Коми, Дню работников сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности, неделе агропромышленного комплекса. – Киров, 2021. – С. 112-116. ISBN: 978-5-907419-87-2. DOI: 10.52376/978-5-907419-87-2

6. Марчева М.М. Ценность и биохимический состав *Allium cepa* L. и *Allium ascalonicum* L. / М.М. Марчева, Т.М. Середин, И.М. Кайгородова, К.И. Дацюк // В сборнике: Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения. Материалы XI Международной научно-практической конференции молодых ученых. Москва, 2023. С. 58-61. ISBN: 978-5-87019-111-9