

СОДЕРЖАНИЕ

Базанов Т. А., Ущাপовский И. В., Логинова Н. Н., Смирнова Е. В., Михайлова П. Д. ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОЛИМОРФИЗМА СОРТОВ КОНОПЛИ ПОСЕВНОЙ РОССИЙСКОЙ СЕЛЕКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ISSR- МАРКЕРОВ	9
Бондарчук Е. Ю., Цыгичко А. А., Асатурова А. М. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭНТОМОПАТОГЕННОЙ АКТИВНОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ В ОТНОШЕНИИ НАСЕКОМЫХ- ВРЕДИТЕЛЕЙ <i>IN VITRO</i> (ОБЗОР)	20
Гаврин Д. С., Бартенев И. И., Нечаева О. М. ВЛИЯНИЕ ОСНОВНОГО МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ И ВНЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ НА УРОЖАЙ СЕМЯН САХАРНОЙ СВЕКЛЫ, ЕГО СТРУКТУРУ И КАЧЕСТВО	35
Гулянов Ю. А., Николаев Н. А., Яковлев И. Г. СОРТОВАЯ СПЕЦИФИЧНОСТЬ ОПТИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ФИТОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ	47
Дидович С. В., Пась А. Н., Данилова И. Л., Алексеенко О. П. БИОРАЦИОНАЛЬНЫЙ СПОСОБ ИНГИБИРОВАНИЯ РОСТА И РАЗВИТИЯ <i>AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA</i> L.	61
Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. НОВЫЙ СОРГО-СУДАНКОВЫЙ ГИБРИД ГВАРДЕЕЦ	75
Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Попов Ф. А., Светлакова Е. В. БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В СЕВООБОРОТАХ В УСЛОВИЯХ БИОЛОГИЗИРОВАННОГО АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ	84
Кривошеев Г. Я., Шевченко Н. А., Игнатъев А. С. ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ НОВЫХ САМООПЫЛЕННЫХ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ И МЕТОДЫ ЕЕ ОЦЕНКИ	95
Лукьянов В. А., Нитченко Л. Б. УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ БЕЗОТВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В СЕВООБОРОТАХ ЦЧР	107
Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГИБРИДНЫХ ФОРМ ЗЕМЛЯНИКИ ПО ГЕНАМ <i>FAOMT</i> И <i>FAFAD1</i> АРОМАТА ПЛОДОВ	117
Маслова М. В., Грошева Е. В., Будаговский А. В., Будаговская О. Н., Каменова И. А. АНТАГОНИСТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ В ОТНОШЕНИИ ФИТОПАТОГЕНОВ У БАКТЕРИЙ <i>RAENIBACILLUS POLYMYXA</i> , <i>BACILLUS</i> <i>AMYLOLIQUEFACIENS</i> И ИХ ЛАЗЕРНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ	125
Понажев В. П. СОЗДАНИЕ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ЛЬНА С МАРКЕРНЫМ ПРИЗНАКОМ – ЖЕЛТОЙ ОКРАСКОЙ СЕМЯН	135
Приходько А. В., Черкашина А. В. ПРОДУКТИВНОСТЬ СИДЕРАЛЬНЫХ КУЛЬТУР В РАЗЛИЧНЫХ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ	144

Пташник О. П. ИЗУЧЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА СОРТОВ И СОРТООБРАЗЦОВ ЛЮПИНА БЕЛОГО ( <i>LUPINUS ALBUS L.</i> )	155
Соколенко Н. И., Галушко Н. А., Комаров Н. М. ИСТОЧНИКИ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА ЗЕРНА В СЕЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ	164
Филиппов Е. Г., Брагин Р. Н., Донцова А. А., Донцов Д. П. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ	172
Фомина Т. И. БИОЛОГИЯ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ЛУКА ( <i>ALLIUM L.</i> )	180
Хомяк А. И., Асатурова А. М., Сидоров Н. М., Дубяга В. М. БИОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ФИТОПАРАЗИТИЧЕСКИХ НЕМАТОД НА ОСНОВЕ МИКРООРГАНИЗМОВ (ОБЗОР)	191

CONTENTS

Bazanov T. A., Uschapovsky I. V., Loginova N. N., Smirnova E. V., Mikhailova P. D. STUDY OF GENETIC POLYMORPHISM OF RUSSIAN ORIGIN HEMP CULTIVARS WITH THE USE OF ISSR-MARKERS	9
Bondarchuk E. Yu., Tsygichko A. A., Asaturova A. M. METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE ASSESSMENT OF THE ENTOMOPATHOGENIC ACTIVITY OF MICROORGANISMS AGAINST INSECT PESTS <i>IN VITRO</i> (REVIEW)	20
Gavrin D. S., Bartenev I. I., Nechaeva O. M. INFLUENCE OF BASIC MINERAL FERTILIZER AND FOLIAR FEEDING WITH MICROELEMENTS ON SUGAR BEET SEEDS YIELD, STRUCTURE AND QUALITY	35
Gulyanov Yu. A., Nikolaev N. A., Yakovlev I. G. VARIETAL SPECIFICITY OF OPTO-BIOLOGICAL PROPERTIES AND PHYTOMETRIC PARAMETERS OF WINTER WHEAT CROPS	47
Didovich S. V., Danilova I. L., Pas' A. N., Alekseenko O. P. BIORATIONAL METHOD OF <i>AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA</i> L. GROWTH AND DEVELOPMENT INHIBITION	61
Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. 'GVARDEETS' – NEW SORGHUM-SUDAN HYBRID	75
Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A., Svetlakova E. V. BALANCE OF NUTRITION ELEMENTS IN CROP ROTATION UNDER BIOLOGIZED ADAPTIVE LANDSCAPE FARMING	84
Krivosheev G. Ya., Shevchenko N. A., Ignatiev A. S. DROUGHT TOLERANCE OF THE NEW SELF-POLLINATED LINES OF MAIZE AND THE METHODS OF ITS ESTIMATION	95
Lukyanov V. A., Nitchenko L. B. YIELD AND QUALITY OF WINTER WHEAT GRAIN UNDER NON-MOLDBOARD SOIL TILLAGE DEPENDING ON DOSES OF MINERAL FERTILIZERS IN THE CROP ROTATIONS OF THE CENTRAL CHERNOZEM REGION	107
Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V. ANALYSIS OF PROMISING STRAWBERRY HYBRID FORMS BY <i>FAOMT</i> AND <i>FAFADI</i> FRUIT AROMA GENES	117
Maslova M. V., Grosheva E. V., Budagovsky A. V., Budagovskaya O.N., Kameneva I. A. ANTAGONISTIC ACTIVITY OF <i>PAENIBACILLUS POLYMYXA</i> , <i>BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS</i> AND THEIR LASER STIMULATION AGAINST PHYTOPATHOGENS	125
Ponazhev V. P. CREATION OF <i>LINUM USITATISSIMUM</i> INITIAL MATERIAL WITH MARKER SIGN – YELLOW-COLORED SEEDS	135
Prihodko A. V., Cherkashyna A. V. PRODUCTIVITY OF GREEN MANURE CROPS DEPENDING ON HYDROTHERMAL CONDITIONS	144

Ptashnik O. P. YIELD AND GRAIN QUALITY OF VARIETIES AND CULTIVARS OF WHITE LUPINE ( <i>LUPINUS ALBUS</i> L.)	155
Sokolenko N. I., Galushko N. A., Komarov N. M. SOURCES OF HIGH-QUALITY GRAIN IN WINTER COMMON WHEAT BREEDING	164
Filippov E. G., Bragin R. N., Dontsova A. A., Dontsov D. P. ASSESSMENT OF ECOLOGICAL PLASTICITY AND STABILITY OF SPRING BARLEY	172
Fomina T. I. BIOLOGY OF SEED GERMINATION IN SOME ONION SPECIES ( <i>ALLIUM</i> L.)	180
Homyak A. I., Asaturova A. M., Sidorov N. M., Dubyaga V. M. BIOLOGICAL CONTROL OF PHYTOPARASITIC NEMATODES BASED ON MICROORGANISMS (REVIEW)	191

DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-9-19

УДК 633.521:631.527

Базанов Т. А., Ущাপовский И. В., Логинова Н. Н., Смирнова Е. В., Михайлова П. Д.

**ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОЛИМОРФИЗМА СОРТОВ КОНОПЛИ  
ПОСЕВНОЙ РОССИЙСКОЙ СЕЛЕКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ISSR–МАРКЕРОВ**

ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»

**Реферат.** Современное коноплеводство предъявляет высокие требования к эффективности селекции и надёжности семеноводства конопли посевной (*Cannabis sativa* L. subsp. *sativa*), поэтому актуальным становится изучение генетического полиморфизма, межсортовой и внутрисортовой изменчивости, особенностей формирования фонда доступного генетического разнообразия культуры. Цель исследований – изучение генетического полиморфизма ряда современных российских сортов технической конопли с использованием молекулярных ISSR-маркеров. Исследования проведены в 2021 г. в лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции ФНЦ ЛК. Изучено 10 сортов конопли посевной российской селекции из коллекции Территориального обособленного структурного подразделения Федерального научного центра лубяных культур – Пензенского исследовательского института сельского хозяйства: Милена, Вера, Сурская, Надежда, Ингрета, Диана, Юлиана, Гентус, Димра, Марго. ДНК выделяли из отдельных семян методом СТАВ. При постановке ПЦР использовали 20 ISSR-праймеров, продукты амплификации разделяли в агарозном геле. Определено 99 аллелей размером 430–1500 п.н., при этом генетический профиль каждого образца индивидуален. Кластерный анализ и дендрограмма генетического подобия позволили выявить наличие внутри- и межсортового генетического полиморфизма, визуализировать филогенетические отношения сортов. Образцы сформировали плотные внутрисортовые группы и распределились на три межсортовых кластера. Наличие в родословных изученных сортов сходных компонентов скрещивания связано с особенностью выявленной кластеризации и обуславливает предпосылки формирования генетической узости современных сортов конопли посевной. Набор из 20 использованных ISSR–маркеров отличается хорошей разрешающей способностью для изучения генетического полиморфизма конопли посевной. У 10 сортов конопли посевной среднерусского типа выявлен внутрисортовой полиморфизм со средней генетической дистанцией 0,14 и межсортовой полиморфизм с дистанцией 0,61. По результатам кластерного и факторного анализов, показавших сходство выводов, образцы распределились на три основных кластера, в основном, отличающихся оригинальностью сорта. Изучение полиморфизма ДНК семян сорта Диана, полученных при репродукции двух лет, указывает на его генетическую стабильность.

**Ключевые слова:** конопля посевная, молекулярные маркеры, ISSR, ПЦР, генетический полиморфизм, селекция.

**Для цитирования:** Базанов Т. А., Ущাপовский И. В., Логинова Н. Н., Смирнова Е. В., Михайлова П. Д. Изучение генетического полиморфизма сортов конопли посевной российской селекции с применением ISSR–маркеров // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 9–19. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-9-19.

**For citation:** Bazanov T. A., Uschapovsky I. V., Loginova N. N., Smirnova E. V., Mikhailova P. D. Study of genetic polymorphism of russian origin hemp cultivars with the use of ISSR-markers // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 9–19. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-9-19.

### Введение

Конопля посевная (*Cannabis sativa* L. subsp. *sativa*) – древнейшая техническая культура комплексного использования, традиционно выращивалась для получения волокна и масла. Существующие последние полвека ограничения по возделыванию конопли связаны с высоким (15–20 %) содержанием психотропного соединения тетрагидроканнабинола (ТГК) в растениях конопли подвида индика (*Cannabis sativa* subsp. *indica* (Lam.) E. Small & Cronquist). В Российской Федерации законодательно разрешено промышленное возделывание конопли посевной, в растениях которой содержится 0,1 % ТГК. Результаты работы отечественных селекционеров позволили получить высокопродуктивные сорта конопли с низким уровнем психоактивного каннабинола, включенные в список Госсортокмиссии [1]. С начала XXI столетия в мире растет интерес к выращиванию технической конопли (конопли посевной), которая используется в производстве сотен видов различной промышленной, пищевой и медицинской продукции [2, 3]. В последние три года в России площадь возделывания конопли посевной превышает 10 тыс. га. Наиболее востребованными сортами в настоящее время являются сорта конопли посевной среднерусского типа Вера, Надежда и Сурская селекции ФГБНУ ФНЦ ЛК (35, 18 и 15 % соответственно, от общей площади, засеянной коноплей в 2020 г. в России).

Рост производства технической конопли определяет актуальность дальнейшей селекционной работы по созданию новых продуктивных сортов культуры, устойчивых к стрессовым факторам среды. Сложности селекционной работы с коноплей связаны с ее биологическими особенностями – наличием в качестве метаболита психоактивного каннабинола, двудомностью, внутрисортовой гетерозиготностью, высокой степенью пластичности от условий окружающей среды [4]. Кроме того, работа селекционеров и производителей конопли посевной в разных странах законодательно ограничена пределом содержания ТГК в растениях 0,1–0,3 %, что приводит к необходимости использования более точных и современных методов селекции [5].

Морфологическая различимость сортов технической конопли достаточно сложна вследствие ограниченности генетического материала, отвечающего требованиям по биохимическому составу. Изучение особенностей генетического полиморфизма, в том числе внутрисортового, у *C. sativa* является одной из важных задач селекции конопли и сохранения генетических ресурсов этой культуры [6]. Генетическая дифференциация сортов различного происхождения необходима для определения их селекционной ценности, создания фондов отбора и хранения.

«Молекулярные инструменты» все чаще используются в различных направлениях селекции и на разных этапах селекционной работы [7]. Так, генетический полиморфизм современных сортов конопли может быть изучен с помощью применения разнообразных молекулярно-генетических маркеров. Для исследований такого сложного объекта, как конопля, ISSR-маркеры могут быть рассмотрены в качестве адекватного инструмента. Они представляют собой области, амплифицированные праймерами, связывающимися непосредственно с простыми повторяющимися последовательностями в геноме растения, и поэтому имеют преимущества. Для анализа этого типа молекулярных маркеров не требуется никакой информации о последовательности. Они генерируют определенный паттерн полос, полезный для оценки генетической изменчивости среди различных образцов *C. sativa* [8]. С помощью ISSR-маркеров можно фиксировать и количественно определять генетические вариации в популяции, отражающие результаты изменений на разных этапах эволюции [9]. Также ISSR маркеры нашли успешное

применение в исследовании задач оценки генетической стабильности и пластичности растений [10].

Использование молекулярно–генетических подходов позволит усовершенствовать методологию селекционного процесса конопли посевной.

**Цель исследований** – изучение генетического полиморфизма ряда современных российских сортов технической конопли с использованием молекулярных ISSR-маркеров.

**Материалы и методы исследований**

Работа выполнена в 2021 г. в лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции ФГБНУ ФНЦ лубяных культур.

Материалом для исследования послужили 10 сортов однодомной технической конопли среднерусского типа, включенных в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации. Перечень сортов с указанием оригинаторов приведен в таблице 1. Образцы взяты из коллекции Территориального обособленного структурного подразделения Федерального научного центра лубяных культур – Пензенского исследовательского института сельского хозяйства. 2020 г. репродукции. Сорт Диана представлен двумя образцами 2020 и 2018 гг. репродукции.

**Таблица 1 – Исследованные сорта конопли**

Сорт	Год регистрации в списке сортов Госсорткомиссии	Оригинатор
Милена	2020	ООО «Коноплекс», г. Москва.
Вера	2009	ФГБНУ ФНЦ лубяных культур, г. Тверь; ООО «Коноплекс», г. Москва.
Сурская	2005	
Надежда	2009	
Ингрета	1999	ФГБНУ ФАНЦ Северо–востока им. Н.В. Рудницкого, г. Киров; ФГБНУ ФНЦ лубяных культур, г. Тверь.
Диана	1994	ФГБНУ ФАНЦ Северо–востока им. Н.В. Рудницкого, г. Киров; ФГБНУ ФНЦ лубяных культур, г. Тверь; ООО «Мордовские пенькозаводы», г. Инсар.
Юлиана	2005	ФГБНУ ФАНЦ Северо–востока им. Н.В. Рудницкого, г. Киров; ИП Глава КФХ Пономаренко А.И., Псковская обл.
Гентус	2010	
Димра	2016	
Марго	2007	

Исследования вели с использованием семян представленных сортов. Каждый сорт был представлен пятью семенами. Семена по отдельности помещали в 1,5 мл микроцентрифужную пробирку с 400 мкл ddH<sub>2</sub>O, не содержащей нуклеаз. Затем семена нагревали при 55 °С в твердотельном термостате в течение 1 ч, далее измельчали с помощью гомогенизатора MiniLys с использованием стальных шариков до полного разрушения семян. ДНК из измельченного семенного материала извлекали с использованием метода СТАВ [11] с многократными отмывками изоамиловым и этиловым спиртом для очистки от белков и жиров. Концентрацию и качество ДНК определяли с помощью спектрофотометра Implen NanoPhotometer NP80. ДНК разбавляли до концентрации 10 нг/мкл.

Для ISSR-маркирования было использовано 20 праймеров, показавших хорошие результаты в работах [8–10] (таблица 2).

Реакционная смесь для проведения ПЦР объемом 25 мкл состояла из следующих компонентов: 30 нг исследуемой ДНК, 2,5 мкМ MgCl<sub>2</sub>, 200 мкМ dNTP, 1

единицу Taq-полимеразы, количества праймеров отличались и подбирались экспериментально.

Аmplification проводили на термоциклере T100 MyCycler™ (Bio-Rad Laboratories, Inc.) по следующей программе: начальная денатурация – 3 мин при 95 °С; затем 30 циклов: денатурация при 95 °С – 30 с, отжиг праймера в течение 30 с при температуре 58 °С, элонгация при 72 °С – 45 с; терминальная элонгация – 5 мин 72 °С.

ДНК-ампликоны дифференцировали в 1,5 % агарозном геле при 100 В в течение 2 ч в буфере TAE. Общие и полиморфные полосы и размеры полос оценивали с помощью GelAnalyser.

**Таблица 2 – Используемые ISSR-маркеры**

Кодировка	Последовательность	Кодировка	Последовательность
ISSR-1	CTCTCTCTCTCTCTTTG	ISSR-11	GAGAGAGAGAGAGAGAC
ISSR-2	CACACACACAGT	ISSR-12	GAGAGAGAGAGAGAGAA
ISSR-3	AGAGAGAGAGAGAGGT	ISSR-13	CACACACACACACAAA
ISSR-4	ACACACACACACACTG	ISSR-14	ACACACACACACACACC
ISSR-5	ACACACACACACACACCA	ISSR-15	AGAGAGAGAGAGAGAGCT
ISSR-6	AGAGAGAGAGAGAGAGCA	ISSR-16	AGAGAGAGAGAGAGAGTT
ISSR-7	ACACACACACACACAAA	ISSR-17	ACACACACACACACACCG
ISSR-8	ACACACACACACACACTA	ISSR-18	AGAGAGAGAGAGAGAGA
ISSR-9	AGAGAGAGAGAGAGAGT	ISSR-19	AGAGAGAGAGAGAGAGG
ISSR-10	AGAGAGAGAGAGAGAGC	ISSR-20	AGAGAGAGAGAGAGAGCC

Бинарные данные присутствия – отсутствия маркеров ISSR были проанализированы как доминантные маркеры с надстройки GenAlEx 6.5. Для оценки полиморфизма использован индекс PIC (Polymorphic Index Content), рассчитанный с использованием уравнения, предложенного для доминантных маркеров [12]:

$$PIC_i = 2 * f_i(1 - f_i) \quad (1)$$

где  $f_i$  – частота присутствующего аллеля, а  $(1 - f_i)$  – частота отсутствующего аллеля.

Генетическая дистанция D рассчитывалась по Нею [13, 14]. D основана на идентичности генов между двумя популяциями:

$$D = -\log_e I \quad (2)$$

где I – нормализованная идентичность генов между двумя популяциями [13]. I была нормализована на основе линейной корректировки аллельного множества на неравное количество образцов на каждый исследованный сорт [15].

Для построения дендрограммы генетического подобиya использовали программное обеспечение DARwin v. 6 (DARwin software).

### Результаты и их обсуждение

Полученные результаты ISSR-анализа позволили определить количество и размер аллелей с расчетными статистическими параметрами уровня полиморфизма и информационного содержания маркеров (таблица 3).

В целом у 55 индивидуальных образцов десяти сортов конопли было определено 99 аллелей. Праймеры ISSR-2, ISSR-11, ISSR-17 не дали видимых полос. Размер аллелей для праймеров ISSR варьировал в пределах 430–1500 п.н. Каждый исследованный индивидуальный образец имел свой уникальный набор аллелей. Число полос, амплифицированных праймерами ISSR, варьировало от одной для ISSR-20 до 15-ти для ISSR-15, при этом среднее значение составило 4,95. Частота встречаемости аллелей микросателлитных локусов в изученной выборке



варьировала в пределах 0,4–93,2 %. Примененная линейка маркеров продемонстрировала высокие значения информационного содержания, что подтверждается значениями уровня полиморфизма и показателя информационного содержания (PIC). Диапазон значений PIC составил 0,1103–0,3715, при среднем значении 0,2055.

**Таблица 3 – Характеристика полиморфных ISSR локусов**

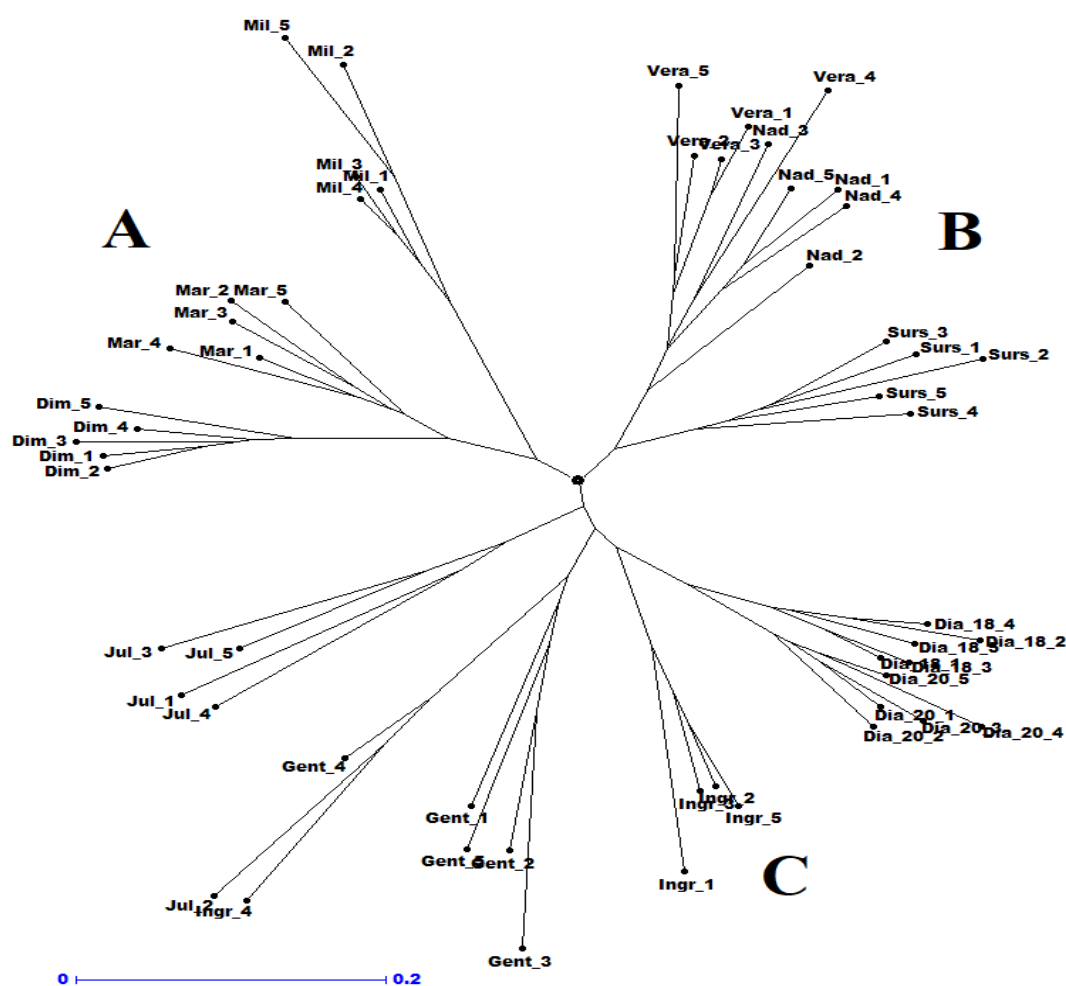
ISSR-маркер	Размер полос, п.н.	Количество полос / полиморфных полос	Полиморфизм, %	PIC
ISSR-1	780 – 850	2/1	50	0,3560
ISSR-2	–	0	0	0
ISSR-3	500 – 1400	5/4	80	0,2297
ISSR-4	930 – 1230	2/2	100	0,1324
ISSR-5	600 – 1380	7/5	71,42	0,3121
ISSR-6	840 – 1320	4/4	100	0,1103
ISSR-7	450 – 1020	6/5	83,33	0,2721
ISSR-8	900 – 1030	2/2	100	0,3715
ISSR-9	480 – 1100	10/9	90	0,3207
ISSR-10	550 – 1150	4/3	75	0,1103
ISSR-11	–	0	0	0
ISSR-12	450 – 1200	11/9	81,81	0,3114
ISSR-13	430 – 1060	8/7	87,5	0,1456
ISSR-14	450 – 1500	10/10	100	0,3293
ISSR-15	470 – 1360	15/15	100	0,2878
ISSR-16	600 – 880	5/5	100	0,2714
ISSR-17	–	0	0	0
ISSR-18	480 – 940	4/4	100	0,2137
ISSR-19	500 – 700	3/3	100	0,1652
ISSR-20	690	1/1	100	0,1711
Среднее значение		4,95/4,45	75,95	0,2055

Полученные в исследовании результаты характеризуют использованную систему ISSR-маркеров как результативную для решения задач по изучению генетического разнообразия технической конопли, позволяющую различать генотипы на молекулярном уровне.

Используя рассчитанные значения генетической дистанции  $D$ , методом «neighbor joining method» [14] был выполнен кластерный анализ и построена дендрограмма генетического подобия для изучения филогенетических отношений между изученными образцами (рисунок 1).

Каждый исследованный образец имеет свой уникальный набор аллелей. Видно, что генетические профили каждого образца объединяются в отдельные сортовые группы, показывая небольшой внутрисортовой полиморфизм. Средняя генетическая дистанция между образцами внутри сортовых групп составила 0,14, а между сортами – 0,61. Сформированные сортовые группы, в свою очередь, распределяются по кластерам. Исследованные сорта конопли разделились на три основных кластера, обозначенные на рисунке 1 буквами А, В и С.

Кластер А содержит три сорта: Димра, Марго и Милена. Это желтостебельные сорта среднерусской конопли. Основным разработчиком сортов Димра и Марго выступал ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого. Используемые в работе локусы характеризуют генетическую близость данных сортов, как минимум по одному показателю. Это раннеспелые сорта с похожими характеристиками волокна. Такая близость генотипов в некоторых случаях может быть связана с использованием в системах скрещивания родственного исходного материала.



**Рисунок 1 – Дендрограмма генетического подобию сортов конопли**

*Примечание.* буквами А, В и С обозначены три основных кластера распределения сортовых групп.

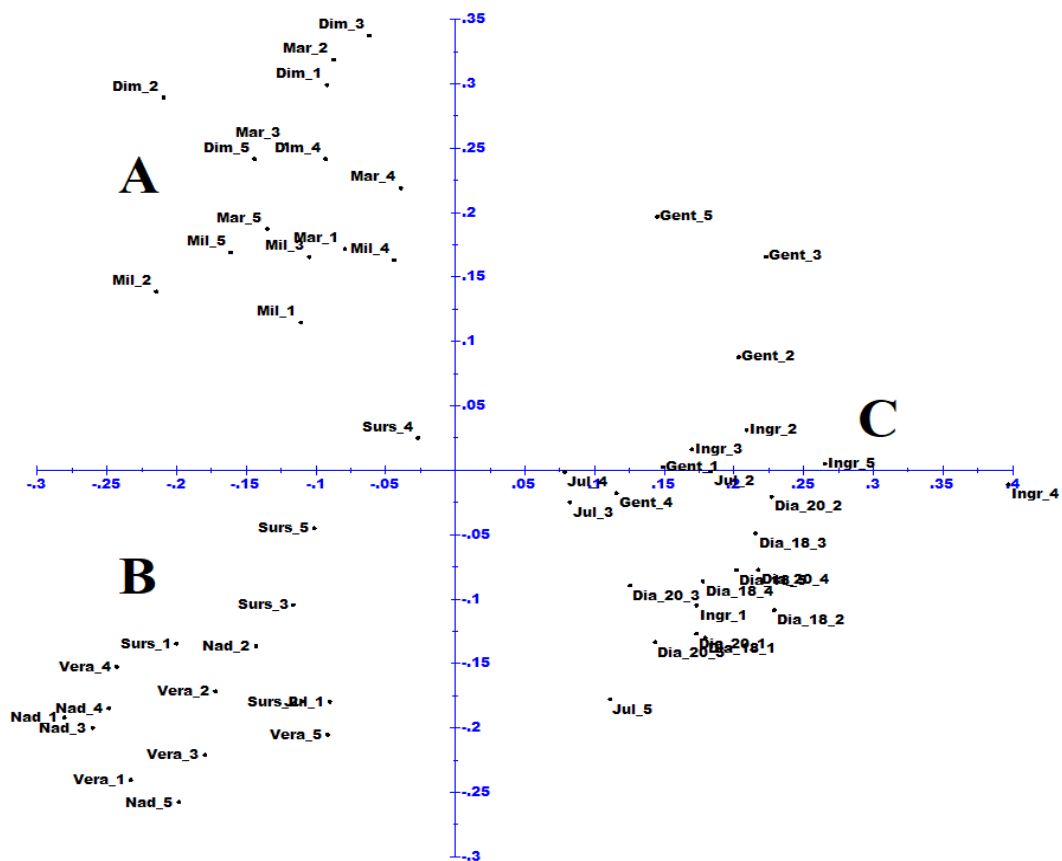
Группирование сортов и линий различных культур в такого рода исследованиях связывают как правило с оригинатором, использующим близкие комбинации скрещивания [16, 17]. Это отмечено и в результатах данного исследования.

В кластер В вошли три сорта селекции ФНЦ ЛК: Вера, Надежда, Сурская. Эти зеленостебельные среднеспелые сорта объединяет то, что они получены методом кроссбридинга однодомных сортов конопли ЮСО-31 в различных комбинациях. Следует отметить, что Вера и Надежда демонстрируют сильную генетическую близость и представляют слабо разделенную сортовую группу. Они получены в один временной период из простых родительских комбинаций. Сорт Сурская выведен из сложной комбинации южноспелых одно- и двудомных сортов конопли в более ранний период времени.

Самый большой кластер С объединяет в себе оставшиеся исследованные образцы. Все эти сорта группируются по принадлежности к основному оригинатору – ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого. Сорт Диана, взятый для исследования в виде образцов двух годов репродукции, демонстрирует небольшие изменения их генетического профиля, средняя генетическая дистанция между образцами двух репродукций составляет 0,18. Однако эти изменения не позволяют

сорта отдаляться от исходной сортовой группы, поэтому можно сделать вывод о достаточно высокой генетической стабильности сорта. Подобного рода исследования могут оказаться важными для контроля качества семенного материала, согласно стандартам по однородности и стабильности.

Иерархический алгоритм является неотъемлемой частью кластерного анализа и предполагает обязательное существование упорядоченной архитектуры между исследуемыми объектами. Повышение достоверности аналитической обработки данных связано с дополнительными методами математического анализа. Поэтому в дополнение к кластерному анализу был применен метод факторного анализа – метод главных компонент («principal component analysis, PCA»). Этот метод не предполагает существования упорядоченных взаимоотношений между объектами анализа [18]. Проведенный анализ полученных ISSR-маркеров представлен на рисунке 2. Расположение исследованных объектов в диаграмме подтверждает ранее сделанный вывод о распределении исследованных сортов конопли по трем основным кластерам, порядок нахождения сортовых групп в кластерах не нарушается.



**Рисунок 2 – Распределение сортообразцов конопли посевной по данным PCA-метода**

Выявленный с помощью ISSR маркеров полиморфизм демонстрирует определенную генетическую узость существующих сортов конопли, что может оказаться неблагоприятным фактором при перспективном развитии отрасли коноплеводства. Проблема генетической узости сортов актуальна для большинства сельскохозяйственных культур и для ее выявления все чаще используют различные молекулярно-генетические маркеры [19, 20].

В селекционной работе с коноплей необходимо использовать более широкий набор родительских форм, вовлекать в скрещивания зарубежные сорта и генотипы, использовать гибридизацию между подвидами, с последующими отборами по биохимическим показателям до допустимой законом нормы.

#### Выводы

В ходе исследования выявлен внутрисортной полиморфизм в изученных сортах, средняя генетическая дистанция между отдельными образцами составила 0,14. Выявлена узость генетического пула сортов со средней генетической дистанцией 0,61. Обнаружено, что исследованные сорта распределяются по трем основным кластерам, характеризующимся по селекционному центру, морфологическим признакам и исходному родительскому материалу. На примере сорта Диана показана возможность контроля генетической стабильности семенного материала конопли посевной. ISSR-маркеры показали себя перспективным инструментом для изучения генетического полиморфизма сортов и коллекционных образцов конопли.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках темы FGSS–2019–0023 Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК.*

#### Литература

1. Серков В. А., Бакулова И. В., Плужникова И. И., Криушин Н. В. Новые направления селекции и совершенствование технологии семеноводства конопли посевной. Монография. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2019. С. 155.
2. Cherney J., Small E. Industrial Hemp in North America: Production, Politics and Potential // *Agronomy*. 2016. Vol. 6(58). DOI: 10.3390/agronomy6040058.
3. Small E. Classification of *Cannabis sativa* L. in relation to agricultural, biotechnological, medical and recreational utilization // In book: *Cannabis sativa* L. – Botany and Biotechnology. Springer, Cham. 2017. P. 1–62. DOI: 10.1007/978-3-319-54564-6\_1
4. Onofri C., Mandolino G. Genomics and Molecular Markers in *Cannabis sativa* L. // In book: *Cannabis sativa* L. – Botany and Biotechnology. Springer, Cham, 2017. P. 319–342. DOI: 10.1007/978-3-319-54564-6\_15.
5. Серков В. А., Климова Л. В., Данилов М. В. Формирование перспективного селекционного материала для создания безнаркотических сортов конопли посевной // *Нива Поволжья*. 2018. № 3 (48). С. 62–67. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-perspektivnogo-selektcionnogo-materiala-dlya-sozdaniya-beznarkoticheskikh-sortov-kopopli-posevnoy> (дата обращения 27.09.2021).
6. Григорьев С. В. Новые источники селекционно значимых признаков конопли из коллекции ВИР // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018. Т. 179. № 4. С. 50–57. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-4-50-57.
7. Bhargava A., Srivastava S. Plant breeding // In book: *Participatory Plant Breeding: Concept and Applications*. Springer, Singapore. 2019. P. 29–68. DOI: 10.1007/978-981-13-7119-6\_2.
8. Kojoma M., Iida O., Makino Y., Sekita S., Satake M. DNA fingerprinting of *Cannabis sativa* using inter-simple sequence repeat (ISSR) amplification // *Planta Medica*. 2002. Vol. 68. No. 1. P. 60–63. DOI: 10.1055/s-2002-19875.
9. Zhang L. G., Chang Y., Zhang X. F., Guan F. Z., Yuan H. M., Yu Y., Zhao L. J. Analysis of the genetic diversity of Chinese native *Cannabis sativa* cultivars by using ISSR and chromosome markers // *Genetic and Molecular Research*. 2014. Vol. 13. No. 4. P. 10490–10500. DOI: 10.4238/2014.December.12.10.
10. Lata H., Chandra S., Techen N., Khan I.A., ElSohly M.A. Molecular analysis of genetic fidelity in *Cannabis sativa* L. plants grown from synthetic (encapsulated) seeds following *in vitro* storage // *Biotechnology Letters*. 2011. Vol. 33. No. 12. P. 2503–2508. DOI: 10.1007/s10529-011-0712-7.
11. Murray M. G., Thompson W. F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA // *Nucleic Acids Research*. 1980. Vol. 8. No. 19. P. 4321–4326. DOI: 10.1093/nar/8.19.4321.
12. Anderson A., Churchill G. A., Autrique J. E., Tanksley S. D., Sorrells M. E. Optimizing parental selection for genetic linkage maps // *Genome*. 1993. Vol. 36. No. 1. P. 181–186. DOI: 10.1139/g93-024.
13. Nei M. Genetic distance between populations // *The American Naturalist*. 1972. Vol. 106. No. 949. P. 283–292. DOI: 10.1086/282771.

14. Nei M. Analysis of gene diversity in subdivided populations // Proceeding of the National Academy of Sciences. 1973. Vol. 70. No. 12. P. 3321–3323. DOI: 10.1073/pnas.70.12.3321.
15. Leberg P. L. Estimation of allelic richness: effects of sample size and bottlenecks // Molecular Ecology. 2002. Vol. 11. No. 11. P. 2445–2449. DOI: 10.1046/j.1365-294X.2002.01612.x.
16. He X., Bjornstad A. Diversity of North European oat analyzed by SSR, AFLP and DArT markers // Theoretical and Applied Genetics. 2012. No. 125. P. 57–70. DOI: 10.1007/s00122-012-1816-8.
17. Paczos–Grzęda E. M., Bednarek P. T., Koroluk A. Zastosowanie markerów silicoDArT do oceny polimorfizmu międzyodmianowego // Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis Agricultura, Alimentaria, Piscaria et Zootechnica. 2014. No. 30. P. 75–84.
18. Rozalia G. M. Q–Factor Analysis (Q–Methodology) as data analysis technique // Annals of the University of Oradea, Economic Science Series. 2008. Vol. 17. No. 4. P. 871–876. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/260284343\\_Q\\_-\\_methodology\\_Q\\_factor\\_analysis\\_-\\_particularities\\_and\\_theoretical\\_considerations\\_for\\_marketing\\_data](https://www.researchgate.net/publication/260284343_Q_-_methodology_Q_factor_analysis_-_particularities_and_theoretical_considerations_for_marketing_data) (дата обращения 27.09.2021).
19. Soriano J. M., Villegas D., Aranzana M. J., García Del Moral L. F., Royo C. Genetic structure of modern durum wheat cultivars and mediterranean landraces matches with their agronomic performance // PLoS ONE. 2016. No. 11. Art. No. e0160983. DOI: 10.1371/journal.pone.0160983.
20. Cieplak M., Okoń S., Werwińska K. Genetic similarity of *Avena sativa* L. varieties as an example of a narrow genetic pool of contemporary cereal species // Plants. 2021. Vol. 10. No. 7. DOI: 10.3390/plants10071424.

## References

1. Serkov V. A., Bakulova I. V., Pluzhnikova I. I., Kriushin N. V. New directions of breeding and improvement of seed production technology for hemp plant. Monograph. Penza: Penza State Agrarian University, 2019. P. 155.
2. Cherney J., Small E. Industrial hemp in North America: production, politics and potential // Agronomy. 2016. Vol. 6(58). DOI: 10.3390/agronomy6040058.
3. Small E. Classification of *Cannabis sativa* L. in relation to agricultural, biotechnological, medical and recreational utilization // In book: *Cannabis sativa* L. – Botany and Biotechnology. Springer, Cham. 2017. P. 1–62. DOI: 10.1007/978-3-319-54564-6\_1.
4. Onofri C., Mandolino G. Genomics and molecular markers in *Cannabis sativa* L. // In book: *Cannabis sativa* L. – Botany and Biotechnology. Springer, Cham, 2017. P. 319–342. DOI: 10.1007/978-3-319-54564-6\_15.
5. Serkov V. A., Klimova L. V., Danilov M. V. The formation of promising breeding material to create drug-free varieties of seeding hemp // Niva Povolzhya. 2018. Vol. 3. No. 48. P. 62–67. [Electronic resource]. Access point: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-perspektivnogo-selektcionnogo-materiala-dlya-sozdaniya-beznarkoticheskikh-sortov-konopli-posevnoy> (reference's date 27.09.2021).
6. Grigoryev S. V. New sources of agriculturally valuable traits in hemp from the VIR collection for cultivar development// Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2018. Vol. 179. No. 4. P. 50–57. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-4-50-57.
7. Bhargava A., Srivastava S. Plant breeding // In book: Participatory Plant Breeding: Concept and Applications. Springer, Singapore. 2019. P. 29–68. DOI: 10.1007/978-981-13-7119-6\_2.
8. Kojoma M., Iida O., Makino Y., Sekita S., Satake M. DNA fingerprinting of *Cannabis sativa* using inter-simple sequence repeat (ISSR) amplification // Planta Medica. 2002. Vol. 68. No. 1. P. 60–63. DOI: 10.1055/s-2002-19875.
9. Zhang L. G., Chang Y., Zhang X. F., Guan F. Z., Yuan H. M., Yu Y., Zhao L. J. Analysis of the genetic diversity of Chinese native *Cannabis sativa* cultivars by using ISSR and chromosome markers // Genetic and Molecular Research. 2014. Vol. 13. No. 4. P. 10490–10500. DOI: 10.4238/2014.December.12.10.
10. Lata H., Chandra S., Techen N., Khan I.A., ElSohly M.A. Molecular analysis of genetic fidelity in *Cannabis sativa* L. plants grown from synthetic (encapsulated) seeds following *in vitro* storage // Biotechnology Letters. 2011. Vol. 33. No. 12. P. 2503–2508. DOI: 10.1007/s10529-011-0712-7
11. Murray M. G., Thompson W. F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA // Nucleic Acids Research. 1980. Vol. 8. No. 19. P. 4321–4326. DOI: 10.1093/nar/8.19.4321.
12. Anderson A., Churchill G. A., Autrique J. E., Tanksley S. D., Sorrells M. E. Optimizing parental selection for genetic linkage maps // Genome. 1993. Vol. 36. No. 1. P. 181–186. DOI: 10.1139/g93-024.
13. Nei M. Genetic distance between populations // The American Naturalist. 1972. Vol. 106. No. 949. P. 283–292. DOI: 10.1086/282771.
14. Nei M. Analysis of gene diversity in subdivided populations // Proceeding of the National Academy of Sciences. 1973. Vol. 70. No. 12. P. 3321–3323. DOI: 10.1073/pnas.70.12.3321.
15. Leberg P. L. Estimation of allelic richness: effects of sample size and bottlenecks // Molecular Ecology. 2002. Vol. 11. No. 11. P. 2445–2449. DOI: 10.1046/j.1365-294X.2002.01612.x.

16. He X., Bjornstad A. Diversity of North European oat analyzed by SSR, AFLP and DArT markers // Theoretical and Applied Genetics. 2012. No. 125. P. 57–70. DOI: 10.1007/s00122-012-1816-8.
17. Paczos–Grzęda E. M., Bednarek P. T., Koroluk A. Zastosowanie markerów silicoDArT do oceny polimorfizmu międzyodmianowego // Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis Agricultura, Alimentaria, Piscaria et Zootechnica. 2014. No. 30. P. 75–84.
18. Rozalia G. M. Q–Factor Analysis (Q–Methodology) as data analysis technique // Annals of the University of Oradea, Economic Science Series. 2008. Vol. 17. No. 4. P. 871–876. [Electronic resource]. Access point: [https://www.researchgate.net/publication/260284343\\_Q\\_methodology\\_Q\\_factor\\_analysis\\_particularities\\_and\\_theoretical\\_considerations\\_for\\_marketing\\_data](https://www.researchgate.net/publication/260284343_Q_methodology_Q_factor_analysis_particularities_and_theoretical_considerations_for_marketing_data) (reference's date 27.09.2021).
19. Soriano J. M., Villegas D., Aranzana M. J., García Del Moral L. F., Royo C. Genetic structure of modern durum wheat cultivars and mediterranean landraces matches with their agronomic performance // PLoS ONE. 2016. No 11. Art. No. e0160983. DOI: 10.1371/journal.pone.0160983.
20. Cieplak M., Okoń S., Werwińska K. Genetic similarity of *Avena sativa* L. varieties as an example of a narrow genetic pool of contemporary cereal species // Plants. 2021. Vol. 10. No. 7. DOI: 10.3390/plants10071424.

UDC 633.521:631.527

Bazanov T. A., Uschapovsky I. V., Loginova N. N., Smirnova E. V., Mikhailova P. D.

### **STUDY OF GENETIC POLYMORPHISM OF RUSSIAN ORIGIN HEMP CULTIVARS WITH THE USE OF ISSR–MARKERS**

**Summary.** Nowadays, hemp production places high demands on the efficiency of breeding and the reliability of seed multiplication of hemp (*Cannabis sativa* L. subsp. *Sativa*). Therefore, a detailed study of genetic polymorphism, intervarietal and intravarietal variability, and the peculiarities of the formation of the fund of available genetic diversity of culture becomes urgent. The aim was to study the genetic polymorphism of some modern Russian species of industrial hemp using molecular ISSR markers. Experimental data were obtained in 2021 in the laboratory of molecular-genetic researching and cell selection of the Federal Research Center of Bast Crops. We studied ten varieties of hemp of Russian breeding from the collection of Penza Unit of Federal Research Center for Fiber Crops: 'Milena', 'Vera', 'Surskaya', 'Nadezhda', 'Ingreda', 'Diana', 'Juliana', 'Gentus', 'Dimra', 'Margo'. DNA was isolated from individual seeds by the CTAB method. When setting up PCR, 20 ISSR primers were used; amplification products were separated in agarose gel. A total of 99 alleles of 430–1500 bp were identified, the genetic profile of each studied sample turned out to be individual. Cluster analysis and genetic similarity dendrogram construction made it possible to reveal the presence of intra- and intervarietal genetic polymorphism, visualize the phylogenetic relationships of the studied species. The studied samples formed dense intravarietal groups and were divided into three intervarietal clusters. The presence of similar components of crossing in the pedigrees of the studied varieties is associated with the peculiarity of the identified clustering and determines the prerequisites for the formation of the genetic narrowness of modern varieties of cannabis. The set of 20 used ISSR-markers is distinguished by good resolution for studying the genetic polymorphism of hemp. Intravarietal polymorphism with an average genetic distance of 0.14 and intervarietal polymorphism with a distance of 0.61 were revealed in 10 cultivars of hemp of the Central Russian type. According to the results of cluster and factor analyzes, which showed the similarity of conclusions, the samples were divided into three main clusters, mainly differing in the originator of the variety. The study of DNA polymorphism of seeds of the 'Diana', obtained after reproduction of two years, indicates its genetic stability.

**Keywords:** hemp, molecular markers, ISSR, PCR, genetic polymorphism, breeding.

Базанов Тарас Александрович, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур; 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56; e-mail: t.bazanov@fncl.ru.

Ущাপовский Игорь Валентинович, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, заместитель директора по научной работе, ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур; 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56; e-mail: i.uschapovsky@fncl.ru.

Логинова Наталья Николаевна, научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур; 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56; e-mail: n.loginova@fncl.ru.

Смирнова Екатерина Витальевна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур; 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56; e-mail: ev.smirnova@fncl.ru.

Михайлова Полина Дмитриевна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур; 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56; e-mail: p.mikhaylova@fncl.ru.

Bazanov Taras Aleksandrovich, Cand. Sc. (Chem.), leading researcher, head of the Laboratory of the molecular-genetic researching and cell selection, FSBSI Federal Research Center of Bast Crops; 17/56, Komsomolsky ave., Tver, 170041, Russia; e-mail: t.bazanov@fncl.ru.

Uschapovsky Igor Valentinovich, Cand. Sc. (Biol.), docent, leading researcher of the Laboratory of the molecular-genetic researching and cell selection, FSBSI Federal Research Center of Bast Crops; 17/56, Komsomolsky ave., Tver, 170041, Russia; e-mail: i.uschapovsky@fncl.ru.

Loginova Natalya Nikolaevna, researcher of the Laboratory of the molecular-genetic researching and cell selection, FSBSI Federal Research Center of Bast Crops; 17/56, Komsomolsky ave., Tver, 170041, Russia; e-mail: n.loginova@fncl.ru.

Smirnova Ekaterina Vitalyevna, junior researcher of the Laboratory of the molecular-genetic researching and cell selection, FSBSI Federal Research Center of Bast Crops; 17/56, Komsomolsky ave., Tver, 170041, Russia; e-mail: ev.smirnova@fncl.ru.

Mikhailova Polina Dmitrievna, junior researcher of the Laboratory of the molecular-genetic researching and cell selection, FSBSI Federal Research Center of Bast Crops; 17/56, Komsomolsky ave., Tver, 170041, Russia; e-mail: p.mikhaylova@fncl.ru.

*Дата поступления в редакцию – 01.09.2021.*

*Дата принятия к печати – 15.10.2021.*

DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-20-34

УДК 632.937

Бондарчук Е. Ю., Цыгичко А. А., Асатурова А. М.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭНТОМОПАТОГЕННОЙ АКТИВНОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ В ОТНОШЕНИИ НАСЕКОМЫХ-ВРЕДИТЕЛЕЙ *IN VITRO* (ОБЗОР)**

**Реферат.** Чрезмерная интенсификация аграрной деятельности химическими инсектицидами привела к ряду серьезных проблем, угрожающих окружающей среде и здоровью человека. Одним из путей их решения является переориентация на применение препаратов на основе энтомопатогенных биоагентов. Целью данного обзора является поиск и систематизация методических подходов к определению энтомопатогенной активности микроорганизмов различных таксономических групп в лабораторных условиях. Целесообразность выбора необходимого метода при изучении того или иного явления или процесса является важным моментом как в фундаментальной сфере исследований, так и в прикладной. Первичная оценка энтомопатогенной активности микроорганизмов *in vitro* лежит в основе расширения спектра их действия, введения новых штаммов в коллекции, а также способствует пополнению знаний об уже известных свойствах различных видов микроорганизмов. Все это безусловно связано с дальнейшим выбором их в качестве биологических агентов. Каждая из представленных групп энтомопатогенов имеет свои отличительные особенности механизмов действия, детерминированные целевым насекомым. В отношении выбора методических подходов оценки энтомопатогенного действия грибов авторы опирались на физиологические особенности насекомого и его стадию вредоносности. Изучая активность штаммов бактерий, исследователи руководствовались методическими подходами перорального заражения насекомых, используя инфицированный источник питания, и отмечали патологические изменения в клеточной структуре, а также деформации элементов кишечника. Наиболее распространенным способом оценки действия энтомопатогенных вирусов в лабораторных условиях является метод поверхностного заражения источника питания тестируемого насекомого, учитывая высокую специализацию агента. При изучении механизмов действия грибных, бактериальных и вирусных агентов, исследователи вводили в тело насекомого инъекции с суспензией патогена. Поиск и систематизация актуальных методических подходов для оценки энтомопатогенных микроорганизмов в зависимости от таксономической принадлежности является важной частью работы, непосредственно связанной с разработкой качественного и эффективного биоинсектицида.

**Ключевые слова:** методические подходы, энтомопатогенные микроорганизмы, энтомопатогенное действие, бактерии, грибы, вирусы.

**Для цитирования:** Бондарчук Е. Ю., Цыгичко А. А., Асатурова А. М. Методические подходы к оценке энтомопатогенной активности микроорганизмов в отношении насекомых-вредителей *in vitro* (обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 20–34. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-20-34.

**For citation:** Bondarchuk E. Yu., Tsygichko A. A., Asaturova A. M. Methodological approaches to the assessment of the entomopathogenic activity of microorganisms against insect pests *in vitro* (review) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 20–34. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-20-34.

### Введение

Ожидается, что к 2050 г. население мира достигнет 9,8 млрд человек. В современном аграрно-промышленном комплексе существует необходимость



повышения урожайности сельскохозяйственных культур прибыльным, эффективным и устойчивым образом. Одним из факторов, ограничивающих продуктивность сельского хозяйства, являются насекомые-вредители, болезни и сорняки. Это является важным лимитирующим фактором для обеспечения населения продовольствием в ближайшие 40–50 лет [1, 2].

Популяции многих членистоногих естественным образом регулируются энтомопатогенами, такими как бактерии, грибы и вирусы. Эти представители биологического контроля широко распространены в агроценозах и вызывают естественные инфекции у многих видов вредителей. Большинство видов из представленных групп микроорганизмов выступают основой биоинсектицидов, которые действуют избирательно и снижают вредоносность определенного спектра фитофагов, сохраняя природное равновесие. Возможности биоконтроля расширяются с увеличением объема научных знаний и могут быть использованы в соответствии с экономическими и социальными потребностями.

Исследования перспективных энтомопатогенов в лабораторных условиях является неотъемлемым этапом создания нового продукта. Инсектицидная активность имеет решающее значение при отборе микроорганизма в качестве агента биологического контроля. Данный показатель определяется степенью способности к паразитизму в отношении насекомых-вредителей сельскохозяйственных культур. При этом биологическая активность имеет важнейшее значение не только на начальных этапах создания биоинсектицида (выделение из природных источников и отбор), но и по окончании биотехнологического процесса для определения качества продукта и его стандартизации. Кроме того, исследования *in vitro* напрямую связаны с пополнением коллекций перспективными штаммами, изучением их физиологии и биохимии, а также механизмов действия в отношении целевого объекта.

Первичная оценка энтомопатогенной активности микроорганизмов *in vitro* лежит в основе расширения спектра действия грибных, бактериальных и вирусных штаммов, введения новых штаммов в коллекции, а также способствует пополнению знаний об уже известных свойствах различных видов микроорганизмов. Это связано с дальнейшим выбором их в качестве биологических агентов для разработки новых высокоэффективных биопрепаратов против вредителей. Таким образом, необходимы исследования с использованием актуальных методических подходов, где качественное проведение экспериментальных работ напрямую зависит от достоверности полученных данных. Следует указать, что исследование влияния энтомопатогенных микроорганизмов на популяции вредителей в зависимости от их таксономической принадлежности требует специального подхода к оценке их эффективности.

**Цель данного обзора** – поиск и систематизация методических подходов к определению энтомопатогенной активности микроорганизмов различных таксономических групп в лабораторных условиях.

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

Исследование построено на поиске и анализе литературных источников с преимущественной ретроспективой 10 лет. В результате отобраны научные работы, релевантные предмету и цели поиска. В работе применены методы сравнения и обобщения. В исследованиях использована материально-техническая база УНУ “Технологическая линия для получения микробиологических средств защиты растений нового поколения” (<http://ckp-rf.ru/> реестровый № 67136).

#### **Результаты и их обсуждение**

Энтомопатогенные грибы, бактерии и вирусы являются перспективными агентами биологического контроля и играют важную роль в регуляции численности вредителей сельскохозяйственных культур. Каждая из этих таксономических групп

патогенов имеет свои отличительные особенности механизмов действия, детерминированные прежде всего целевым насекомым.

**Грибные энтомопатогенные агенты**, используемые в защите сельскохозяйственных культур от насекомых-вредителей, представлены в большинстве случаев родами *Beauveria* и *Metarhizium* [3]. К примеру, на российском рынке средств защиты растений представлен и активно применяется препарат «Метаризин» на основе штамма *M. anisopliae* P-72 [4]. Выбор перспективного агента – основы биоинсектицида производят по критерию высокой вирулентности. Для отбора высокоэффективного изолята в отношении определенного вида или рода насекомых необходимы лабораторные исследования, которые осуществляют в несколько этапов.

Важным аспектом при планировании экспериментальной работы является выбор способа заражения насекомого: каким образом будет происходить контакт с культурой гриба. При инокуляции искусственной питательной среды (ИПС), конидиальную суспензию авторы наносили на поверхность агаризованной среды с помощью аэрографа SAGYMA®, из расчета 1 мл суспензии на 24-х луночную пластину. Затем личинки переносили индивидуально в лунки с помощью тонкой кончиковой щетки (No.2) [5]. Для изучения механизма действия грибного агента, в своих работах Ренвик Ю. и Дубовский И. М. с соавторами, вводили инъекции изолята *B. bassiana* Sar-31 в гусеницу большой восковой моли в гемоцель 3-20 мкл суспензии через последнюю про-ножку. В качестве шприца использовали газонепроницаемый шприц SGE 1 мл (ScientificPty. Ltd., Мельбурн, Австралия) диаметром 0,75 мм [6, 7].

Ученые из технологического университета Кейп-Пенинсула определяли заражаемость яиц яблонной плодовой гусеницы энтомопатогенными изолятами грибов *M. robertsii* MTL 151 и GW 461. Предварительно перед откладкой яиц обрабатывали вошеную бумагу 5 мл суспензии с 0,05 % Твина 80. Листам давали высохнуть при температуре 20 °С и 50–60 % относительной влажности в течение одного часа и переносили в места спаривания взрослых особей. Бумагу укладывали обработанной поверхностью вверх. После откладки листья извлекали и определяли количество яиц с помощью микроскопа. Наблюдали количество отродившихся особей [8]. Некоторые исследователи при обработке суспензиями на основе грибов плодов или растений, которыми питаются насекомые и/или на которые откладывают яйца, погружали их в ёмкость с суспензией на 2 ч, а затем переносили в ёмкость с прилипателем (Твин 80) [8–10]. В исследованиях Asomiba R. A. наносили суспензию сразу с добавлением 0,05 % Твина 80 на поверхность плода с помощью распылителя из расчета 4–10 мл/плод [8]. Обработанные такими способами плоды/растения использовали после полного высыхания. В ходе исследований оценивали количество проколов (при питании), количество посещений конкретных плодов (при оценке предпочтения), количество личинок внутри плода/растения (при оценке откладки яиц, активности личинок, процент повреждения) [8–10].

В исследованиях с инфицированием активно питающихся гусениц яблонной плодовой гусеницы почвенными грибами (*Beauveria spp.* и *M. anisopliae*) производили непосредственный контакт с почвой. Для этого заранее отобранные образцы грунта просеивали через металлическое сито с размером ячеек 4 мм [11, 12]. Затем их переносили в прозрачные пластиковые горшки с перфорированными крышками. Гусениц пятого возраста помещали на поверхность каждого контейнера с образцами почвы и инкубировали в темноте при температуре 25 °С. Контейнеры ежедневно переворачивали вверх дном в течение первой недели, чтобы увеличить контакт между насекомыми и частицами почвы. Образцы проверяли на наличие погибших

особей каждые три–четыре дня в течение трех недель. Мертвых гусениц подвергали поверхностной стерилизации 70 %-м этанолом с последующей инкубацией во влажной камере при температуре 25 °С [8]. Для инфицирования куколок или личинок последнего возраста *Spodoptera littoralis* использовали конические пластиковые стаканчики емкостью 200 см<sup>3</sup>, которые заполняли почвой. В почву добавляли по 2 мл суспензии штамма *Isaria fumosorosea* ССМ 8367 и изолированно помещали личинок на поверхность почвы, а куколок внедряли в почву на глубину 2–3 см. Учёты проводили каждые три дня для наблюдения за развитием грибной инфекции, регистрировали количество погибших насекомых и продолжительность их жизни. Влажность почвы поддерживали на уровне 70 % на протяжении всего эксперимента [13].

Однако в литературных источниках самым распространенным способом заражения насекомых остаётся контакт с грибным биоагентом. Так, авторы помещали гусениц яблонной плодовой гнили в ёмкость с раствором, содержащим грибную культуру, в опытном варианте и 0,01–0,02 % раствор Твина 80 в контрольном на 5–30 с. Индивидуально обработанных таким образом особей переносили в чашки Петри с влажными кусочками ваты для увеличения скорости роста и спорообразования грибов. При необходимости насекомых снабжали искусственными или естественными источниками питания [8, 13–15].

В работах по исследованию адгезии и прорастания энтомопатогенных грибов на поверхности кутикулы производили обработку только внешних покровов *Rhipicephalus sanguineus*. Для этого насекомых заражали путем погружения в суспензию на 5 мин. Через месяц штаммы грибов повторно выделили с поверхности насекомого и суспендировали в стерильной дистиллированной воде, содержащей 0,01 % Тритона X-100. Затем суспензию фильтровали и полученный осадок обрабатывали ультразвуком в течение 5 мин (Ультразвуковой очиститель D80H, ChemistCo., TaipeiHsien, Тайвань), чтобы разбить комки конидий. Концентрацию конидий определяли с помощью гемоцитометра. Для исследований на наличие спор, насекомое несколько раз промывали стерильной дистиллированной водой и выращивали на декстрозном агаре Сабуро [16, 17].

Для оценки влияния эпикутикулярных липидов на прорастание гриба, насекомых замораживали и липиды последовательно экстрагировали n-пентаном (99,9%, Uvasol®, Merck, Германия) и дихлорметаном (DCM, 99,9 % GC grade, Bio-LabLtd., Израиль). Насекомых погружали в пентан на 5 мин, экстракт пентана удаляли, а затем погружали в дихлорметан на 5 мин. Объем экстрагирующего растворителя вычисляли исходя из площади насекомого. Среднюю поверхность рассчитывали по формуле:  $2(lb + bh + hl)$ , где l-высота тела, а b и h-стороны. Экстракты концентрировали под струей азота и наносили на покровные листы. Далее использовали чашки Петри с агаризированной средой, на которую наносили суспензию с конидиями (0,1 мл) и сушили на воздухе в течение 1-2 ч в ламинарном боксе для удаления избытка жидкости. Сразу же после испарения растворителя на листах и после подсушивания агара в чашках Петри, листы помещали на агар. Чашки Петри запечатывали Парафильмом-М и инкубировали при температуре 25 °С. Затем покровные листы, к которым прилипли проросшие и непроросшие конидии, изымали, помещали на предметные стекла и окрашивали лактофеноловым синим (Fluka, Швейцария). Проросшие и непроросшие конидии, а также процент проросших конидий с аппрессориями подсчитывали под световым микроскопом в процентном соотношении. Прорастание конидий оценивали после 12 ч инкубации. Формирование аппрессорий оценивали после 42 ч культивирования. Подсчет и наблюдение производили при 100-кратном увеличении с использованием

иммерсионного масла. Контрольные чашки, содержащие среду и конидиальную суспензию, накрывали покровным стеклом, предварительно обработав соответствующим растворителем [17].

Таким образом, в отношении выбора методических подходов оценки энтомопатогенных микромицетов, авторы в первую очередь учитывали физиологические особенности насекомого, его стадию вредоносности. При изучении механизмов действия, исследователи вводили в тело насекомого инъекции с суспензией патогена. К дополнительным способам отбора можно отнести изучение прорастания и адгезии грибов на поверхности тела насекомого [16, 17].

**Бактерии.** На сегодняшний день наиболее изученными представителями энтомопатогенных бактерий являются рода *Bacillus*, *Serratia*, *Pseudomonas*, *Yersinia*, *Burkholderia*, *Chromobacterium*, *Streptomyces* и *Saccharopolyspora*. У человека и животных они способны вызывать различные заболевания, которые могут сопровождаться сепсисом.

В сельскохозяйственной практике наиболее распространен биологический контроль фитофагов с применением биоинсектицидов на основе штаммов *B. thuringiensis*. В России повсеместно применяются, демонстрируя широкую эффективность (до 90 %), препараты «Битоксибациллин» (на основе *B. thuringiensis* var. *thuringiensis* штамм 98) и «Лепидоцид» (на основе спорово-кристаллического комплекса *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* Z-52) [4, 18]. В результате деятельности энтомопатогенных бактерий выявлено не только уменьшение общего количества вредителей, но и снижение плодовитости взрослых особей, а также отрождение неполноценных и/или фертильных насекомых [19].

Инфицирование энтомопатогенными бактериями почти всех членистоногих происходит перорально, что связано с механизмом действия этих микроорганизмов. Например, жидкие культуры, растворы спорово-кристаллических комплексов или токсинов бактерий смешивают в необходимой концентрации со свежеприготовленной ИПС и разливают агаризованную среду в луночные планшеты или чашки Петри. После застывания ИПС нарезают на кусочки массой 2,5 г на одну гусеницу и используют в качестве питательного субстрата [20–25]. В контрольных вариантах используют дистиллированную воду. Насекомых содержат как изолированно, так и группами по 10–30 шт. в зависимости от их размера и биологических особенностей [21, 22, 26].

В некоторых экспериментах авторы кормили насекомых инфицированной пищей в течение 24 ч, а затем заменяли ИПС на свежую [27]. Контрольные и экспериментальные варианты содержали в комфортных для личинок условиях, в зависимости от видовой принадлежности. Смертность регистрировали каждые 24 ч, или через 14, 18, 24 и 32 ч после обработки, учитывая агрессивность штаммов [22, 24, 28].

Группа исследователей из Индии производила инъекции гусеницам непарного шелкопряда, при этом отбирали крупных особей четвертого-шестого возраста. Иногда личинки анестезировали перед процедурой путем охлаждения на льду в течение 15 мин, затем поверхность гусеницы стерилизовали 95 %-м этанолом [28]. Далее вводили 10 мкл на одну гусеницу в основание последнего пролега (ложноножки) или в брюшную полость между первой и второй парой проножек, вводя иглу параллельно стенке тела во избежание повреждения пищеварительного канала. Использовали микроинъектор Буркарда с подкожным шприцем объемом 1 мл и иглами 0,45 × 12,0 мм (Terumo) или пипетку объемом 20 мкл, с обрезанным наконечником объемом 200 мкл иглой 27-го калибра. Учёт смертности проводили ежедневно в течение недели. Выделение гемолимфы для

дальнейшего анализа у зараженных гусениц производили через 8–24 ч после введения инъекций [28–31].

Альтернативным способом инфицирования чешуекрылых является метод погружения листьев растений или листовых дисков в жидкую культуру бактерий. Методика заключается в использовании конкретной площади листа для заражения, а именно поверхности диаметром 5–10 см. При инокуляции листья/диски погружают в ёмкость с суспензией от 10 с до 10 мин с последующей сушкой до полного испарения воды [32–35]. В своих работах с капустной молью *Plutella xylostella* L. авторы использовали похожий метод поверхностного инокулирования питательного субстрата. Таким образом, на лист/диск наносили по 2 мл суспензии и полностью просушивали [24, 35]. Насекомых содержали как изолированно, так и группами по 10–20 шт. Учет смертности проводили каждые 24 ч в течение недели или до окукливания [24, 33–35].

В работах Magalhães G. O. с соавторами наблюдали динамику поглощения оболочек листа капусты капустной молью. Для этого листья обрабатывали погружным методом в бактериальную суспензию, а затем наносили на поверхность 1 %-й фуксин и выдерживали в течение 12 ч [36]. После листья промывали водой, а количество питательных оболочек подсчитывали с помощью стереомикроскопа (Leica M 80, Leica Microsystems, Wetzlar, Германия). Обработанные листья капусты заменяли каждые два дня [35]. В ряде идентичных опытов с яблонной плодовой гусеницей, гусениц ограничивали в пище в течение 2 ч до начала экспериментального кормления для более активного поглощения питательного субстрата в ходе эксперимента [33, 26].

В большинстве исследований авторы наблюдали патогенное действие *B. thuringiensis* в отношении чешуекрылых, которое проявлялось у насекомых только после попадания токсина перорально, а органом-мишенью был кишечник. Основным симптомом токсичности являлось снижение кормовой активности с последующим параличом кишечника. В некоторых работах отмечена гибель гусениц на вторые–четвертые сутки. Различия в восприимчивости к *B. thuringiensis* зависели не только от взаимодействия «токсин–рецептор», но и от защитных иммунных механизмов хозяина [33, 37]. Кристаллы проникали в кишечные стенки при высоком рН в средней кишке, высвобождая  $\delta$ -эндотоксины (прототоксины). Токсины активировались резидентной протеазой и связывались с рецепторными протеинами и образовывали поры на мембране, что приводило к гибели насекомых [33, 37]. В 2011 г. ученые установили, что бактериальные токсины взаимодействуют с кишечными белками чешуекрылых [23]. Они собирали кишечный сок после кормления, вызывая отрыжку у гусениц пятого возраста путем нанесения ударов электрическим током (20–30 В). Извергнутые кишечные соки собирали и готовили супернатант центрифугированием при 13000 об./мин в течение 10 мин при температуре 4 °С. Концентрацию экстракта кишечного сока определяли по методу Брэдфорда [38]. Очищенные прототоксины (20 мкг) смешивали с растворимыми белками в кишечном соке личинок (3 мкг) или с трипсином поджелудочной железы крупного рогатого скота (0,5 мкг) (Amersham Pharmacia Biotech, Франция) в конечном объеме 50 мкл с использованием натрий-фосфатного буфера. Смеси инкубировали при 37 °С и постоянном перемешивании в течение 2 ч. Затем протеолиз останавливали добавлением 0,1 ммоль фенилметилсульфонилфторида (PMSF) конечной концентрации. Образцы отделяли электрофорезом в 10 %-м полиакриламидном геле и окрашивали красителем Кумасси. Оценивали протеолитическую активацию токсина (качественный анализ) [23].

Abdelkefi-Mesrati L. с соавторами обнаружил, что прототоксины меняют клеточную структуру средней кишки [23]. Для этого кишечники (3–5 мг) отделяли от личинок последнего возраста, промывали в ледяном буфере, замораживали в жидком азоте и выдерживали при температуре  $-80^{\circ}\text{C}$  до востребованности. Мембранные везикулы с щеточным краем (МВЦК) получали методом дифференциального осаждения магния [39]. Очищенные прототоксины активировали протеолизом с использованием трипсина поджелудочной железы крупного рогатого скота (Amersham Pharmacia Biotech, Франция) в соотношении трипсин:прототоксин 1:40 и инкубировали при  $37^{\circ}\text{C}$  в течение 2 ч. Активированные чистые токсины разводили в бикарбонатном буфере (40 ммоль) до конечной концентрации 1 мг/мл. Затем добавляли 40 мкл субстрата для биотинилирования (ECL™ proteinbiotinylationmodule: Amersham Pharmacia Biotech, Франция) и инкубировали смесь при комнатной температуре и постоянном перемешивании в течение 1 ч. Очистку биотинилированного токсина проводили путем элюирования смеси с использованием натрий-фосфатного буфера для доведения pH до 7,5. Далее токсин инкубировали с МВЦК в буфере в течение 1 ч при  $28^{\circ}\text{C}$ . Затем несвязанный токсин удаляли центрифугированием (14000 об./10 мин) и промывали тем же буфером. После МВЦК суспендировали в 20 мкл натрий-фосфатного буфера и электротрансферировали на нитроцеллюлозную мембрану. Биотинилированные белки, которые были связаны с МВЦК, были визуализированы с помощью люминола в соответствии с протоколом производителя (ECL; Amersham Pharmacia Biotech, Франция) [23].

Ху Х. Х. с соавторами изучал количество антибактериального белка гловрина [40]. Для определения индуцированной экспрессии MsGlv (гловрин *Manduca sexta*) двухдневным личинкам пятого возраста вводили внутригемоциально водную суспензию убитых нагреванием бактерий *B. subtilis*. Через 24 ч после инъекции гемоциты, жировое тело и кишечник собирали отдельно и промывали три раза вантикоагулянтном буфере и получали из них белковые экстракты. Экспрессию белка MsGlv в этих тканях определяли методом Вестерн-блот-анализа с использованием поликлональной кроличьей антисыворотки против рекомбинантного pro-MsGlv [40].

Изучая энтомопатогенную активность бактериальных штаммов в отношении насекомых, большинство авторов преимущественно руководствуются подходами перорального заражения, при котором в ИПС или естественный источник питания вносят бактериальную суспензию. При этом насекомые питаются зараженным кормом до смерти или несколько часов, с последующей заменой рациона на незараженную [20–25, 32–35]. Из качественных методов оценки энтомопатогенного действия можно выделить исследование кишечника и кишечного эпителия на предмет патологий и деформаций, а также измерения уровня гловрина в организме инфицированных насекомых. В этих случаях авторы вводят в тело насекомого инъекции на основе штаммов [23, 33, 37, 40].

**Вирусы.** Энтомопатогенные вирусы, используемые в сельскохозяйственной практике в РФ, на данный момент представлены вирусом ядерного полиэдрома хлопковой совки («Хеликовекс», СК) и вирусом гранулёза яблонной плодовой гнили («Мадекс Твин», СК, «Карповирусин», СК) [4]. Из особенностей вирусных штаммов можно выделить узкоспецифичность, высокую вирулентность и патогенность в отношении насекомого-вредителя. Отбор и наработку биомассы штамма вируса можно осуществить только на живых насекомых или культуре клеток [41, 42].

Для оценки энтомопатогенной активности вирусных штаммов в отношении лабораторных популяций насекомых-вредителей, таких как малая совка и яблонная плодовая гниль, используют суспензию. Существует несколько способов получения

суспензии различной чистоты и концентрации. Одни исследователи в своих работах использовали способ, в котором зараженных гусениц (30 шт.) гомогенизировали в 10 мл стерильной воды и полученный гомогенат фильтровали через несколько слоёв марли, нейлона или через металлическую сетку с размером пор 80–500 мкм. Если суспензию получали слишком густой, её дополнительно разбавляли 15 мл воды [43–45]. Суспензию хранили в стеклянных банках объемом 600 мл при температуре 4 °С [43].

Другие авторы осуществляли измельчение гусениц в 0,01 % фосфатном буферном растворе (рН 7,0). Некоторые предварительно замораживали насекомых при –20 °С для более эффективного высвобождения вируса из клеток [46]. Полученную суспензию фильтровали четыре раза через четыре слоя марли. Фильтраты дважды центрифугировали при 900 об./15 мин, а затем дважды центрифугировали супернатант в течение 30 мин (10000 об./мин) для концентрации вирусных включений. Очищенные гранулы или полиэдры диспергировали в буфере и подвергали 50 %-му градиентному центрифугированию сахарозы. Полученный концентрат хранили при температуре 4 °С до использования [47].

В ряде работ вирусные тельца извлекали из мертвых гусениц путем гомогенизации трупов в 0,1–0,5 % растворе лаурилсульфата натрия и очищали фильтрацией через марлю или сетку и центрифугировали от 30 до 60 мин при 4000–40000 об. Процесс центрифугирования осуществляли на градиенте сахарозы или глицерина (30–60 %) при котором в центрифужную пробирку последовательно наливали сначала раствор с наибольшим процентом глицерина/сахарозы, затем раствор с меньшим процентом глицерина/сахарозы, а сверху – вирусный суспензионный образец [48]. После цикла центрифугирования видимую полосу в середине пробирки извлекали и при необходимости ресуспендировали в дистиллированной воде и/или повторяли цикл центрифугирования еще раз [42, 49–52]. Хранение осуществляли в холодильной камере при 4 °С или замораживали при –20 °С [42, 49, 51].

Большинство авторов в своих работах использовали способ заражения гусениц яблонной плодовой гусеницы, при котором насекомым скармливали инокулированную питательную среду. Исследователи, которые использовали для испытаний штаммов вирусов новорожденных особей или гусениц первого возраста инфицирование ИПС осуществляли путем вмешивания вирусной суспензии в среду на этапе приготовления. [46, 52–56]. ИПС помещали в 96-, 50-, 24-луночные лотки или индивидуально в чашки Петри, колбы или стаканы из расчета 1 г уже зараженной среды на одну гусеницу, либо ≈20 мкл среды и 0,06 мкл суспензии на одну гусеницу с использованием метода поверхностного заражения [45, 46, 52–55].

В своих исследованиях Yu H. с соавторами изучал энтомопатогенную активность штамма NPV *Helicoverpa armigera* на гусеницах второго–шестого возраста, заражение осуществляли в основном поверхностным методом, использовали насекомых, которые голодали перед началом экспериментальной работы в течение ночи [41]. Авторы в своих работах по оценке энтомопатогенной активности на одну гусеницу использовали 2–5 мм<sup>2</sup> или 1 мл среды, которую обрабатывали 3–50 мкл суспензии [44–46, 51, 55, 57]. Насекомых раскладывали индивидуально или по лункам, позволяли питаться зараженным кормом в течение 12–24 ч, а затем осуществляли замену рациона на безвирусный, либо оставляли на вирусосодержащей диете без замены вплоть до гибели [41, 43–46, 51, 55, 57–59]. Учет погибших особей проводили на 1, 7, 10, 14 и 21 сутки или ежедневно в течение одной–трех недель [44, 51, 54–57, 59].

В работах, где авторы использовали инъекции для инокуляции, отбирали гусениц третьего возраста и вводили им 0,06–2,00 мкл или 100–500 нг суспензии непосредственно в гемоцель путем прокола [41, 60]. Инъекцирование осуществляли с

помощью микроконтроллера Microsyringe Pump Controller (World Precision Instruments) под микроскопом (S730 Olympus, Токио, Япония). В качестве иглы был использован съемник микропипетки ПН-30 (Narishige, Япония, Токио), из которого сделали стеклянный капилляр необходимой длины и диаметра [60]. Зараженных гусениц яблонной плодовой гусеницы выращивали индивидуально в 24-луночных лотках для культивирования насекомых и ежедневно осматривали, пока все гусеницы не окукливались или не умирали [41].

Некоторые исследователи процесс инокуляции осуществляли с помощью метода капельного кормления. Для этого группе гусениц хлопковой совки четвертого-пятого возраста давали пить из капель вирусной суспензии, смешанной с раствором сахарозы, в течение 10-минутного периода. Капли создавали с помощью шприца, выдавливая небольшое количество смеси на стеклянную поверхность. После этого личинок немедленно перемещали к каплям. Особей, проглотивших суспензию, переносили в индивидуализированные пластиковые стаканы, содержащие блок полусинтетической диеты, и содержали до смерти или окукливания [57, 61, 62].

При заражении яиц томатной минирующей моли суспензию вирусных изолятов распыляли на вощеную бумагу, на которую предварительно производили откладку взрослые насекомые. После этого бумажные листы с яйцами помещали поверх чистых плодов или растений и инкубировали в пластиковых контейнерах при необходимой для того или иного вида температуре и влажности. Учет отродившихся личинок проводили через 25 дней [42].

В ряде работ по инокуляции гусениц малой совки особям 1-3 возраста скармливали обработанные разными способами листья растений. Заражение осуществляли как целого растения и затем срезали необходимое количество листьев, так и уже срезанных листьев по отдельности. Некоторые авторы использовали метод листового диска [32, 41]. При обработке использовали 1 мл/лист или 60 мл/растение вирусной суспензии с добавлением 0,2 % коммерческого влажного прилипателя на основе нонилфеноксиполиэтиленоксиэтанола (Agral®, Syngenta Agro, Мадрид, Испания) или без него [32, 57]. После обработки листа/растения вирусной суспензией с помощью небулайзера, пульверизатора или пипетки, их подсушивали на воздухе и распределяли по лоткам, пробиркам или контейнерам из расчета 1–4 гусеницы на лист. Насекомых распределяли группами или индивидуально в зависимости от физиологии вредителя и содержали в комфортных для них условиях. Ваугатоглу Z. с соавторами использовал в эксперименте гусениц американской белой бабочки, которые предварительно голодали в течение 5 ч [49]. После полного или частичного поглощения зараженной пищи насекомых снабжали свежими не инокулированными листьями или искусственным субстратом по необходимости. Учет погибших особей регистрировали каждый день, пока все гусеницы не умерли или не окуклились [32, 41, 49, 57].

В ряде исследований по изучению энтомопатогенной активности вирусных штаммов в качестве объекта инокуляции использовали клеточную культуру, которую получали из лабораторной популяции насекомых. Для этого культивирование осуществляли при оптимальной температуре и на специализированных средах. Например, культуру клеток хлопковой совки культивировали при 27 °С в среде TNM-FH Insect Medium (Sigma, StLouis, MO, USA) [41]. При этом в состав среды дополнительно добавляли 10 % фетальной бычьей сыворотки (FBS) от общего объема. Заражение культуры осуществляли добавлением 1–2 мкг очищенной бакмидной ДНК вируса и последующей культивацией от 120 ч до 20 дней. По истечении времени часть культуры изымалась



для наблюдения цитопатического эффекта – возникновение дегенеративных изменений в клеточных культурах, связанное с размножением вирусов [41, 51]. Если при культивировании вносили флуоресцентномеченные вирусные бакмиды, наблюдали усиленную клеточную флуоресценцию [51].

В ходе работ по оценке энтомопатогенной активности у инфицированных насекомых отмечали образование меланизированных узелков после введения 0,5 мкл вирусной суспензии в гемоцель личинок третьего возраста с помощью инъектора и инкубации в течение 8 ч при 25 °С. Затем личинок рассекали на дорсальной стороне и подсчитывали меланизированные узелки на кишечнике и жировом теле под микроскопом (SZX 9, Olympus) при 50-кратном увеличении. После иссечения желудочно-кишечного тракта узелки в ранее не подвергавшихся воздействию областях и оставшиеся внутренние ткани так же подсчитывали и добавляли к первоначальному подсчету [60].

Некоторые авторы в своей работе дополнительно производили учет концентрации 20-гидроксиэкдизона в гемолимфе насекомых, гормона, отвечающего за стадии линьки, а также вырабатываемого в ответ на инфицирование насекомого. Для этого из зараженных насекомых отбирали 0,5–2,0 мл гемолимфы. Сначала каждую личинку стерилизовали 75 % спиртом и очищали дистиллированной водой. Затем разрезали кожный покров между третьим и четвертым брюшными сегментами, отбирали гемолимфу с помощью капиллярной трубки в ледяной антикоагуляционный буфер (98 ммоль NaOH; 0,19 моль NaCl; 1,7 моль ЭДТА; 41 моль лимонной кислоты, pH = 4,5). Образец, содержащий 50 мл гемолимфы (объединенный из 25–100 личинок), использовали для определения концентрации 20-гидроксиэкдизона. Каждый образец центрифугировали при температуре 4 °С и 800 об./мин в течение 10 мин для удаления гемоцитов и других остатков тканей, затем супернатант собирали и хранили при температуре –20 °С [63]. Титры гормона 20-гидроксиэкдизона определяли количественно с помощью радиоиммунного анализа по методу Vorst и O'Connor [58, 64].

В отношении энтомопатогенных вирусов исследователи руководствуются высокой специфичностью штаммов в отношении конкретного вида вредителя и особенностями проникновения в тело насекомого. Стоит отметить, что наиболее распространенным методом оценки действия энтомопатогенных вирусов в лабораторных условиях является метод поверхностного заражения источника питания тестируемого насекомого [46, 52–56]. Отличительная особенность вирусных объектов – размножение исключительно на живых насекомых или на культуре клеток насекомых-продуцентов [41, 43–46, 51, 55, 57–59]. К дополнительным критериям оценки энтомопатогенного действия энтомопатогенных вирусов относят наличие и количество меланизированных узелков внутри зараженного насекомого, а также измерение уровня концентрации 20-гидроксиэкдизона [58, 60].

### **Выводы**

Поиск и систематизация актуальных методических подходов для оценки энтомопатогенных биологических агентов в зависимости от таксономической принадлежности является важной частью работы на этапе планирования эксперимента. В процессе исследований авторы модифицируют общепринятые методы и ведут поиск новых подходов.

Обобщение сведений из литературных источников показывает, что для оценки энтомопатогенной активности используют личинки/гусеницы лабораторных популяций целевых насекомых или типичных для отрядов тест-объектов.

При отборе наиболее активных штаммов энтомопатогенных грибов исследователи чаще всего использовали методы, которые предполагали непосредственный контакт лабораторных насекомых с суспензионной культурой путем погружения личинок в водный раствор на определенный промежуток времени с последующим их содержанием в условиях, приближенным к природным. При этом важным аспектом, необходимым для исследования энтомопатогенных свойств грибных изолятов, является его проникновение в полость тела через кутикулу.

При отборе перспективных бактериальных агентов в отношении личинок исследователи использовали метод перорального заражения с использованием ИПС. Особенностью энтомопатогенных бактерий является их способность образовывать токсины, которые при проглатывании насекомым с пищей вызывают резкую интоксикацию всего организма вплоть до гибели. Попадая внутрь с пищей, энтомопатогенные бактерии поражают в первую очередь кишечник, вызывая патологические изменения в клеточной структуре за счет действия прототоксинов.

Вирусы отличаются высокой избирательностью. Установлено, что инокуляция лабораторных популяций насекомых энтомопатогенными вирусами происходит чаще перорально, как в случае с использованием бактериальных штаммов, однако критерием отбора служит меланизация зараженных тканей и органов. Также из особенностей патологического процесса можно выделить разжижение трупa после гибели насекомого.

*Исследования выполнены согласно Государственному заданию № 075-00376-19-00 Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № 0686-2019-0013.*

### Литература / References

1. Avelino J., Allinne C., Cerda R., Willocquet L., Savary S. Multiple-disease system in coffee: from crop loss assessment to sustainable management // Annual Review of Phytopathology. 2018. No. 56(1). P. 611–635. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080417-050117.
2. Sharma S., Kooner R., Arora R. Insect pests and crop losses // In book: Breeding insect resistant crops for sustainable agriculture // Ed. by Arora R., Sandhu S. 2017. P. 45–66. DOI: 10.1007/978-981-10-6056-4\_2.
3. Бондарчук Е. Ю., Асатурова А. М., Томашевич Н. С., Цыгичко А. А., Гырнец Е. А. Биологический контроль численности яблонной плодовой моли на основе энтомопатогенных микроорганизмов (обзор) // Достижения науки и техники АПК. 2020. № 11. С. 53–66. (Bondarchuk E. Y., Asaturova A. M., Tomashevich N. S., Tsygichko A. A., Gyrnets E. A. Biological control of the codling moth abundance based on entomopathogenic microorganisms (review) // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2020. No. 11. P. 53–66. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11108).
4. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Часть I. М.: МСХ РФ, 2021. С. 9–160. (State catalog of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation. Part I. Moscow: Ministry of Agriculture of the Russian Federation, 2021. P. 9–160).
5. Amatuzzi R. F., Cardoso N., Poltronieri A. S., Poitevin C. G., Dalzoto P., Zawadeneak M. A., Pimentel I. C. Potential of endophytic fungi as biocontrol agents of *Duponchelia fovealis* (Zeller) (Lepidoptera: Crambidae) // Brazilian Journal of Biology. 2017. No. 78(3). P. 429–435. DOI: 10.1590/1519-6984.166681.
6. Renwick J., Daly P., Reeves E. P., Kavanagh K. Susceptibility of larvae of *Galleria mellonella* to infection by *Aspergillus fumigatus* is dependent upon stage of conidial germination // Mycopathologia. 2006. No. 161(6). P. 377–384. DOI: 10.1007/s11046-006-0021-1.
7. Dubovskiy I. M., Whitten M. M. A., Kryukov V. Y., Yaroslavtseva O. N., Grizanova E. V., Greig C., Mukherjee K., Vilcinskas A., Mitkovets P. V., Glupov V. V., Butt T. M. More than a colour change: insect melanism, disease resistance and fecundity // Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 2013. No. 280 (20130584). DOI: 10.1098/rspb.2013.0584.
8. Asomiba R. A. Evaluation of entomopathogenic fungi (Ascomycota) for the control of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). The Masters of Technology degree. South Africa: Cape Peninsula University of Technology, 2014. 83 p.
9. Falchi G., Marche M. G., Mura M. E., Ruiu L. Hydrophobins from aerial conidia of *Beauveria bassiana* interfere with *Ceratitis capitata* oviposition behavior // Biological Control. 2015. No. 81. P. 37–43. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2014.11.005.

10. Akello J., Dubois T., Coyne D., Kyamanywa S. Effect of endophytic *Beauveria bassiana* populations of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus*, and their damage in tissue-cultured banana plants // Entomologia Experimentalis et Applicata. 2008. No. 129(2). P. 157–165. DOI:10.1111/j.1570-7458.2008.00759.x.
11. Goettel M. S., Inglis G. D. Fungi: Hyphomycetes // In book: Manual of techniques in insect pathology // Ed. by Vega F. E., Kaya H. K. San Diego: Academic Press, 1997. P. 213–249.
12. Meyling N. Methods of isolation of entomopathogenic fungi from the soil environment. Denmark: Organic Eprints, 2007. P. 18.
13. Hussein H. M., Zemek R., Habuštová S. O., Prenerová E., Adel M. M. Laboratory evaluation of a new strain CCM 8367 of *Isaria fumosorosea* (syn. *Paecilomyces fumosoroseus*) on *Spodoptera littoralis* (Boisd.) // Archives of Phytopathology and Plant Protection. 2013. No. 46(11). P. 1307–1319. DOI:10.1080/03235408.2013.765677.
14. Gürlek S., Sevim A., Sezgin F. M., Sevim E. Isolation and characterization of *Beauveria* and *Metarhizium* spp. from walnut fields and their pathogenicity against the codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) // Egyptian Journal of Biological Pest Control. 2018. No. 28(1). DOI: 10.1186/s41938-018-0055-y.
15. Khosravi R., Sendi J. J., Zibae A., Shokrgozar M. A. Virulence of four *Beauveria bassiana* (Balsamo) (Asc., Hypocreales) isolates on rose sawfly, *Argerosae* under laboratory condition // Journal of King Saud University – Science. 2015. No. 27(1). P. 49–53. DOI: 10.1016/j.jksus.2014.04.003.
16. Jarrold S. L., Moore D., Potter U., Charnley A. K. The contribution of surface waxes to pre-penetration growth of an entomopathogenic fungus on host cuticle // Mycological Research. 2007. No. 111(2). P. 240–249. DOI: 10.1016/j.mycres.2006.10.007.
17. Ment D., Gindin G., Soroker V., Glazer I., Rot A., Samish M. *Metarhizium anisopliae* conidial responses to lipids from tick cuticle and tick mammalian host surface // Journal of Invertebrate Pathology. 2010. No. 103(2). P. 132–139. DOI: 10.1016/j.jip.2009.12.010.
18. Франк Р. И., Кищенко В. И. Биопрепараты в современной земледелии // Защита и карантин растений. 2008. No. 4. С. 30–32. (Frank R. I., Kishchenko V. I. Biological products in modern agriculture // Zashchita i karantin rasteniy. 2008. No. 4. P. 30–32.)
19. Морозов Д. О., Коршунов С. А., Любобедская А. А., Мишуrow Н. П., Коноваленко Л. Ю. Современные системы интегрированной защиты сельскохозяйственных растений: научный аналитический обзор // Под ред.: Мехрадзе Л. Т., Сидорова В. И. М.: Росинформагротех, 2019. 92 с. (Morozov D. O., Korshunov S. A., Lyubovedskaya A. A., Mishurov N. P., Konovalenko L. Yu. Modern systems of integrated protection of agricultural plants: a scientific analytical review // Ed. by Mekhradze L. T., Sidorova V. I. Moscow: Rosinformagrotekh, 2019. 92 p.)
20. Boncheva R., Dukijandjiev S., Minkov I., de Maagd R. A., Naimov S. Activity of *Bacillus thuringiensis*  $\delta$ -endotoxins against codling moth (*Cydia pomonella* L.) larvae // Journal of Invertebrate Pathology. 2006. No. 92(2). P. 96–99. DOI: 10.1016/j.jip.2006.01.004.
21. Ruiu L., Falchi G., Floris I., Marche M. G., Mura M. E., Satta A. Pathogenicity and characterization of a novel *Bacillus cereus sensu lato* isolate toxic to the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* Wied // Journal of Invertebrate Pathology. 2015. No. 126. P. 71–77. DOI: 10.1016/j.jip.2015.01.010.
22. Boukedi H., Sellami S., Ktari S., Belguith-Ben Hassan N., Sellami-Boudawara T., Tounsi S., Abdelkefi-Mesrati L. Isolation and characterization of a new *Bacillus thuringiensis* strain with a promising toxicity against Lepidopteran pests // European Journal of Soil Biology. 2013. No. 56. P. 56–64. DOI: 10.1016/j.mires.2016.02.004.
23. Abdelkefi-Mesrati L., Boukedi H., Dammak-Karray M., Sellami-Boudawara T., Jaoua S., Tounsi S. Study of the *Bacillus thuringiensis* Vip3Aa16 histopathological effects and determination of its putative binding proteins in the midgut of *Spodoptera littoralis* // Journal of Invertebrate Pathology. 2011. No. 106(2). P. 250–254. DOI: 10.1016/j.jip.2010.10.002.
24. Kemp K., Griffiths J., Campbell S., Lovell K. An exploration of the follow-up needs of patients with inflammatory bowel disease // Journal of Crohn's and Colitis. 2013. No. 7(9). Art. No. e386–e395. DOI: 10.1016/j.crohns.2013.03.001.
25. Dubovskiy I. M., Krukova N. A., Glupov V. V. Phagocytic activity and encapsulation rate of *Galleria mellonella* larval haemocytes during bacterial infection by *Bacillus thuringiensis* // Journal of Invertebrate Pathology 2008. No. 98(3). P. 360–362. DOI: 10.1016/j.jip.2008.03.011.
26. Grizanova E. V., Dubovskiy I. M., Whitten M. M. A., Glupov V. V. Contributions of cellular and humoral immunity of *Galleria mellonella* larvae in defence against oral infection by *Bacillus thuringiensis* // Journal of Invertebrate Pathology. 2014. No. 119. P. 40–46. DOI: 10.1016/j.jip.2014.04.003.
27. Ertürk Ö., Demirba Z. Studies on bacterial flora and biological control agent of *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) // African Journal of Biotechnology. 2006. Vol. 5 (22). P. 2081–2085.
28. Broderick N. A., Raffa K. F., Handelsman J. Chemical modulators of the innate immune response alter gypsy moth larval susceptibility to *Bacillus thuringiensis* // BMC Microbiology. 2010. No. 10(1). P. 129. DOI: 10.1186/1471-2180-10-129.

29. Agaisse H., Gominet M., Okstad O. A., Kolsto A.-B., Lereclus D. PlcR is a pleiotropic regulator of extracellular virulence factor gene expression in *Bacillus thuringiensis* // Molecular Microbiology. 1999. No. 32(5). P. 1043–1053. DOI: 10.1046/j.1365-2958.1999.01419.x.
30. Salamitou S., Ramisse F., Brehélin M., Bourguet D., Gilois N., Gominet M., Hernandez E., Lereclus D. The *plcR* regulon is involved in the opportunistic properties of *Bacillus thuringiensis* and *Bacillus cereus* in mice and insects // Microbiology. 2000. No. 146. P. 2825–2832. DOI: 10.1099/00221287-146-11-2825.
31. Vogel H., Altincicek B., Glöckner G., Vilcinskis A. A comprehensive transcriptome and immune-gene repertoire of the lepidopteran model host *Galleria mellonella* // BMC Genomics. 2011. No. 12(1). DOI: 10.1186/1471-2164-12-308.
32. Wan N.-F., Jiang J.-X., Li B. Effect of host plants on the infectivity of nucleopolyhedrovirus to *Spodoptera exigua* larvae // Journal of Applied Entomology. 2016. No. 140(8). P. 636–644. DOI:10.1111/jen.12298.
33. Mohammad A. K. Efficacy of *Bacillus thuringiensis* berliner against bihar hairy caterpillar, *Spilarctia obliqua* (Walker) (Lepidoptera: Arctiidae). Diss. ... Dr. Sc. (Zool.) India: Aligarh Muslim University. 2006. 197 p.
34. Bandyopadhyay S., Gotyal B. S., Satpathy S., Selvaraj K., Tripathi A. N., Ali N. Synergistic effect of *Azadirachtin* and *Bacillus thuringiensis* against bihar hairy caterpillar, *Spilarctia obliqua* walker // Biopesticides International. 2014. Vol. 10. No. 1. P. 71–76.
35. Magalhães G. O., Vacari A. M., Laurentis V. L., De Bortoli S. A., Polanczyk R. A. Interactions of *Bacillus thuringiensis* bioinsecticides and the predatory stink bug *Podisus nigrispinus* to control *Plutella xylostella* // Journal of Applied Entomology. 2014. No. 139(1-2). P. 123–133. DOI: 10.1111/jen.12180.
36. Dibelli W., De Bortoli S. A., Volpe H. X. L., Vacari A. M., Magalhaes G. O. Duarte R. T., Polanczyk R. A. Effect of *Bacillus thuringiensis* on the biological parameters and phytophagy of *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) // Entomol. Gener. 2013. No. 34. P. 313–321. DOI: 10.1127/entom.gen/34/2013/313.
37. Khan M. A., Paul B., Ahmad W., Paul S., Aggarwal C., Khan Z., Akhtar M. S. Potential of *Bacillus thuringiensis* in the management of pernicious lepidopteran pests // In book: Plant, Soil and Microbes. 2016. P. 277-303. DOI: 10.1007/978-3-319-29573-2\_13.
38. Bradford M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // Anal. Biochem. 1976. No. 72. P. 248–254. DOI: 10.1016/0003-2697(76)90527-3.
39. Wolfersberger M., Luthy P., Maurer A., Parenti P., Sacchi P. V., Giordana B. Preparation of brush border membrane vesicles (BBMV) from larval lepidopteran midgut // Comp. Biochem. Physiol. 1987. No. 86. P. 301–308.
40. Xu X.-X., Zhong X., Yi H.-Y., Yu X.-Q. *Manduca sexta* gloverin binds microbial components and is active against bacteria and fungi // Developmental & Comparative Immunology. 2012. No. 38(2). P. 275–284. DOI: 10.1016/j.dci.2012.06.012.
41. Yu H., Zhou B., Meng J., Xu J., Liu T.-X., Wang D. Recombinant *Helicoverpa armigera* nucleopolyhedrovirus with arthropod-specific neurotoxin gene RjAa17f from *Rhopalurus junceus* enhances the virulence against the host larvae // Insect Science. 2016. No. 24(3). P. 397–408. DOI: 10.1111/1744-7917.12289.
42. Gómez Valderrama J. A., Barrera G., López-Ferber M., Belaich M., Ghiringhelli P. D., Villamizar L. Potential of betabaculoviruses to control the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) // Journal of Applied Entomology. 2017. No. 142(1-2). P. 67–77. DOI:10.1111/jen.12406.
43. Zamora-Avilés N., Martínez A. M., Pineda S., Bravo-Patiño A., Figueroa I., Lasa R. Cool-textured diets for use in baculovirus production // Biocontrol Science and Technology. 2017. No. 27(11). P. 1327–1338. DOI: 10.1080/09583157.2017.1397598.
44. Liao Z. H., Kuo T. C., Shih C. W., Tuan S. J., Kao Y. H., Huang R. N. Effect of juvenile hormone and pyriproxyfen treatments on the production of *Spodoptera litura* nuclear polyhedrosis virus // Entomologia Experimentalis et Applicata. 2016. No. 161(2). P. 112–120. DOI:10.1111/eea.12499.
45. Berling M., Blachere-Lopez C., Soubabere O., Lery X., Bonhomme A., Sauphanor B., Lopez-Ferber M. *Cydia pomonella* granulovirus genotypes overcome virus resistance in the codling moth and improve virus efficiency by selection against resistant hosts // Applied and Environmental Microbiology. 2008. No. 75(4). P. 925–930. DOI:10.1128/aem.01998-08.
46. Graillot B., Berling M., Blachere-López C., Siegwart M., Besse S., López-Ferber M. Progressive adaptation of a CpGV isolate to codling moth populations resistant to CpGV-M // Viruses. 2014. No. 6(12). P. 5135–5144. DOI: 10.3390/v6125135.
47. Jiang J. X., Zeng A. P., Ji X. Y., Wan N. F., Chen X. Q. Combined effect of nucleopolyhedrovirus and *Microplitis pallidipes* for the control of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* // Pest Manag. Sci. 2011. No. 67. P. 705–713. DOI: 10.1002/ps.2111.
48. Opoku-Debrah J. K., Hill M. P., Knox C., Moore S. D. Overcrowding of false codling moth, *Thaumotobia leucotreta* (Meyrick) leads to the isolation of five new *Cryptophlebia leucotreta* granulovirus

- (CrleGV-SA) isolates // Journal of Invertebrate Pathology. 2013. No. 112(3). P. 219–228. DOI: 10.1016/j.jip.2012.12.008.
49. Bayramoglu Z., Nalcacioglu R., Demirbag Z., Demir I. Characterization of a Betabaculovirus from the fall webworm, *Hyphantria cunea* Drury. (Lepidoptera: Erebidæ), in Turkey // Biocontrol Science and Technology. 2018. Vol. 28. No. 12. P. 1–13. DOI:10.1080/09583157.2018.1520197.
50. Strand M. R. *Microplitis demolitor* Polydnavirus Infects and expresses in specific morphotypes of *Pseudoplusia includens* haemocytes // Journal of General Virology. 1994. No. 75(11). P. 3007–3020. DOI: 10.1099/0022-1317-75-11-3007.
51. Gebhardt M. M., Eberle K. E., Radtke P., Jehle J. A. Baculovirus resistance in codling moth is virus isolate-dependent and the consequence of a mutation in viral gene pe38 // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2014. No. 111(44). P. 15711–15716. DOI:10.1073/pnas.1411089111.
52. Rezapannah M. Screening *Cydia pomonella* granulovirus (CpGV) isolates via comparative bioassays // Iranian Journal of Virology. 2015. No. 9(3). P. 1–5. DOI:10.21859/isv.9.3.1.
53. Undorf-Spahn K., Fritsch E., Huber J., Kienzle J., Zebitz C. P. W., Jehle J. A. High stability and no fitness costs of the resistance of codling moth to *Cydia pomonella* granulovirus (CpGV-M) // Journal of Invertebrate Pathology. 2012. No. 111(2). P. 136–142. DOI: 10.1016/j.jip.2012.07.005.
54. Fan J., Wennmann J., Jehle J. Partial loss of inheritable Type I resistance of codling moth to *Cydia pomonella* granulovirus // Viruses. 2019. No. 11(6). P. 570. DOI: 10.3390/v11060570.
55. Graillot B., Blachère-Lopez C., Besse S., Siegwart M., Lopez-Ferber M. Importance of the host phenotype on the preservation of the genetic diversity in codling moth granulovirus // Viruses. Special Issue “Insect Viruses and Pest Management”. 2019. No. 11 (7). P. 621. DOI: 10.3390/v11070621.
56. Sauer A. J., Schulze-Bopp S., Fritsch E., Undorf-Spahn K., Jehle J. A. A third type of resistance to *Cydia pomonella* granulovirus in codling moths shows a mixed Z-linked and autosomal inheritance pattern // Applied and Environmental Microbiology. 2017. No. 83(17). DOI: 10.1128/aem.01036-17.
57. Arrizubieta M., Simón O., Torres-Vila L. M., Figueiredo E., Mendiola J., Mexia A., Caballero P., Williams T. Insecticidal efficacy and persistence of a co-occluded binary mixture of *Helicoverpa armigera* nucleopolyhedrovirus (HearNPV) variants in protected and field-grown tomato crops on the Iberian Peninsula // Pest Management Science. 2015. No. 72(4). P. 660–670. DOI:10.1002/ps.4035.
58. Ji X.-Y., Wan N.-F., Liu J., Jiang J.-X. Nucleopolyhedrovirus infection and/or parasitism by *Microplitis pallidipes* affected haemolymph titre of 20-hydroxyecdysone in *Spodoptera exigua* larvae // Journal of Applied Entomology. 2015. No. 140(1-2). P. 142–149. DOI:10.1111/jen.12230.
59. Sauer A. J., Fritsch E., Undorf-Spahn K., Nguyen P., Marec F., Heckel D. G., Jehle J. A. Novel resistance to *Cydia pomonella* granulovirus (CpGV) in codling moth shows autosomal and dominant inheritance and confers cross-resistance to different CpGV genome groups // PLOS ONE. 2017. No. 12(6). Art. No. e0179157. DOI: 10.1371/journal.pone.0179157.
60. Kim Y., Hapat R. Baculoviral p94 homologs encoded in *Cotesia plutellae* bracovirus suppress both immunity and development of the diamondback moth, *Plutellae xylostella* // Insect Science. 2015. No. 23(2). P. 235–244. DOI:10.1111/1744-7917.12237.
61. Hughes P. R., Wood H. A. A synchronous peroral technique for the bioassay of insect viruses // J Invertebr Pathol. 1981. No. 37. P. 154–159. DOI: 10.1016/0022-2011(81)90069-0.
62. Virto C., Navarro D., Tellez M. M., Murillo R., Williams T., Caballero P. Chemical and biological stress factors on the activation of nucleopolyhedrovirus infections in covertly infected *Spodoptera exigua* // Journal of Applied Entomology. 2016. No. 141(5). P. 384–392. DOI: 10.1111/jen.12349.
63. Cônsoli F. L., Brandt S. L., Coudron T. A., Vinson S. B. Host regulation and release of parasitism-specific proteins in the system *Toxoneuron nigriceps*–*Heliothis virescens* // Comparative Biochemistry and Physiology. Part B: Biochemistry and Molecular Biology. 2005. No. 142(2). P. 181–191. DOI: 10.1016/j.cbpc.2005.07.002.
64. Borst D. W., O'Connor J. D. Trace analysis of ecdysones by gas-liquid chromatography, radioimmunoassay and bioassay // Steroids. 1974. No. 24(5). P. 637–656. DOI: 10.1016/0039-128x(74)90017-8.

UDC 632.937

Bondarchuk E. Yu., Tsygichko A. A., Asaturova A. M.

**METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE ASSESSMENT OF THE ENTOMOPATHOGENIC ACTIVITY OF MICROORGANISMS AGAINST INSECT PESTS *IN VITRO* (REVIEW)**

*Summary.* Excessive application of chemical insecticides in agriculture has led to some serious problems that threaten the environment and human health. One of the possible ways to overcome the situation is to shift to environmentally-friendly

*preparations based on entomopathogenic bioagents. The purpose of this review was to search for and systematize methodological approaches to determine the entomopathogenic activity of microorganisms of various taxonomic groups in laboratory conditions. The expediency of choosing the necessary method when studying a particular phenomenon or process is an important point both in the fundamental and applied field of research. The primary assessment of the entomopathogenic activity of microorganisms in vitro is the basis for expanding the spectrum of their action, introducing new strains into collections. It also contributes to the replenishment of knowledge about the already known properties of various types of microorganisms. All this, certainly, is connected with the further choice of them as biological agents. Each of the presented groups of entomopathogens has its distinctive features of the mechanisms of action determined by the target insect. Concerning the choice of methodological approaches for assessing the entomopathogenic effect of fungi, the authors relied on the physiological characteristics of the insect and its stage of harmfulness. The researchers were guided by methodological approaches of oral infection of insects using an infected food source to study the activity of bacterial strains. Pathological changes in the cellular structure, as well as deformations of intestinal elements, were noted. The most common way to assess the effect of entomopathogenic viruses in the laboratory is the method of surface infection of the food source of the tested insect, taking into account the high specialization of the agent. When studying the mechanisms of action of fungal, bacterial and viral agents, researchers injected a suspension of the pathogen into the insect's body. The search and systematization of relevant methodological approaches to assess entomopathogenic microorganisms depending on the taxonomic affiliation is an important part of the work directly related to the development of a high-quality and effective bioinsecticide.*

**Keywords:** *methodological approaches, entomopathogenic microorganisms, entomopathogenic effects, bacteria, fungi, viruses.*

Бондарчук Елена Юрьевна, младший научных сотрудник лаборатории создания микробиологических средств защиты растений и коллекции микроорганизмов, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Россия, г. Краснодар, ФНЦБЗР, п/о 39; e-mail: alena\_fox95@mail.ru.

Цыгичко Александра Александровна, младший научных сотрудник лаборатории создания микробиологических средств защиты растений и коллекции микроорганизмов, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Россия, г. Краснодар, ФНЦБЗР, п/о 39; e-mail: 23612361@inbox.ru.

Асатурова Анжела Михайловна, кандидат биологических наук, директор ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Россия, г. Краснодар, ФНЦБЗР, п/о 39; e-mail: biocontrol-vniibzr@yandex.ru.

Bondarchuk Elena Yurievna, junior researcher of the Laboratory for the development of microbiological plant protection agents and formation of microorganisms, FSBSI "Federal Research Center of Biological Plant Protection"; Federal Research Center of Biological Plant Protection (FNCBZR) (post office No. 39), Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: alena\_fox95@mail.ru.

Tsygichko Aleksandra Aleksandrovna, junior researcher of the Laboratory for the development of microbiological plant protection agents and formation of microorganisms, FSBSI "Federal Research Center of Biological Plant Protection"; Federal Research Center of Biological Plant Protection (FNCBZR) (post office No. 39), Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: 23612361@inbox.ru.

Asaturova Anzhela Mikhailovna, Cand. Sc. (Biol.), Director of FSBSI "Federal Research Center of Biological Plant Protection"; Federal Research Center of Biological Plant Protection (FNCBZR) (post office No. 39), Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: biocontrol-vniibzr@yandex.ru.

*Дата поступления в редакцию – 31.05.2021.*

*Дата принятия к печати – 05.07.2021.*

DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-35-46

УДК 633.63:631.559:631.8

Гаврин Д. С., Бартенев И. И., Нечаева О. М.

**ВЛИЯНИЕ ОСНОВНОГО МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ И  
ВНЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ НА УРОЖАЙ  
СЕМЯН САХАРНОЙ СВЕКЛЫ, ЕГО СТРУКТУРУ И КАЧЕСТВО**

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара  
имени А. Л. Мазлумова»

**Реферат.** Сахарная свекла (*Beta vulgaris* L.) является одной из важнейших технических культур, основным сырьем для получения сахара – продукта стратегического значения, широко используемого в пищевой и фармацевтической промышленности. Поэтому особую важность имеет обеспечение отечественного свекловодства семенами отечественных гибридов, конкурентоспособных с лучшими зарубежными. Цель исследований – изучение влияния основного минерального удобрения и микроэлементов бора и цинка на величину урожая семян сахарной свеклы, его структуру и показатели качества. Место проведения исследований – опытные поля ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А. Л. Мазлумова», расположенные в зоне неустойчивого увлажнения Центрально-Черноземного региона в северо-западной части Воронежской области (п. Рамонь). Почва опытных участков представлена черноземом выщелоченным тяжелосуглинистым со средним содержанием гумуса 4,5%. Полевые опыты закладывали в 2018–2020 гг. в соответствии с методикой Б. А. Доспехова. Схема опыта включала следующие варианты: 1) контроль (без удобрений), 2) фон основного удобрения  $N_{160}P_{160}K_{160}$ , 3) двукратная внекорневая подкормка семенных растений 0,1% раствором смеси борной кислоты и сульфата цинка до фазы цветения, 4) фон + внекорневая подкормка. Лабораторные анализы качества семян проводили в соответствии с ГОСТ 22617.2-94. Полученные данные свидетельствуют о значительном влиянии фона основного удобрения  $N_{160}P_{160}K_{160}$ , который обеспечил прибавку урожайности к контролю 0,53 т/га (45,3%). Значительно повысились и посевные качества семян: энергия прорастания в среднем на 10,3% абс., всхожесть – на 9,8% абс., доброкачественность – на 5,4% абс. Внекорневая подкормка микроэлементами влияния на урожайность практически не оказала, однако обеспечила увеличение показателей посевных качеств семян: энергии прорастания в среднем на 3,3% абс., всхожести – на 4,7% абс., доброкачественности – на 4,6% абс. Выявлена также прямая зависимость величины урожая семян от слагающих его элементов структуры: количества продуктивных побегов, их высоты и обсемененности на единице длины – коэффициент корреляции ( $r$ ) для всех трех парных зависимостей величин составил 0,99.

**Ключевые слова:** сахарная свекла (*Beta vulgaris* L.), семенные растения, семена, структура урожая, посевные качества, основное удобрение, микроэлементы, внекорневая подкормка.

**Для цитирования:** Гаврин Д. С., Бартенев И. И., Нечаева О. М. Влияние основного минерального удобрения и внекорневых подкормок микроэлементами на урожай семян сахарной свеклы, его структура и качество // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 35–46. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-35-46.

**For citation:** Gavrin D. S., Bartenev I. I., Nechaeva O. M. Influence of basic mineral fertilizer and foliar feeding with microelements on sugar beet seed yield, structure and quality // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 35–46. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-35-46.

### Введение

Семеноводство сахарной свеклы – энергоемкая и затратная отрасль, что связано в большой мере с устранением негативного влияния факторов окружающей среды на рост и развитие растений первого и второго года жизни. Вместе с тем, рентабельность и конкурентоспособность семеноводства в плане получения высококачественного посевного материала можно повысить за счет максимальной реализации биологического потенциала культуры. Одним из направлений решения этого вопроса является применение научно обоснованной сбалансированной системы питания растений, включающей внесение минеральных, органических удобрений и комплекса корневых и внекорневых подкормок, в том числе микроэлементами.

Урожайность семян сахарной свеклы зависит от типа куста семенных растений, определяющего количество продуктивных стеблей, а также их высоты и обсемененности (количества завязавшихся семян на единице длины цветоносного побега), массы семян. Важнейшими показателями качества семян являются: доля посевных фракций в заготавливаемом ворохе (4,5–5,5 и 3,5–4,5 мм), энергия прорастания, лабораторная всхожесть и доброкачественность, которые нормируются действующим в РФ ГОСТ 32066-2013. Энергия прорастания характеризует начальную ростовую активность семян и предопределяет формирование дружных и выровненных всходов в полевых условиях. Доброкачественность семян – интегральный показатель, определяющий максимально возможный процент всхожести сортообразца, и рассчитывается как отношение числа всхожих семян к числу выполненных. Выполненными, согласно ГОСТ 22617.2-94, считают семена (плоды) с наличием нормально развитого зародыша и перисперма с достаточным количеством запасных веществ.

Оптимальные дозы макроэлементов (NPK), внесенные в почву осенью под вспашку в качестве основного минерального удобрения, позволяют увеличить сбор семян сахарной свеклы до 62 %, энергию прорастания и всхожесть семян – на 3,5–6,0 % абс., выполненность и доброкачественность – на 3,3–4,5 % абс., а также повысить массу 1000 плодов до 10 % [1].

Значительную роль в повышении урожайности и качества семян различных культур, в том числе и сахарной свеклы, играют микроэлементы, являясь, наряду с макроэлементами, незаменимыми элементами питания растений. Как правило, микроэлементы вносят внекорневым способом, при котором, проникая в растения через листовую поверхность, они оперативно включаются в процессы метаболизма. Ранее проведенными исследованиями установлено, что внекорневые подкормки специализированными препаратами, содержащими микроэлементы, повышают урожайность зерновых и зернобобовых культур на 6,4–14,5 % [2–5]. В опытах на семеноводческих посевах люцерны установлена особая важность отдельных микроэлементов, таких как бор и цинк – их внесение в подкормку увеличило урожайность семян на 75,0 и 28,1 % соответственно, среднюю массу семян – на 63,4 и 23,6 % [6].

Внекорневые подкормки фабричных посевов сахарной свеклы изучены в достаточной степени: отмечено повышение урожайности корнеплодов до 20,0–26,0 %, сахаристости – на 0,7–1,0 % по сравнению с вариантами без подкормок [7–10]. Вопрос применения микроэлементов в семеноводстве сахарной свеклы освещен в литературе в меньшей степени. Однако имеющиеся данные позволяют судить о том, что комплексные микроудобрения, будучи внесенными способом внекорневой подкормки перед фазой цветения семенных растений, позволяют увеличить



урожайность семян до 30 %, всхожесть – на 4,0–8,0 % абс., массу 1000 плодов – на 0,6–1,0 г [11–13].

Таким образом, имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о высокой важности для успешного формирования семян сельскохозяйственных культур, в том числе и сахарной свеклы, дополнительных подкормок микроэлементами, прежде всего бором и цинком. Так, бор является незаменимым элементом, участвующим в процессах развития генеративных органов. Цинк участвует в регуляции ростовых процессов (синтез ростовых гормонов), усиливает засухоустойчивость растений. В почвах ЦЧР отмечают достаточное содержание подвижного бора, но его доступность могут сильно снижать факторы засухи, известкования почв, внесения повышенных доз азотных и калийных удобрений. В последние годы часто фиксируют недостаток цинка в почвах стран СНГ, в том числе и зоны ЦЧР РФ, доступность которого также снижается из-за известкования почв, высокого содержания карбонатов, высоких доз азотных и фосфорных удобрений [14–16]. Поэтому изучение влияния внекорневых подкормок семенных растений сахарной свеклы микроэлементами бором и цинком, наряду с основным минеральным удобрением, на урожайность и посевные качества семян представляется актуальным и целесообразным.

**Цель исследований** – изучение влияния основного минерального удобрения и микроэлементов бора и цинка на величину урожая семян сахарной свеклы, его структуру и показатели качества.

#### Материалы и методы исследований

Полевые исследования проводили на опытных полях ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А. Л. Мазлумова», расположенных в зоне неустойчивого увлажнения Центрально-Черноземного региона в северо-западной части Воронежской области (п. Рамонь) в 2018–2020 гг. Опыты закладывали по следующей схеме:

1. Контроль (без удобрений);
2. Фон основного минерального удобрения  $N_{160}P_{160}K_{160}$ ;
3. Внекорневая подкормка  $H_3BO_3$  (0,15 кг/га) +  $ZnSO_4$  (0,15 кг/га) двукратно – в фазы стеблевания и бутонизации семенных растений;
4. Фон основного минерального удобрения  $N_{160}P_{160}K_{160}$  + внекорневая подкормка  $H_3BO_3$  (0,15 кг/га) +  $ZnSO_4$  (0,15 кг/га) двукратно – в фазы стеблевания и бутонизации семенных растений.

Объект исследований – формирование урожая семян сахарной свеклы и их посевных качеств. Предмет исследований – семенные растения МС-компонента отечественного гибрида сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.) РМС-127, посаженные по схеме 70 × 70 см маточными корнеплодами массой 150–300 г с соотношением количества растений МС-компонента и опылителя – 4:1. Таким образом, количество высаженных растений МС-компонента без учета опылителя и технологических пропусков составляло, в пересчете на 1 га по приведенной ниже формуле, 16336 корнеплодов.

$$N = (S_{га} \times n \times k) / 0,7$$

Где N – количество растений на 1 га;

$S_{га}$  – площадь 1 га, м<sup>2</sup> (10000);

0,7 – ширина междурядий, м;

n – количество высаженных корнеплодов на 1 м ряда, шт. (1,43);

k – площадь, занятая растениями МС-формы, в долях единицы (0,75).

Почва участков опыта представлена черноземом выщелоченным тяжелосуглинистым со следующими агрохимическими показателями: содержание

гумуса – 4,2–4,7 %, рН водной вытяжки – 6,1–6,3, обеспеченность подвижными формами  $P_2O_5$  и  $K_2O$  – 95,6–112,4 и 143,5–155,8 мг/кг почвы соответственно. Содержание гумуса в почве определялось по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); рН водной вытяжки – потенциометрическим методом (ГОСТ 26423-85); подвижные формы фосфора и калия – по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91).

Предшественником семенных растений сахарной свеклы служил черный пар. В качестве основного минерального удобрения осенью под вспашку вносили нитроаммофоску марки 16:16:16 из расчета 1 т/га. Площадь учетной делянки составляла 25 м<sup>2</sup>, повторность опыта четырехкратная. Ручную посадку осуществляли в 2018 г. во второй декаде, а в 2019 и 2020 гг. – в третьей декаде апреля. Внекорневые подкормки проводили 0,1 % раствором смеси борной кислоты ( $H_3BO_3$ ) и сульфата цинка ( $ZnSO_4$ ) ранцевым опрыскивателем с расходом рабочего раствора 300 л/га двукратно – в фазы развитого стеблевания и начала бутонизации растений. Перед срезкой семенных растений учитывали показатели структуры урожая: тип куста, количество продуктивных стеблей на растении, высота стеблей, обсемененность на 10-ти сантиметровой отрезке стебля. Срезали семенные растения серпами, сушили в валках в течение нескольких дней и затем обмолачивали комбайном «Сампо-500» в первой–второй декадах августа. После обмола полученный ворох семян проходил первичную очистку на семяочистительной машине – «горке», представляющей собой наклонное движущееся полотно, которое за счет силы трения разделяет легковесные растительные остатки и более тяжелые семена. Продолжительность вегетационного периода семенных растений, таким образом, составляла 100–110 дней. Определение посевных характеристик семян в лабораторных условиях проводили с использованием следующего оборудования: набор лабораторных сит с соответствующими диаметрами отверстий для фракционирования семян сахарной свеклы, весы ВЛ-500, термостат суховоздушный ТСО-200, закрытые пластиковые контейнеры для проращивания семян. Закладку опытов, полевые наблюдения, лабораторные анализы и математическую обработку данных проводили согласно специализированным методикам [17, 18].

Метеорологические условия за период исследований характеризовались в основном близкими к климатической норме региона значениями, растения развивались в условиях достаточной обеспеченности теплом, однако выпадение осадков по декадам было довольно неравномерным. Начальный период вегетации (май – начало июня) в годы исследований характеризовался достаточной обеспеченностью влагой, что способствовало образованию у семенных растений хорошо развитых цветonoсных побегов. Для величины и качества будущего урожая семян сахарной свеклы особую важность имеют погодные условия в фазе цветения, которая, в условиях ЦЧР при традиционной высадочной культуре с весенней посадкой маточных корнеплодов, приходится в среднем на III декаду июня и I декаду июля. В этот период желательны умеренные температуры воздуха и достаточные условия увлажнения с ГТК Селянинова – 1,3–1,6. Важно также обеспечение растений влагой и в фазе налива семян (II–III декады июля). Однако в эти сроки часто наблюдали дефицит осадков на фоне жаркой погоды. Созревание семян свеклы и их уборка лучше всего проходит в жарких и сухих условиях, которые, как правило, всегда складываются в условиях ЦЧР в конце июля – начале августа. Так, 2018 и 2019 гг. характеризовались относительной равномерностью выпадения осадков за вегетационный период, но в 2020 г. основная масса осадков выпала в первую половину вегетации (до II декады июня), дальнейшее же развитие растений проходило в довольно засушливых условиях вплоть до уборки (таблица 1).

В среднем за вегетационный период в 2018 г. ГТК составил 1,0 (неустойчивое увлажнение); в 2019 г. – 1,1 (неустойчивое увлажнение); в 2020 г. – 0,9 (недостаточное увлажнение).

**Таблица 1 – Метеорологические условия вегетационного периода в годы исследований**

Показатель	Декада											За период вегетации
	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	
	апрель	май			июнь			июль			август	
2018 г.												
T, °C*	11,6	21,1	16,4	17,3	14,9	19,7	22,5	20,6	22,1	23,2	22,0	2114
R, мм**	32,2	0,0	40,5	10,5	9,9	3,6	21,9	18,7	21,9	38,4	14,8	212
ГТК***	2,8	0,0	2,5	0,6	0,7	0,2	1,0	0,9	1,0	1,6	0,7	1,0
2019 г.												
T, °C	14,2	15,2	16,8	19,2	22,4	22,3	21,9	18,5	18,9	20,2	17,2	2068
R, мм	3,4	27,2	52,1	12,6	0,8	9,1	2,3	57,1	2,3	40,5	12,8	220
ГТК	0,2	1,8	3,1	0,7	0,0	0,4	0,1	3,1	0,1	2,0	0,7	1,1
2020 г.												
T, °C	10,2	14,6	11,9	13,7	19,2	23,7	21,1	24,2	20,0	21,6	20,7	2009
R, мм	5,7	25,4	25,1	24,5	43,1	8,5	11,0	24,7	1,6	2,6	6,6	179
ГТК	0,6	1,7	2,1	1,8	2,2	0,3	0,5	1,0	0,1	0,1	0,3	0,9

**Примечание.** \* температура воздуха, \*\* сумма осадков, \*\*\* гидротермический коэффициент Селянинова ( $ГТК = \Sigma T / R \times 10$ ).

### Результаты и их обсуждение

При определении показателей структуры урожая перед срезкой семенных растений отмечено, что в опыте преобладали типы кустов с наличием одинаково развитых цветоносных побегов (III-й тип) и с ярко выраженным центральным побегом и наличием менее развитых боковых побегов (II-й тип). Это связано с использованием для посадки относительно крупных маточных корнеплодов (150–300 г). Первый же тип куста, характеризующийся одним центральным цветоносным побегом, формируется преимущественно на мелких корнеплодах-штеклинках (<100 г).

Количество цветоносных побегов (продуктивных стеблей) в среднем за годы исследований заметно увеличилось на фоне основного удобрения – 14,8 шт. относительно контроля (8,6 шт.). Возрастание их количества связано с пробуждением большего количества почек на головках корнеплодов при оптимальном обеспечении растений элементами основного минерального питания. Увеличилась от действия основного удобрения и высота куста, составив 105,1 см против 85,6 см в контроле, что связано с более интенсивным ростом стеблей.

Обсемененность (количество семян на 10 см цветоносного побега) составила 24,5 шт. семян на удобренном фоне и 15,8 шт. без основного удобрения, что объясняется развитием большего количества цветков на побегах, лучшим их оплодотворением и большим процентом завязавшихся плодов при оптимальном питании растений (таблица 2). Что касается внекорневых подкормок микроэлементами, то их влияние на элементы структуры урожая было незначительно, так как их проводили в фазы стеблевания и бутонизации, когда кусты семенных растений в основном уже сформировались.

Сравнение величины урожая семян, полученного после срезки, обмолота растений и первичной очистки вороха, с рассмотренными выше элементами его структуры, обнаруживает прямую взаимосвязь. Так, коэффициенты корреляции (r)

между урожайностью и количеством продуктивных побегов, высотой растений, количеством семян на 10 см побега для всех трех парных зависимостей величин составил 0,99 (тесная положительная достоверная связь).

**Таблица 2 – Элементы структуры урожая семян сахарной свеклы в зависимости от основного удобрения и внекорневых подкормок (среднее за 2018–2020 гг.)**

Вариант	Тип куста, %			Количество побегов, шт.	Высота растений, см	Количество семян на 10 см побега, шт.	Количество продуктивных растений, тыс. шт./га	Продуктивность одного растения, г
	I	II	III					
1. Контроль	5,0	66,5	28,5	8,6	85,6	15,8	15,84	73,86
2. Фон N <sub>160</sub> P <sub>160</sub> K <sub>160</sub>	10,0	60,0	30,0	14,8	105,1	24,5	16,01	106,18
3. Микроэлементы	8,5	62,0	29,5	9,0	86,3	16,2	15,78	75,41
4. Фон N <sub>160</sub> P <sub>160</sub> K <sub>160</sub> + микроэлементы	9,5	65,0	25,5	15,2	105,2	24,6	15,97	107,70
НСР <sub>05</sub>	-	-	-	6,1	12,5	5,8	-	-

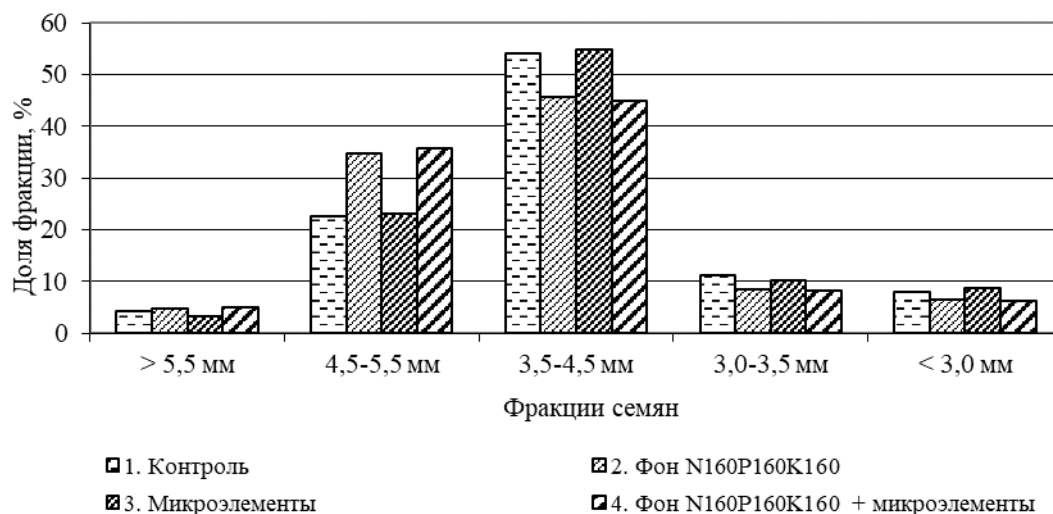
Урожайность семян на фоне основного минерального удобрения (варианты № 2 и № 4) составила в среднем за три года 1,70–1,72 т/га, что на 0,53–0,54 т/га (45,3–46,2 %) выше контроля и является статистически достоверным. В этом же варианте, как было рассмотрено выше, наблюдали большие, в сравнении с контролем и вариантом внесения одних микроэлементов, величины показателей элементов структуры урожая. При этом эффект от внекорневой подкормки микроэлементами не превышал статистически значимый уровень как на фоне без основного удобрения, так и с ним. Что касается варьирования урожайности по годам исследований, то значительно меньший ее показатель в сравнении с 2018–2019 гг. наблюдался в условиях 2020 г., что объясняется засушливыми условиями второй половины вегетации этого сезона (таблица 3).

**Таблица 3 – Урожайность семян сахарной свеклы в зависимости от основного удобрения и внекорневых подкормок**

Вариант	Урожайность, т/га				Прибавка, т/га				Прибавка, %			
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Среднее	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Среднее	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Среднее
1. Контроль	1,21	1,18	1,13	1,17	-	-	-	-	-	-	-	-
2. Фон N <sub>160</sub> P <sub>160</sub> K <sub>160</sub>	1,80	1,75	1,55	1,70	0,59	0,57	0,42	0,53	48,8	48,3	37,2	45,3
3. Микроэлементы	1,23	1,20	1,15	1,19	0,02	0,02	0,02	0,02	1,65	1,69	1,77	1,71
4. Фон N <sub>160</sub> P <sub>160</sub> K <sub>160</sub> + микроэлементы	1,81	1,76	1,56	1,72	0,60	0,58	0,43	0,54	49,6	49,2	38,1	46,2
НСР <sub>05</sub>	0,10	0,09	0,06	0,08								

Анализ фракционного состава вороха выращенных семян свидетельствует об увеличении доли семян крупной посевной фракции (4,5–5,5 мм) в вариантах с фоном основного удобрения – на 12,1–13,2 % абс. к контролю и соответствующее уменьшение доли мелкой посевной (3,5–4,5 мм) – на 9,0–9,4 % абс. В целом, общая доля посевных фракций в ворохе составила в среднем 76,6–77,8 % на фоне без

удобрения и 80,3–80,8 % на удобренном фоне. Внекорневая подкормка микроэлементами незначительно повысила долю семян посевных фракций – на 0,5–1,2 % абс. (рисунок).



**Рисунок – Доля фракций семян в полученном ворохе в зависимости от основного удобрения и внекорневых подкормок (среднее за 2018–2020 гг.)**

Анализ энергии прорастания в динамике у семян фракции 4,5–5,5 мм показал существенное ее увеличение на третий день наблюдений: от действия фона основного удобрения на 21,3 % абс.; от действия внекорневых подкормок микроэлементами на 7,1 % абс. При этом энергия, определяемая согласно ГОСТ 22617.2-94 на четвертый день, увеличилась в меньшей степени, однако тоже статистически достоверно – на 10,2 и 4,3 % абс. соответственно. Лабораторная всхожесть повысилась соответственно на 9,8 и 5,5 % абс. Доброкачественность семян, как производный показатель, также повысилась – на 4,4 и 3,9 % абс. соответственно. Эффективность микроэлементов на фоне удобрения была существенно ниже – увеличение показателей посевных качеств составило не более 1,2 % абс. (таблица 4).

**Таблица 4 – Посевные качества семян фракции 4,5–5,5 мм в зависимости от основного удобрения и внекорневых подкормок (среднее за 2018–2020 гг.)**

Вариант	Энергия прорастания, %		Лабораторная всхожесть, %	Выполненность, %	Доброкачественность, %
	третий день	четвертый день	девятый день		
1. Контроль	68,0	82,7	85,0	90,3	94,1
2. Фон N <sub>160</sub> P <sub>160</sub> K <sub>160</sub>	89,3	92,9	94,8	96,2	98,5
3. Микроэлементы	75,1	87,0	90,5	92,4	98,0
4. Фон N <sub>160</sub> P <sub>160</sub> K <sub>160</sub> + микроэлементы	91,0	94,1	96,0	97,3	98,7
НСР <sub>05</sub>	6,2	3,7	2,8	2,3	2,5

Посевные качества семян фракции 3,5–4,5 мм, имели несколько меньшие значения показателей энергии прорастания и всхожести, в основном из-за более низкой выполненности. Так, энергия прорастания на третий день от действия основного минерального удобрения увеличилась на 28,7 % абс., от действия микроэлементов – на 10,9 % абс. Всхожесть семян повысилась на 9,7 и 3,9 % абс. соответственно. На удобренном фоне эффективность микроэлементов также была

ниже – увеличение показателей качества семян составило не более 2–3 % абс. Показатель доброкачественности семян увеличился на 6,5 и 5,3 % абс. в сравнении с контрольным вариантом и составил в экспериментальных вариантах от 96,8 до 99,0 %, что свидетельствует о высоких посевных характеристиках семян мелкой фракции (таблица 5).

**Таблица 5 – Посевные качества семян фракции 3,5–4,5 мм в зависимости от основного удобрения и внекорневых подкормок (среднее за 2018–2020 гг.)**

Вариант	Энергия прорастания, %		Лабораторная всхожесть, %	Выполненность, %	Доброкачественность, %
	третий день	четвертый день	девятый день		
1. Контроль	59,3	81,2	82,3	89,9	91,5
2. Фон N <sub>160</sub> P <sub>160</sub> K <sub>160</sub>	88,0	91,5	92,0	93,8	98,0
3. Микроэлементы	70,2	83,5	86,2	89,0	96,8
4. Фон N <sub>160</sub> P <sub>160</sub> K <sub>160</sub> + микроэлементы	89,5	92,4	94,9	95,8	99,0
НСР <sub>05</sub>	6,8	2,3	3,0	2,7	2,8

Отмечена также тенденция увеличения массы 1000 плодов обеих посевных фракций под влиянием основного минерального удобрения и внекорневой подкормки микроэлементами – в среднем на 1,5 и 0,7 г соответственно. Однако на фоне основного удобрения от действия внекорневой подкормки масса 1000 плодов возросла незначительно – на 0,1–0,2 г. С целью установления соотношения масс собственно семени и околоплодника в вариантах опыта, в ходе анализа их отделяли друг от друга, взвешивали и вычисляли их доли в массе целых плодов. При этом обнаружили увеличение массовой доли собственно семени у фракции 4,5–5,5 мм от действия основного минерального удобрения на 2,5 % и внекорневых подкормок на 1,6 %; у фракции 3,5–4,5 мм от действия удобрений – на 2,8 %, внекорневых подкормок – на 1,3 % и соответствующее уменьшение массы околоплодника (таблица 6).

**Таблица 6 – Массовые доли собственно семени и околоплодника в составе целых плодов (среднее за 2018–2020 гг.)**

Вариант	Фракция 4,5–5,5 мм				Фракция 3,5–4,5 мм			
	масса 1000 плодов, г	массовая доля, %		отношение массы собственно семени к массе околоплодника	масса 1000 плодов, г	массовая доля, %		отношение массы собственно семени к массе околоплодника
		собственно семени	околоплодника			собственно семени	околоплодника	
1. Контроль	13,5	18,0	82,0	0,21	9,0	24,7	75,3	0,32
2. Фон N <sub>160</sub> P <sub>160</sub> K <sub>160</sub>	14,9	20,5	79,5	0,26	10,6	27,5	72,5	0,38
3. Микроэлементы	14,0	19,6	80,4	0,24	9,8	26,0	74,0	0,35
4. Фон N <sub>160</sub> P <sub>160</sub> K <sub>160</sub> + микроэлементы	15,0	21,0	79,0	0,27	10,8	27,8	72,2	0,39

Наблюдаемые тенденции свидетельствует о большем накоплении запасных питательных веществ в семенах, сформированных на растениях, выращенных при оптимальном минеральном питании и при использовании внекорневых подкормок микроэлементами.

### Выводы

Определяющее значение в формировании урожайности и посевных качеств семян имеет внесение под семенные растения минеральных удобрений под основную обработку почвы в оптимальных дозах. Микроэлементы же вносятся путем внекорневой подкормки в период вегетации и играют вспомогательную роль. От действия основного минерального удобрения в дозе  $N_{160}P_{160}K_{160}$  урожайность семян сахарной свеклы повысилась в среднем за три года на 0,53 т/га, что составило 45,3 % относительно контроля (1,17 т/га). Показатели качества семян также значительно повысились: энергия прорастания в среднем на 10,3 % абс., всхожесть – на 9,8 % абс., доброкачественность – на 5,4 % абс.

Внекорневая подкормка микроэлементами влияния на урожайность практически не оказала. Микроэлементы бор и цинк на фоне без удобрения обеспечили статистически значимое увеличение показателей посевных качеств семян: энергии прорастания в среднем на 3,3 % абс., всхожести – на 4,7 % абс., доброкачественности – на 4,6 % абс. На удобренном фоне влияние микроэлементов прослеживалось в меньшей степени и ниже статистически достоверного уровня.

В ходе исследований выявлена прямая зависимость урожайности семян от формирующих ее элементов структуры – варианты, характеризовавшиеся большей высотой кустов, числом продуктивных побегов и их обсемененностью на единице длины, имели и более высокую урожайность. Коэффициент корреляции ( $r$ ) для зависимости урожайности от всех трех величин составил 0,99 (сильная зависимость).

Полученные данные по использованию основного удобрения в сочетании с внекорневыми подкормками микроэлементами бором и цинком имеют практический интерес и могут быть рекомендованы для совершенствования системы питания растений в селекции и семеноводстве отечественных гибридов сахарной свеклы.

### Литература

1. Чернышов А. Т., Горячих А. С. Продуктивность семенников сахарной свеклы, качество семян и их химический состав в зависимости от условий питания // Сахарная свекла. 2015. № 7. С. 15–18.
2. Sutradhar A. K., Kaiser D. E., Behnken L. M. Soybean response to broadcast application of boron, chlorine, manganese and zinc // Agronomy Journal. 2017. Vol. 109. Iss. 3. P. 1048–1059. DOI: 10.2134/agronj2016.07.0389.
3. Li M., Wang S., Tian X., Huang Y. Improving nutritional quality of wheat grain through foliar zinc combined with macronutrients // Agronomy Journal. 2018. Vol. 110. Iss. 1. P. 38–46. DOI: 10.2134/agronj2017.08.0437.
4. Wang S., Li M., Tian X., Li J., Li H., Ni Y., Zhao J., Chen Y., Guo C., Zhao A. Foliar zinc, nitrogen and phosphorus application effects on micronutrient concentrations in winter wheat // Agronomy Journal. 2015. Vol. 107. Iss. 1. P. 61–70. DOI: 10.2134/agronj14.0414.
5. Wang S., Zhang X., Liu K., Fei P., Chen J., Li X., Ning P., Chen Y., Shi J., Tian X. Improving zinc concentration and bioavailability of wheat grain through combined foliar applications of zinc and pesticides // Agronomy Journal. 2019. Vol. 111. Iss. 3. P. 1478–1487. DOI: 10.2134/agronj2018.09.0597.
6. Пикун П. Т., Коротков М. М. Роль микроэлементов в семеноводстве люцерны и галеги восточной // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. 2012. № 3. С. 39–46.
7. Бондарь В. И. Продуктивность и качество сахарной свеклы в зависимости от вносимых микроудобрений и условий увлажнения // Сахарная свекла. 2008. № 7. С. 24–27.
8. Костин В. И., Исайчев В. А., Ошкин В. А., Федорова И. Л. Внекорневая подкормка сахарной свеклы и качество корнеплодов // Сахарная свекла. 2015. № 2. С. 28–31.
9. Костин В. И., Ошкин В. А., Музурова О. Г. Возможности активации продукционного процесса и повышения засухоустойчивости сахарной свеклы // Сахарная свекла. 2014. № 10. С. 30–33.
10. Костин В. И., Ошкин В. А. Эффективность нереутилизирующихся микроэлементов в свеклосахарном производстве // Сахарная свекла. 2014. № 2. С. 40–41.
11. Буряк И. И. Внекорневые подкормки высадочной культуры // Сахарная свекла. 2002. № 8. С. 21–22.

12. Гаврин Д. С., Бартечев И. И. Применение внекорневых подкормок в семеноводстве гибридов сахарной свеклы // Аграрный научный журнал. 2018. № 12. С. 16–20. DOI: 10.28983/asj.v0i12.490.
13. Шевченко А. Г., Корсун В. А. Продуктивность высочных семенников в зависимости от подкормки новыми удобрениями // Сахарная свекла. 2007. № 3. С. 18–19.
14. Богдевич И. М., Ломонос О. Л. Обеспеченность пахотных и луговых почв подвижными формами цинка в зависимости от уровня интенсификации земледелия по районам Беларуси // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. 2015. № 1. С. 43–52.
15. Корчагин В. И. Эколого-агрохимическая оценка плодородия почв Воронежской области. Дисс. ... канд. с.-х. наук. Воронеж: ВГАУ, 2017. С. 243–248.
16. Куликова Е. В., Горбунова Н. С., Горшенева Ю. А. Влияние различных способов агротехники на содержание водорастворимого бора в черноземах выщелоченных Рамонского района Воронежской области // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). Научно-практический журнал. 2019. № 8. С. 61–66.
17. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
18. Зубенко В. Ф. Методика исследований по сахарной свекле. Киев: ВНИС, 1986. 292 с.

### References

1. Chernyshov A. T., Goryachikh A. S. The productivity of sugar beet seed plants, quality of seeds and the chemical composition depending on nutrition conditions // Sakharnaya svekla. 2015. No. 7. P. 15–18.
2. Sutradhar A. K., Kaiser D. E., Behnken L. M. Soybean response to broadcast application of boron, chlorine, manganese and zinc // Agronomy Journal. 2017. Vol. 109. Iss. 3. P. 1048–1059. DOI: 10.2134/agronj2016.07.0389.
3. Li M., Wang S., Tian X., Huang Y. Improving nutritional quality of wheat grain through foliar zinc combined with macronutrients // Agronomy Journal. 2018. Vol. 110. Iss. 1. P. 38–46. DOI: 10.2134/agronj2017.08.0437.
4. Wang S., Li M., Tian X., Li J., Li H., Ni Y., Zhao J., Chen Y., Guo C., Zhao A. Foliar zinc, nitrogen and phosphorus application effects on micronutrient concentrations in winter wheat // Agronomy Journal. 2015. Vol. 107. Iss. 1. P. 61–70. DOI: 10.2134/agronj14.0414.
5. Wang S., Zhang X., Liu K., Fei P., Chen J., Li X., Ning P., Chen Y., Shi J., Tian X. Improving zinc concentration and bioavailability of wheat grain through combined foliar applications of zinc and pesticides // Agronomy Journal. 2019. Vol. 111. Iss. 3. P. 1478–1487. DOI: 10.2134/agronj2018.09.0597.
6. Pikun P. T., Korotkov M. M. The role of trace elements in seed production of alfalfa and eastern galega // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series (Vesci Nacyânal'naj akadëmii navuk Belarusi. Seryâ agrarnyh navuk). 2012. No. 3. P. 39–46.
7. Bondar V. I. Productivity and quality of sugar beet depending on the applied micronutrient fertilizers and moisture conditions // Sakharnaya svekla. 2008. No. 7. P. 24–27.
8. Kostin V. I., Isaichev V. A., Oshkin V. A., Fedorova I. L. Extra root top dressing of sugar beet and quality of root crops // Sakharnaya svekla. 2015. No. 2. P. 28–31.
9. Kostin V. I., Oshkin V. A., Muzurova O. G. Possibilities of activation the production process and increase of drought resistance of sugar beet // Sakharnaya svekla. 2014. No. 10. P. 30–33.
10. Kostin V. I., Oshkin V. A. Efficacy unsalvaged microelements in sugar beet production // Sakharnaya svekla. 2014. No. 2. P. 40–41.
11. Buryak I. I. Foliar dressing of the planting culture // Sakharnaya svekla. 2002. No. 8. P. 21–22.
12. Gavrin D. S., Bartenev I. I. Application of foliar fertilization in seed production of sugar beet hybrids // The Agrarian Scientific Journal. 2018. No. 12. P. 16–20. DOI: 10.28983/asj.v0i12.490.
13. Shevchenko A. G., Korsun V. A. Productivity of planting seed plants depending on feeding with new fertilizers // Sakharnaya svekla. 2007. No. 3. P. 18–19.
14. Bogdevich I. M., Lomonos O. L. Plant-available zinc in arable soils and grasslands in relation to levels of intensification in districts of Belarus // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series (Vesci Nacyânal'naj akadëmii navuk Belarusi. Seryâ agrarnyh navuk). 2015. No. 1. P. 43–52.
15. Korchagin V. I. Ecological and agrochemical assessment of soil fertility in the Voronezh region. Diss. ... Cand. Sc. (Agr.). Voronezh: VSAU, 2017. P. 243–248.
16. Kulikova E. V., Gorbunova N. S., Gorsheneva Yu. A. Influence of different methods of agrotechnical equipment on the content of water-soluble boron in chernozems of lyeds of the Ramonsky area of the Voronezh region // Modeli i tekhnologii prirodoobustroystva (regional'ny aspekt). 2019. No. 8. P. 61–66.
17. Dospikhov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
18. Zubenko V. F. Research methodology for sugar beet. Kiev: VNIS, 1986. 292 p.



UDC 633.63:631.559:631.8

Gavrin D. S., Bartenev I. I., Nechaeva O. M.

**INFLUENCE OF BASIC MINERAL FERTILIZER AND FOLIAR FEEDING WITH MICROELEMENTS ON SUGAR BEET SEEDS YIELD, STRUCTURE AND QUALITY**

**Summary.** *Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) is one of the most important industrial crops, which is the main raw material for sugar production – a product of strategic importance widely used in food and pharmaceutical industries. In this regard, the provision of domestic beet growing with seeds of domestic hybrids that are competitive with the best foreign ones is particularly relevant. The purpose of the research is to study the effect of the basic mineral fertilizer and microelements boron and zinc on the sugar beet seeds yield, structure and quality indicators. The studies were carried out in the experimental fields of the All-Russian Scientific Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A.L. Mazlumov, located in the zone of unstable moistening in the Central Black Soils region in the northwestern part of the Voronezh region (Ramon village). The soil of the experimental site is represented by leached hard loamy chernozem with a medium humus content of 4.5 %. Field experiments were laid in 2018–2020 according to the methodology of B. A. Dospikhov. The experiment scheme included the following options: control (without fertilizers); double foliar feeding of seed plants with a 0.1 % solution of a mixture of boric acid and zinc sulfate before the flowering;  $N_{160}P_{160}K_{160}$ ;  $N_{160}P_{160}K_{160}$  + foliar feeding. Laboratory analyzes of seed quality were carried out according to GOST 22617.2 – 94. The data obtained indicate a significant effect of the basic fertilizer ( $N_{160}P_{160}K_{160}$ ), which contributed to a 0.53 t/ha (45.3 %) yield increase compared to the control. The sowing qualities of seeds also increased significantly: germination energy by an average of 10.3 % abs., germination – by 9.8 % abs., good quality – by 5.4 % abs. Foliar dressing with microelements had practically no effect on the yield; however, it provided a significant increase in the indicators of the sowing qualities of seeds: germination energy – by an average of 3.3 % abs., germination – by 4.7 % abs., good quality – by 4.6 % abs. Direct dependence of the value of the yield of seeds on the constituent elements of the structure was also revealed: the type of bush of seed plants, the number of productive shoots, their height and seeding per unit length. The correlation coefficient ( $r$ ) for all three paired dependences of the quantities was 0.99.*

**Keywords:** *sugar beet (*Beta vulgaris* L.), seed plants, seeds, crop structure, sowing qualities, basic fertilizer, microelements, foliar feeding.*

Гаврин Денис Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела семеноводства и семеноведения сахарной свеклы с механизацией семеноводческих процессов ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А. Л. Мазлумова»; 396030, Россия, Воронежская область, п. ВНИИСС, 86; e-mail: gavrin\_denis@mail.ru.

Бартенев Игорь Иванович, кандидат технических наук, заведующий отделом семеноводства и семеноведения сахарной свеклы с механизацией семеноводческих процессов ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова»; 396030, Россия, Воронежская область, п. ВНИИСС, 86; e-mail: gavrin\_denis@mail.ru.

Нечаева Ольга Митрофановна, научный сотрудник отдела семеноводства и семеноведения сахарной свеклы с механизацией семеноводческих процессов ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова»; 396030, Россия, Воронежская область, п. ВНИИСС, 86; e-mail: gavrin\_denis@mail.ru.

Gavrin Denis Sergeevich, Cand. Sc. (Agr.), researcher, Department of seed production and seed science of sugar beet with mechanization of seed processes, FSBSI “All-Russian Scientific Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A.L. Mazlumov”; 86, vill. VNIISS, Voronezh region, 396030, Russia; e-mail: gavrin\_denis@mail.ru.

Bartenev Igor Ivanovich, Cand. Sc. (Tech.), head of the Department of seed production and seed science of sugar beet with mechanization of seed processes, FSBSI “All-Russian Scientific Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A.L. Mazlumov”; 86, vill. VNIISS, Voronezh region, 396030, Russia; e-mail: gavrin\_denis@mail.ru.

Nechaeva Olga Mitrofanovna, researcher, Department of seed production and seed science of sugar beet with mechanization of seed processes, FSBSI “All-Russian Scientific Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A.L. Mazlumov”; 86, vill. VNIISS, Voronezh region, 396030, Russia; e-mail: gavrin\_denis@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 26.07.2021.*

*Дата принятия к печати – 15.08.2021.*

DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-47-60

УДК 631/635:632.08:633.1

Гулянов Ю. А.<sup>1</sup>, Николаев Н. А.<sup>2</sup>, Яковлев И. Г.<sup>1</sup>

## СОРТОВАЯ СПЕЦИФИЧНОСТЬ ОПТИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ФИТОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

<sup>1</sup>Институт степи Уральского отделения Российской академии наук (ИС УрО РАН) – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (ОФИЦ РАН);

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет»

**Реферат.** Выявление сортовой специфичности оптико-биологических свойств полевых культур необходимо для правильной интерпретации спутниковых снимков, оперативного определения фитометрических параметров посевов, индикации уровня их развития и обоснования корректирующих технологических решений. Цель исследований заключалась в проведении оценки оптико-биологических свойств и фитометрических параметров разнообразных сортов озимой пшеницы, выявлении их связи и межсортовой варибельности в высокотехнологичных эталонных посевах на основе спутникового и наземного мониторинга. Полевые исследования проводили в 2019–2020 гг. на участке конкурсного экологического сортоиспытания, заложенном на учебно-опытном поле Оренбургского ГАУ, в зоне южных степей Оренбургского Предуралья. Агроценозы различных сортов озимой пшеницы заметно различаются по оптико-биологическим свойствам, выражающимся в величинах нормализованного вегетационного индекса (NDVI). Наименьшими средними за вегетацию значениями NDVI (0,57–0,59) характеризовались сорта Гром, Дон 95, Быстрица, Спартак, Станичная и Синтетик. Более высокие значения NDVI (0,67) наблюдали в посевах сортов Жемчужина Поволжья, Колос Оренбуржья, Оренбургская 105, Рифей и Пионерская 32. Варибельность между сортами по наименьшему (0,51 – Гром, 0,52 – Дон 95) и наибольшему (0,69 – Колос Оренбуржья, 0,70 – Пионерская 32, 0,69 – Оренбургская 105) значениям NDVI в период максимального развития ассимиляционного аппарата достигала 0,17–0,19 единиц (фаза полного весеннего кущения). К фазе колошения, когда NDVI составлял 0,78–0,79 и 0,85 единиц соответственно, указанная разница несколько нивелировалась, но в целом оставалась весомой – на уровне 0,08–0,11 единиц (10,9–14,9 %). Наибольшей площадью листовой поверхности (30 тыс. м<sup>2</sup>/га) характеризовались посевы сортов Саратовская 17, Колос Оренбуржья, Оренбургская 105, Рифей и Пионерская 32. Прямой межсортовой зависимости между площадью листовой поверхности и нормализованным вегетационным индексом посевов (NDVI) озимой пшеницы не выявлено ( $R^2=0,38$ ).

**Ключевые слова:** агроценозы, оптико-биологические свойства, фитометрические параметры, космический мониторинг, степная зона, озимая пшеница *Triticum aestivum* L.

**Для цитирования:** Гулянов Ю. А., Николаев Н. А., Яковлев И. Г. Сортовая специфичность оптико-биологических свойств и фитометрических параметров посевов озимой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 47–60. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-47-60.

**For citation:** Gulyanov Yu. A., Nikolaev N. A., Yakovlev I. G. Varietal specificity of opto-biological properties and phytometric parameters of winter wheat crops // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 47–60. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-47-60.

### Введение

Развитие космической отрасли и расширение доступности её информационной базы для сельскохозяйственного производства открывает широкие возможности по оценке состояния растительного покрова посредством использования различных показателей.

Наиболее известным и достаточно широко апробированным из них является нормализованный вегетационный индекс посевов (NDVI), характеризующий интенсивность развития фотосинтетически активной биомассы растений. Его рассчитывают на основе космических снимков (ДДЗ) или снимков с беспилотных летательных аппаратов (БЛА) с помощью специализированных программных продуктов, позволяющих обрабатывать и визуализировать цифровую информацию [1, 2]. Для детальной оценки состояния растительности полевых агроценозов проводят их регулярный мониторинг и тщательный анализ полученных данных [3].

Спутники и БЛА осуществляют пассивную съёмку отражений местности в заданных диапазонах световых волн, что в условиях недостаточной или неравномерной освещённости может приводить к существенному искажению «реальной» картины [4]. Установление достоверных связей между характеристиками космических снимков и фактическим состоянием растительности обеспечивается проведением дополнительных наземных измерений на тестовых участках [5]. Для наземной оценки состояния посевов используют активные оптические датчики с собственным источником излучения, дающие более точный результат. Их применяют также для уточнения и поправки спутниковых данных или фотокамер NIR-диапазона беспилотных летательных аппаратов, обладающих высокой производительностью, оперативностью и способностью работать в «невыездных» условиях [6, 7].

За истекшие несколько десятилетий мировым научным сообществом накоплен достаточно обширный и разноплановый экспериментальный материал, касающийся обозначенных вопросов. Разработаны научные подходы к оценке качества пахотных земель на основе анализа временной динамики вегетационного индекса (NDVI) различных полевых культур и межгодовой вариабельности его сезонного максимума, используемого в качестве индикатора состояния посевов и урожайности [8, 9]. Обоснована перспективность применения данных ДДЗ для определения потребности растений в азотном питании [10] и использования портативных оптических устройств для измерения вегетационного индекса (NDVI) наземным способом [4]. Предпринимаются попытки моделирования динамики NDVI, определения времени наступления его максимальных значений и прогнозирования сроков уборки [2]. Развиваются методы точного фенологического мониторинга [11] и автоматического распознавания полевых культур (в частности озимой пшеницы), оценки состояния растений, в том числе на основе имитационных моделей их развития [12]. Апробируются на аналогах-ландшафтах результаты применения индекса NDVI для оценки состояния земель различного сельскохозяйственного использования с визуализацией результатов в виде мониторинговых цветокодированных растровых карт [13].

По современным научным представлениям полевой агроценоз рассматривается в виде оптико-биологической фотосинтезирующей системы, максимальная продуктивность которой достигается при формировании оптимального по размерам и по продолжительности активной работы ассимиляционного аппарата (площади листовой поверхности) [14]. Признётся, что подобное состояние агробиоценоза обеспечивается при оптимальном сочетании внешних и внутренних факторов, включающих интенсивность солнечного излучения, температуру и влажность воздуха, плодородие почвы, количество и

периодичность выпадения атмосферных осадков. Не меньшее влияние на фитометрические параметры посевов оказывают биологические и морфологические особенности растений, в том числе число листьев, соотношение надземной и подземной биомассы, архитектура растений [15, 16]. Последние из перечисленных факторов имеют вполне очевидную видовую и сортовую специфичность.

Формирование необходимого объёма информации по оптико-биологическим свойствам агроценозов, определение направленности и силы их связи с фитометрическими параметрами, выявление межвидовой и особенно межсортовой идентичности, пока предполагает большой объём «наземной» ручной работы. Она строится на использовании классических методов определения площади листовой поверхности (линейного, весового) и инструментального измерения NDVI устройствами с активными оптическими датчиками.

Обзор литературных источников свидетельствует о проведении многочисленных полевых исследований, включающих изучение специфических спектральных характеристик различных видов полевых культур [17], в том числе произрастающих в зонах, отличающихся природными и агроклиматическими условиями [18, 19]. При этом исследования, касающиеся сортовой идентичности оптико-биологических свойств и фитометрических параметров высокотехнологичных агроценозов, выступающих в роли эталонных посевов и служащих экспериментальными площадками для отработки отдельных элементов «умного землепользования», развёрнуты пока не достаточно широко.

Поэтому выявление, разработка, научное обоснование принципов оценки растительного покрова земледельческих угодий и их производственная апробация на основе новейших методов «умного землепользования» являются актуальным научным направлением.

Целесообразность указанных исследований ещё более возрастает в степных, наиболее антропогенно деградированных земледельческих территориях, где выведение из оборота нарушенных земель предполагает существенное повышение продуктивности остающихся в обработке устойчивых, высокоплодородных угодий, чему безусловно будет способствовать «привлечение» интеллектуальных мониторинговых приёмов [20, 21].

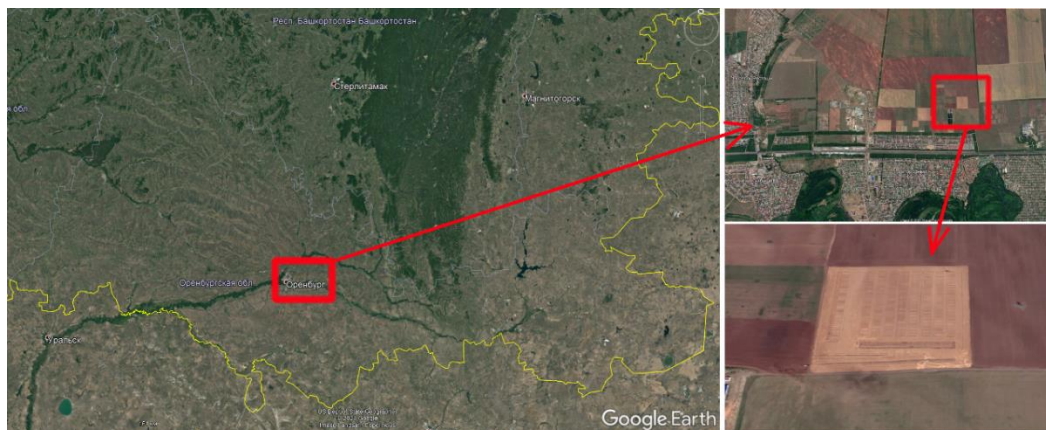
**Цель исследований** – проведение индивидуальной оценки оптико-биологических свойств и фитометрических параметров разнообразных сортов озимой пшеницы, выявление их связи и межсортовой вариабельности в высокотехнологичных эталонных посевах на основе спутникового и наземного мониторинга.

Для выполнения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- сформировать базу данных нормализованного вегетационного индекса посевов (далее NDVI) различных сортов озимой пшеницы, выявить его динамику в осенний и весенне-летний периоды;
- определить межсортовую вариабельность оптико-биологических свойств (по NDVI) и фитометрических параметров (по площади листьев);
- выявить взаимосвязь площади листовой поверхности и NDVI в высокотехнологичных эталонных посевах, установить сортовую специфичность указанных взаимосвязей.

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

Полевые исследования с озимой пшеницей проводили в 2019–2020 гг. на участке конкурсного экологического сортоиспытания, заложенном на учебно-опытном поле Оренбургского ГАУ, в зоне южных степей Оренбургского Предуралья (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Пространственное месторасположение объекта исследований, центральная почвенно-климатическая зона Оренбургской области**

Почва опытного участка представлена чернозёмом южным среднemosным карбонатным тяжелосуглинистым, с содержанием гумуса в пахотном слое почвы 3,8 % (по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО), подвижного фосфора ( $P_2O_5$ , по методу Б. П. Мачигина в модификации ЦИНАО) – 3,25 мг и обменного калия ( $K_2O$ , по методу Б. П. Мачигина в модификации ЦИНАО) – 27,0 мг на 100 г почвы, при мощности гумусового горизонта 114–118 см и щелочной реакции почвенной среды ( $pH = 7,6–7,8$ , потенциометрическим методом). Зона исследований характеризуется недостаточным и неустойчивым атмосферным увлажнением. Среднегодовое количество атмосферных осадков составляет около 340 мм в год, из которых не более 120 мм (35,0 %) выпадает за период с мая по август в основном в виде непродолжительных дождей ливневого характера. Среднегодовая температура воздуха составляет около 6,0 °С, сумма активных температур (выше 10 °С) – 2900–3000 °С. Средняя температура самого холодного месяца года (январь) равна минус 13,3 °С, а самого тёплого (июль) – 23,1 °С. Дополнительную напряжённость водному режиму территории придаёт повышенная ветровая активность, увеличивающая непродуктивные потери влаги на испарение. Морозная и не всегда снежная зима продолжается более пяти месяцев. Короткая, как правило, дружная весна быстро сменяется жарким засушливым летом, переходящим в продолжительную тёплую и сухую осень.

Метеорологические условия в период проведения исследований в сравнении со средними значениями характеризовались меньшей на 53 °С (1,6 %) суммой активных температур и меньшим на 22,1 мм (12,1 %) количеством атмосферных осадков, что определило близкие к среднемноголетним параметрам гидротермические условия. ГТК (гидротермический коэффициент) Селянинова, при средних для зоны исследований значениях 0,55 мм/°С составил 0,49 мм/°С и характеризовал условия увлажнения как очень засушливые, характерные для зоны.

Проведено изучение 28 сортов озимой мягкой пшеницы, представленной для экологического сортоиспытания различными селекционными центрами, включая ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»» и ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт зерновых культур им. И. Г. Калининко» (Ростовская область); ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока», ФГБНУ «Ершовская опытная станция орошаемого земледелия научно-исследовательского института сельского хозяйства Юго-Востока» (Саратовская область); ФГБНУ «Пензенский Научно-исследовательский институт сельского хозяйства» (Пензенская область); ФГБНУ «Национальный центр зерна имени

П. П. Лукьяненко» (Краснодарский край); ФГБНУ «Белгородский Федеральный аграрный научный центр РАН» и ООО «Семена России» (Белгородская область); ФГБНУ «Северо-Кавказский Федеральный научный аграрный центр» (Ставропольский край); ФГБОУ ВО «Оренбургский Государственный аграрный университет»; Селекционно-генетический институт – национальный центр семеноводства и сортоизучения (Украина). Посевы озимой пшеницы размещали по чёрному пару, технология возделывания включала общепринятые зональные агротехнические приёмы, проводимые на высоком технологическом уровне.

Нормализованный вегетационный индекс посевов определяли за период с августа 2019 г. по июль 2020 г. на базе общедоступных космических снимков Landsat 8 и Sentinel-2, имеющих пространственное разрешение 15-30 м/пиксел, размещённых на on-line ресурсах OneSoil.ai и Sentinel-hub.com.

Для оперативного мониторинга и установления объективных связей между характеристиками космических снимков и фактическим состоянием растительности проводили дополнительное наземное сканирование биомассы портативным ручным сенсором Green Seeker, Model HCS-100 с активным источником излучения по фиксированному маршруту, закреплённому точками (рисунок 2).



А



Б

**Рисунок 2 – Определение нормализованного вегетационного индекса портативным устройством Green Seeker Handheld, Model HCS-100 (А), экспериментальное поле озимой пшеницы в фазе цветения (Б)**

Полученные данные наносили на картографическую основу в программном комплексе NextGIS с последующей обработкой в ArcMap.

Средние за вегетационный период значения нормализованного вегетационного индекса посевов (NDVI) каждого сорта определяли как средние по результатам обработки 15-ти за период вегетации спутниковых снимков (пять – в осеннюю вегетацию и десять – в весенне-летнюю).

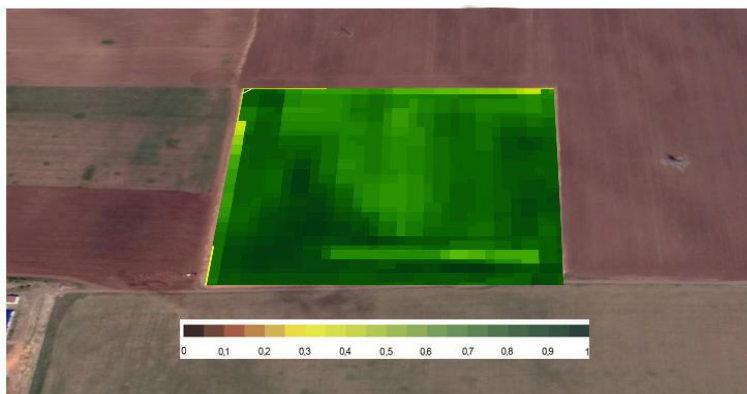
Площадь листовой поверхности определяли линейно-весовым методом в период максимального развития ассимиляционного аппарата (в начале фазы цветения). Для измерения массы листьев использовали электронные весы (Electronic balance, Type CBL 2200H) с точностью измерения 0,01 г.

При обработке цифрового материала использовали общепринятые статистические методы – определяли дисперсию экспериментальных данных, проводили их корреляционный и регрессионный анализ.

#### **Результаты и их обсуждение**

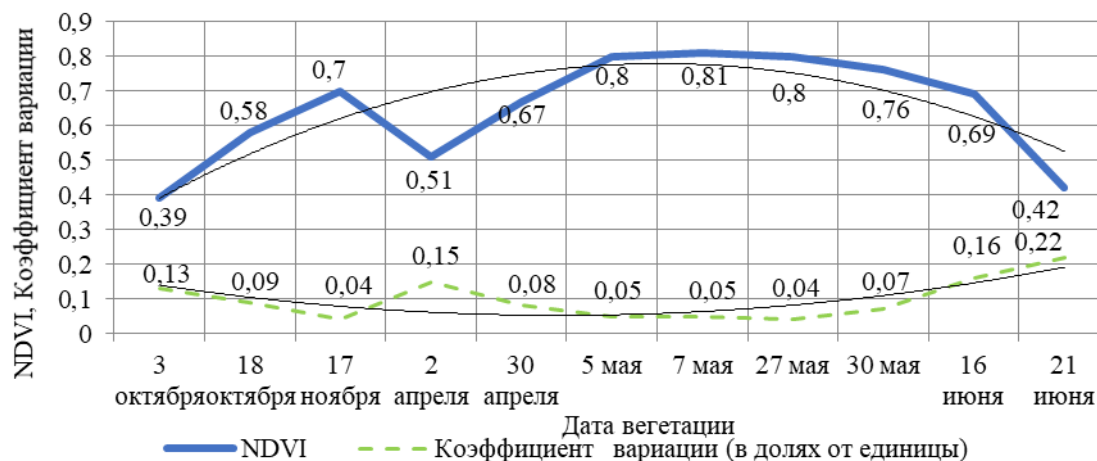
В ходе проведения полевого эксперимента сформирована обширная база данных NDVI посевов озимой пшеницы, определена его динамика в осенний и

весенне-летний период вегетации, а также выявлена межсортовая вариабельность и сортовая специфичность фитометрических параметров (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Пространственное распределение нормализованного вегетационного индекса (NDVI) на опытном поле озимой пшеницы в период максимального развития ассимиляционного аппарата**

Графическое выражение представленных во временном развитии величин NDVI указывает на их значительную динамику в течение вегетации, особенно в поздне-осенний и ранне-весенний периоды. С начала формирования всходов отмечен устойчивый рост фитометрических параметров посевов. Он сопровождался последовательным нарастанием NDVI, достигающим к завершению осенней вегетации (при переходе среднесуточной температуры воздуха через отметку 5 °С) 0,70–0,71 единиц. За период продолжающейся более пяти месяцев зимовки, в силу физиологических и иных причин, растения озимой пшеницы теряют значительную часть надземной биомассы. В результате этого при возобновлении весенней вегетации NDVI оказался ниже почти на 30,0 % и в среднем составил только 0,50–0,51 единиц (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Динамика нормализованного вегетационного индекса (NDVI) посевов озимой пшеницы в условиях степной зоны Оренбургского Предуралья (2019/2020 сельскохозяйственный год)**

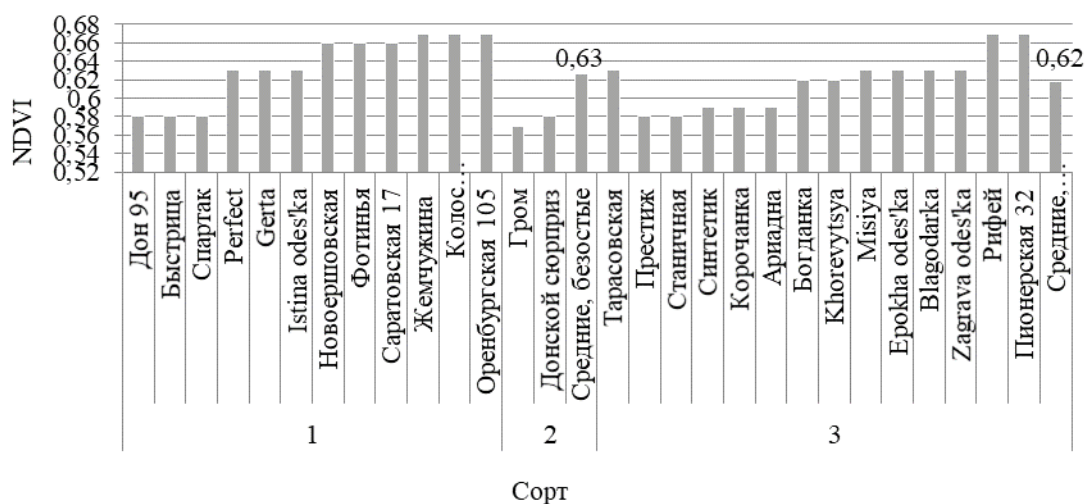
В условиях достаточного почвенного увлажнения, при активном нарастании солнечного тепла, характерном для большинства земельных территорий Оренбургского Предуралья, предзимние размеры растительной биомассы восстанавливались в течение первых двух-трёх недель вегетации. К завершению



фазы весеннего кущения, отмечаемой чаще всего в конце апреля–начале мая, фитометрические параметры посевов достигали максимальных за вегетацию значений. В течение последующих четырех-пяти недель, до завершения фазы колошения, размеры ассимиляционного аппарата сохранялись на самом высоком уровне, а NDVI посевов достигал 0,80–0,81 единиц и более. В период налива зерна, сопровождающийся перераспределением пластических веществ и последовательным усыханием нижних листьев, фитометрические параметры посевов снижались. В фазе молочно-восковой спелости зерна NDVI составил только 0,40–0,42 единицы.

Вариабельность NDVI в отдельные периоды вегетации озимой пшеницы имеет различные значения. Наибольшую стабильность отмечали в периоды максимального развития вегетативной массы, соответствующие фазе полного осеннего кущения и периоду от весеннего кущения до начала цветения в весенне-летнюю вегетацию. Коэффициент вариации NDVI в эти фазы не превышал 10,0 % (3,7–7,1 %), а в начале (всходы) и конце вегетации (молочно-восковая спелость зерна) приближался к 20,0 % (13,0–22,2 %).

Примечательно, что посевы различных сортов озимой пшеницы, имеющие в целом схожую направленность динамики фитометрических параметров в течение вегетации, заметно различались размерами ассимиляционного аппарата, выражающегося в величинах NDVI (рисунок 5).

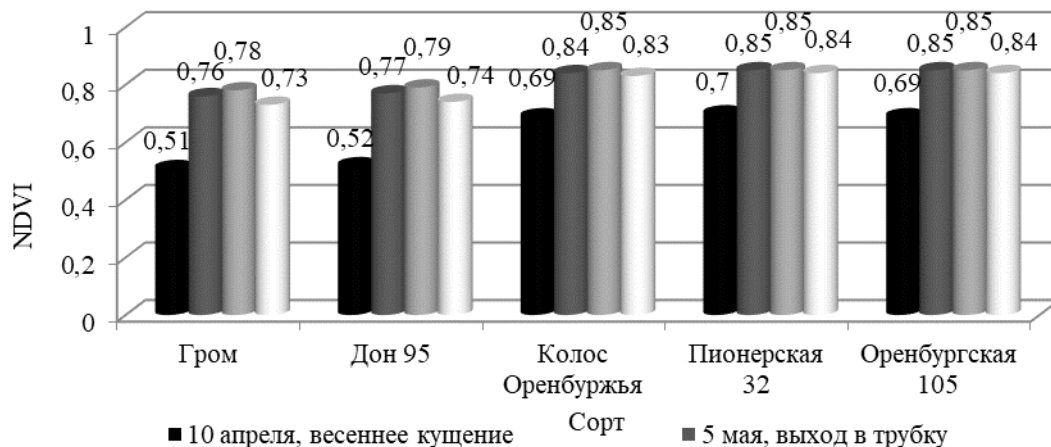


**Рисунок 5 – Вариабельность средних за вегетацию значений NDVI в разрезе отдельных сортов озимой пшеницы (2019/2020 сельскохозяйственный год)**

*Примечание.* 1 – безостые; 2 – безостые короткостебельные; 3 – остистые.

Из группы безостых наименьшие значения NDVI отмечены в посевах сортов Дон 95, Быстрица и Спартак, составившие в среднем за вегетацию 0,58 единиц. Аналогичные значения NDVI (0,58–0,59) зафиксированы также в посевах остистых сортов Станичная и Синтетик. Более низкую (0,57) величину данного показателя наблюдали на делянках короткостебельного сорта Гром. Наибольшими значениями NDVI (0,67) характеризовались посевы сортов Жемчужина Поволжья, Колос Оренбуржья и Оренбургская 105, а также Рифей и Пионерская 32 из группы остистых сортов. В целом между средними за вегетацию значениями NDVI группы остистых (0,62) и безостых (0,63) сортов весомой разницы не выявлено. Это указывает на несущественность влияния данного сортового признака на вегетационный индекс посевов озимой пшеницы.

В то же время разница между величинами NDVI отдельных сортов в период максимального развития ассимиляционного аппарата, соответствующий временному интервалу от фазы полного весеннего кущения до начала фазы цветения, оказалась более заметной (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Размах вариабельности NDVI по отдельным сортам озимой пшеницы в период максимального развития ассимиляционного аппарата (2019/2020 сельскохозяйственный год)**

Так, размах вариабельности между сортами с наименьшими (Гром, Дон 95) и наибольшими (Колос Оренбуржья, Пионерская 32, Оренбургская 105) значениями NDVI в фазе полного весеннего кущения составил 0,17–0,19 единиц (33,3–36,5 %). В последующие фазы вегетации указанная разница несколько нивелировалась, но в целом осталась весомой, на уровне 0,08–0,11 единиц (10,9–14,9 %).

Сравнение экспериментальных сортов по площади листовой поверхности в период максимального развития ассимиляционного аппарата выявило её вариабельность с размахом 5680 м<sup>2</sup>/га, составившую более 20,0 % от средней по опыту. Незначительно большая средняя площадь листовой поверхности (27417 м<sup>2</sup>/га) отмечена в посевах безостых сортов, а в посевах остистых сортов она оказалась на 889 м<sup>2</sup>/га (3,2 %) ниже. Наибольшей в опыте площадью листовой поверхности, на уровне 30 тыс. м<sup>2</sup>/га, характеризовались посева сортов Саратовская 17, Колос Оренбуржья, Оренбургская 105 (безостые), а также отличавшихся более мощным развитием на протяжении всей вегетации сортов Рифей и Пионерская 32 (остистые).

Следует особо подчеркнуть, что в ходе полевого эксперимента не выявлено сильной межсортовой связи площади листовой поверхности и NDVI, посевов свидетельствующей о влиянии на указанное соотношение специфических сортовых признаков, в частности интенсивности зелёного окрашивания, характера расположения и размера листьев, длины стебля и др. (таблица 1).

Установлено, что межсортовая вариация NDVI детерминирует не более 40,0 % межсортовой вариации площади листовой поверхности ( $R^2 = 0,38$ ). Связь между указанными параметрами средняя ( $r = 0,62$ ), описывается уравнением регрессии  $y = 37397x - 3198$ , где  $x$  – нормализованный вегетационный индекс (NDVI),  $y$  – площадь листовой поверхности. Размах вариации показателя, выражающего размер площади листовой поверхности, приходящейся на каждые 0,01 единиц NDVI, при средних по опыту величинах 334,3 м<sup>2</sup>/га, составил 53,2 м<sup>2</sup>/га (16,0 %).

**Таблица 1 – Фитометрические параметры отдельных сортов озимой пшеницы в период максимального развития ассимиляционного аппарата (2019/2020 сельскохозяйственный год)**

Сорт	Нормализованный вегетационный индекс (NDVI), ед.	Площадь листовой поверхности (ПЛ), м <sup>2</sup> /га	Отношение ПЛ к NDVI, м <sup>2</sup> /га на 0,01 ед. NDVI
безостые сорта			
Дон 95	0,79	26480	348,8
Быстрица	0,77	26965	350,2
Спартак	0,78	27112	347,6
Perfect	0,80	28168	352,1
Gerta	0,80	26648	320,5
Istina odes'ka	0,80	26976	304,7
Новоершовская	0,84	27022	321,7
Фотинья	0,83	28336	317,3
Саратовская 17	0,85	29546	347,6
Жемчужина Поволжья	0,84	27837	331,4
Колос Оренбуржья	0,85	29724	349,7
Оренбургская 105	0,85	29937	352,2
Гром	0,78	26302	343,6
Донской сюрприз	0,78	26637	344,7
Среднее	0,81	27417	338,0
остистые сорта			
Тарасовская остистая	0,82	25633	300,4
Престиж	0,77	26187	340,1
Станичная	0,79	26046	329,7
Синтетик	0,77	26118	339,2
Корочанка	0,79	26962	341,3
Ариадна	0,79	25453	322,2
Богданка	0,81	27637	341,2
Khorevytsya	0,79	24975	316,4
Misiya	0,81	26503	314,9
Ерoкha odes'ka	0,80	25312	316,4
Vlagodarka	0,79	25493	322,7
Zagrava odes'ka	0,81	27831	343,6
Рифей	0,84	29165	347,2
Пионерская 32	0,85	30056	353,6
Среднее	0,80	26528	330,6
Среднее по опыту	0,81	26972	334,3
Размах вариации	0,08	5680	53,2
Коэффициент вариации, %	3,3	6,0	4,7

Наибольшие значения указанного показателя (347,2–353,6 м<sup>2</sup>/га) отмечены в посевах ярко окрашенных сортов Саратовская 17, Колос Оренбуржья, Оренбургская 105, Рифей и Пионерская 32, характеризующихся одновременно высокими показателями NDVI (0,84–0,85 единиц) и площади листовой поверхности (29–30 тыс. м<sup>2</sup>/га). Примерно такими же величинами характеризовались посевы светло окрашенных сортов Дон 95, Быстрица, Спартак и Perfect, отличающиеся симметрично меньшими значениями NDVI (0,77–0,80 единиц) и меньшей (на 2,5 тыс. м<sup>2</sup>/га или 8,4%) площадью листовой поверхности. В то же время в эксперименте выявлены сорта, сформировавшие самую низкую площадь листовой поверхности, приходящуюся на каждые 0,01 единиц NDVI (317,3–321,7 м<sup>2</sup>/га), при достаточно высоких его значениях (0,83–0,84) – сорта Новоершовская и Фотинья. Следует также отметить достаточно специфические особенности короткостебельных сортов Гром и Донской сюрприз, сформировавших при

показателях ниже средних NDVI (0,78 единиц) и близкой к средней площади листовой поверхности (26,5 тыс. м<sup>2</sup>/га), превышающую средние значения площадь листовой поверхности на каждые 0,01 единиц NDVI.

### Выводы

Агроценозы различных сортов озимой пшеницы, имеющие в целом схожую направленность динамики фитометрических параметров в течение вегетации, заметно различались по оптико-биологическим свойствам, выражающимся в величинах NDVI.

В близких к среднемноголетним значениям гидротермических условиях при ГТК равном 0,49 мм/°С наименьшими средними за вегетацию значениями NDVI (0,58–0,59) из группы безостых характеризовались сорта Дон 95, Быстрица, Спартак, а также Станичная и Синтетик из группы остистых сортов. Ещё меньшую (0,57) величину данного показателя наблюдали в посевах короткостебельного сорта Гром. Наибольшими значениями NDVI (0,67) характеризовались посевы безостых сортов Жемчужина Поволжья, Колос Оренбуржья и Оренбургская 105, а также Рифей и Пионерская 32 из группы остистых сортов. В целом между средними за вегетацию значениями NDVI группы остистых (0,62) и безостых (0,63) сортов весомой разницы не наблюдали.

Вариабельность между сортами по наименьшему (Гром, Дон 95) и наибольшему (Колос Оренбуржья, Пионерская 32, Оренбургская 105) значениям NDVI в период максимального развития ассимиляционного аппарата составила 0,17–0,19 единиц (фаза полного весеннего кущения). К фазе колошения, когда NDVI составлял 0,78–0,79 и 0,85–0,85–0,85 единиц соответственно, указанная разница несколько нивелировалась, но в целом осталась весомой, на уровне 0,08–0,11 единиц (10,9–14,9 %). Наибольшей площадью листовой поверхности (30 тыс. м<sup>2</sup>/га) характеризовались посевы сортов Саратовская 17, Колос Оренбуржья, Оренбургская 105, Рифей и Пионерская 32.

Прямой межсортовой зависимости между площадью листовой поверхности и NDVI озимой пшеницы не выявлено. В целом по группе исследуемых сортов межсортовая вариация NDVI детерминирует не более 40,0 % межсортовой вариации площади листовой поверхности ( $R^2 = 0,38$ ). Различные сорта характеризовались индивидуальными значениями NDVI и площади листьев, выступающих индикаторами уровня развития и соответствия эталонным посевам.

Продолжение исследований предполагает выявление связей оптико-биологических свойств с урожайностью сортов, обладающих наибольшими адаптационными способностями и наивысшим урожайным ответом, адекватным современным климатическим и антропогенным изменениям. Перспективно построение сортовых графиков нарастания фитометрических параметров (по NDVI) в течение всей вегетации, соответствующих эталонным высокоурожайным посевам, и отработка технологических приёмов их оптимизации на основе интеллектуального «цифрового» земледелия.

*Исследование выполнено в рамках НИР ОФИЦ УрО РАН (ИС УрО РАН) «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем», № ГР АААА-А21-121011190016 -1.*

### Литература

1. Ramya K. T., Jan N., Ramya P., Singh P. K., Sing G. P., Arora A., Prabhu K. V. Genotypic variation for normalized difference vegetation index and its relationship with grain yield in wheat under terminal heat stress // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 2015. Vol. 75. No. 2. P. 174–182. DOI:10.5958/0975-6906.2015.00027.9.

2. Буховец А.Г., Семин Е.А., Костенко Е.И., Яблоновская С.И. Моделирование динамики вегетационного индекса NDVI озимой пшеницы в условиях ЦФО // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 2(57). С. 186–199.
3. Lessio A., Fissore V., Borgogno-Mondino E. Preliminary tests and results concerning integration of Sentinel-2 and Landsat-8 OLI for crop monitoring // Journal of Imaging. 2017. Vol. 3. No. 4. P. 49. DOI:10.3390/jimaging3040049.
4. Гулянов Ю. А. Мониторинг фитометрических параметров с использованием инновационных методов сканирования посевов // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 3(19). С. 64–76. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-3-19-64-76.
5. Ерошенко Ф. В., Сторчак И. Г., Шестакова Е. О. Площадь ассимиляционной поверхности и NDVI посевов озимой пшеницы // Земледелие. 2015. № 7. С. 37–39.
6. Cardia S., Remondino F., Dubbini M., De Gigio M., Gattelli M. Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images // Remote Sensing. 2015. Vol. 7. No. 4. P. 4026–4047. DOI:10.3390/rs70404026.
7. Гулянов Ю. А. Возможности интеллектуальных цифровых технологий в экологизации ландшафтно-адаптивного земледелия степной зоны // Известия Оренбургского ГАУ. 2019. № 4(78). С. 8–11.
8. Stupen M., Stupen N., Ryzhok Z., Stupen O. Application of satellite monitoring data for winter cereals growing in the Lviv Region // Geomatics and Environmental Engineering. 2020. Vol. 14. No. 4. P. 69–80. DOI: 10.7494/geom.2020.14.4.69.
9. Савин И. Ю., Танов Э. Р., Харзинов С. Использование вегетационного индекса NDVI для оценки качества пашни // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 77. С. 51–65.
10. Ерошенко Ф. В., Сторчак И. Г., Чернова И. В. Оценка состояния посевов методами экспесс-диагностики // Аграрный вестник Урала. 2019. № 7 (186). С. 19–25. DOI: 10.32417/article\_5d52af440f71b8.16701399.
11. Boori M. S., Choudhary K., Kupriyanov A. V. Crop growth monitoring through Sentinel and Landsat data based NDVI time-series // Computer optics. 2020. Vol. 44. No. 3. P. 409–419. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-635.
12. Плотников Д. Е., Ёлкина Е. С., Дунаева Е. А., Хвостиков С. А., Лупян Е. А., Барталёв С.А. Развитие метода автоматического распознавания озимых культур на основе спутниковых данных для оценки их состояния на территории Республики Крым // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 1(21). С. 64–82. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-64-83.
13. Nichiporovich Z. A., Radevich E. A. Experience using the NDVI normalized difference vegetation index for monitoring Polesye agricultural land based on multispectral Ikonos satellite imaging data // Journal of Applied Spectroscopy. 2012. Vol. 79. No. 4. P. 670–673. DOI: 10.1007/s10812-012-9656-5.
14. Гулянов Ю. А., Досов Д. Ж. Особенности формирования площади листьев и фотосинтетического потенциала при различном сочетании приёмов удобрения озимой пшеницы на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 3(47). С. 26–29.
15. Подлесных Н. В. Фотосинтетическая деятельность посевов разных видов озимой пшеницы в условиях лесостепи Центрального Черноземья // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (49). С. 19–29. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2016.2.19.
16. Ионова Е. В., Газе В. Л., Лиховидова В. А. Фотосинтетическая деятельность и динамика накопления сухой массы растений озимой мягкой пшеницы в зависимости от условий выращивания // Зерновое хозяйство России. 2020. № 1(67). С. 23–27. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-23-27.
17. Гулянов Ю. А., Чибилёв А. А., Чибилёв А. А. (мл). Резервы повышения урожайности и качества зерна озимой пшеницы и их зависимость от гетерогенности посевов в условиях степной зоны Оренбургского Предуралья // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. № 1. С. 79–88. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-79-88.
18. Брыксин В. М., Евтюшкин А. В., Рычкова Н. В. Прогнозирование урожайности зерновых культур на основе данных дистанционного зондирования и моделирования биопродуктивности // Известия Алтайского государственного университета. 2010. № 1-2. С. 89–93.
19. Терехин Э. А. Оценка сезонных значений вегетационного индекса (NDVI) для детектирования и анализа состояния посевов сельскохозяйственных культур // Исследование земли из космоса. 2015. № 1. С. 23–31. DOI: 10.7868/S0205961415010108.
20. Gulyanov Yu. A., Chibilev A. A., Levykin S. V., Silantieva M. M., Kazachkov G. V., Sokolova L. V. Ecological-based adaptation of agriculture to the soil and climatic conditions in Russian steppe // Ukrainian Journal of Ecology. 2019. Vol. 9(3). P. 393–398.
21. Gulyanov Yu. A., Chibilyov A. A., Levykin S. V., Yakovlev I. G. Modern climatic resources of the farming post-virgin land regions in Ural and West Siberia and their agricultural assessment // IOP Conf. Series “Earth and Environmental Science”. 2021. No. 624. P. 012226. DOI:10.1088/1755-1315/624/1/012226.

## References

1. Ramya K.T., Jan N., Ramya P., Singh P.K., Sing G.P., Arora A., Prabhu K.V. Genotypic variation for normalized difference vegetation index and its relationship with grain yield in wheat under terminal heat stress // *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2015. Vol. 75. No. 2. P. 174–182. DOI: 10.5958/0975-6906.2015.00027.9.
2. Bukhovets A. G., Semin E. A., Kostenko E. I., Iablonovskaia S. I. Simulation of the dynamic of the NDVI of winter wheat in the conditions of the Central Federal District // *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2018. No. 2(57). P. 186–199. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.2.186.
3. Lessio A., Fissore V., Borgogno-Mondino E. Preliminary tests and results concerning integration of Sentinel-2 and Landsat-8 OLI for crop monitoring // *Journal of Imaging*. 2017. Vol. 3. No. 4. P. 49. DOI: 10.3390/jimaging3040049.
4. Gulyanov Yu. A. Monitoring of the phytometric indications using innovative crops scanning methods // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2019. No. 3(19). P. 64–76. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-3-19-64-76.
5. Eroshenko F. V., Storchak I. G., Shestakova E. O. Area of assimilative surface and NDVI of winter wheat crops // *Zemledelie*. 2015. No. 7. P. 37–39.
6. Cardiago S., Remondino F., Dubbini M., De Gigio M., Gattelli M. Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images // *Remote Sensing*. 2015. Vol. 7. No. 4. P. 4026–4047. DOI:10.3390/rs70404026.
7. Gulyanov Yu. A. Opportunities of intelligent digital technologies in the ecologization of landscape-adaptive crop farming in the steppe zone // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019. No. 4(78). P. 8–11.
8. Stupen M., Stupen N., Ryzhok Z., Stupen O. Application of satellite monitoring data for winter cereals growing in the Lviv Region // *Geomatics and Environmental Engineering*. 2020. Vol. 14. No. 4. P. 69–80. DOI: 10.7494/geom.2020.14.4.69.
9. Savin I. Yu., Tanov E. R., Kharzinov S. The use of NDVI profiles for estimating the quality of arable lands (exemplified by the Baksan region in Kabardino-Balkaria) // *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2015. Vol. 77. P. 51–65.
10. Eroshenko F. V., Storchak I. G., Chernova I. V. Assessment of plant condition by express-diagnostic methods // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019. No. 7 (186). P. 19–25. DOI: 10.32417/article\_5d52af440f71b8.16701399.
11. Boori M. S., Choudhary K., Kupriyanov A. V. Crop growth monitoring through Sentinel and Landsat data based NDVI time-series // *Computer Optics*. 2020. Vol. 44. No. 3. P. 409–419. DOI:10.18287/2412-6179-CO-635.
12. Plotnikov D. E., Elkina E. S., Dunaeva Ie. A., Khvostikov S. A., Loupian E. A., Bartalev S. A. Development of the method for automatic winter crops mapping by means of remote sensing aimed at crops state assessment over the Republic of Crimea // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2020. No. 1(21). P. 64–82. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-64-83.
13. Nichiporovich Z. A., Radevich E. A. Experience using the NDVI normalized difference vegetation index for monitoring Polesye agricultural land based on multispectral Ikonos satellite imaging data // *Journal of Applied Spectroscopy*. 2012. Vol. 79. No. 4. P. 670–673. DOI: 10.1007/s10812-012-9656-5.
14. Gulyanov Yu. A., Dosov D. Zh. Peculiarities of leaf surface and the photosynthetic potential formation as result of using different methods of winter wheat fertilization on southern chernozems of Orenburg Preduralye // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2014. No. 3 (47). P. 26–29.
15. Podlesnykh N. V. Photosynthetic activity of crops of different types of winter wheat under conditions of the forest steppe of the Central Chernozem Region // *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2016. No. 2 (49). P. 19–29. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2016.2.19.
16. Ionova E. V., Gaze V. L., Likhovidova V. F. Photosynthetic activity and dynamics of dry mass of plants accumulation of winter soft wheat, depending on growing conditions // *Grain Economy of Russia*. 2020. No. 1(67). P. 23–27. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-23-27.
17. Gulyanov Yu. A., Chibilyov A.A., Chibilyov A.A. (Jr.). Reserves for the increase of yield and quality of winter wheat grain and their dependence on the heterogeneity of crops in the conditions of the steppe zone of the Orenburg Urals, Russia // *South of Russia: ecology, development*. 2020. Vol. 15. No. 1. P. 79–88. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-79-88.
18. Bryksin V. M., Yevtyushkin A. V., Rychkova N. V. Forecasting of grain crops productivity on basis of the remote sounding data and bio-productivity modeling // *Izvestiya of Altai State University*. 2010. No. 1-2. P. 89–93.
19. Terekhin E. A. Estimation of seasonal NDVI values for the detection and analysis of crop conditions // *Issledovanie Zemli Iz Kosmosa*. 2015. No. 1. P. 23–31. DOI: DOI: 10.7868/S0205961415010108.

20. Gulyanov Yu. A., Chibilev A. A., Levykin S. V., Silantieva M. M., Kazachkov G. V., Sokolova L.V. Ecological-based adaptation of agriculture to the soil and climatic conditions in Russian steppe // Ukrainian Journal of Ecology. 2019. Vol. 9(3). P. 393–398.

21. Gulyanov Yu. A., Chibilyov A. A., Levykin S. V., Yakovlev I.G. Modern climatic resources of the farming post-virgin land regions in Ural and West Siberia and their agricultural assessment // IOP Conf. Series “Earth and Environmental Science”. 2021. No. 624. P. 012226. DOI:10.1088/1755-1315/624/1/012226.

UDC 631/635:632.08:633.1

Gulyanov Yu. A., Nikolaev N. A., Yakovlev I. G.

### VARIETAL SPECIFICITY OF OPTO-BIOLOGICAL PROPERTIES AND PHYTOMETRIC PARAMETERS OF WINTER WHEAT CROPS

**Summary.** Identification of varietal specificity of opto-biological properties of field crops is necessary for adequate interpretation of satellite images, rapid determination of phytometric parameters of crops, indication of the level of their development and justification of corrective technological solutions. The aim of the research was to evaluate the opto-biological properties and phytometric parameters of diverse biological varieties of winter wheat; identify their relationship and inter-variety variability in high-tech reference crops based on satellite and ground monitoring. Field studies were conducted in 2019-2020 on the site of competitive ecological variety testing laid on the experimental field of the Orenburg State Agrarian University in the zone of the southern steppes of the Orenburg Cis-Urals (Preduralye). During the study, we found that agrocenoses of different winter wheat varieties differ markedly in opto-biological properties expressed in normalized difference vegetation index (NDVI) values. Varieties ‘Grom’, ‘Don 95’, ‘Bystritsa’, ‘Spartak’, ‘Stanichnaya’ and ‘Sintetik’ were characterized by the lowest average NDVI values during the growing season (0.57-0.59). Higher NDVI values (0.67) were observed in the crops of ‘Zhemchuzhina Povolzhya’, ‘Kolos Orenburzhya’, ‘Orenburgskaya 105’, ‘Rifey’ and ‘Pionerskaya 32’ varieties. The variability between the varieties according to the lowest (0.51 – ‘Grom’, 0.52 – ‘Don 95’) and the highest (0.69 – ‘Kolos Orenburzhya’, 0.70 – ‘Pionerskaya 32’, 0.69 – ‘Orenburgskaya 105’) NDVI values during the maximum assimilation apparatus development reached 0.17-0.19 units (phase of full spring tillering). By the heading, when NDVI was 0.78–0.79 and 0.85 units, respectively, this difference somewhat leveled but, in general, remained significant – at the level of 0.08-0.11 units (10.9–14.9 %). The largest leaf area (30 thousand m<sup>2</sup>/ha) was typical for the crops of ‘Saratovskaya 17’, ‘Kolos Orenburzhya’, ‘Orenburgskaya 105’, ‘Rifey’ and ‘Pionerskaya 32’. There was no direct inter-variety relationship between the leaf area and NDVI of winter wheat crops ( $R^2 = 0.38$ ).

**Keywords:** agrocenoses, opto-biological properties, phytometric parameters, space monitoring, steppe zone, winter wheat *Triticum aestivum* L.

Гулянов Юрий Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела степеведения и природопользования, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук (ИС УрО РАН) – обособленное структурное подразделение ФГБУН Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (ОФИЦ РАН); 460000, Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11; e-mail: iury.gulyanov@yandex.ru.

Николаев Николай Александрович, старший научный сотрудник управления по организации научных исследований и подготовке научных кадров, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет»; 460000, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18; e-mail: Shahov-V@yandex.ru.

Яковлев Илья Геннадьевич, кандидат географических наук, научный сотрудник отдела степеведения и природопользования, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук (ИС УрО РАН) – обособленное структурное подразделение Федерального государственного

бюджетного учреждения науки Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (ОФИЦ РАН), 460000, Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11; e-mail: russo-turisto01@mail.ru.

Gulyanov Yuriy Aleksandrovich, Dr. Sc. (Agr.), professor, leading researcher of the Department of steppe studying and environmental management, Institute of the Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences – a separate unit of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Orenburg Federal Research Center” of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 11, Pioneer str., Orenburg, 460000, Russia; e-mail: iury.gulyanov@yandex.ru.

Nikolaev Nikolay Aleksandrovich, senior researcher, Department for the organization of scientific research and training of scientific personnel, FSBEI of HE “Orenburg State Agrarian University”; 18, Chelyuskintsev str., Orenburg, 18460000, Russia; e-mail: Shahov-V@yandex.ru.

Yakovlev Ilya Gennad'evich, Cand. Sc. (Geogr.), researcher of the Department of steppe studying and environmental management, Institute of the Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences – a separate unit of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Orenburg Federal Research Center” of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 11, Pioneer str., Orenburg, 460000, Russia; e-mail: russo-turisto01@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 28.04.2021.*

*Дата принятия к печати – 15.05.2021.*



DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-61-74

579.64:632.51

Дидович С. В., Пась А. Н., Данилова И. Л., Алексеенко О. П.  
**БИОРАЦИОНАЛЬНЫЙ СПОСОБ ИНГИБИРОВАНИЯ РОСТА И РАЗВИТИЯ  
AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA L.**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** В настоящее время актуален поиск альтернативных химическим биологических средств защиты агроценозов от карантинных объектов – разных видов амброзии, причиняющих биологический и технологический ущерб окружающей среде и оказывающих негативное влияние на здоровье людей. Цель исследований – поиск биотически активных элиситоров растительного и микробного происхождения для индукции, реинфорса окислительного стресса и ингибирования роста *Ambrosia artemisiifolia* L. Поиск штаммов и их исследование проводили в 2019–2021 гг. в лабораторных и вегетационных опытах на базе НИИСХ Крыма. Растения амброзии полыннолистной выращивали в сосудах на черноземе южном, обрабатывали в фазе четырех–шести листьев биорациональными препаративными формами на основе микробных и растительных элиситоров, ПАВ в дозе 200 мкл/растение. Для приготовления биогербицидных композитов использовали штаммы-ингибиторы из коллекции НИИСХ Крыма (ККМ), растительные экстракты из амброзии полыннолистной, глицерин. Эффективность ингибирования оценивали через три недели после обработки по показателям высоты, фитомассы, антиоксидантному статусу и степени поражения амброзии. Выявлено семь штаммов, угнетающих рост растений на 0,13–1,08 г/растение в сравнении с контрольными вариантами – обработкой водой и бактеризацией фитопатогенным штаммом *Stagonosporopsis heliopsisidis* из коллекции ФГБНУ «ВНИИЗР». Впервые нами использованы амброзиевые БАВ для разработки биорациональных гербицидов и контроля численности амброзии полыннолистной. Бактеризация биорациональными препаративными формами на основе биотически активных элиситоров растительного и микробного происхождения влияет на гомеостаз амброзии полыннолистной, индуцирует стресс растения путем блокирования системы антиоксидантной защиты. В зависимости от компонентов биогербицидных препаративных форм активность каталаз и полифенолоксидаз снижалась в 2,9–85,6 и 1,2–658,0 раза соответственно с достоверной корреляцией между собой ( $r = 0,66$ ) и корреляцией активности каталаз с фитомассой растений ( $r = 0,72$ ); содержание глутатиона уменьшалось в 2,5–2,7 в сравнении с контролем, а также значимо коррелировало с активностью каталаз ( $r = 0,63$ ) и фитомассой амброзии полыннолистной ( $r = 0,80$ ) ( $p < 0,05$ ).

**Ключевые слова:** микроорганизмы, биогербициды, антиоксиданты, стресс, ингибирование роста, *Ambrosia artemisiifolia* L.

**Для цитирования:** Дидович С. В., Пась А. Н., Данилова И. Л., Алексеенко О. П. Биорациональный способ ингибирования роста и развития *Ambrosia artemisiifolia* L. // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 61–74. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-61-74.

**For citation:** Didovich S. V., Danilova I. L., Pas' A. N., Alekseenko O. P. Biorational method of *Ambrosia artemisiifolia* L. growth and development inhibition // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 61–74. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-61-74.

## Введение

Современные технологии выращивания сельскохозяйственных культур трудно представить без использования гербицидов, которые преобладают в объемах применения химических средств защиты растений как в РФ, так и за рубежом [1, 2]. Необходимым условием снижения пестицидной нагрузки в растениеводстве является разработка биологических и биорациональных средств защиты агро- и фитоценозов от сорных растений [3–5]. Некоторые биогербициды успешно коммерциализированы: «Stumpout» (произведен в ЮАР) на основе *Cylindrobasidium leave* (Fr.) Read, применяется против акаций в древесных питомниках; «Mallet WP» (произведен в США, Канаде) на основе *Colletotrichum gloeosporioides f. sp. malvae* против мальвы круглолистной *Malva pusilla* L. в посевах пшеницы, льна и чечевицы; «Camperico» (производится в Японии) на основе *Xanthomonas campestris pv. poae*, применяется против мятлика однолетнего *Poa annua* L. на площадках для гольфа [6, 7] и другие. Мировой арсенал биорациональных гербицидов представлен пока несколькими микробными препаратами, эфирными маслами из ряда растений (сосны, клевера, цитрусовых и некоторых других), кукурузным глютенном, уксусной кислотой, смесями жирных кислот [3].

Исследования в области поиска биоагентов для разработки биогербицидов от инвазивного карантинного сорного растения – амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.) актуальны и представлены во многих публикациях. Например, выявлен микогербицидный потенциал у штамма 32.85 *Stagonosporopsis heliopsisidis* (H.C.Green) Aveskamp, Gruyter & Verkley [8], выделен фитопатоген *Phyllachora ambrosiae* [9]; показано ингибирование растений амброзии при обработке возбудителем белой ржавчины *Albugo tragopogonis* [10]; опубликованы обзоры по использованию некоторых видов патогенных микромицетов на разных видах амброзии в Европе [5, 11]; обнаружен фитоингибирующий потенциал у штаммов фототрофных цианобактерий из Крымской коллекции микроорганизмов ФГБУН «НИИСХ Крыма» [12].

Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует, что цианобактерии способны к синтезу веществ с бактерицидной, фунгицидной и гербицидной активностью и токсичностью [13–18]. Цианобактерии производят разнообразное количество биологически активных метаболитов, в том числе токсинов [19]. Некоторые из этих соединений могут быть использованы в качестве альгицидов, фунгицидов, инсектицидов и гербицидов нового поколения.

*Ambrosia artemisiifolia* L. тоже может представлять интерес как фитоингибитор. Растения амброзии интенсивно синтезируют хлорогеновую, изохлорогеновую кислоты и эфирные масла, которые накапливаются в соцветиях, листьях и способны подавлять рост многих культурных растений [20]. Однако возможности применения фитотоксичных растительных компонентов из амброзии ограничены пока немногочисленными научными исследованиями [21].

Важным вопросом является изучение механизма ответной реакции растений на инфицирование патогеном и/или обработку фитоингибитором роста. В растительных клетках непрерывно протекают сложные химические процессы, которые регулируют ферменты. Их функциональный сбой приводит к стрессовым состояниям растения. Огромное количество работ посвящено роли пероксидазы в защитных механизмах растения как стресс-маркера и специфического фермента-антиоксиданта [22–24]. Пероксидазы клеточных стенок ответственны за регуляцию уровня и продукцию перекиси в ходе окислительного «взрыва» в ответ на действие элиситора из патогена. Антиоксидантный фермент каталаза обеспечивает защиту клеточных структур от разрушения, которое осуществляет перекись водорода.

Повышению стойкости растений к неблагоприятным стрессовым факторам способствует фермент-антиоксидант полифенолоксидаза, активность которого сопровождается снижением интенсивности дыхания и торможения процессов роста растения. Таким образом, определяется характер физиолого-биохимических процессов, обуславливающих степень адаптации и устойчивости растений к стресс-факторам.

Важна роль низкомолекулярных небелковых антиоксидантов растений (аскорбиновой кислоты и глутатиона), которые регулируют рост и развитие живых организмов, участвуют в защитных реакциях на неблагоприятные воздействия, предотвращают окислительные повреждения важнейших биомолекул [25]. Глутатион является субстратом для большого семейства многофункциональных ферментов глутатион-S-трансфераз при нейтрализации как внутренних продуктов окисления, так и токсичных ксенобиотиков [26]. Все эти знания являются базовыми для изучения стресса в растении.

**Цель исследований** – поиск биотически активных элиситоров растительного и микробного происхождения для индукции, реинфорса окислительного стресса и ингибирования роста *Ambrosia artemisiifolia* L.

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

Исследования проводили в 2019–20120 гг. В исследовании использованы штаммы фототрофных (цианобактерии) и гетеротрофных (бактерии, микромицеты) микроорганизмов из коллекции ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (<http://www.ckp-rf.ru/usu/507484/>), фитотоксичный для амброзии полыннолистной штамм *Stagonosporopsis heliopsisidis* из коллекции ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (<http://www.ckp-rf.ru/usu/200616/>). При первичном скрининге на гербицидную активность использовали водные суспензии новых и перспективных штаммов для обработки растений амброзии полыннолистной. В качестве микробных ингибиторных элиситоров использовали препаративные формы на основе микроорганизмов-фитоингибиторов.

Накопительную культуру штамма фототрофной цианобактерии получали на среде Громова в климатокамере при температурах +23–25 °С и контролируемом освещении с фотопериодом 12 ч [27]. Препаративные гомогенизированные цианобактериальные формы готовили из накопительных культур путем перемешивания дисперсных систем с жидкой средой на механическом гомогенизаторе 60 с при 20000 об./мин. Биомассу штаммов цианобактерий определяли по абсолютно сухой массе (а.с.м.) мг/мл среды гравиметрическим методом. Биомасса штаммов цианобактерий составляла  $0,1 \times 10^3$  мг а.с.м./мл суспензии и/или препаративной формы. Препаративные формы на основе штаммов гетеротрофных микроорганизмов готовили на рекомендованных питательных средах [28] с титром не менее  $10^8$  КОЕ/мл суспензии и/или препаративной формы для бактерий и массой мицелия 10–13 мг а.с.м./мл суспензии и препаративной формы для микромицетов.

Растительные элиситоры выделяли из растений амброзии полыннолистной. Эфирное масло получали методом Клевенджера (ГОСТ 34213-2017). Гидромодуль 1:5, 50 г сырья, 250 мл воды, время отгонки – 1 ч. Углеводородный экстракт получали методом экстракции полярным растворителем марки «нефрас П 1 63/75» при температуре кипения растворителя. Водно-спиртовой экстракт готовили экстрагированием сырья 70 % водно-спиртовым раствором этанола, настаиванием при температуре окружающей среды; 50 % водно-глицериновый экстракт (гидромодуль 1:5) получали экстракцией при кипении на водяной бане 1 ч.

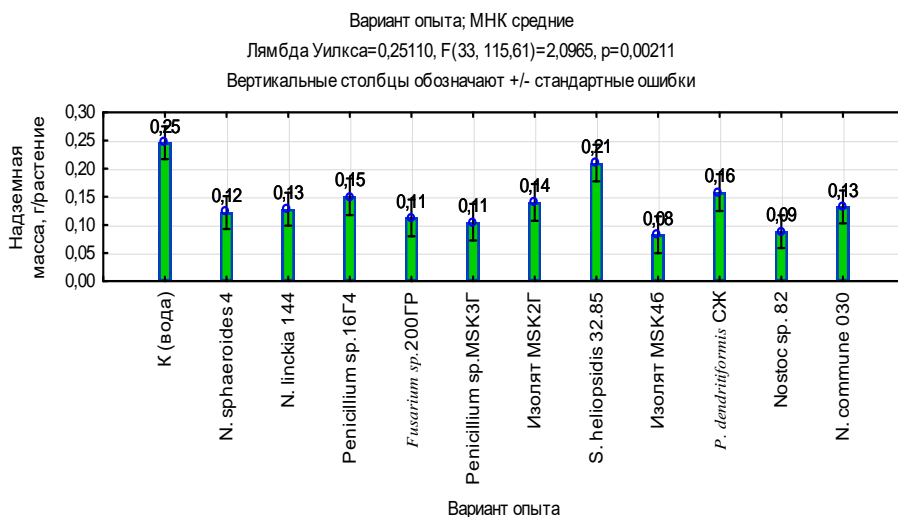
Растения *Ambrosia artemisiifolia* L. выращивали в сосудах с перфорированным дном емкостью 200 мл на черноземе южном в вегетационном опыте при естественном освещении и температуре 22–35 °С днем, 16–23 °С ночью. Повторность опытов шестикратная: шесть сосудов на каждый вариант и по одному растению в сосуде. Бактеризацию растений проводили путем опрыскивания в фазе четырех–шести листьев в дозе 200 мкл/растение и через три недели оценивали высоту и фитомассу амброзии полыннолистной, активность антиоксидантной системы в надземной части растения и степень поражения листьев. Площадь пораженной поверхности каждого листа растения определяли по 0-6-балльной шкале (0 – нет симптомов, 1 балл – >0–5 %, 2 балла – 6–25 %, 3 балла – 26–75 %, 4 балла – 76–95 %, 5 баллов – >95 %, 6 – гибель листа) [29]. Активность антиоксидантных ферментов (каталаз, пероксидаз, полифенолоксидаз) и содержание низкомолекулярных антиоксидантов небелковой природы (аскорбиновой кислоты, глутатиона) оценивали согласно методам [30].

Математическую обработку результатов исследования влияния различных факторов и процессов проводили с помощью корреляционного и дисперсионного анализа в программе Statistica\_10.

### Результаты и их обсуждение

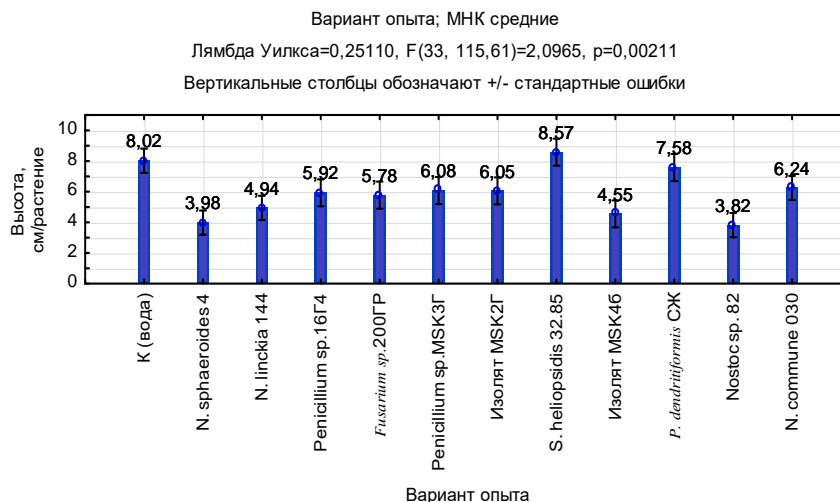
В 2019–2020 гг. в рамках грантовых и государственных научных проектов были проведены экспедиционные исследования в разных почвенно-климатических зонах Крыма по поиску микроорганизмов – фитопатогенов и ингибиторов различных сорных растений, что позволило выделить, пополнить ККМ и включить несколько штаммов и изолятов в исследование на растениях *Ambrosia artemisiifolia* L. в 2021 г.

В условиях вегетационного опыта на черноземе южном проведен скрининг десяти новых и перспективных штаммов микроорганизмов на гербицидную активность по отношению к амброзии полыннолистной. В контрольных вариантах растения обрабатывали водой и фитопатогенным штаммом *Stagonosporopsis heliopsisidis*. Установлено, что восемь штаммов из десяти исследуемых снижали фитомассу растений на 0,09–0,17 г/растение (36–68 %) по отношению к контролю без бактеризации ( $p < 0,05$ ); семь штаммов – на 0,13–1,08 г/растение (37–38 %) в сравнении с фитопатогенным штаммом *S. heliopsisidis* ( $p < 0,05$ ) (рисунок 1).



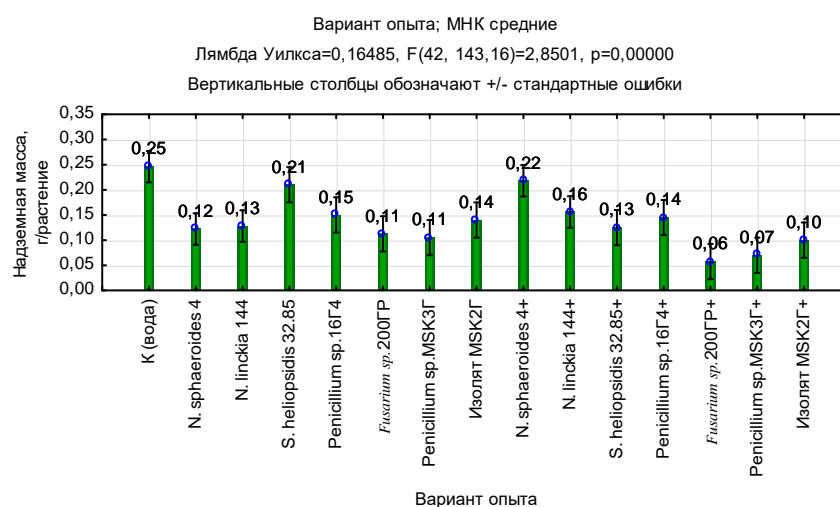
**Рисунок 1 – Влияние бактеризации штаммами микроорганизмов на надземную фитомассу амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

При разработке биорациональных гербицидов кроме микробного компонента используют различные поверхностно-активные вещества (ПАВ), питательные компоненты, растительные масла, эмульгаторы и т.д. [31, 32]. Ориентируясь на немногочисленные литературные экспериментальные данные, в препаративные формы добавляли по 1 % ПАВ и полученных растительных экстрактов из амброзии.



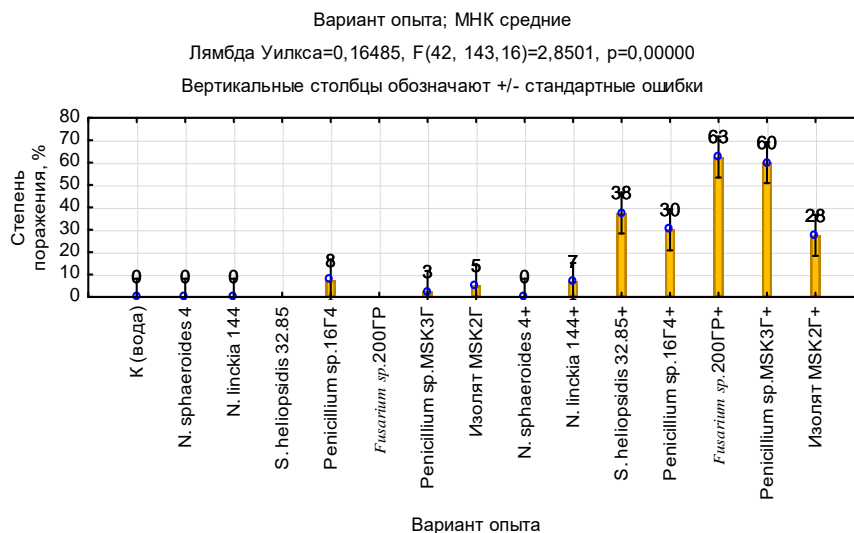
**Рисунок 2 – Влияние бактериализации штаммами микроорганизмов на высоту амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2001 г.)**

Изучали влияние препаративных форм на основе штаммов-ингибиторов с добавлением в среду поверхностно-активного вещества глицерина и хлорида натрия на ингибирование растений амброзии в вегетационном опыте. Выявлено, что обработка монопрепаративными формами достоверно снижала фитомассу растений на 0,08–0,1 г/растение (38,1–47,6 %) в сравнении с вариантом бактериализации фитопатогеном *S. heliopsisidis*, исключая обработку штаммом *Penicillium sp.* 16 Г4 и изолятом микровицета MSK2Г (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Влияние бактериализации биорациональными препаративными формами на фитомассу амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

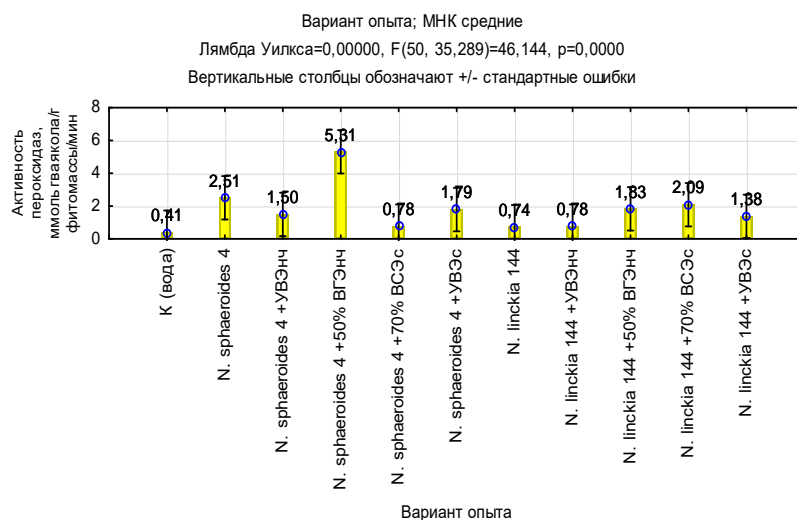
Установлено, что при введении в препаративную форму глицерина и хлорида натрия во всех вариантах (кроме *N. sphaeroides* 4, *N. linckia* 144) степень поражения была достоверно высокой и составляла 28–63 % (рисунок 4), фитомасса растений снижалась для варианта обработки со штаммом *S. heliopsisidis* на 0,08 г/растение (38 %), *Fusarium sp.* – на 0,05 г/растение (45 %) в сравнении с монокомпозиатами ( $p < 0,05$ ) (см. рисунок 3).



**Рисунок 4 – Влияние бактериализации биорациональными препаративными формами на степень поражения амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

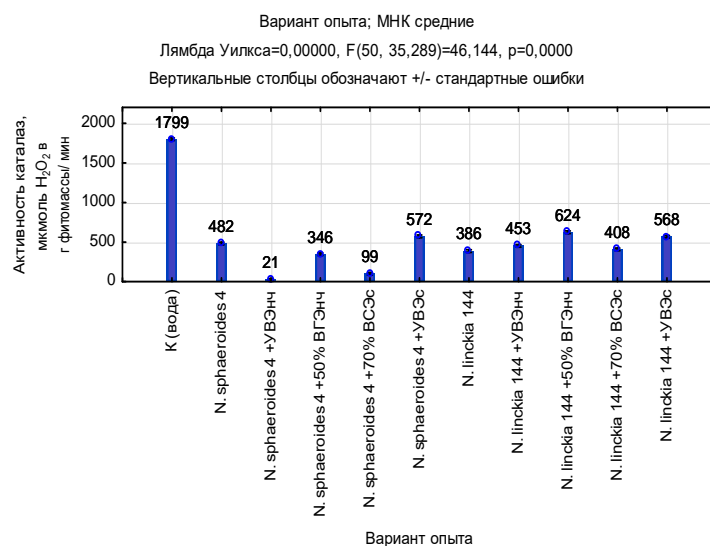
Выдвинутая нами гипотеза о возможности блокирования стрессоустойчивости растений за счет воздействия поликомплексной обработки растительными веществами из амброзии и микроорганизмами-ингибиторами роста растений была проверена в условиях вегетационного опыта. Нами экстрагированы биологически активные вещества (БАВ) из надземной части (нч) амброзии полыннолистной: углеводородный экстракт (УВЭ) с содержанием 0,109 % летучих ароматических соединений (ЛАС); 50 % водно-глицериновый экстракт (ВГЭ) с содержанием ЛАС – 0,031 %. Из семян (с) амброзии получены: углеводородный экстракт (УВЭ) с 0,025 % ЛАС и 70 % водно-спиртовой экстракт (ВСЭ) с 0,032 % ЛАС. Следует подчеркнуть, что амброзиевые БАВ впервые нами были применены для разработки биорациональной гербицидной препаративной формы и использованы для контроля численности амброзии полыннолистной. Научная новизна такого исследования подтверждается отсутствием в доступной нам отечественной и мировой научной литературе аналогичных исследовательских работ.

Оценку активности антиоксидантных ферментов проводили через три недели после бактериализации. Активность пероксидаз в варианте с композитом на основе штамма *N. sphaeroides* и 50 % водно-глицериновым экстрактом превышала уровень контроля на 4,89 ммоль гваякола/г фитомассы/мин в 13 раз (рисунок 5). В остальных вариантах активность пероксидаз бактериализованных растений была на уровне контроля, что свидетельствует об отсутствии так называемого «пероксидазного взрыва» [22] и исключает формирование патосистемы на амброзии после обработки, то есть мы наблюдаем иной механизм влияния. Более детальное оценивание различий попарных сравнений изучаемых вариантов при помощи консервативного апостериорного критерия Дункана (Duncan's test) показало достоверность данной разницы на уровне  $p = 0,04$ .



**Рисунок 5 – Влияние бактеризации биорациональными препаративными формами на активность пероксидаз в фитомассе амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 гг.)**

Исследовали влияние обработки растений полифункциональными препаративными формами на активность каталаз в растении. Выявлено существенное ингибирование активности данного фермента-антиоксиданта в 2,9–85,6 раза в сравнении с контролем, что подтверждено при помощи критерия Дункана на высоком уровне значимости  $p = 0,000023–0,000170$ . Максимальное ингибирование активности каталаз растений в 18,2–85,6 раз установлено в вариантах с препаративными формами на основе штамма *N. sphaeroides* с углеводородным экстрактом из надземной части растения и водно-спиртовым экстрактом из семян в сравнении с контролем и в 4,9–23,0 раза по сравнению с монокомпонентной формой (рисунок 6).



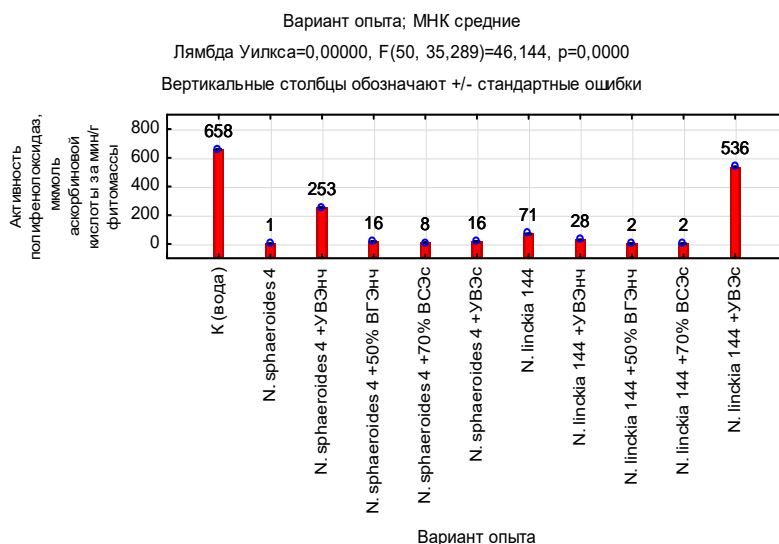
**Рисунок 6 – Влияние бактеризации биорациональными препаративными формами на активность каталаз в фитомассе амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 гг.)**

Экспериментальные данные свидетельствуют, что применение биорациональных гербицидных форм снижало активность антиоксидантного фермента полифенолоксидазы в 1,2–658,0 раз в сравнении с контролем и в

зависимости от микробного компонента и растительных БАВ с высокой достоверностью критерия Дункана  $p = 0,000023-0,000170$  (рисунок 7).

Препаративная форма на основе штамма *N. sphaeroides* ингибировала активность данного фермента в 658,0 раза в сравнении с контролем и в 71,0 раза в сравнении с препаративной формой на основе штамма *N. linckia*. Обработка препаративными формами со штаммом *N. linckia* и растительными элиситорами угнетала активность полифенолоксидаз в 2,5–35,5 раза (кроме варианта со штаммом *N. linckia* и углеводородным экстрактом из семян амброзии полыннолистной) в сравнении с препаративной формой на основе данного штамма.

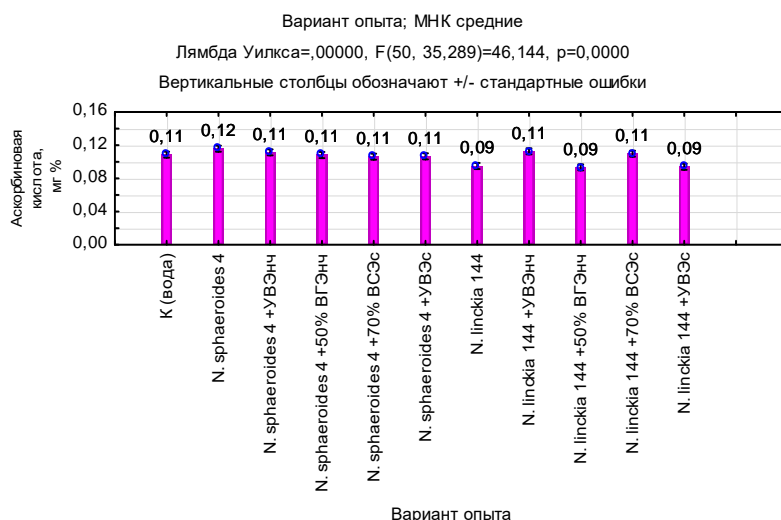
Исследовали влияние бактеризации на содержание в растениях важнейших низкомолекулярных антиоксидантов неферментативной природы, так называемых индикаторов окислительного стресса – аскорбиновой кислоты и глутатиона. Наши наблюдения показали, что содержание аскорбиновой кислоты в растениях варьировало в зависимости от применяемого штамма и поликомпонентных препаративных форм. Максимальное снижение на 0,02 мг % (18,2 %) выявлено при обработке препаративной формой на основе штамма *N. linckia* и композитов данного штамма с 50 % водно-глицериновым экстрактом из надземной части растений, углеводородным экстрактом из семян на уровне достоверности согласно консервативного апостериорного критерия Дункана  $p = 0,022-0,034$  (рисунок 8).



**Рисунок 7 – Влияние бактеризации биорациональными препаративными формами на активность полифенолоксидаз в фитомассе амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

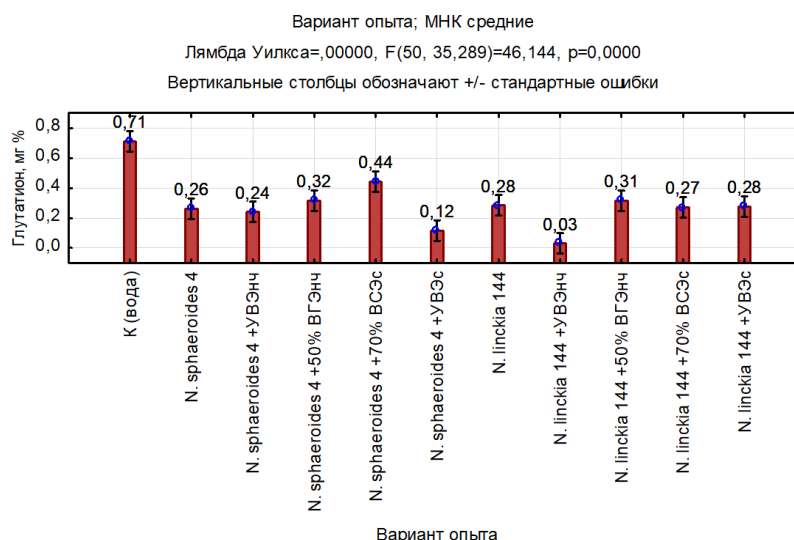
Результаты эксперимента показывают, что применение биорациональных препаративных форм существенно влияло на содержание глутатиона в растениях. В контроле отмечали оптимум содержания данного антиоксиданта в количестве 0,71 мг %. Обработка штаммами *N. sphaeroides* и *N. linckia* существенно снижала содержание глутатиона соответственно в 2,7 и 2,5 раза на уровне значимости критерия Дункана  $p = 0,0016$  и  $0,0018$ .





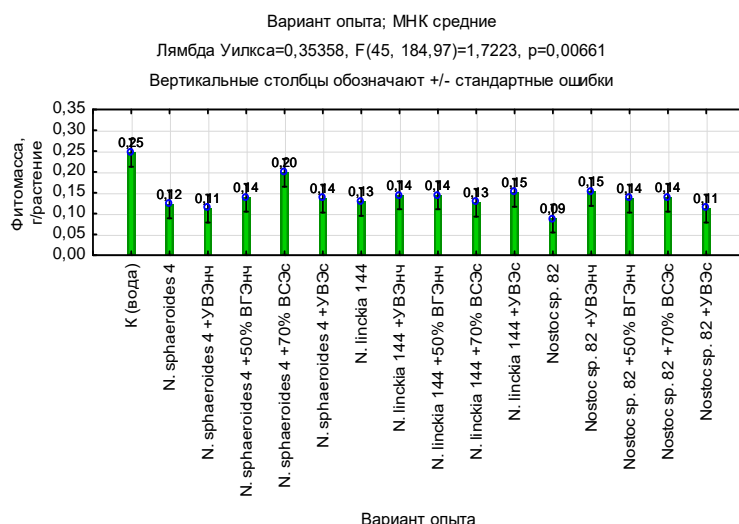
**Рисунок 8 – Влияние бактериализации биорациональными препаративными формами на содержание аскорбиновой кислоты в фитомассе амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

Установлено, что применение двух препаративных форм на основе штамма *N. sphaeroides* и углеводородного экстракта из семян, штамма *N. linckia* и углеводородного экстракта из надземной части растений существенно блокировало образование глутатиона в 2,2 и 9,3 раза соответственно на уровне значимости  $p < 0,05$ , достоверность по тесту Дункана выявлена в последнем случае на уровне  $p = 0,037$  (рисунок 9).



**Рисунок 9 – Влияние бактериализации биорациональными препаративными формами на содержание глутатиона в фитомассе амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

Гербицидную эффективность бактериализации поликомпонентными препаративными формами оценивали по интегрирующему показателю – фитомассе растений. Установлено, что во всех вариантах бактериализации фитомасса снижалась в 1,3–2,7 раза ( $p = 0,05$ ) в сравнении с контролем (рисунок 10).



**Рисунок 10 – Влияние бактериализации биорациональными препаративными формами на фитомассу амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

В системе «бактериализация – антиоксидантный статус растений – продуктивность амброзии полыннолистной» установлены значимые корреляционные связи активности каталаз с активностью пероксидаз ( $r = 0,66$ ), содержанием антиоксиданта глутатиона ( $r = 0,63$ ) и фитомассой растений ( $r = 0,72$ ), которая, кроме того, достоверно коррелировала с содержанием глутатиона в растениях ( $r = 0,80$ ).

### Выводы

В результате скрининга новых и перспективных штаммов микроорганизмов на гербицидную активность по отношению к амброзии полыннолистной из десяти выявлено семь штаммов, угнетающих рост растений на 0,13–1,08 г/растение (37–38 %) в сравнении с фитопатогенным штаммом *S. heliopsisidis*.

Экспериментально показано, что при использовании глицерина и хлорида натрия в препаративных формах на основе штаммов *S. heliopsisidis* и *Fusarium sp.* достоверно снижалась фитомасса соответственно на 0,08 г/растение (38 %) и 0,05 г/растение (45 %) в сравнении с монокомпонентными биогербицидными композитами.

Впервые нами использованы амброзиевые БАВ для разработки биорациональной гербицидной препаративной формы для контроля численности амброзии полыннолистной. Установлено, что бактериализация биорациональными препаративными формами на основе биотически активных элиситоров растительного и микробного происхождения влияет на гомеостаз амброзии полыннолистной и индуцирует окислительный стресс растения посредством блокирования системы антиоксидантной защиты. В зависимости от компонентов биогербицидных препаративных форм, активность каталаз и полифенолоксидаз снижалась соответственно в 2,9–85,6 и 1,2–658,0 раза с достоверной корреляцией между собой ( $r = 0,66$ ); содержание глутатиона уменьшалось в 2,5–2,7 и коррелировало с активностью каталаз ( $r = 0,63$ ) и фитомассой амброзии полыннолистной ( $r = 0,80$ ) ( $p < 0,05$ ).

*Исследование выполнено в рамках Госзадания РАН №0834-2019-0003 и гранта РФФИ №20-416-910005 p\_a\_Республика Крым.*

### Литература

1. Захарычев В. В. Химия гербицидов: учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 592 с.
2. Jeschke P. Progress of modern agricultural chemistry and future prospects // Pest Manag. Sci. 2015. No. 72(3). P. 433–455. DOI: 10.1002/ps.4190.
3. Берестецкий А. О. Перспективы разработки биологических и биорациональных гербицидов // Вестник защиты растений. 2017. № 1(91). С. 5–12.
4. Radhakrishnan R. Introductory Chapter: need of bioherbicide for weed control // In book: Biological Approaches for Controlling Weeds. 2018. DOI: 10.5772/intechopen.77958.
5. Shaw R., Schaffner U., Marchante E. The regulation of biological control of weeds in Europe – an evolving landscape // EPPO Bull. 2016. Vol. 46. P. 254–258. DOI: 10.1111/epp.12308.
6. Copping L. G., Duke S. O. Natural products that have been used commercially as crop protection agents // Pest Manag. Sci. 2007. Vol. 63. Iss. 6. P. 524–554. DOI: 10.1002/ps.1378.
7. Duke S. O., Owens D. K., Dayan F. E. The growing need for biochemical bioherbicides. In: «Biopesticides: State of the Art and Future Opportunities» ACS Symposium Series // American Chemical Society. 2014. Vol. 117. P. 31–43. DOI: 10.1021/bk-2014-1172.ch003.
8. Гасич Е. Л., Гомжина М. М., Хлопунова Л. Б., Ганнибал Ф. Б. Первая находка *Stagonosporopsis heliopsisidis* (Pleosporales) на территории России и перспективы его применения против амброзии полыннолистной // Микология и фитопатология. 2018. Т. 52(4). С. 277–290. DOI: 10.1134/S0026364818040062.
9. Vajna L., Bohar G., Kiss L. First report of *Phyllachora ambrosiae* in Europe causing epidemics on common ragweed // Plant Disease. 2000. Vol. 84. No. 4. P. 489. DOI: 10.1094/PDIS.2000.84.4.489A.
10. Дергунов А. В., Никольский М. А. Биологическая борьба с амброзией на виноградниках как средство защиты экологии курортов юга России // Виноградарство и виноделие. 2015. Т. 45. С. 65–68.
11. Gerber E., Schaffner U., Gassmann A., Hinz H. L., Seier M., Muller-Scharer H. Prospects for biological control of *Ambrosia artemisiifolia* in Europe: Learning from the past // Weed Research. 2011. No. 51(6). P. 559–573. DOI: 10.1111/j.1365-3180.2011.00879.x.
12. Didovich S. V., Alekseenko O. P., Pas A. N., Didovich A. N. Phototrophic microorganisms for agricultural technology and food security // IOP Conference. Series “Earth and Environmental Science”. 2020. Vol. 422. P. 12–42. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012042.
13. Голлербах М. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 227 с.
14. Abdel-Hafez S. I. I., Abo-Elyousr K. A. M., Abdel-Rahim I. R. Fungicidal activity of extracellular products of cyanobacteria against *Alternaria porri* // Eur. J. Phycol. 2015. Vol. 50. P. 239–245. DOI: 10.1080/09670262.2015.1028105.
15. Senhorinho G. N. A., Ross G. M., Scott J. A. Cyanobacteria and eukaryotic microalgae as potential sources and antibiotics // Phycologia. 2015. Vol. 54. No. 3. P. 271–282. DOI: 10.2216/14-092.1.
16. Shishido T. K., Humisto A., Jokela J., Liu L., Wahlsten M., Tamrakar A., Fewer D. P., Permi P., Andreote A. P. D., Fiore M. F., Sivonen K. Antifungal compounds from cyanobacteria // Mar. Drugs. 2015. Vol. 13. No. 4. P. 2124–2140. DOI: 10.3390/md13042124.
17. Singh S., Kate B. N., Banerjee U. C. Bioactive compounds from cyanobacteria and microalgae: an overview // Critical Reviews in Biotechnology. 2005. Vol. 25. P. 73–95. DOI: 10.1080/07388550500248498.
18. Volk R. B., Furkert F. Antialgal, antibacterial and antifungal activity of two metabolites produced and excreted by cyanobacteria during growth // Microbiol. Res. 2006. Vol. 161. P. 180–186. DOI: 10.1016/j.micres.2005.08.005.
19. Berry J. P., Gantar M., Perez M. H., Berry G., Noriega F. G. Cyanobacterial toxins as allelochemicals with potential applications as algaecides, herbicides and insecticides // Mar Drugs. 2008. Vol. 6. Iss. 2. P. 117–146. DOI: 10.3390/md20080007.
20. Пархоменко А. Ю. Изучение химического состава амброзии полыннолистной с целью получения фармакологически активных веществ. Дисс. ... канд. фарм. наук. Пятигорск: ГУ «Пятигорская государственная фармацевтическая академия», 2004. 124 с.
21. Глубшева Т. Н. Влияние настоя из амброзии полыннолистной на важнейшие сельскохозяйственные культуры // Научные Ведомости Белгородского Государственного Университета. Серия: Естественные Науки. 2010. № 9 (80). Вып. 11. С. 55–58.
22. Максимов В. И., Черепанова Е. А. Про-/антиоксидантная система и устойчивость растений к патогенам // Успехи современной биологии. 2006. Т. 126. № 3. С. 250–261.
23. Bolwell G. P., Bindschedler L. V., Blee K. A., Butt V. S., Davies D. R., Gardner S. L., Gerrish C., Minibayeva F. The apoplastic oxidative burst in response to biotic stress in plants: a tree component system // J. Exp. Bot. 2002. Vol. 53. Iss. 372. P. 1367–1376. DOI: 10.1093/jxb/53.372.1367.
24. Zhao L., Sakai K. Peroxidases are involved in biosynthesis and biodegradation of P-thujaplicin in fungal elicitor-treated *Cupressus lusitanica* cell cultures // New Phytopath. 2003. Vol. 159. P. 719–731. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2003.00841.x.

25. Шарова Е. И. Антиоксиданты растений: учеб. пособие. Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2016. 140 с.
26. Marrs K. The functions and regulation of glutathione S-transferases in plants // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 1996. Vol. 47. P. 127–158. DOI: 10.1146/annurev.arplant.47.1.127.
27. Temraleeva A. D., Dronova S. A., Moskalenko S. V., Didovich S.V. Modern methods for isolation, purification, and cultivation of soil cyanobacteria // Microbiology (Microbiologiya). 2016. Vol. 85. No. 4. P. 389–399. DOI: 10.1134/S0026261716040159.
28. Експериментальна ґрунтова мікробіологія: монографія // За ред. Волкогона В.В. К.: Аграрна наука, 2010. 464 с.
29. Pflirter H., Defago G. The potential of *Stagonospora sp.* as a mycoherbicide for field bindweed // Biocontrol Science and Technology. 1998. Vol. 8. P. 93–101.
30. Грицаенко З. М., Грицаенко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К.: Нічлава, 2003. С. 34–125.
31. Bailey B. A., O'Neill N. R., Anderson J. D. Influence of adjuvants on disease development by *Pleospora papaveracea* on opium poppy (*Papaver somniferum*) // Weed Sci. 2004. Vol. 52. No. 3. P. 424–432. DOI: 10.1614/WS-03-017R1.
32. Womack J. G., Eccleston G. M., Burge M. N. A vegetable oil-based invert emulsion for mycoherbicide delivery // Biological control. 1996. Vol. 6. No. 1. P. 23–28.

### References

1. Zakharychev V. V. Chemistry of herbicides: textbook for universities. Saint-Petersburg: Lan, 2021. 592 p.
2. Jeschke P. Progress of modern agricultural chemistry and future prospects // Pest Manag. Sci. 2015. No. 72(3). P. 433–455. DOI: 10.1002/ps.4190.
3. Berestetskiy A. O. Prospects for development of biological and biorational herbicides // Plant Protection News. 2017. No.1(91). P. 5–12.
4. Radhakrishnan R. Introductory chapter: need of bioherbicide for weed control // In book: Biological Approaches for Controlling Weeds. 2018. DOI: 10.5772/intechopen.77958.
5. Shaw R., Schaffner U., Marchante E. The regulation of biological control of weeds in Europe – an evolving landscape // EPPO Bull. 2016. Vol. 46. P. 254–258. DOI: 10.1111/epp.12308.
6. Copping L. G., Duke S. O. Natural products that have been used commercially as crop protection agents // Pest Manag. Sci. 2007. Vol. 63. Iss. 6. P. 524–554. DOI: 10.1002/ps.1378.
7. Duke S. O., Owens D. K., Dayan F. E. The growing need for biochemical bioherbicides. In: «Biopesticides: State of the Art and Future Opportunities» ACS Symposium Series // American Chemical Society. 2014. Vol. 117. P. 31–43. DOI: 10.1021/bk-2014-1172.ch003.
8. Gasich E. L., Gomzhina M. M., Khlopunova L. B., Gannibal Ph. B. The first finding of *Stagonosporopsis heliopsisidis* (Pleosporales) in Russia and its mycoherbicide potential against *Ambrosia artemisiifolia* // Mycology and phytopatology. 2018. Vol. 52. No. 4. P. 277–290. DOI: 10.1134/S0026364818040062.
9. Vajna L., Bohar G., Kiss L. First report of *Phyllachora ambrosiae* in Europe causing epidemics on common ragweed // Plant Disease. 2000. Vol. 84. No. 4. P. 489. DOI: 10.1094/PDIS.2000.84.4.489A.
10. Dergunov A. V., Nikolskii M. A. Biological control of ragweed in vineyards as a measure to protect the ecology of resorts in the south of Russia // Viticulture and Winemaking. 2015. Vol. 45. P. 65–68.
11. Gerber E., Schaffner U., Gassmann A., Hinz H. L., Seier M., Muller-Scharer H. Prospects for biological control of *Ambrosia artemisiifolia* in Europe: learning from the past // Weed Research. 2011. No. 51(6). P. 559–573. DOI: 10.1111/j.1365-3180.2011.00879.x.
12. Didovich S. V., Alekseenko O. P., Pas A. N., Didovich A. N. Phototrophic microorganisms for agricultural technology and food security // IOP Conference. Series “Earth and Environmental Science”. 2020. Vol. 422. P.12–42. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012042.
13. Gollerbach M. M., Shtina E. A. Soil algae. Leningrad: Nauka, 1969. 227 p.
14. Abdel-Hafez S. I. I., Abo-Elyousr K. A. M., Abdel-Rahim I. R. Fungicidal activity of extracellular products of cyanobacteria against *Alternaria porri* // Eur. J. Phycol. 2015. Vol. 50. P. 239–245. DOI: 10.1080/09670262.2015.1028105.
15. Senhorinho G. N. A., Ross G. M., Scott J. A. Cyanobacteria and eukaryotic microalgae as potential sources and antibiotics // Phycologia. 2015. Vol. 54. No. 3. P. 271–282. DOI: 10.2216/14-092.1.
16. Shishido T. K., Humisto A., Jokela J., Liu L., Wahlsten M., Tamrakar A., Fewer D. P., Permi P., Andreote A. P. D., Fiore M. F., Sivonen K. Antifungal compounds from cyanobacteria // Mar. Drugs. 2015. Vol. 13. No. 4. P. 2124–2140. DOI: 10.3390/md13042124.
17. Singh S., Kate B. N., Banerjee U. C. Bioactive compounds from cyanobacteria and microalgae: an overview // Critical Reviews in Biotechnology. 2005. Vol. 25. P. 73–95. DOI: 10.1080/07388550500248498.

18. Volk R. B., Furkert F. Antialgal, antibacterial and antifungal activity of two metabolites produced and excreted by cyanobacteria during growth // *Microbiol. Res.* 2006. Vol. 161. P. 180–186. DOI: 10.1016/j.micres.2005.08.005.
19. Berry J. P., Gantar M., Perez M. H., Berry G., Noriega F. G. Cyanobacterial toxins as allelochemicals with potential applications as algacides, herbicides and insecticides // *Mar Drugs.* 2008. Vol. 6. Iss. 2. P. 117–146. DOI: 10.3390/md20080007.
20. Parkhomenko A. Yu. Study of the chemical composition of ragweed in order to obtain pharmacologically active substances. Diss. ... Cand. Sc. (Pharm.). Pyatigorsk: SE “Pyatigorsk State Pharmaceutical Academy”. 2004. 124 p.
21. Glubsheva T. N. Influence of *Ambrosia artemisiifolia* infusion on the main agricultural crops // “Scientific bulletins of the Belgorod State University. Series: Natural Sciences”. 2010. No. 9 (80). Iss. 11. P. 55–58.
22. Maksimov V. I., Cherepanova E. A. Pro-/antioxidant system and resistance of plants to pathogens // *Uspekhi sovr. boil.* 2006. Vol. 126. No. 3. P. 250–261.
23. Bolwell G. P., Bindschedler L. V., Blee K. A., Butt V. S., Davies D. R., Gardner S. L., Gerrish C., Minibayeva F. The apoplastic oxidative burst in response to biotic stress in plants: a tree component system // *J. Exp. Bot.* 2002. Vol. 53. Iss. 372. P. 1367–1376. DOI: 10.1093/jxb/53.372.1367.
24. Zhao L., Sakai K. Peroxidases are involved in biosynthesis and biodegradation of P-thujaplicin in fungal elicitor-treated *Cupressus lusitanica* cell cultures // *New Phytopath.* 2003. Vol. 159. P.719–731. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2003.00841.x.
25. Sharova E. I. Antioxidants of plants: textbook. Saint-Petersburg: Publishing house of St. Petersburg University, 2016. 140 p.
26. Marrs K. The functions and regulation of glutathione S-transferases in plants // *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 1996. Vol. 47. P. 127–158. DOI: 10.1146/annurev.arplant.47.1.127.
27. Temraleeva A. D., Dronova S. A., Moskalenko S. V., Didovich S.V. Modern methods for isolation, purification, and cultivation of soil cyanobacteria // *Microbiology (Microbiologiya).* 2016. Vol. 85. No. 4. P. 389–399. DOI: 10.1134/S0026261716040159.
28. Experimental soil microbiology: monograph // Ed. by Volkogon V. V. Kiev: Agrarna nauka, 2010. 446 p.
29. Pflirter H., Defago G. The potential of *Stagonospora sp.* as a mycoherbicide for field bindweed // *Biocontrol Science and Technology.* 1998. Vol. 8. P. 93–101.
30. Gritsayenko Z. M., Gritsayenko A. O., Karpenko V. P. Methods of biological and agrochemical research of plants and soils. Kiev: Nichlava, 2003. P. 34–125.
31. Bailey B. A., O'Neill N. R., Anderson J. D. Influence of adjuvants on disease development by *Pleospora papaveracea* on opium poppy (*Papaver somniferum*) // *Weed Sci.* 2004. Vol. 52. No. 3. P. 424–432. DOI: 10.1614/WS-03-017R1.
32. Womack J. G., Eccleston G. M., Burge M. N. A vegetable oil-based invert emulsion for mycoherbicide delivery // *Biological control.* 1996. Vol. 6. No. 1. P. 23–28.

UDC 579.64:632.51

Didovich S. V., Danilova I. L., Pas' A. N., Alekseenko O. P.

### **BIORATIONAL METHOD OF AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA L. GROWTH AND DEVELOPMENT INHIBITION**

**Summary.** Currently, the search for biological agents that are alternative to chemical ones to protect agrocenoses from weeds, including quarantine objects like different types of ragweed, is relevant because they cause biological and technological damage to the environment, agriculture and have a negative impact on human health. The research was aimed at searching for biotically active elicitors of plant and microbial origin for the induction, reinforce of oxidative stress and inhibition of *Ambrosia artemisiifolia* L. growth. Strains were searched for and studied in 2019–2020 in laboratory experiments and greenhouse trials in the Research Institute of Agriculture of Crimea. Ragweed plants were grown in pots. Soil – chernozem southern. In the phase of 4–6 leaves, plants were treated with biorational preparative forms based on microbial and plant elicitors at a dose of 200 mkl/plant. For bioherbicide composites, strains-inhibitors from the Research Institute of Agriculture of Crimea collection (CCM), plant extracts from the ragweed and glycerin were used. The inhibition efficiency was evaluated three weeks after treatment. The indices of height, phytomass, antioxidant status and ragweed damage degree were taken into account. We identified seven strains that inhibited plant growth by 0.13–1.08 g/plant (37–38 %) compared to the control variants: 1) water treatment, 2)

*bacterization with a phytopathogenic strain of Stagonosporopsis heliopsisidis from the All-Russian Scientific Research Institute of Plant Protection collection. For the first time, we used ambrosia BAS to develop a biorational herbicide to control the ragweed. Bacterization with biorational preparative forms based on biotically active elicitors of plant and microbial origin affected the homeostasis of ragweed, induced plant stress by blocking the enzymatic activity and the antioxidant protection systems. The activity of catalases and polyphenoloxidases decreased by 2.9–85.6 and 1.2–658.0 times, respectively, with a significant correlation between themselves ( $r = 0.66$ ) and the correlation of catalase activity with plant phytomass ( $r = 0.72$ ). The content of glutathione decreased by 2.5–2.7 compared to the control and had significant correlations with the activity of catalases ( $r = 0.63$ ) and the phytomass of ragweed ( $r = 0.80$ ) ( $p < 0.05$ ) depending on the components of the bioherbicidal formulations.*

**Keywords:** microorganisms, bioherbicides, antioxidants, stress, growth inhibition, *Ambrosia artemisiifolia* L.

Дидович Светлана Витальевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150, Россия; e-mail: sv-alex.68@mail.ru.

Данилова Ирина Львовна, научный сотрудник отдела переработки и стандартизации эфиромасличного сырья, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: isocrimea@gmail.com.

Пась Анна Николаевна, младший научный сотрудник, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; annapass@mail.ru.

Алексеенко Ольга Петровна, младший научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; olya.alekseenko1975@gmail.com.

Didovich Svetlana Vital'evna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: sv-alex.68@mail.ru.

Danilova Irina Lvovna, researcher of Department of processing and standardization of essential oil raw materials, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: isocrimea@gmail.com.

Pas' Anna Nikolaevna, junior researcher of the Laboratory of plant-microbe interaction, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150 Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: annapass@mail.ru.

Alekseenko Olga Petrovna, junior researcher of the Laboratory of plant-microbe interaction, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150 Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: olya.alekseenko1975@gmail.com.

*Дата поступления в редакцию – 22.08.2021.*

*Дата принятия к печати – 22.10.2021.*

DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-75-83

УДК 633.174/175:631.527

Капустин С. И.<sup>1,2</sup>, Володин А. Б.<sup>1</sup>, Капустин А. С.<sup>3</sup>

**НОВЫЙ СОРГО-СУДАНКОВЫЙ ГИБРИД ГВАРДЕЕЦ**

<sup>1</sup> ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»;

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»;

<sup>3</sup> ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

**Реферат.** Засушливые условия в Центральном Предкавказье вызвали недостаток зеленых кормов для животноводства. Эту ситуацию может компенсировать создание и внедрение в производство новых сорго-суданковых гибридов. Цель исследований – оценка продуктивности и качества зеленой массы, сена, зерна, определение основных морфологических признаков, уровня гетерозиса нового сорго-суданкового гибрида Гвардеец. Эксперименты выполняли в конкурсном и экологическом испытаниях. В среднем за 2015–2020 гг. новый гибрид обеспечил получение в условиях Ставропольского края 53,87 т/га зелёной и 11,55 т/га сухой массы, превысив стандарт Навигатор соответственно на 5,03 и 1,26 т/га (10,3 и 12,2 %). В Новгородской области сбор зеленой массы нового гибрида составил 43,0 т/га, в Алтайском ФАНЦ – 42,1 т/га, что больше, чем у стандарта Навигатор на 2,6 т/га и 0,9 т/га соответственно. Гвардеец относится к группе среднеспелых гибридов, первый укос которых в фазе вымётывания можно осуществлять в конце июня – первой половине июля, второй укос – во второй половине августа, а в умеренно тёплые и влажные летние периоды возможно проведение третьего укоса в конце сентября – начале октября. Новый гибрид Гвардеец характеризуется высокими темпами начального роста растений на 30-й день вегетации (80 см) и высоким содержанием листьев в зелёной массе (34,7 %). Содержание протеина в сухом веществе зелёной массы составляет 11,8 %, жира – 1,9 %, клетчатки – 30,9 %, золы – 6,3 %. В 1 кг корма новой комбинации содержится 0,67 кормовых единиц, 70 г переваримого протеина, 31,9 г сахара, 81,2 мг каротина. Обеспеченность одной кормовой единицы переваримым протеином составляет 123 г. Обменной энергии содержится 8,59 МДж/кг, что выше, чем у стандартного гибрида Навигатор. Растения Гвардейца имеют сочную сердцевину стеблей, устойчивы к засухе, полеганию, вредителям и болезням. Родительские формы гибрида (Зерста 90С × Спутница) отличаются высокой комбинационной способностью и обеспечивают уровень истинного гетерозиса урожайности зелёной массы на уровне 20,81 т/га (62,9 %). Новый сорго-суданковый гибрид Гвардеец внесен в Государственный реестр селекционных достижений РФ с 2021 г. по Северо-Кавказскому, Нижне-Волжскому, Центрально-Чернозёмному и Западно-Сибирскому регионам.

**Ключевые слова:** сорго-суданковый гибрид (*Sorghum* × *drummondii* Stend.) Гвардеец, урожайность, зелёная масса, гетерозис, протеин, облиственность.

**Для цитирования:** Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Новый сорго-суданковый гибрид Гвардеец // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 75–83. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-75-83.

**For citation:** Volodin A. B., Kapustin S. I., Kapustin A.S. 'Gvardeets' – new sorghum-sudan hybrid // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 75–83. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-75-83.

### Введение

В Центральном Предкавказье засушливость климата, особенно во второй половине лета, вызывает необходимость поиска путей стабилизации кормопроизводства. Для этого целесообразно расширение посевов сорго-суданковых гибридов (*Sorghum × drummondii* Stend.), отличающихся засухоустойчивостью и стабильностью урожаев по годам [1–3]. Их используют на зелёный корм, силос, сено, сенаж, травяную муку, гранулы, выпас; сорго-суданковые гибриды отличаются высокой облиственностью, хорошей поедаемостью, качеством и переваримостью корма [4–6]. Благодаря побегообразованию на протяжении вегетации, растения после укоса быстро отрастают и при благоприятных условиях обеспечивают два-три укоса [7]. В исследованиях Han P.-A., Lu X.-P., Zhang R.-X. и др. [8] указано, что при доминирующем эффекте фотосинтез в листьях сорго-суданковых гибридов усиливается, приводя к образованию значительного количества органического вещества.

Сорго-суданковые комбинации характеризуются высокой энергией кушения, устойчивостью к засухе, содержанием влаги в листьях, а также сравнительно солеустойчивы [9]. Их урожайность значительно повышают орошение и внесение азотных удобрений [10]. Гетерозиготное первое поколение гибридов вследствие генетической неоднородности родительских форм увеличивает урожайность зелёной массы, превышающую их гомозиготные родительские формы на 50–70 % и более [11].

Для гибридов следует выявлять родительские формы с высокой комбинационной способностью [12]. Проявление признаков – высота растений, параметры соцветий, массы зерна с одной метёлки, урожайность зелёной и сухой массы, контролируют гены с аддитивным эффектом [13]. Селекция с помощью маркеров ускоряет процесс идентификации генотипов с низким содержанием синильной кислоты [14]. Для сорго-суданковых гибридов очень важным является сочностебельность и изменение соотношения лист:стебель в пользу облиственности.

**Цель исследований** – оценка продуктивности и качества зелёной массы, сена, зерна у нового сорго-суданкового гибрида Гвардеец, адаптированного к определённым почвенно-климатическим условиям региона и определение его основных биоморфологических признаков.

### Материалы и методы исследований

Исследования осуществляли методами полевых и лабораторных опытов в 2015–2020 гг., сравнение вели со стандартом Навигатор.

Посев выполняли в первой декаде мая. Способ посева – широкорядный с шириной междурядий 70 см. Учётная площадь делянок 25 м<sup>2</sup>, повторность четырёхкратная. Фенологические наблюдения, морфологические оценки, учёт урожая проводили согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [15]. Математическую обработку полученных данных осуществляли методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [16]. Анализ химического состава и питательность сухого вещества зелёной массы выполняли: протеин – методом Кьельдаля (ГОСТ 32044.1-2012), клетчатка – Геннеберга и Штоманна (ГОСТ 31675-2012), жир – экстракционным методом (ГОСТ 32905-2014), зола – весовым (ГОСТ 26226-93), безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ) – согласно методическим указаниям по оценке качества и питательности кормов [17].

В ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» создан исходный материал и выведен новый сорго-суданковый гибрид Гвардеец, который в 2016–2018 гг. прошел экологическое испытание в ФГБНУ «Новгородский



научно-исследовательский институт сельского хозяйства», а в 2019 г. – в ФГБНУ «Алтайский федеральный аграрный научный центр» [4]. В 2018–2020 гг. находился на Госсортоиспытании, занесён в Государственный реестр селекционных достижений РФ с 2021 г. по Северо-Кавказскому, Нижне-Волжскому, Центрально-Чернозёмному и Западно-Сибирскому регионам.

В конкурсном испытании провели изучение урожайности зелёной и сухой массы, качественных показателей полученного корма у нового сорго-суданкового гибрида Гвардеец в зависимости от сроков скашивания, динамики начального роста и послеукосного отрастания.

Предмет исследований – новый сорго-суданковый гибрид (*Sorghum* × *drummondii* Stend.), Гвардеец. Объектом изучения являлись морфологические, урожайные и качественные показатели зелёной массы у нового гибрида.

Почвенный покров опытного поля ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» (Ставропольский край, г. Михайловск) представлен мицеллярно-карбонатным, среднесуглинистым чернозёмом. Содержание подвижных элементов минерального питания среднее, глубина гумусного слоя 100–120 см [7, 12].

Всего за вегетационный период май–сентябрь в 2016 г. среднесуточная температура воздуха составила 19,5 °С, в остальные годы она находилась в пределах 20,1–21,0 °С при норме 18,4 °С. Осадков за этот период при среднемноголетних показателях 329 мм выпало: в 2016 г. 133 %, в 2017 г. – 96 % нормы. В остальные годы эти показатели были существенно ниже – 39–70 % от многолетних значений и минимальным количеством осадков. Число дней с относительной влажностью воздуха ниже 30 % за период вегетации варьировало от 59 до 83 и максимальным было в 2020 г. (83 дня), 2015 г. (82 дня) и 2018 г. (77 дней), а в 2017 и 2019 гг. – 59–61 день. Наибольшее их количество (16–24) было в августе, что способствовало проявлению засухи и образованию на поверхности почвы трещин. В умеренно тёплые и влажные 2016 и в 2017 гг. сорго-суданковый гибрид Гвардеец обеспечил три укоса зелёной массы. В остальные жаркие и засушливые годы – два укоса.

Почва опытного поля Новгородского НИИ сельского хозяйства легкосуглинистая, дерново-подзолистая, рН = 5,1 единиц, доля органического вещества – 3,14 %. Агротехнические приемы включали весеннюю вспашку на глубину 25 см, весеннюю культивацию дисковыми боронами, предпосевную культивацию с боронованием, посев 15–18 мая. Количество осадков за летний период в 2016 г. – 273 мм, в 2017 г. – 318 мм, в 2018 г. – 220 мм.

Почвенный покров опытного стационара ФГБНУ «Алтайский ФНАЦ» представлен черноземом среднесуглинистым, среднегумусным. Обеспеченность нитратным азотом и подвижным фосфором средняя, обменным калием высокая. Сумма эффективных температур воздуха выше +10 °С составляет 1800–2260 °С. Безморозный период – 91–144 дня, ГТК = 0,5–0,9, количество осадков за апрель–август 2019 г. составило 230 мм.

### Результаты и их обсуждение

При подборе родительских форм гибридов учитывали особенности влияния генотипов материнских и отцовских форм на проявление количественных признаков в гибридном потомстве. Гвардеец создан методом гибридизации на стерильной основе: материнская форма – среднеспелая стерильная линия Зерста 90С, отцовская – восстановитель фертильности – среднеспелый сорт суданской травы Спутница.

В среднем за 2015–2020 гг. продолжительность периодов «всходы–вымётывание» и «всходы–полная спелость» у стандарта Навигатор в среднем за 2015–2020 гг. составила соответственно 59 и 94 дня (таблица 1).

У гибрида Гвардеец продолжительность этих периодов была на три–четыре дня меньше и насчитывала 56 и 91 день соответственно. У нового гибрида и его родительских форм наблюдали сокращение продолжительности этих периодов. В сравнении со средней продолжительностью вегетационных периодов родительских форм (56 и 93 дня) у гибрида в период скашивания они не увеличивались, а в период полной спелости зерна уменьшились на два дня.

**Таблица 1 – Морфологические и урожайные показатели гибрида Гвардеец (среднее за 2015–2020 гг.)**

Показатель		Навигатор (St.)	Гвардеец
Продолжительность вегетационного периода (сут.) от всходов до:	вымётывания	59	56
	полной спелости семян	94	91
Высота растения, см	на 30 день вегетации	78	80
	при I укосе	176	180
	при II укосе	191	195
	в фазе полной спелости семян	255	256
Истинный гетерозис высоты растения:	см	32,2	35,7
	%	12,6	13,9
Лист, см	длина	77,0	79,0
	ширина	5,1	5,2
Облиственность растений, %	I укос	30,7	31,7
	II укос	31,0	33,8
	III укос	38,1	38,8
	среднее	33,3	34,8
Толщина стебля, см		1,24	1,19
Количество листьев, шт.		8	9
Длина метёлки, см		38	37
Выдвинутость метёлки из раструба верхнего листа, см		22	27
Урожайность зелёной массы, т/га	I укос	22,31	24,66
	II укос	22,95	25,59
	III укос	3,58	3,62
	сумма укосов	48,84	53,87
Урожайность сухой массы, т/га	I укос	4,72	5,31
	II укос	4,89	5,49
	III укос	0,68	0,75
	сумма укосов	10,29	11,55
Урожайность зерна при влажности 14 %, т/га		2,68	2,70
Урожайность зелёной массы, т/га	в Алтайском ФАНЦ	41,20	42,10
	в Новгородском НИИСХ	40,40	43,00
НСР <sub>05</sub> , % для облиственности растений:	I укос	1,00	
	II укос	1,10	
	III укос	1,30	
	среднее	1,20	
НСР <sub>05</sub> (т/га) для зеленой массы:	I укос	1,35	
	II укос	1,39	
	III укос	0,18	
	сумма укосов	2,89	
НСР <sub>05</sub> (т/га) для сухой массы:	I укос	0,24	
	II укос	0,26	
	III укос	0,04	
	сумма укосов	0,57	
НСР <sub>05</sub> (т/га) для зеленой массы:	в Алтайском ФНАЦ	2,00	
	в Новгородском НИИСХ	2,10	

Растения нового гибрида Гвардеец относятся к среднеспелой группе спелости, отличаются повышенным начальным темпом роста, хорошо выровнены. У сорго-суданковых гибридов высота растений в значительной степени зависит от генотипов исходных родительских форм. В наших исследованиях у гибрида Гвардеец на 30-й день вегетации она имела значение 80 см, при I укосе – 180 см, II укосе – 195 см, что выше, чем у стандарта Навигатор на 2–4 см. В период созревания семян высота растений у нового гибрида достигала 256 см. Средняя высота его родительских форм при созревании семян была 220,3 см. Уровень истинного гетерозиса высоты растений у Гвардейца составил 35,7 см (13,9 %).

Новый гибрид имеет устойчивые к полеганию стебли толщиной 1,19 см с сочной сердцевинкой. На главном стебле расположены девять листьев длиной 79 см и шириной 5,2 см, что выше, чем у стандарта. Метёлка хорошо выдвинута из раструба верхнего листа (27 см), её длина 37 см. Зерновка светло-коричневая, округлая. Устойчивость к засухе высокая, усыхание листьев при засухе в фазе молочной спелости зерна слабое. Повреждение растений тлёй, бактериозом, головнёй незначительное (1 балл).

Уборка зелёного корма выполняется в период вымётывания. В сравнении с массой метёлок и стеблей масса листьев в этот период больше, но она значительно снижается в период молочно-восковой и полной спелости зерна. Доля листьев в зеленом корме за три укоса стандартного гибрида Навигатор составляла в среднем 33,3 %, а у новой комбинации Гвардеец – на 1,5 % выше.

Анализ показателей облиственности зелёной массы в зависимости от укосов свидетельствует, что во время осуществления второго укоса более высокое содержание листьев установлено у Гвардейца (33,8 %), у стандарта Навигатор их было меньше на 2,8 %. В период первого скашивания облиственность составляла 31,7 % у нового гибрида и 30,7 % у стандарта. Различия величины этого показателя между первым и вторым укосами у стандарта составили 0,3 %, у нового гибрида 2,1 % и были выше при втором скашивании. При третьем скашивании облиственность оказалась самой высокой – 38,1–38,8 %. Установлена тенденция к увеличению величины этого показателя у нового гибрида, однако эти различия статистически не значимы.

Уровень урожайности является основным критерием оценки гибрида. В среднем за 2015–2020 гг. сбор зелёной и сухой массы у стандарта Навигатор составила 48,84 т/га и 10,29 т/га, а у нового гибрида Гвардеец – 53,87 т/га и 11,55 т/га соответственно. Превышение составило 5,03 т/га и 1,26 т/га. Сравнение величины истинного гетерозиса урожайности зелёной массы, полученной у гибрида Гвардеец и усреднённых данных его родительских форм свидетельствует о его значительной величине. Превышение составило 20,81 т/га (62,9 %).

Величина урожайности первого и второго укосов варьировала в зависимости от метеоусловий. Температурный режим и количество осадков в умеренно влажные и тёплые 2016 и 2017 гг. обеспечили возможность проведения трёх укосов зелёной массы. В остальные годы – двух укосов. Несмотря на значительное количество осадков в период начала вегетации в среднем за изучаемые годы большая урожайность зелёной массы у гибрида Гвардеец установлена при втором скашивании (25,59 т/га). Величина этого показателя в первом укосе (24,66 т/га) была меньше, чем во втором на 0,93 т/га. Такие различия можно объяснить морфологическими особенностями нового гибрида. При втором укосе различия в темпах роста и развития отавных растений нивелируются, однако у комбинации Гвардеец, более высокая засухоустойчивость и облиственность дают преимущество продуктивности зелёной и сухой массы. У стандарта Навигатор урожайность зелёной массы при первом укосе составила 22,31 т/га, при втором – 22,95 т/га.

Для повышения эффективности использования кормов важным фактором является оценка их состава и питательности для составления полноценных рационов с целью получения высокой продуктивности животных.

Средняя урожайность зелёной массы гибрида Гвардеец в условиях Новгородской области составила 43,0 т/га. Массовая доля сырого протеина в сухом веществе – 9,53 %, клетчатки – 30,2 %, обменной энергии в 1 кг сухого вещества – 9,6 МДж, кормовых единиц – 0,74. У стандарта Навигатор величины этих показателей были ниже и составили: 7,26 % сырого протеина, 33,1 % клетчатки, 9,0 МДж/кг энергии и 0,66 кормовых единиц.

Химический состав и питательность определяли в Алтайском ФАНЦ (таблица 2). Урожайность зелёной массы у нового гибрида составила 42,1 т/га, у стандарта – 41,2 т/га, сухой массы соответственно 10,70 и 10,45 т/га, спелого зерна 0,32 и 0,27 т/га.

**Таблица 2 – Химический состав и питательность сухого вещества зеленой массы (2019–2020 гг.)**

Гибрид	Год	Химический состав, %					
		вода	протеин	клетчатка	жир	зола	
Навигатор (St.)	2019	12,50	11,30	32,80	1,70	7,50	
	2020	12,40	10,50	32,90	1,80	7,30	
	среднее	12,45	10,90	32,85	1,75	7,40	
Гвардеец	2019	13,10	11,80	30,90	1,90	6,30	
	2020	12,90	11,90	30,40	1,70	6,40	
	среднее	13,00	11,85	30,65	1,80	6,35	
НСР <sub>05</sub>		F <sub>факт.</sub> < F <sub>табл.</sub>	0,45	1,17	0,06	0,24	
Гибрид	Год	в 1 кг корма содержится, г					Обменной энергии, МДж/кг
		корм. ед.	переваримого протеина	каротина, мг	сахара	переваримого протеина на 1 корм. ед.	
Навигатор (St.)	2019	0,64	67,00	45,20	34,30	115,00	8,38
	2020	0,65	69,00	47,40	33,00	116,00	8,41
	среднее	0,65	68,00	46,30	33,70	115,50	8,40
Гвардеец	2019	0,67	70,00	81,20	31,90	123,00	8,59
	2020	0,67	71,00	78,70	32,30	123,00	8,57
	среднее	0,67	70,50	79,90	32,10	123,00	8,58
НСР <sub>05</sub>		0,02	2,70	3,10	1,23	4,70	0,33

Данные химического состава сухого вещества зеленой массы при натуральной влажности свидетельствуют, что у гибрида Гвардеец содержание протеина, жира, клетчатки, золы лучше, чем у стандарта Навигатор. В 1 кг корма новой комбинации содержится 0,67 кормовых единиц. Обеспеченность одной кормовой единицы переваримым протеином составляет 123 г. По показателю обменной энергии Гвардеец превысил стандартный гибрид.

### Выводы

В засушливых условиях степной зоны Российской Федерации целесообразно возделывание нового сорго-суданкового гибрида Гвардеец. В среднем за 2015–2020 гг. он обеспечил сбор в условиях Центрального Предкавказья 53,87 т/га зелёной и 11,55 т/га сухой массы. Гибрид относится к группе среднеспелых растений, первый укос которых в фазе вымётывания можно осуществлять в конце июня – первой половине июля, второй укос – во второй половине августа, а в умеренно тёплые и влажные летние периоды возможно получение третьего укоса в конце сентября – начале октября.

Новый гибрид Гвардеец характеризуется высокими темпами начального роста растений на 30 день вегетации (80 см), большую долю листьев в зелёной массе (34,8 %). Содержание протеина в сухом веществе составляет 11,8 %. Растения

устойчивы к засухе, полеганию, вредителям и болезням, стебли имеют сочную сердцевину.

Родительские формы гибрида обеспечивают уровень гетерозиса урожайности зелёной массы в размере 20,81 т/га (62,9 %).

В условиях Новгородской области урожайность зеленой массы гибрида Гвардеец составила 43,0 т/га, что на 2,6 т/га больше, чем у стандарта Навигатор. В Алтайском ФАНЦ продуктивность зеленой массы у нового гибрида имела значение 42,1 т/га, у стандарта – 41,2 т/га. Обеспеченность одной кормовой единицы переваримым протеином составляла 123 г.

### Литература

1. Алабушев А. В., Анипенко Л. Н., Гурский Н. Г., Коломиец Н. Я., Костылев П. И., Мангуш П. А., Алабушева О. И. Сорго (селекция, семеноводство, технология, экономика). Самара: Книга, 2003. 368 с.
2. Володин А. Б., Капустин С. И., Капустин А. С. Сорговые культуры – источник кормов для овцеводства // Сборник научных трудов ВНИИОК. Ставрополь, 2017. Т. 1. Вып. 10. С. 54–59.
3. Капустин С. И., Капустин А. С., Володин А. Б., Колодкин А. В. Полевые резервы // Агробизнес. 2017. № 2 (42). С. 74–76.
4. Шкодина Е. П., Володин А. Б., Капустин С. И., Капустин А. С. Агроэкологическое испытание однолетних кормовых культур в Новгородской области // Материалы IV Международной научно-практической конференции «Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве». Киров, 2018. С. 197–200.
5. Kiliçalp N., Hizli H., Sümerli M., Avci M. *In situ* rumen degradation characteristics of maize, sorghum and sorghum-sudan grass hybrids silages as affected by stage of maturity // Iranian Journal of Applied Animal Science. 2018. Vol. 8. Iss. 2. P. 231–239.
6. Basaran U., Copur Dogrusoz M., Gulumser E., Mut H. Hay yield and quality of intercropped sorghum-sudan grass hybrid and legumes with different seed ratio // Turkish Journal of Field Crops. 2017. Vol. 22. Iss. 1. P. 47–53. DOI: 10.17557/tjfc.301834.
7. Кулинцев В. В., Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С., Паньков Ю. И. Возделывание сорго и однолетних кормовых культур на семена: монография. Ставрополь: Сервис-школа, 2019. 128 с.
8. Han P.-A., Lu X.-P., Mi F.-G., Zhang R.-X., Li M.-N., Xue C.-L., Dong J., Cong M.-L. Analysis of heterosis in sorghum-sudangrass hybrid seedlings based on proteomics // Acta Agronomica Sinica (China). 2016. Vol. 42. Iss. 5. P. 696–705. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2016.00696.
9. Patil J. V., Rakshit S., Khot K. B. Genetics of post-flowering drought tolerance traits in post-rainy sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 2013. Vol. 73. Iss. 1. P. 44–50. DOI: 10.5958/j.0019-5200.73.1.006.
10. Mut H., Gulumser E., Dogrusoz M. E., Basaran U. Effect of different nitrogen levels on hay yield and some quality traits of sudan grass and sorghum .. sudan grass hybrids // Animal Nutrition and Feed Technology. 2017. Vol. 17. Iss. 2. P. 269–278. DOI: 10.5958/0974-181X.2017.00026.9.
11. Han P., Lu X., Mi F., Dong J., Xue C., Li J., Han B., Zhang X. Proteomic analysis of heterosis in the leaves of sorghum-sudangrass hybrids // Acta Biochimica et Biophysica Sinica. 2015. Vol. 48. Iss. 2. P. 161–173. DOI: 10.1093/abbs/gmv126.
12. Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Кормовой потенциал гибридов сахарного сорго в засушливых условиях центрального Предкавказья // Известия Оренбургского ГАУ. 2018. № 4 (72). С. 109–111.
13. Kibalnik O.P. Combining ability of CMS-lines of grain sorghum based on A1, A2, A3, A4, 9E and M-35-1A types of cytoplasmic male sterility // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017. Vol. 21. Iss. 6. P. 651–656. DOI: 10.18699/VJ17.282.
14. Yu X.-X., Liu Z.-H., Yu Z., Shi Y., Li X.-Y. Development of SSR markers linked to low hydrocyanic acid content in sorghum-Sudan grass hybrid based on BSA method // Protein and Peptide Letters. 2016. Vol. 23. Iss. 5. P. 417–423. DOI: 10.2174/0929866523666160322153559.
15. Федин М. А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: МСХ СССР, 1985. 267 с.
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 335 с.
17. Сычев В. Г., Лепешкин В. В. Методические указания по оценке качества и питательности кормов. М.: ЦИНАО, 2002. 76 с.

## References

1. Alabushev A. V., Anipenko L. N., Gursky N. G., Kolomiets N. Ya., Kostylev P. I., Mangush P. A., Alabusheva O. I. Sorghum (selection, seed production, technology, economics). Samara: Kniga, 2003. 368 p.
2. Volodin A. B., Kapustin S. I., Kapustin A. S. Merchandise crops – a source of feed for sheep breeding // Collection of scientific works VNIIOK. 2017. Vol. 1. Iss. 10. P. 54–59.
3. Kapustin S. I., Kapustin A. S., Volodin A. B., Kolodkin A. V. Field reserves // Agribusiness. 2017. No. 2 (42). P. 74–76.
4. Shkodina E. P., Volodin A. B., Kapustin S. I., Kapustin A. S. Agroecological testing of annual fodder crops in the Novgorod Region // Materials of the IV International Scientific and Practical Conference “Methods and technologies in plant breeding and plant growing”. Kirov, 2018. P. 197–200.
5. Kiliçalp N., Hizli H., Sümerli M., Avci M. *In situ* rumen degradation characteristics of maize, sorghum and sorghum-sudan grass hybrids silages as affected by stage of maturity // Iranian Journal of Applied Animal Science. 2018. Vol. 8. Iss. 2. P. 231–239.
6. Basaran U., Copur Dogrusoz M., Gulumser E., Mut H. Hay yield and quality of intercropped sorghum-sudan grass hybrid and legumes with different seed ratio // Turkish Journal of Field Crops. 2017. Vol. 22. Iss. 1. P. 47–53. DOI: 10.17557/tjfc.301834.
7. Kulintsev V. V., Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S., Pankov Yu. I. Cultivation of sorghum and annual forage crops for seeds: Monograph. Stavropol: Service School, 2019. 128 p.
8. Han P.-A., Lu X.-P., Mi F.-G., Zhang R.-X., Li M.-N., Xue C.-L., Dong J., Cong M.-L. Analysis of heterosis in sorghum-sudangrass hybrid seedlings based on proteomics // Acta Agronomica Sinica (China). 2016. Vol. 42. Iss. 5. P. 696–705. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2016.00696.
9. Patil J. V., Rakshit S., Khot K. B. Genetics of post-flowering drought tolerance traits in post-rainy sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 2013. Vol. 73. Iss. 1. P. 44–50. DOI: 10.5958/j.0019-5200.73.1.006.
10. Mut H., Gulumser E., Dogrusoz M. E., Basaran U. Effect of different nitrogen levels on hay yield and some quality traits of sudan grass and sorghum .. sudan grass hybrids // Animal Nutrition and Feed Technology. 2017. Vol. 17. Iss. 2. P. 269–278. DOI: 10.5958/0974-181X.2017.00026.9.
11. Han P., Lu X., Mi F., Dong J., Xue C., Li J., Han B., Zhang X. Proteomic analysis of heterosis in the leaves of sorghum-sudangrass hybrids // Acta Biochimica et Biophysica Sinica. 2015. Vol. 48. Iss. 2. P. 161–173. DOI: 10.1093/abbs/gmv126.
12. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Feed potential of sweet sorghum hybrids under arid conditions of central Predkavkazye // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018. No. 4 (72). P. 109–111.
13. Kibalnik O.P. Combining ability of CMS-lines of grain sorghum based on A1, A2, A3, A4, 9E and M-35-1A types of cytoplasmic male sterility // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017. Vol. 21. Iss. 6. P. 651–656. DOI: 10.18699/VJ17.282.
14. Yu X.-X., Liu Z.-H., Yu Z., Shi Y., Li X.-Y. Development of SSR markers linked to low hydrocyanic acid content in sorghum-sudan grass hybrid based on BSA method // Protein and Peptide Letters. 2016. Vol. 23. Iss. 5. P. 417–423. DOI: 10.2174/0929866523666160322153559.
15. Fedin M. A. Methods of state variety testing of agricultural crops. Moscow: USSR Ministry of Agriculture, 1985. 267 p.
16. Dospikhov B. A. Methods of field research. Moscow: Kolos, 1985. 335 p.
17. Sychev V. G., Lepeshkin V. V. Guidelines for assessing the quality and nutritional value of feed. Moscow: CINAO, 2002. 76 p.

UDC 633.174/175:631.527

Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S.

### ‘GVARDEETS’ – NEW SORGHUM-SUDAN HYBRID

**Summary.** *Arid conditions in Central Ciscaucasia caused a shortage of green fodder for animal husbandry. In the current circumstances, new sorghum-sudan hybrids creation and introduction into production are of great importance. The aim of the research is twofold: to assess green mass, hay and grain productivity and quality; to determine the main biomorphological characteristics and level of heterosis of the new sorghum-sudan hybrid ‘Gvardeets’. The experiments were carried out in competitive and environmental testing. In the Novgorod Oblast, the new hybrid provided 43.0 t/ha of green mass; the same indicator in the Altai FASC comprised 42.1 t/ha exceeding standard hybrid ‘Navigator’ by 2.6 and 0.9 t/ha, respectively. The data were obtained in a competitive test by methods of field and laboratory experiments, as well as environmental*

*testing in various regions of Russia. On average for 2015–2020, in the conditions of the Stavropol Territory, the new hybrid provided 53.87 t/ha of green and 11.55 t/ha of dry matter exceeding standard hybrid ‘Navigator’ by 5.03 and 1.26 t/ha or 10.3 and 12.2%, respectively. ‘Gvardeets’ is a mid-ripening hybrid. The first mowing can be carried out in the booting phase or at the end of June/first half of July, the second one – in the second half of August. Furthermore, in moderately warm and humid summers, it is possible to obtain the third mowing in late September/early October. The new hybrid ‘Gvardeets’ has a high rate of initial plants growth on the 30th day of vegetation (80 cm), as well as a high content of leaves in the green mass (34.7 %). The content of protein in dry matter is 11.8 %, fat – 1.9 %, fiber – 30.9%, ash – 6.3 %. One kilogram of new combination feed contains 0.67 feed units, 70 g of digestible protein, 31.9 g of sugar, 81.2 mg of carotene. The provision of one feed unit with digestible protein is 123 g. There is 8.59 MJ/kg of exchange energy, which is better than that of the standard hybrid ‘Navigator’. The stems of ‘Gvardeets’ plants have a juicy core; plants are resistant to drought, lodging, pests and diseases. The parental forms of the hybrid (‘Zersta 90C’ x ‘Sputnitsa’) are distinguished by a high combinational ability and provide a level of true heterosis of the yield of green mass in the amount of 20.81 t/ha (62.9%). The new sorghum-sudan hybrid ‘Gvardeets’ has been included in the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation since 2021 in the North Caucasus, Lower Volga, Central Black Earth and West Siberian regions.*

**Keywords:** *sorghum-sudan hybrid (Sorghum × drummondii Stend.) ‘Gvardeets’, yield, green mass, heterosis, protein, foliage.*

Капустин Сергей Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства сорго, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; доцент кафедры общего земледелия, растениеводства, селекции и семеноводства им. профессора Ф. И. Бобрышева, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»; 355017, Россия, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12; e-mail: sniish@mail.ru.

Володин Александр Борисович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства сорго, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: sniish@mail.ru.

Капустин Андрей Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник центра развития публикационной активности и патентно-лицензионной работы управления науки и технологии, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»; 355017, Россия, Ставропольский край, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1; e-mail: akapustin@ncfu.ru.

Kapustin Sergey Ivanovich, Cand. Sc. (Agr.), associate professor, senior researcher of the Laboratory of selection and primary seed sorghum breeding, FSBSI “North Caucasus Federal Agricultural Research Center”; 49, Nikonova str., Mikhailovsk, 356241, Russia; associate professor of the Department of general agriculture, plant growing, breeding and seed production named after Professor F.I. Bobryshev, FSBEI of HE “Stavropol State Agrarian University”; 12, Zootekhnicheskii lane, Stavropol, 355017, Russia; e-mail: sniish@mail.ru.

Volodin Aleksandr Borisovich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, head of the Laboratory of selection and primary seed sorghum breeding, FSBSI “North Caucasus Federal Agricultural Research Center”; 49, Nikonova str., Mikhailovsk, 356241, Russia; e-mail: sniish@mail.ru.

Kapustin Andrey Sergeevich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Center for the development of publishing activity and patent licensing of science and technology; FSAEI of HE “North-Caucasus Federal University”; 1, Pushkin str., Stavropol, 355017, Russia; e-mail: akapustin@ncfu.ru.

*Дата поступления в редакцию – 26.07.2021.*

*Дата принятия к печати – 25.08.2021.*

DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-84-94

УДК 631.582:631.82:631.86:631.811

Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Попов Ф. А., Светлакова Е. В.

**БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В СЕВОБОРОТАХ В УСЛОВИЯХ  
БИОЛОГИЗИРОВАННОГО АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**  
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»

**Реферат.** В технологиях возделывания культур необходимо расширять использование биологических приемов. Возрастает роль севооборотов с высокой долей в структуре бобовых трав, сидеральных и промежуточных посевов. Цель исследований – изучение динамики плодородия почвы по основным элементам питания и определение их баланса для разработки адаптивно-ландшафтной системы земледелия Северо-Восточного региона Европейской части России. Опыты проводили на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока. Проанализированы данные длительного стационарного опыта в четырех зернопаротравяных восьмипольных полевых севооборотах. Метеорологические условия в годы исследований (2002–2009 гг.) были близки к средним многолетним значениям и являлись благоприятными для возделывания культур севооборотов. Внесение невысоких доз удобрений ( $N_{45}P_{45}K_{45}$  минеральных, 11,5–22,5 т/га сидеральных) увеличило в почве содержание подвижного фосфора на 11–14 мг/кг ( $НСР_{05} = 9,5$ ) в севооборотах с занятыми и сидеральными парами. Увеличение обменного калия на 15 мг/кг ( $НСР_{05} = 14,1$ ) отмечено в севообороте с двумя полями клевера на сидерат. Положительный баланс азота и фосфора получен в севооборотах с занятыми и сидеральными парами. Баланс по азоту был с более высоким приходом (+157,8...+483,5 кг/га) и интенсивностью 115–140 %. Баланс фосфора сложился при +6,0...+49,6 кг/га. Положительный баланс калия получен только в севооборотах с внесением сидеральных удобрений и промежуточной культуры +69,9...+175,8 кг/га. Интенсивность баланса этих элементов составила 101–118 %. В контрольном севообороте с чистым паром при минимальном поступлении питательных элементов баланс азота, фосфора и калия был отрицательным с интенсивностью ниже 100 %. Продуктивность севооборотов составила 4,90–5,41 тыс. корм. ед. По оптимальному сочетанию продуктивности и баланса элементов питания выделился севооборот с двумя полями клевера на сидерат и промежуточной культурой.

**Ключевые слова:** баланс азота, фосфора, калия, интенсивность баланса, минеральные и сидеральные удобрения, плодородие.

**Для цитирования:** Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Попов Ф. А., Светлакова Е. В. Баланс элементов питания в севооборотах в условиях биологизированного адаптивно-ландшафтного земледелия // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 84–94. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-84-94.

**For citation:** Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A., Svetlakova E. V. Balance of nutrition elements in crop rotation under biologized adaptive landscape farming // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 84–94. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-84-94.

### Введение

В настоящее время применение минеральных удобрений в полевых севооборотах становится нерентабельным [1]. Значительное сокращение внесения как минеральных, так и органических удобрений в дерново-подзолистые почвы привело к снижению почвенного плодородия [2–4].



Для повышения продуктивности агроценозов Евро-Северо-Востока требуется решение проблемы сохранения и повышения плодородия почв при сокращении материальных и энергетических затрат на производство сельскохозяйственной продукции.

Климат региона – умеренно-континентальный с холодной продолжительной зимой, умеренно теплым коротким летом с большими колебаниями температуры и осадков в течение года. Все это ослабляет рост растений и приводит к снижению потребления питательных веществ [5].

Среди пахотных земель Кировской области наиболее распространены дерново-подзолистые почвы, которые характеризуются низким естественным плодородием. При существенном сокращении объемов применения удобрений почвы быстро подвергаются деградационным процессам, происходит снижение содержания органического вещества, питательных элементов, ухудшаются ее агрофизические свойства. Для увеличения продуктивности агрофитоценозов как в области, так и регионе в целом, необходимо совершенствование технологий возделывания культур, адаптированных к региональным почвенно-климатическим условиям, переход к биологизированному адаптивно-ландшафтному земледелию [6–9].

Следует отметить, что в России с 2020 г. начал действовать Федеральный закон об органическом сельском хозяйстве (№ 280 ФЗ). При этом в технологиях возделывания культур расширяют количество всех биологических приемов [10].

При современном ресурсном состоянии большинства хозяйств, когда при различных объективных и субъективных причинах использование традиционных органических удобрений практически прекратилось, проблему восстановления плодородия почв решает биологизация земледелия [11, 12]. При этом возрастает роль севооборотов с высокой долей в структуре многолетних и однолетних трав, сидеральных, промежуточных культур. Несмотря на то, что отдельные приемы биологизации земледелия давно и достаточно хорошо изучены, внедрения и системного их освоения в хозяйствах не происходит [13, 14].

Один из показателей соблюдения биологических законов в земледелии (закон возврата веществ, закон оптимума, максимума, минимума и др.) – баланс элементов питания, который характеризует соотношение поступления их и выноса сельскохозяйственными культурами за определенный промежуток времени и является основным критерием экологизации системы использования удобрений [15]. Изучение баланса питательных веществ позволяет анализировать и оценивать эффективность используемых удобрений, их влияние на плодородие почвы, продуктивность севооборота и химическую нагрузку на почву, растения и окружающую среду [16]. По мнению Д. Н. Прянишникова [17] что вынос азота и калия необходимо возмещать на 75–80 %, а фосфора – на 100–110 %.

**Цель исследований** – изучение динамики плодородия почвы по основным элементам питания и определение их баланса для разработки адаптивно-ландшафтной системы земледелия Северо-Восточного региона Европейской части России.

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

Исследования проводили в 2002–2009 гг. в длительном стационарном опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока, заложенном в 1976 г. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, сформированной на элювии пермских глин. Объектами исследований были четыре зернопаротравяных восьмипольных севооборота с различной долей в структуре посевов бобовых, зернобобовых, сидеральных культур.

Севообороты развернуты в пространстве и во времени. Размещение делянок систематическое, повторность четырехкратная. Общая площадь одной делянки 77 м<sup>2</sup>, учетной – 48,4 м<sup>2</sup>.

Агрохимические показатели почвы пахотного слоя опытного участка следующие:  $pH_{\text{сол.}} = 4,59-5,00$  единиц, содержание подвижного фосфора – 148,0–157,0 мг/кг почвы, подвижного калия – 127,0–140,0 мг/кг почвы (по Кирсанову), гумуса – 1,74–2,00 % (по Тюрину).

Метеорологические условия периода вегетации культур севооборотов в годы исследований были близки к среднегодовым значениям (количество осадков – 322 мм, температура воздуха – 67,6 °С). Количество осадков и показатели температуры воздуха превысили среднегодовые значения в 2004 и 2007 гг. на 44–63 мм и 5,2–6,8 °С соответственно).

В опыте возделывали районированные для Кировской области сорта зерновых и кормовых культур. Агротехника возделывания традиционная для зоны.

Минеральные удобрения вносили под все культуры кроме клевера в дозе  $N_{45}P_{45}K_{45}$ . Дозы выбраны на основе предыдущих исследований, которые показали, что такое количество удобрений обеспечивает формирование не менее 3,5–4,5 т/га зерновых, 8,0–12,0 т/га сена многолетних трав на почвах с высоким содержанием фосфора и повышенным калия. Навоз не вносили, запахивали зеленую массу сидеральных и промежуточных культур [18].

Исследования проводили на основе методик [19, 20]. Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову с использованием пакета программ «Microsoft Excel 2007».

В приходной части баланса азота учитывали поступление питательных веществ с минеральными и сидеральными удобрениями, а также биологически фиксированный азот и поступление его в составе атмосферных осадков (6,6 кг/га). В расходную часть баланса включали вынос N с урожаем. Потери азота из-за эрозии были приняты за 0 кг/га, так как на опытных участках эрозионные процессы практически отсутствуют.

Расчеты баланса фосфора и калия упрощаются, потому что практическое значение имеют только их вынос растениями и приход в составе минеральных и органических удобрений.

Схема севооборотов:

I	II
1. Пар чистый,	1. Пар занятый (горчица + пелюшка + овес),
2. Озимая рожь,	2. Озимая рожь,
3. Ячмень с подсевом клевера,	3. Вика + пшеница + ячмень
4. Клевер I года пользования (г.п.),	(зернофураж),
5. Клевер II г.п.,	4. Ячмень с подсевом клевера,
6. Яровая пшеница,	5. Сидеральный пар (клевер),
7. Вика + пшеница + ячмень	6. Озимая рожь,
(зернофураж),	7. Яровая пшеница,
8. Овес.	8. Овес
III	IV
1. Пар сидеральный (донник),	1. Пар сидеральный (клевер),
2. Озимая рожь,	2. Озимая рожь,
3. Ячмень с подсевом клевера,	3. Вика + пшеница + ячмень
4. Клевер I г.п.,	(зерносенаж), промежуточная культура,
5. Клевер II г.п. (отава),	4. Ячмень с подсевом клевера,
6. Яровая пшеница,	5. Сидеральный пар (клевер),
7. Вика + пшеница + ячмень	6. Озимая рожь,
(зерносенаж) (отава),	7. Яровая пшеница,
8. Овес + донник	8. Овес с подсевом клевера

### Результаты и их обсуждение

Исследования показали, что в контрольном севообороте с чистым паром (I) (без внесения навоза) отмечено наименьшее поступление азота – 939,8 кг/га (таблица 1). В этом варианте вносили меньше минеральных удобрений (на 40–90 кг/га), чем в других севооборотах, так как в структуре три поля занимают чистый пар и клевер двух лет использования, где удобрения не использовали. Доля корнестерневых остатков незначительна – 350,8 кг/га. Два поля клевера и поле смеси вика + пшеница + ячмень, посеянной на зернофураж, фиксируют из атмосферы 364,0 кг/га биологического азота.

**Таблица 1 – Баланс азота в севооборотах (2002–2009 гг.)**

Показатель	Севооборот				
	I	II	III	IV	
Продуктивность севооборота, тыс. корм. ед.	4,90	5,30	5,41	5,10	
Поступило всего (кг/га), в т. ч. с:	минеральными удобрениями	939,8	1182,6	1677,7	1699,8
	сидеральными удобрениями	225,0	315,0	270,0	270,0
	КСО*	350,8	590,1	824,9	1008,4
	биологической азотфиксацией	364,0	277,5	582,8	421,4
Вынос с урожаем, кг/га	1078,5	1024,8	1324,5	1216,3	
Баланс, кг/га	-138,7	+157,8	+353,2	+483,5	
Интенсивность баланса, %	87	115	127	140	

*Примечание.* \* здесь и далее – корнестерневые остатки.

Несмотря на невысокую дозу минеральных удобрений (N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub>) в севообороте с чистым паром отмечена хорошая урожайность озимой ржи – 3,22 т/га, яровых зерновых – 3,52–4,29 т/га, клевера лугового первого и второго года пользования – 9,30 и 9,60 т/га соответственно. При высокой урожайности обеспечивается и высокий вынос питательных элементов из почвы. Продуктивность контрольного севооборота составила 4,90 тыс. корм. ед., что ниже на 2,0–5,1 тыс. корм. ед., чем в севооборотах с занятым и сидеральными парами.

Наибольшее количество азота выносятся с урожаем клевера. Отмечено, что клевер, независимо от уровня минерального питания, в среднем по севообороту дает наибольшее количество корнестерневых остатков и надземной массы. Два поля клевера в сумме выносят 406,4 кг/га азота. Значительный вынос азота отмечали и у ячменя – 128,7 кг/га, яровой пшеницы – 127,4 кг/га. Высокий вынос питательных элементов у клевера подтверждают и исследования Замятина С. А., Измestьева В. М. [21], Завалина А. А., Пасынкова А. В. [22], Хайбулина М. М. [23]. Вынос элементов с урожаем всех культур севооборота с чистым паром составил 1078,5 кг/га и сформировался отрицательный баланс 138,7 кг/га с интенсивностью 87 %.

Значительная часть урожая формируется благодаря азоту почвы и если его не возмещать, то это приводит к снижению в почве минерального азота, а также гумуса [24]. Положительный баланс азота сформировался в севообороте II с занятым смесью горчица + пелюшка + овес паром и одногодичным клевером на сидерат. Минеральные удобрения в этом севообороте вносили в семи полях, что в сумме за ротацию составило 315 кг/га. Поступление азота превосходило его вынос на 157,8 кг/га при интенсивности баланса 115 %.

Если в большей степени насыщать севообороты приемами биологизации, можно получить более позитивный баланс и его интенсивность. В севообороте III с донником на сидерат, двумя полями клевера и запахиванием в двух полях отавы клевера и бобово-злаковой смеси, баланс азота увеличился в положительную сторону до 353,2 кг/га, а интенсивность возросла до 127 %.

В структуре севооборота длительной ротации можно иметь два сидеральных клеверных пара севооборота IV. Для снижения фитотоксичности высевали промежуточную культуру (редька масличная) после бобово-зерновой смеси на сенаж. При невысоком уровне внесения минеральных удобрений за счет биологических факторов в этом севообороте увеличилось поступление азота до 1008,4 кг/га, что значительно выше его выноса с урожаем. Таким образом, мы зафиксировали положительный баланс азота – 483,5 кг/га, а его интенсивность превысила оптимальный уровень (140 %).

Особую обеспокоенность в стране вызывает состояние баланса фосфора, так как за последние 27 лет вынос этого элемента с урожаями культур превысил его поступление в почву более, чем на 12 млн т, что приводит к обеднению почв фосфором. В первую очередь это касается регионов Нечерноземной зоны [24, 25].

Наши исследования показали, что внесение минеральных удобрений  $N_{45}P_{45}K_{45}$  и сидеральных удобрений 11,5–25,5 т/га сохраняет количество подвижного фосфора в почве. Достоверное увеличение этого элемента произошло в сидеральных севооборотах и севообороте с занятым паром на 11–14 мг/кг и содержание по группировке пахотных почв перешло из группы «повышенное» в группу «высокое» (таблица 2).

**Таблица 2 – Баланс фосфора в севооборотах (2002–2009 гг.)**

Показатель		Севооборот			
		I	II	III	IV
Поступило всего (кг/га), в т. ч. с:	минеральными удобрениями	225,0	315,0	270,0	270,0
	сидеральными удобрениями	287,4	436,0	488,7	511,9
	КСО	62,4	121,0	218,7	241,9
Вынос с урожаем, кг/га		426,6	374,2	482,7	462,3
Баланс, кг/га		-139,2	+61,8	+6,0	+49,6
Интенсивность баланса, %		67	117	101	111
Содержание $P_2O_5$ в начале ротации, мг/кг почвы		157	137	147	144
Содержание $P_2O_5$ в конце ротации, мг/кг почвы		160	151	157	155
НСР <sub>05</sub> (по содержанию $P_2O_5$ )		9,5			

В контрольном севообороте с чистым паром внесение наименьшего количества удобрений 225,0 кг/га и отсутствие органических удобрений создало отрицательный баланс фосфора 139,2 кг/га при интенсивности 67 %. Вынос фосфора увеличивается в первую очередь за счет посевов клевера. При урожайности сухого вещества свыше 9,0 т/га из почвы выносятся 111,6–115,2 кг/га этого элемента. Озимая рожь при урожайности 3,5 т/га и выше выносит 37,4–51,4 кг/га азота, яровые зерновые – 43,3–49,5 кг/га.

В севообороте II с занятым паром при внесении 315,0 кг/га фосфора с минеральными удобрениями и 121,0 кг/га с корнестерневыми остатками и растительной массой клеверного сидерата, поступление подвижного фосфора превосходило его потребление растениями, создавая положительный баланс 61,8 кг/га с интенсивностью 117 %.

В сидеральных севооборотах также создавался положительный баланс фосфора, но наибольший его показатель наблюдали в севообороте с двумя клеверными полями и промежуточной культурой. Поступление фосфора с сидеральными культурами в количестве 241,9 кг/га позволило сформироваться положительному балансу (+ 49,6 кг/га) при экологически безопасных нормативах интенсивности [26] для данных почв 111 %. В севообороте с донником благодаря меньшему поступлению органической массы при более высоком выносе питательных элементов получен бездефицитный баланс (101 %).

Баланс калия в течение последних 27 лет в земледелии России складывался со значительным дефицитом. Использование калийных удобрений всегда было ниже, чем азотных и фосфорных, ежегодный дефицит этого элемента менялся от 16 до 36 кг/га при средней дозе внесения 1–2 кг/га [21].

За период исследований в опыте при систематическом внесении калийных удобрений и поступлении органической массы бобовых и зерновых культур количество подвижного калия в почве осталось в пределах группы «повышенного» содержания. Отмечено достоверное увеличение обменного калия в почве сидерального (с двумя полями клевера) севооборота IV – на 15,0 мг/кг (табл. 3).

**Таблица 3 – Баланс калия в севооборотах (2002–2009 гг.)**

Показатель		Севооборот			
		I	II	III	IV
Поступило всего (кг/га), в т. ч. с:	минеральными удобрениями	508,5	834,9	1145,7	1142,4
	сидеральными удобрениями	225,0	315,0	270,0	270,0
	КСО	283,5	519,9	875,7	872,4
Вынос с урожаем, кг/га		806,9	839,0	1075,8	966,6
Баланс, кг/га		-298,4	-4,1	+69,9	+175,8
Интенсивность баланса, %		63	99	107	118
Содержание K <sub>2</sub> O в начале ротации, мг/кг почвы		132	128	128	127
Содержание K <sub>2</sub> O в конце ротации, мг/кг почвы		136	132	138	142
НСР <sub>05</sub> (по содержанию K <sub>2</sub> O)		14,1			

С урожаем культур также выносятся значительное количество этого элемента. Клевера выносят до 186,0–192,0 кг/га калия, яровые зерновые – до 105,6 кг/га, озимая рожь – до 82,0 т/га.

Расчет баланса калия показал, что вынос растениями этого элемента превышал его поступление на 298,4 и 4,1 кг/га в севообороте с чистым (I) и занятым (II) парами. Баланс складывался отрицательный. Интенсивность баланса в контрольном севообороте составляла всего 63 %. В севообороте с занятым паром и одним полем сидеральных культур интенсивность достигала почти 100 % (99,5 %), что превысило экологически безопасные нормативы в зависимости от содержания их подвижных соединений в данном типе почв (70 %).

В сидеральных севооборотах при внесении N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> минеральных и органических (донник, клевер) удобрений получили положительный баланс калия 69,9 и 175,8 кг/га при высоком показателе интенсивности – 107 и 118 % соответственно.

Положительный баланс калия (162 и 37 кг/га) в исследованиях Дзюина А. Г. и Дзюина Г. П. [16] на дерново-подзолистых почвах складывался при внесении N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> на фоне органических удобрений. В исследованиях Виговских Я. с соавторами [27] при внесении низкой дозы калийных удобрений (K<sub>45</sub>) в почве сохраняется дефицит калия (-46... -12,1 кг/га).

Как показали наши предыдущие исследования в шестипольных севооборотах, положительный баланс всех элементов возможен и при более низких дозах минеральных (N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>) и органических удобрений (5 т/га), если в структуре севооборотов чистые пары заменены занятыми и сидеральными и клевер используется два года. Запахивание клевера лугового как сидерального удобрения обеспечивает поступление в почву не менее 10 т/га надземной массы и корней, что равнозначно количеству элементов питания, которое поступает с 30 т навоза. При этом в навозе (справочные данные) содержится в несколько раз меньше азота, фосфора и калия (0,30; 0,12; 0,33 %), чем в растительной массе клевера (1,28; 0,33;

1,18 %) [28, 29]. Это еще раз подтверждает, что биологическая интенсификация в севооборотах направлена на сохранение и повышение плодородия дерново-подзолистых почв.

### Выводы

Проведенные исследования показали, что за восемь лет ротации полевых севооборотов на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах с повышенным содержанием подвижного фосфора и обменного калия при внесении невысоких ( $N_{45}P_{45}K_{45}$ ) доз минеральных удобрений и использовании таких средств биологизации как сидеральные удобрения, промежуточные культуры, запахивание корнестерневых остатков и отавы многолетних и однолетних трав, возможно повышение содержания в почве основных питательных элементов и формирование их положительного баланса.

Положительный баланс азота отмечен в севооборотах с занятыми и сидеральными парами при возделывании в них зернобобовых смесей, донника, клевера лугового (+157,8...+483,5 кг/га) с интенсивностью баланса выше оптимального (115–140 %).

Эти севообороты обеспечили и положительный, но с меньшим поступлением, баланс фосфора (+6,0...+49,6 кг/га) при интенсивности 101–117 %, что соответствует экологически безопасным нормативам.

Положительный баланс калия создавался только в севооборотах с использованием сидеральных органических удобрений (+69,9...+175,8 кг/га) при интенсивности выше оптимального значения (107 и 118 %).

В севообороте с чистым паром при минимальном поступлении питательных элементов баланс NPK был отрицательным при его интенсивности 87, 67 и 63 % соответственно.

По наиболее оптимальному сочетанию продуктивности и баланса элементов питания можно выделить севооборот с двумя сидеральными клеверными парами и одной промежуточной культурой (IV).

### Литература

1. Байбеков Р. Ф. Природоподобные технологии основа стабильного развития земледелия // Земледелие. 2018. № 2. С. 3 – 6. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10201.
2. Шафран С. А. Динамика плодородия почв Нечерноземной зоны // Агрехимия. 2016. № 8. С. 3–10.
3. Иванов А. И., Иванова Ж. А., Воробьев В. А. Агроэкологические последствия длительного использования дефицитных систем удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Агрехимия. 2016. № 4. С. 10–17.
4. Иванов А. И., Цыганова Н. А., Воробьев В. А. Оценка длительного использования хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении разных систем удобрения // Агрехимия. 2010. № 3. С. 17–21.
5. Система ведения агропромышленного производства Кировской области. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. 368 с.
6. Noskova E. N., Shchennikova I. N., Svetlakova E. V. Responsiveness of spring barley cultivars to top-dressing in the conditions of the Volga-Vyatka region // International Scientific and Practical Conference “Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations” (FARBA 2021), 2021. Vol. 254. Art. No. 7009. DOI: 10.1051/e3sconf/202125407009.
7. Сысуев В. А. Приоритеты и проблемы аграрной науки на Евро-Северо-Востоке России // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. № 3(46). С. 4–9.
8. Чеботарев Н. Т., Шергина Н. Н. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность и качество кормовых культур в условиях севера // Кормопроизводство. 2020. № 8. С. 15–19.
9. Измestьев В. М., Свечников А. К. Влияние длительного применения минеральных удобрений на продуктивность кормовых севооборотов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. № 4 (47). С. 29–34.

10. Кудяров В. Н. Эмиссия закиси азота в условиях применения удобрений (аналитический обзор) // Почвоведение. 2020. № 10. С. 1192–1205. DOI: 10.31857/S0032180X2010010X.
11. Voronkova N. A., Bobrenko I. A., Nevenchannaya N. M., Popova V. I. Efficiency of biologization of agriculture in Western Siberia (on the example of the Omsk region) // IOP Conference. Series “Earth and Environmental Science”. 2020. Vol. 548. Art. No. 022071. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022071.
12. Tomashova O., Osenniy N., Abdurashytov S., Ilyin A., Veselova L. Cover crops as the main element of biologization of agriculture in the no-till system for reproduction of soil fertility // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 210. Art. No. 04010. DOI: 10.1051/e3sconf/202021004010.
13. Ерофеев С. А. Биологизация земледелия – основа эколого-ландшафтного земледелия // Евразийский Союз Ученых. 2018. № 8(53). С. 8–11.
14. Лукин С. В. Влияние биологизации земледелия на плодородие почв и продуктивность агроценозов (на примере Белгородской области) // Земледелие. 2021. № 1. С. 11–15. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10103.
15. Сычев В. Г. Агрохимическая служба – 50 лет на благо урожая // Материалы 48-й Международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов «Агроэкологические основы применения удобрений в современном земледелии». М: ВНИИА, 2014. С. 3–14.
16. Дзюин А. Г., Дзюин Г. П. Влияние длительного применения систем удобрений на баланс питательных веществ в почве // Агрохимический вестник. 2015. № 6. С. 14–17.
17. Прянишников Д. Н. Избранные сочинения. М.: Наука, 1963. 724 с.
18. Козлова Л. М. Эффективность полевых севооборотов при различных уровнях интенсификации земледелия в Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 2. С. 30–34.
19. Методические указания по определению баланса питательных веществ азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. М.: ЦИНАО, 2000. 42 с.
20. Баланс гумуса и питательных веществ в интенсивном земледелии: методические указания. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 1989. 25 с.
21. Замятин С. А., Измestьев В. М. Влияние полевых севооборотов на баланс азота в почве // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2013. № 3(34). С. 39–43.
22. Завалин А. А., Пасынков А. В. Азотное питание и прогноз качества зерновых культур. М.: РАСХН, 2007. 208 с.
23. Khaibullin M. M., Kirillova G. B., Yusupova G. M., Kagirow E. S., Ismagilov R. Z., Rakhimov R. R., Sergeev V. S., Khaziev F. H., Gaifullin R. R. & Bagautdinov F. Y. Influence of percentage fertilizer systems on change of agrochemical properties of the arable layer of leach chernozem and on the crops productivity of crop rotation // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. No. 13. P. 6527–6532. DOI: 10.3923/jeasci.2018.6527.6532.
24. Шафран С. А., Кирпичников Н. А., Ермаков А. А., Семенова А. И. Динамика содержания подвижного фосфора в почвах нечерноземной зоны и его регулирование // Агрохимия. 2021. № 5. С. 14–20. DOI: 10.31857/S0002188121050100.
25. Karabutov A. P., Tyutyunov S. I., Solovichenko V. D. Mobile phosphorus and exchange potassium of typical black soil in long-term use of arable land // International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. No. 6. P. 812–816. DOI: 10.35940/ijeat.F1154.0886S19.
26. Шафран С. А., Кирпичников Н. А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах // Агрохимия. 2019. № 4. С. 3–10. DOI: 10.1134/S0002188119040112.
27. Виговскис Я., Ермуш А., Шварта А., Сарканбарде Д., Агафонова Л., Штиканс Ю. Основные показатели плодородия почвы в длительном дренажном стационаре в Латвийской республике // Известия ТСХА. 2012. № 3. С. 136–141.
28. Абашев В. Д., Козлова Л. М. Клевер луговой в севооборотах на дерново-подзолистых почвах Кировской области // Земледелие. 2009. № 3. С. 36–37.
29. Козлова Л. М. Продуктивность и баланс основных питательных элементов в севооборотах при различных уровнях интенсификации // Достижения науки и техники АПК. 2019. № 33(1). С. 6–9. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10102.

## References

1. Baibekov R. F. Nature-like technologies is the basis for sustainable development of agriculture // Zemledelie. 2018. No. 2. P. 3–6. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10201.
2. Shafran S. A. The dynamics of soil fertility in the non-chernozem zone and its reserves // Agrochimia. 2016. No. 8. P. 3–10.

3. Ivanov A. I., Ivanova Zh. A., Vorob'ev V. A., Tsyganova N. A. The agri-environmental consequences of long-term use of scarce systems of fertilizer on well-cultivated soddy-podzolic soils // *Agrohimia*. 2016. No. 4. P. 10–17.
4. Ivanov A. I., Tsyganova N. A., Vorob'ev V. A. Assessing the long-term use of well-cultivated soddy-podzolic soil under different fertilizing systems // *Agrohimia*. 2010. No. 3. P. 17–21.
5. The system of agro-industrial production of the Kirov region. Kirov: North-East Agricultural Research Institute, 2000. 368 p.
6. Noskova E. N., Shchennikova I. N., Svetlakova E. V. Responsiveness of spring barley cultivars to top-dressing in the conditions of the Volga-Vyatka region // International Scientific and Practical Conference “Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations” (FARBA 2021). 2021. Vol. 254. Art. No. 7009. DOI: 10.1051/e3sconf/202125407009.
7. Sysuev V. A. Priorities and problems of agrarian science in Euro-North-East of Russia // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2015. No. 3(46). P. 4–9.
8. Chebotarev N. T., Shergina N. N. The effect of long-term fertilization on forage crop productivity and quality in the North // *Fodder Production*. 2020. No. 8. P. 15–19.
9. Izmetev V. M., Svechnikov A. K. Effect of long-term application of fertilizers on productivity of forage crop rotations // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2015. No. 4(47). P. 29–34.
10. Kudryarov V. N. Nitrous oxide emission from soils at the fertilizers application (analytical review) // *Eurasian Soil Science*. 2020. No. 10. P. 1192–1205.
11. Voronkova N. A., Bobrenko I. A., Nevenchannaya N. M., Popova V. I. Efficiency of biologization of agriculture in Western Siberia (on the example of the Omsk region) // IOP Conference. Series “Earth and Environmental Science”. 2020. Vol. 548. Art. No. 022071. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022071.
12. Tomashova O., Osenniy N., Abdurashytov S., Ilyin A., Veselova L. Cover crops as the main element of biologization of agriculture in the no-till system for reproduction of soil fertility // *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 210. Art. No. 04010. DOI: 10.1051/e3sconf/202021004010.
13. Erofeev S. A. Biological of zemedelie – based ecological-landscape agriculture // *Eurasian Union of Scientists*. 2018. No. 8(53). P. 8–11.
14. Lukin S. V. Influence of agriculture biologization on soil fertility and productivity of agrocenoses (Belgorod experience) // *Zemledelie*. 2021. No. 1. P. 11–15. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10103.
15. Sychov V. G. Agrochemical service – 50 years for the benefit of the crop // Materials of the 48<sup>th</sup> International. scientific. conf. young scientists, agrochemists and environmentalists “Agroecological foundations of fertilizer use in modern agriculture”. Moscow: VNIIA, 2014. P. 3–14.
16. Dzyuin A. G., Dzyuin G. P. Influence of long-term application of fertilizers on nutrient balance in soil // *Agrochemical Herald*. 2015. No. 6. P. 14–17.
17. Pryanishnikov D. N. Selected articles. Moscow: Nauka, 1963. 724 p.
18. Kozlova L. M. Working out of field crop rotations at various levels of intensification of agriculture in Kirov region // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2014. No. 2. P. 30–34.
19. Methodological guidelines for determining the balance of nutrients of nitrogen, phosphorus, potassium, humus, calcium. Moscow: CINA0, 2000. 42 p.
20. Balance of humus and nutrients in intensive agriculture: methodological guidelines. Kirov: North-East Agricultural Research Institute, 1989. 25 p.
21. Zamjatin S. A., Izmetjev V. M. The influence of field crop rotations on the balance of nitrogen in the soil // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2013. No. 3(34). P. 39–43.
22. Zavalin A. A., Pasyukov A. V. Nitrogen nutrition and grain quality forecast. Moscow: RASkHN, 2007. 208 p.
23. Khaibullin M. M., Kirillova G. B., Yusupova G. M., Kagirov E. S., Ismagilov R. Z., Rakhimov R. R., Sergeev V. S., Khaziev F. H., Gaifullin R. R. & Bagautdinov F. Y. Influence of percentage fertilizer systems on change of agrochemical properties of the arable layer of leach chernozem and on the crops productivity of crop rotation // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. No. 13. P. 6527–6532. DOI: 10.3923/jeasci.2018.6527.6532.
24. Shafran S. A., Kirpichnikov N. A., Ermakov A. A., Semenova A. I. Dynamics of the content of mobile phosphorus in the soils of the non-chernozem zone and its regulation // *Agrohimia*. 2021. No. 5. P. 14–20. DOI: 10.31857/S0002188121050100.
25. Karabutov A. P., Tyutyunov S. I., Solovichenko V. D. Mobile phosphorus and exchange potassium of typical black soil in long-term use of arable land // *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. No. 6. P. 812–816. DOI: 10.35940/ijeatF1154.0886S19.
26. Shafran S. A., Kirpichnikov N. A. Scientific Basis for Predicting the Content of Mobile Forms of Phosphorus and Potassium in Soils // *Agrohimia*. 2019. No. 4. P. 3–10. DOI: 10.1134/S0002188119040112.



27. Vigovskis J., Jermuss A., Svarta A., Sarkanbarde D., Agafonova L., Stikans J. Main indices of soil fertility in the long-term drainage experiment in the Republic of Latvia // *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2012. No. 3. P. 136–141.

28. Abashev V. D., Kozlova L. M. Meadow clover in crop rotations in sod-podzolic soil in Kirov region // *Zemledelie*. 2009. No. 3. P. 36–37.

29. Kozlova L. M. Productivity and balance of main nutrients in crop rotations at different levels of intensification // *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2019. No. 33(1). P. 6–9. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10102.

UDC 631.582 : 631.82 : 631.86 : 631.811

Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A., Svetlakova E. V.

### **BALANCE OF NUTRITION ELEMENTS IN CROP ROTATION UNDER BIOLOGIZED ADAPTIVE LANDSCAPE FARMING**

**Summary.** *In the light of recent developments, the use of biological techniques in crop cultivation technologies needs to be expanded. The role of crop rotations with a high proportion of legume grasses, green manure crops and intermediate crops is increasing. The purpose of the research is to study soil fertility dynamics in terms of the main nutritional elements and determine their balance for the development of the adaptive landscape farming system in the North-Eastern region of the European part of Russia. Experiments were carried out on the experimental plots of the FARC of the North-East in 2002–2009. Soil – sod-podzolic middle loamy. We analyzed data of a long-term stationary experiment in four grain-fallow-grass field crop rotations. Meteorological conditions during the years of research were close to the average long-term values and favorable for crop cultivation. The introduction of low doses of fertilizers ( $N_{45}P_{45}K_{45}$  as mineral, 11.5–22.5 t/ha as green manure) increased the content of mobile phosphorus in the soil by 11–14 mg/kg ( $LSD_{05} = 9.5$ ) in crop rotations with occupied and green manure fallows. An increase in exchangeable potassium by 15 mg/kg ( $LSD_{05} = 14.1$ ) was noted in crop rotation with two clover fields for green manure. A positive balance of nitrogen and phosphorus was obtained in crop rotation with occupied and green manure fallows. The nitrogen balance was with a higher intake of +157.8 – +483.5 kg/ha and balance intensity – 115–140 %. The balance of phosphorus has developed at +6.0...+49.6 kg/ha. The positive balance of potassium was only in crop rotations with the introduction of green manure fertilizers and intermediate crop (+69.9...+175.8 kg/ha). The intensity of the balance of these elements was 101–118 %. In the control crop rotation with bare fallow at a minimum intake of nutrients, the negative balance of nitrogen, phosphorus and potassium was obtained; the intensity was below 100 %. Productivity of crop rotation was at the level of 4.90–5.41 thousand fodder units. According to the optimal combination of productivity and the balance of nutritional elements, crop rotation with two clover fields for green manure and an intermediate crop stood out.*

**Keywords:** *balance of nitrogen, phosphorus, potassium, balance intensity, mineral fertilizers and green manure, fertility.*

Козлова Людмила Михайловна, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая отделом земледелия, агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166А; e-mail: zemledel\_niish@mail.ru.

Носкова Евгения Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166А; e-mail: zemledel\_niish@mail.ru.

Попов Фёдор Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории земледелия, заведующий лабораторией агрохимии и кормопроизводства,

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166А; e-mail: zemledele\_niish@mail.ru.

Светлакова Елена Вячеславовна, младший научный сотрудник лаборатории агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166А; e-mail: zemledele\_niish@mail.ru.

Kozlova Lyudmila Mikhailovna, Dr. Sc. (Agr.), head of the Department of crop farming, agrochemistry and fodder production, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky”; 166a, Lenin str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: zemledele\_niish@mail.ru.

Noskova Eugenia Nikolaevna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, Laboratory of soil management, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky”; 166a, Lenin str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: zemledele\_niish@mail.ru.

Popov Fyodor Aleksandrovich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, head of the Laboratory of agrochemistry and fodder production, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky”; 166a, Lenin str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: zemledele\_niish@mail.ru.

Svetlakova Elena Vyacheslavovna, junior researcher of the Laboratory of agrochemistry and fodder production, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky”; 166a, Lenin str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: zemledele\_niish@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 28.04.2021.*

*Дата принятия к печати – 25.08.2021.*

DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-95-106

УДК 633.15.631.52.632.112

Кривошеев Г. Я., Шевченко Н. А., Игнатъев А. С.

## ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ НОВЫХ САМООПЫЛЕННЫХ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ И МЕТОДЫ ЕЕ ОЦЕНКИ

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»

**Реферат.** Учитывая, что в Российской Федерации более половины посевов кукурузы расположены в зонах с недостаточным и неустойчивым увлажнением, селекция на засухоустойчивость крайне актуальна для этой культуры. Цель исследований – изучение засухоустойчивости самоопыленных линий кукурузы различными методами, выделение лучших образцов для дальнейшей селекции, выявление косвенных критериев оценки засухоустойчивости. Исследования выполнены в АНЦ «Донской», расположенном в южной зоне Ростовской области, характеризующейся неустойчивым увлажнением. Годы проведения исследования оказались засушливыми (ГТК = 0,32–0,89). В качестве исходного материала использованы новые самоопыленные линии кукурузы, которые по мере завершения создания изучали по устойчивости к водному стрессу (в 2011–2013 гг. – 41 шт., в 2015–2017 гг. – 39 шт., 2018–2020 гг. – 25 шт.). Используя методические указания по селекции кукурузы, учитывали следующие признаки продуктивности: количество початков на одном растении, массу одного початка, массу 1000 зерен, количество зерен на початке и др. В 2011–2013 гг. на основе комплексной оценки выделены новые среднеранние засухоустойчивые самоопыленные линии кукурузы: ДК47111, СП203, КС211, С204 и С238. Они характеризовались невысокими значениями остаточного водного дефицита как в фазе цветения (6,9–12,8 %), так и в фазе молочно-восковой спелости (9,0–13,4 %), высоким индексом засухоустойчивости (68,6–85,6 %), мощной корневой системой (усилие отрыва растений от грунта 54,0–67,7 кгс), минимальным разрывом в цветении мужских и женских соцветий (1–2 сут). В 2015–2017 гг. по остаточному водному дефициту (ОВД) были выделены линии: КВ334, RD6, ДС498/217-4, ДС257/85-3, ДС257/85-1, ДС257/85-6, ДС257/85-4. В исследованиях 2018–2020 гг. высокую устойчивость к водному стрессу проявили новые самоопыленные линии кукурузы: КС317А, КВ240, ЛШ16, С86, ЛШ17 и ЛШ2. Рекомендованы критерии отбора при создании новых линий – это отсутствие бесплодия и озерненности початков.

**Ключевые слова:** кукуруза (*Zea mays* L.), самоопыленные линии, гибриды, индекс засухоустойчивости, остаточный водный дефицит.

**Для цитирования:** Кривошеев Г. Я., Шевченко Н. А., Игнатъев А. С. Засухоустойчивость новых самоопыленных линий кукурузы и методы ее оценки // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 95–106. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-95-106.

**For citation:** Krivosheev G. Ya., Shevchenko N. A., Ignatiev A. S. Drought tolerance of the new self-pollinated lines of maize and the methods of its estimation // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 95–106. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-95-106.

### Введение

До 80 % сельскохозяйственных угодий в Российской Федерации находятся в зоне рискованного земледелия [1]. Учитывая, что кукуруза относится к влаголюбивым культурам, засуха для нее считается одним из наиболее вредоносных стресс-факторов внешней среды [2]. Около половины посевов

кукурузы в России расположены в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения. Анализ метеоданных за последние десятилетия свидетельствует об усилении аридности климата [3]. Все это подтверждает важность направления селекции на засухоустойчивость для кукурузы.

Под засухоустойчивостью растений понимают их способность при высоких температурах, низкой атмосферной влажности воздуха и почвы более продуктивно расходовать запасы влаги и формировать при этом высокую урожайность и качество зерна в сравнении с незасухоустойчивыми формами [4].

В научно-исследовательских учреждениях имеются программы селекции на засухоустойчивость [5]. Для оценки засухоустойчивости растений используются различные методы [6, 7]. Один из наиболее распространенных – метод остаточного водного дефицита. Остаточный водный дефицит – это недостающее до полного насыщения клеток количество воды, выраженное в процентах от общего его содержания при полном насыщении тканей [8].

Чем мощнее корневая система, тем более засухоустойчивы растения, поэтому некоторые исследования направлены на изучение корневой системы сельскохозяйственных растений [9].

О засухоустойчивости генотипа можно судить по урожайности, которую он формирует в условиях дефицита влаги. Однако более надежный показатель – это снижение урожайности в засушливых условиях по сравнению с влагообеспеченными. Это снижение, выраженное в процентах, называют индексом засухоустойчивости [10]. Все растения снижают урожайность в условиях дефицита влаги, однако величина этого снижения меньше у стрессоустойчивых форм.

Некоторые исследователи [12] предлагают использовать для оценки засухоустойчивости самоопыленных линий кукурузы величину разрыва в цветении мужских и женских соцветий. При разрыве в цветении более трех дней происходит снижение урожайности.

Для создания нового стрессоустойчивого исходного материала применяют классические и современные молекулярные методы [13]. Успех в создании гибридов кукурузы для зон с дефицитом влаги зависит от наличия такого исходного материала.

**Цель исследований** – изучение засухоустойчивости самоопыленных линий кукурузы различными методами, выделение лучших образцов для дальнейшей селекции, выявление косвенных критериев оценки засухоустойчивости.

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

Исследования выполняли в 2011–2013 и 2015–2020 гг. в «Аграрном научном центре «Донской», расположенном в южной зоне Ростовской области, характеризующейся неустойчивым увлажнением, климат – умеренно-континентальный. Почва опытного участка – обыкновенный чернозем, мощностью 120 см с содержанием гумуса 3,3–3,4%. Годы проведения исследований характеризовались как засушливые (ГТК = 0,32–0,89). Во все годы в период вегетации кукурузы отмечали суховейные явления и почвенную и воздушную засухи, максимальная температура воздуха достигала 35–40 °С. Такие погодные условия создали фон для выделения засухоустойчивых генотипов.

В качестве исходного материала использовали новые среднеранние самоопыленные линии кукурузы, которые, по мере завершения создания (выполнения шестого самоопыления – I6) изучали по засухоустойчивости. В 2011–

2013 гг. в изучение вовлекли 41 самоопыленную линию, в 2015–2017 гг. – 39, в 2018–2020 гг. – 25.

В качестве стандарта в 2011–2013 и 2018–2020 гг. использовали линию PLS 61 ЗМ, в 2015–2017 гг. – линию КС 211.

В 2011–2013 гг. засухоустойчивость оценивали методом остаточного водного дефицита [14], по индексу засухоустойчивости [15], по разрыву в цветении мужских и женских соцветий [11, 12], по мощности корневой системы [16].

Индекс засухоустойчивости рассчитывали как отношение урожайности второго срока посева (менее благоприятного) к первому (более благоприятному) выраженное в процентах. Схема закладки опытов определения индекса засухоустойчивости в 2011–2013 гг.: первый срок посева – 41 линия в двух повторностях на делянках 10 м<sup>2</sup>, второй срок – 41 линия в двух повторностях на делянках 10 м<sup>2</sup>.

Мощность корневой системы оценивали предложенным нами способом. Мы предположили, что усилие, необходимое для вырывания растений при прочих равных условиях (фаза развития растений, плотность, влажность почвы и т.д.) требуется тем большее, чем мощнее корневая система у растений. Усилие, определенное в момент отрыва растений, выразили в килограммах силы (кгс). Сравнение этого показателя у самоопыленных линий между собой и со стандартом позволило дифференцировать их по мощности корневой системы.

Прирост остаточного водного дефицита (ОВД) определяли по разности величин водного дефицита в фазе молочно-восковой спелости и фазе цветения.

Для оценки засухоустойчивости в дальнейших исследованиях (2015–2020 гг.) был выбран классический метод – по остаточному водному дефициту, как один из наиболее распространенных, надежных и наименее затратных.

Создание новых самоопыленных линий кукурузы вели стандартным методом [17]. Используя методические указания по селекции кукурузы, учитывали следующие признаки продуктивности: количество початков на одном растении, массу одного початка, массу 1000 зерен, количество зерен на початке, количество рядов зерен, количество зерен в ряду, выход зерна при обмолоте.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по Доспехову [18].

Рисунки и таблицы иллюстрируют лучшие линии по изучаемым признакам.

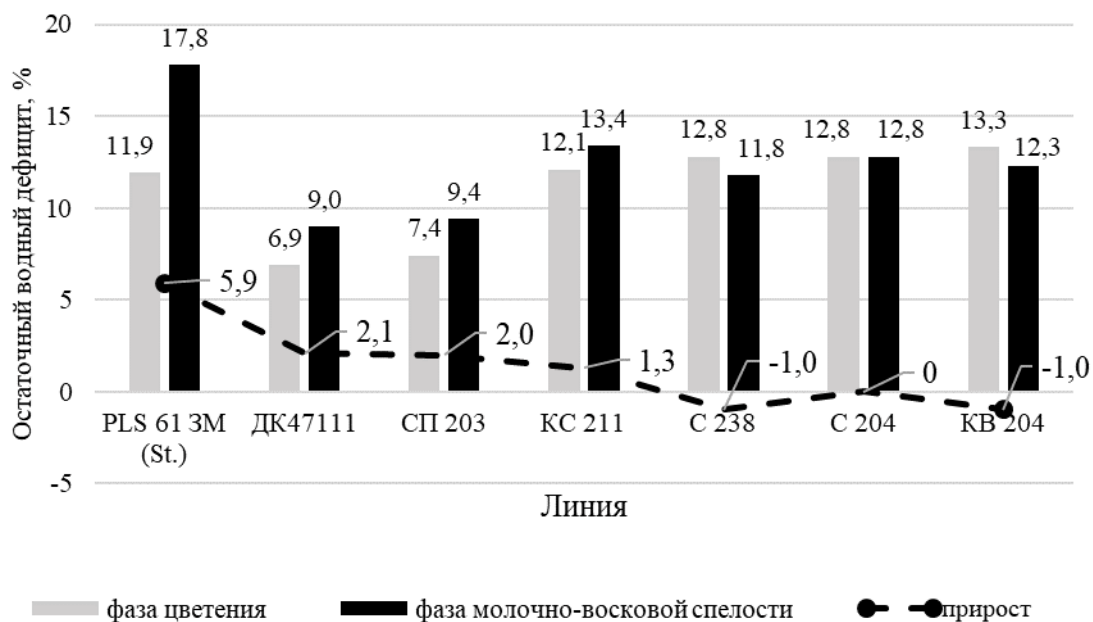
### Результаты и их обсуждение

В 2011–2013 гг. изучали сестринские линии, созданные в результате самоопыления гибридной комбинации Fc 18 × KB 215. Линия Fc 18 получена из мировой коллекции (Франция), линия KB 215 – селекции «АНЦ “Донской”». В процессе создания расхождение сестринских линий началось со второго инцухта. Новые линии константны (достигли шестого самоопыления), относятся к среднеранней группе спелости (ФАО 200), подвиду кукуруза зубовидная (*Zea mays* L. subsp. *identata*).

В 2011–2013 гг. засухоустойчивость линий кукурузы изучена различными методами. С использованием метода остаточного водного дефицита выделены шесть самоопыленных линий из 41 изученной. Стандарт – линия PLS 61 ЗМ характеризовалась невысокой засухоустойчивостью: высокий ОВД в фазе молочно-восковой спелости – 17,8 %, высокий прирост ОВД – 5,9 %.

Низкие и невысокие значения ОВД как в фазе цветения (6,9–13,3 %), так и в фазе молочно-восковой спелости (9,0–13,4 %), отмечали у линий ДК 47111, СП

203, KB 204, KC 211, C 204 и C 238. Прирост ОВД в процессе усиления засухи был незначительным (1,3–2,1 %) либо отсутствовал (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Изменение остаточного водного дефицита у лучших среднеранних самоопыленных линий кукурузы (2011–2013 гг.)**

Снижение урожайности в засушливых условиях по отношению к влагообеспеченным является показателем засухоустойчивости.

Выделены среднеранние линии, достоверно превысившие стандарт по индексу засухоустойчивости – ДК 47111, СП 203, С 95, KC 211, С 204 и С 238 (68,6–85,6 %). У стандартной линии значение индекса засухоустойчивости составило 52,6 % (таблица 1).

**Таблица 1 – Индекс засухоустойчивости лучших среднеранних самоопыленных линий кукурузы (2011–2013 гг.)**

Линия	Урожайность зерна при 14 % влажности, т/га		Индекс засухоустойчивости, %
	первый срок посева	второй срок посева	
PLS 61 3M (St.)	0,78	0,41	52,6
ДК 47111	1,11	0,95	85,6
СП 203	1,22	0,98	80,3
С 95	0,84	0,65	77,4
С 204	1,19	0,92	77,3
KC 211	1,20	0,86	71,7
С 238	1,21	0,83	68,6
НСР <sub>05</sub>	0,25	0,14	14,8

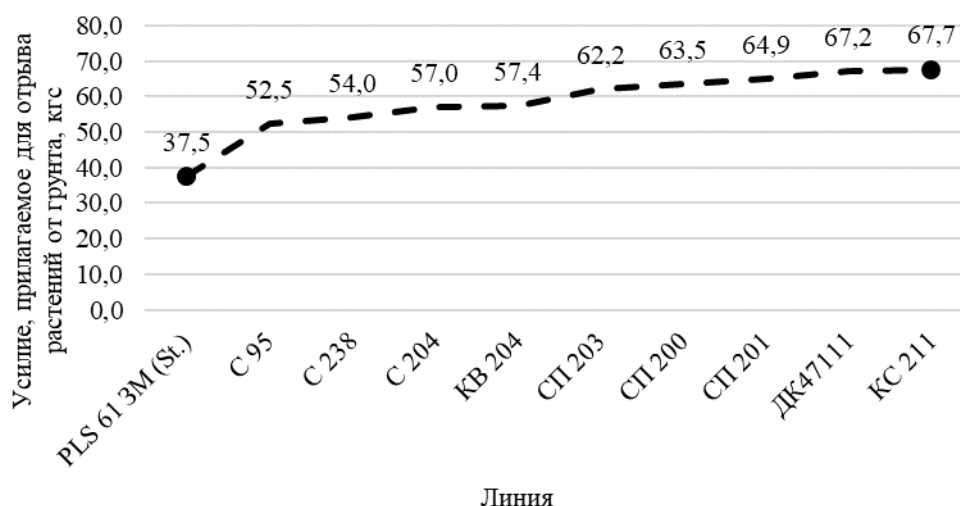
Метод оценки засухоустойчивости по разрыву в цветении мужских и женских соцветий позволил дифференцировать изучаемый исходный материал. Чем меньше разрыв в цветении между метелками и початками растений кукурузы, тем лучше проходит процесс опыления в условиях дефицита влаги и высоких температур воздуха. Учитывая, что нормальный процесс опыления нарушается при разрыве в цветении более трех суток, к лучшим отнесены линии, у которых этот показатель

составляет трое и менее суток. Выделены среднеранние самоопыленные линии с минимальным разрывом в цветении: ДК 47111 и С 196 (одни сутки), СП 200, СП 203, С 29, С 95, КС 211, КС 212, КС 214, С 204 и С 238 (двое суток), С 13, С 86 и КВ 204 (трое суток). Всего из 41 исследованной линии выделены 14. У стандартной линии разрыв в цветении составил трое суток (таблица 2).

**Таблица 2 – Разрыв в цветении между мужскими и женскими соцветиями у среднеранних самоопыленных линий кукурузы**

Линия	Количество дней от цветения метелок до цветения початков			
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2011–2013 гг.
PLS 61 3М (St.)	3	2	4	3
ДК 47111	1	1	2	1
С 196	1	1	2	1
КС 211	2	2	2	2
КС 212	2	2	3	2
КС 214	1	2	3	2
С 29	3	2	2	2
С 95	2	2	3	2
С 204	2	2	3	2
С 238	2	2	2	2
СП 200	2	2	2	2
СП 203	2	2	3	2
КВ 204	2	3	3	3
С 13	3	3	4	3
С 86	3	3	4	3
НСР <sub>05</sub>				0,5

Мощность корневой системы определяли по усилию отрыва растений от грунта. Достоверно превысили стандарт на 15,2–30,2 кгс по изучаемому признаку среднеранние самоопыленные линии: С 95, С 238, С 204, КВ 204, СП 203, СП 200 СП 201, ДКС 47111 и КС 211. У выделенных линий величина этого показателя составила 52,5–67,7 кгс, у стандартной линии 37,5 кгс (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Усилие, прилагаемое для отрыва растений лучших среднеранних самоопыленных линий кукурузы от грунта (2011–2013 гг.)**

Примечание. НСР<sub>05</sub> = 10,0 кгс.

Используя комплексную оценку, всеми методами выделено пять из 41 среднеранней самоопыленной линии кукурузы: ДК 47111, СП 203, КС 211, С 204, С 238, характеризующихся высокой засухоустойчивостью (таблица 3).

**Таблица 3 – Сводная таблица оценки засухоустойчивости среднеранних самоопыленных линий кукурузы (2011–2013 гг.)**

Линии	Остаточный водный дефицит	Индекс засухоустойчивости	Разрыв в цветении метелки и початков	Мощность корневой системы
PLS 61 3М (St.)			+	
ДК 47111	+	+	+	+
КС 211	+	+	+	+
С204	+	+	+	+
С238	+	+	+	+
СП 203	+	+	+	+
КВ 204	+		+	+
С 95		+	+	+
СП 200			+	+
КС 212			+	
КС 214			+	
С 13			+	
С 29			+	
С 196			+	
СП 201				+

По трем методам (ОВД, разрыв в цветении, мощностью корневой системы) как засухоустойчивые выделены линии КВ 204 и С 95, по двум (разрыв в цветении, мощность корневой системы) – СП 200, по одному методу (разрыв в цветении метелок и початков) – С 13, С 29, С 196, КС 212, КС 214 и стандарт PLS 61 3М, по мощности корневой системы выделена линия СП 201.

В ходе исследований получены экспериментальные данные, свидетельствующие о совпадении результатов оценки различными методами засухоустойчивости самоопыленных линий кукурузы. Но полного соответствия результатов оценки не отмечено, поэтому, чем больше используют методов оценки засухоустойчивости, тем более точным получается результат.

Однако, использование одновременно нескольких методов оценки засухоустойчивости – очень трудоемкий процесс. Исследователям часто приходится выбирать один метод – наименее трудоемкий и наиболее точный. Среди четырех изученных методов наименее трудоемкими оказались: определение разрыва в цветении между мужскими и женскими соцветиями и метод остаточного водного дефицита. Однако дифференциация линий по засухоустойчивости на основе разрыва в цветении менее точная, чем по ОВД. Поэтому, для дальнейшей работы по изучению устойчивости исходного материала к водному стрессу был выбран классический метод оценки – по остаточному водному дефициту.

В процессе создания новых самоопыленных линий кукурузы селекционеры вынуждены работать с большим количеством исходного материала – самоопыляемыми потомствами (не константными самоопыленными линиями I<sub>2</sub>–I<sub>5</sub>), которые в процессе инцуктирования к шестому поколению достигнут константности.

В условиях недостаточного увлажнения необходимы удобные критерии отбора в полевых условиях, которые могут повысить вероятность отбора более засухоустойчивых самоопыляемых потомств. Проведены исследования для выявления таких критериев.

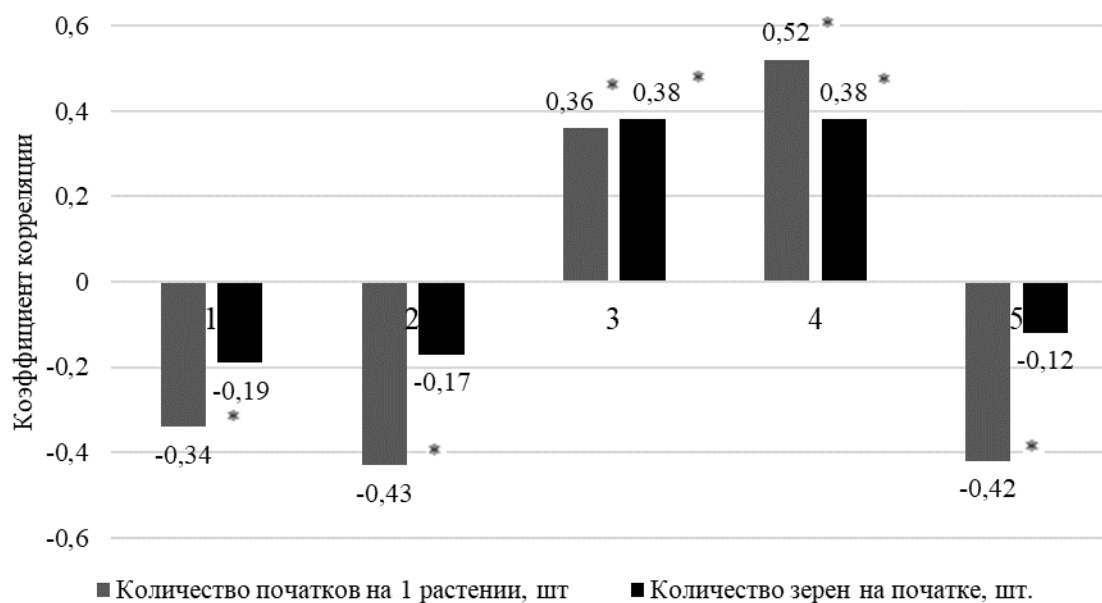


Проведен корреляционный анализ между показателями засухоустойчивости и признаками продуктивности: «количество початков на одном растении», «масса одного початка», «масса 1000 зерен», «количество рядов зерен», «количество зерен в ряду», «количество зерен на початке», «выход зерна при обмолоте».

Выявлены средние положительные и отрицательные корреляционные зависимости между количеством початков на одном растении с одной стороны и мощностью корневой системы ( $r = 0,52 \pm 0,13$ ), ОВД в фазе молочно-восковой спелости ( $r = -0,43 \pm 0,13$ ), разрывом в цветении мужских и женских соцветий ( $r = -0,42 \pm 0,13$ ), индексом засухоустойчивости ( $r = 0,36 \pm 0,13$ ) с другой стороны.

В засушливых условиях самоопыленные линии кукурузы, как правило, формируют в среднем менее одного початка на растении, то есть показатель количества початков на одном растении можно считать обратным величине бесплодия. Следовательно, самоопыленные линии, отличающиеся меньшим количеством бесплодных растений, характеризуются более высокой засухоустойчивостью, а отбор в условиях недостаточного увлажнения по этому признаку позволит выделить желательные генотипы.

Установлены невысокие достоверные коэффициенты корреляции между признаком «количество зерен на початке» и индексом засухоустойчивости ( $r = 0,38 \pm 0,15$ ), а также мощностью корневой системы ( $r = 0,38 \pm 0,15$ ) (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Коэффициенты корреляции между показателями засухоустойчивости и признаками продуктивности (2011–2013 гг.)**

**Примечания:** 1 – прирост остаточного водного дефицита, 2 – остаточный водный дефицит в фазе молочно-восковой спелости, 3 – индекс засухоустойчивости, 4 – мощность корневой системы, 5 – разрыв в цветении между мужскими и женскими соцветиями. \* значимы при  $p \leq 0,01$ .

Признак «количество зерен на початке» в засушливых условиях служит показателем озерненности початков самоопыленных линий кукурузы.

То есть менее засухоустойчивые образцы в условиях недостаточного увлажнения характеризуются череззерницей.

Связь засухоустойчивости с другими признаками продуктивности (масса одного початка, масса 1000 зерен, количество рядов зерен, количество зерен в ряду) самоопыленных линий отсутствовала или оказалась незначительной.

Работа по оценке засухоустойчивости продолжилась в последующие годы. К 2015 г. завершено создание 42 новых сестринских самоопыленных линий кукурузы. Они достигли константности (выполнено шестое самоопыление). В качестве исходного материала для создания линий использован специально созданный гибрид ГК 26 × КВ 262. Линия ГК 26 – из мировой коллекции (США), линия КВ 262 – селекции «АНЦ «Донской». Расхождение сестринских линий – со второго инцухта. Созданные линии среднеспелые (ФАО 200), зубовидные и полузубовидные. В процессе создания линий проводили отбор самоопыляемых потомств с учетом критериев, выявленных в исследованиях 2011–2013 гг.

Новые константные самоопыленные линии были оценены по засухоустойчивости в 2015–2017 гг. методом остаточного водного дефицита. В качестве стандарта для среднеранней группы была принята линия КС 211, которая выделена нами как засухоустойчивая в 2011–2013 гг.

В исследованиях 2015–2017 гг. выделено семь линий (КВ 334, RD 6, ДС 498/217-4, ДС 257/85-3, ДС 257/85-1, ДС 257/85-6, ДС 257/85-4), характеризующихся невысокими значениями водного дефицита в фазе цветения (8,1–11,7 %) и небольшим его приростом (0,6–3,2 %) к фазе молочно-восковой спелости. У линий ДС 257/85-1 и ДС 257/85-4 наблюдали снижение значений ОВД в процессе усиления засухи (на 1,1 и 0,7 % соответственно). Значения ОВД стандартной линии КС 211 в фазе цветения составили 9,9 %, в фазе молочно-восковой спелости – 12,7 %, прирост – 2,8 % (таблица 4).

**Таблица 4 – Изменение остаточного водного дефицита у лучших среднеранних среднеспелых самоопыленных линий кукурузы (2015–2017 гг.)**

Линия	Остаточный водный дефицит, %		
	фаза цветения	фаза молочно-восковой спелости	прирост
КС 211 (St.)	9,9	12,7	2,8
КВ 334	8,1	11,3	3,2
RD 6	8,2	11,4	3,2
ДС 498/217-4	9,3	12,2	2,9
ДС 257/85-3	10,3	11,7	1,4
ДС 257/85-1	11,4	10,3	-1,1
ДС 257/85-6	11,5	12,1	0,6
ДС 257/85-4	11,7	11,0	-0,7
НСР <sub>05</sub>	2,1	2,3	1,1

В 2017 г. в АНЦ «Донской» завершено создание 25 других новых самоопыленных линий кукурузы. В качестве исходного материала использованы зарубежные гибриды: NS 101, NS 221 (Сербия), Pr 36 N 70, Кларика (США) и др., выделившиеся в экологическом испытании. Новые линии не сестринские, среднеранние, относятся к подвиду зубовидной кукурузы. В процессе создания линий проводили отбор самоопыляемых потомств с учетом критериев, выявленных в исследованиях 2011–2013 гг. Для инцухтирования отбирали потомства, не имеющие бесплодных растений, с хорошо озерненными початками.

Новые самоопыленные линии в 2018–2020 гг. были оценены по засухоустойчивости методом остаточного водного дефицита. Выделены среднеранние линии: КС 317 А, КВ 240, ЛШ16, С 86, ЛШ 17 и ЛШ 2 с низкими значениями остаточного водного дефицита в фазу цветения (7,9–10,4 %) и невысоким его приростом в процессе усиления засухи в фазе молочно-восковой спелости (1,5–3,3 %). Стандартная среднеранняя линия PLS 61 ЗМ характеризовалась низкими значениями ОВД в фазе цветения (10,6 %), но высоким его приростом (6,7 %) (таблица 5).

**Таблица 5 – Изменение остаточного водного дефицита у лучших среднеранних самоопыленных линий кукурузы (2018–2020 гг.)**

Линия	Остаточный водный дефицит, %		
	фаза цветения	фаза молочно–восковой спелости	прирост
PLS 61 3М (St.)	10,6	17,3	6,7
КС 317 А	7,9	11,2	3,3
С 86	9,1	12,2	3,1
ЛШ 16	9,7	12,0	2,3
ЛШ 2	9,9	12,6	1,9
КВ 240	10,3	11,8	1,5
ЛШ 17	10,4	12,4	2,0
НСР <sub>05</sub>	2,0	2,5	1,3

Новые устойчивые к водному стрессу линии, выделенные в 2011–2013, 2015–2020 гг., включены в программы скрещиваний для создания засухоустойчивых гибридов кукурузы.

#### Выводы

В результате исследований 2011–2013 гг. выделены новые среднеранние засухоустойчивые самоопыленные линии кукурузы: ДК 47111, СП 203, КС 211, С 204 и С 238. Они показали высокую засухоустойчивость, определяемую различными методами: по остаточному водному дефициту, индексу засухоустойчивости, мощности корневой системы и разрыву в цветении мужских и женских соцветий. Среди использованных предпочтительнее классический метод остаточного водного дефицита, как наименее трудоемкий и наиболее точный. Выявлены косвенные критерии засухоустойчивости, которые рекомендуется использовать при отборе самоопыленных потомств в процессе создания линий – отсутствие бесплодия и озерненность початков. Коэффициенты корреляции между количеством початков на одном растении (обратной величине бесплодия) и показателями засухоустойчивости составили  $-0,42$ – $0,52$ . Коэффициент корреляции между количеством зерен на початке (озерненностью) и индексом засухоустойчивости равнялся  $0,38$ .

В 2015–2017 гг. методом остаточного водного дефицита выделены новые засухоустойчивые среднеспелые самоопыленные линии кукурузы: КВ 334, RD-6, ДС 498/217-4, ДС 257/85-3, ДС 257/85-1, ДС 257/85-6, ДС 257/85-4 с невысокими значениями водного дефицита в фазе цветения ( $8,1$ – $11,7$  %) и незначительным его приростом ( $0,6$ – $3,2$  %) или отсутствием прироста в процессе усиления засухи к фазе молочно–восковой спелости.

В исследованиях 2018–2020 гг. высокую устойчивость к водному стрессу проявили новые линии КС 317 А, КВ 240, ЛШ 16, С 86, ЛШ 17 и ЛШ 2.

Самоопыленные линии, выделенные в годы изучения, включены в программы скрещиваний по созданию новых засухоустойчивых гибридов кукурузы.

#### Литература

1. Демин А. П. Мелиорация – фактор продовольственной безопасности // Экономика сельского хозяйства России. 2012. № 12. С. 75–85.
2. Witt S., Galicia L., Lisek J., Tiessen A., Araus J. L., Palacios-Rojas N., Fernie A. R. Metabolic and phenotypic responses of greenhouse-grown maize hybrids to experimentally controlled drought stress // Molecular Plant. 2012. Vol. 5. Part. 2. P. 401–417. DOI: 10.1093/mp/ssr102..
3. Попов А. С., Янковский Н. Г., Овсяникова Г. В., Сухарев А. А., Кравченко М. Е. Особенности погодных условий в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России 2012. № 3(21) С. 56–59.
4. Генкель П. А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений. М.: Наука, 1982. 279 с.

5. Cooper M., Gho C., Leafger R., Tang T., Messina C. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US corn-belt: discovery to product // *Journal of Experimental Botany*. 2014. Vol. 65. Part 21. P. 6191–6194. DOI: 10.1093/jxb/eru064.
6. Messina C. D., Podlich D., Dong Z., Samples M., Cooper M. Yield-trait performance landscapes: from theory to application in breeding maize for drought tolerance // *Journal of Experimental Botany*. 2011. Vol. 62. Part 3. P. 855–868. DOI: 10.1093/jxb/erq329.
7. Worku M., Groote R., Munyua B., Makumbi D., Owino F., Crossa J., Beyene Y., Mugo S., Jumbo M., Mutinda Ch., Kwemol D., Woyengo V., Olsen M., Prasanna B. On-farm performance and farmers' participatory assessment of new stress-tolerant maize hybrids in Eastern Africa // *Field Crops Research*. 2020. Vol. 246. No. 107693. DOI: 10.1016/j.fcr.2019.107693.
8. Ионова Е. В., Газе В. Л. Остаточный водный дефицит (ОВД) как показатель засухоустойчивости растений // *Сборник научных трудов ВНИИЗК «Достижения, направления развития сельскохозяйственной науки России»*. Ростов-на Дону: ЗАО «Книга», 2005. С. 306–309.
9. Sharp R. E., Silk W. K., Hsiao T. C. Growth of the maize primary root at low water potentials // *Plant Physiol*. 1988. Vol. 87. P. 55–57. DOI: 10.1104/pp.87.1.50.
10. Щербак В. С., Нагорнов А. И. Возможности использования экзотических рас кукурузы стран Латинской Америки в качестве источников засухоустойчивости // *Сборник научных трудов «Селекция и генетика кукурузы»*. Краснодар: ВАСХНИЛ, 1987. С. 63–72.
11. Романова А. А., Панфилова О. Н. Создание и изучение исходного материала для селекции засухоустойчивых гибридов кукурузы в условиях Нижнего Поволжья // *Кукуруза и сорго*. 2002. № 1. С. 19–22.
12. Панфилова О. Н. Отбор толерантных к засухе инцухт-линий для селекции засухоустойчивых гибридов кукурузы в условиях северо-запада Волгоградской области. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Каменная Степь: Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы имени В. В. Докучаева, 2007. 24 с.
13. Yadav O. P., Hossain F., Karjagi C. G., Kumar B., Zaidi P. H., Jat S. L., Chawla J. S., Kaul J., Hooda K. S., Kumar P., Yadava P., Dhillon B. S. Genetic improvement of maize in India: retrospect and prospects // *Agricultural Research*. 2015. Vol 4. Part 4. P. 325–338. DOI: 10.1007/s40003-015-0180-8.
14. Литвинов Л. С. Методы оценки засухоустойчивости // *Семеноводство*. 1988. № 6. С. 7–12.
15. Fischer R. A., Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response // *Aust. J. Agric. Res.* 1978. Vol. 29. P. 897–907. DOI: 10.1071/ar9780897.
16. Кривошеев Г. Я., Шевченко Н. А. Отбор по косвенным признакам засухоустойчивых линий кукурузы // *Достижения науки и техники АПК*. 2014. № 12. С. 31–34.
17. Соколов Б. П. Методические указания по селекции кукурузы. ВНИИ кукурузы. М.: ВАСХНИЛ. 1982. 56 с.
18. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) М.: Книга по требованию. 2012. 352 с.

## References

1. Demin A. P. Reclamation is a food security factor // *Economy of Agriculture in Russia*. 2012. No. 12. P. 75–85.
2. Witt S., Galicia L., Lisec J., Tiessen A., Araus J. L., Palacios-Rojas N., Fernie A. R. Metabolic and phenotypic responses of greenhouse-grown maize hybrids to experimentally controlled drought stress // *Molecular Plant*. 2012. Vol. 5. Part. 2. P. 401–417. DOI: 10.1093/mp/ssr102.
3. Popov A. S., Yankovsky N. G., Ovsyanikova G. V., Sukharev A. A., Kravchenko M. E. Peculiarities of climatic conditions in the southern zone of Rostov region // *Grain Economy of Russia*. 2012. No. 3(21) P. 56–59.
4. Genkel P. A. Physiology of heat and drought resistance of plants Moscow: Nauka, 1982. 279 p.
5. Cooper M., Gho C., Leafger R., Tang T., Messina C. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US corn-belt: discovery to product // *Journal of Experimental Botany*. 2014. Vol. 65. Part 21. P. 6191–6194. DOI: 10.1093/jxb/eru064.
6. Messina C. D., Podlich D., Dong Z., Samples M., Cooper M. Yield-trait performance landscapes: from theory to application in breeding maize for drought tolerance // *Journal of Experimental Botany*. 2011. Vol. 62. Part 3. P. 855–868. DOI: 10.1093/jxb/erq329.
7. Worku M., Groote R., Munyua B., Makumbi D., Owino F., Crossa J., Beyene Y., Mugo S., Jumbo M., Mutinda Ch., Kwemol D., Woyengo V., Olsen M., Prasanna B. On-farm performance and farmers' participatory assessment of new stress-tolerant maize hybrids in Eastern Africa // *Field Crops Research*. 2020. Vol. 246. No. 107693. DOI: 10.1016/j.fcr.2019.107693.
8. Ionova E. V., Gaze V. L. Residual water deficit (RWD) as an indicator of plant drought resistance // *Collection of research works of the ARRIGC "Achievements, directions of agricultural science development in Russia"*. Rostov-on-Don: "Kniga ZAO" (Close Joint-stock Company), 2005. P. 306–309.

9. Sharp R. E., Silk W. K., Hsiao T. C. Growth of the maize primary root at low water potentials // *Plant Physiol.* 1988. Vol. 87. P. 55–57. DOI: 10.1104/pp.87.1.50.
10. Shcherbak V. S., Nagornov A. I. Possibilities of using exotic types of maize of Latin America as the sources of drought resistance // *Collection of research works “Maize breeding and genetics”*. Krasnodar: VASKHNIL, 1987. P. 63–72.
11. Romanova A. A., Panfilova O. N. Development and study of initial material for breeding drought-resistant maize hybrids in the Nizhne-Volga region // *Kukuruza i sorgo*. 2002. No.1. P. 19–22.
12. Panfilova O. N. Selection of drought-tolerant inbreeding lines for breeding drought-resistant maize hybrids in the north-west of the Volgograd region: Author’s Abstract ... *Cand. Sc. (Agr.)*. Kamennaya Step: Research Institute of Agriculture of Central Black Earth Belt named after V. V. Dokuchaev, 2007. 24 p.
13. Yadav O. P., Hossain F., Karjagi C. G., Kumar B., Zaidi P. H., Jat S. L., Chawla J. S., Kaul J., Hooda K. S., Kumar P., Yadava P., Dhillon B. S. Genetic improvement of maize in India: retrospect and prospects // *Agricultural Research*. 2015. Vol. 4. Part 4. P. 325–338. DOI: 10.1007/s40003-015-0180-8.
14. Litvinov L. S. Estimation methods of drought resistance // *Semenovodstvo*. 1988. No. 6. P. 7–12.
15. Fischer R. A., Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response // *Aust. J. Agric. Res.* 1978. Vol. 29. P. 897–907. DOI: 10.1071/ar9780897.
16. Krivosheev G. Ya., Shevchenko N. A. Selection by indirect signs of drought tolerant lines of maize // *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2014. No. 12. P. 31–34.
17. Sokolov B. P. Methodical recommendations for maize breeding. All-Russian Research Institute of Maize. Moscow: VASKHNIL, 1982. 56 p.
18. Dospikhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 352 p.

UDC 633.15.631.52.632.112

Krivosheev G. Ya., Shevchenko N. A., Ignatiev A. S.

#### **DROUGHT TOLERANCE OF THE NEW SELF-POLLINATED LINES OF MAIZE AND THE METHODS OF ITS ESTIMATION**

**Summary.** *More than half of the maize crops in the Russian Federation are located in areas with insufficient and unstable moisture. With this in mind, Z. mays breeding for drought tolerance is extremely important. The purpose of the current study is: investigate the drought tolerance of self-pollinated maize lines by various methods, identify the best samples for further breeding, establish indirect criteria for estimating drought tolerance. The study was conducted at the Agricultural Research Center “Donskoy” located in the southern part of the Rostov region, which is characterized by unstable moisture. The years of the study turned out to be dry (Selyaninov Hydrothermal Coefficient (HTC) = 0.32–0.89). The new self-pollinated lines of maize were used as initial material and studied for resistance to water stress (41 pcs. in 2011–2013, 39 pcs. in 2015–2017, 25 pcs. in 2018–2020). According to the guidelines for maize breeding, the following indicators of productivity were taken into account: number of ears per plant, weight of one ear, 1000-grain weight, number of grains per ear, etc. In 2011–2013, based on the comprehensive estimation, new middle-early drought-tolerant self-pollinated lines of maize ‘DK47111’, ‘SP203’, ‘KS211’, ‘S204’ and ‘S238’ were identified. They were characterized by the low values of residual water deficit both in the flowering (6.9 – 12.8%) and milk-wax (9.0 – 13.4%) stage, high drought tolerance index (68.6 – 85.6%), deep root system (force of uprooting the plants from the ground was 54.0–67.7 kgf), minimum gap in the flowering of male and female inflorescences (1–2 days). In 2015–2017, according to the method of residual water deficit (RWD), the following lines were identified ‘KV334’, ‘RD6’, ‘DS498/217-4’, ‘DS257/85-3’, ‘DS257/85-1’, ‘DS257/85-6’, ‘DS257/85-4’. In 2018–2020, the new self-pollinated lines of maize ‘KS317A’, ‘KV240’, ‘LSh16’, ‘S86’, ‘LSh17’ and ‘LSh2’ showed high resistance to water stress. We recommend the following selection criteria when creating new lines: absence of infertility and kernel percentage of the ears*

**Keywords:** *maize (Zea mays L.), self-pollinated lines, hybrids, index of drought resistance, residual water deficit.*

Кривошеев Геннадий Яковлевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: genadiy.krivosheev@mail.ru.

Шевченко Николай Алексеевич, техник-исследователь лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: kcck-bass@inbox.ru.

Игнатьев Алексей Станиславович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: ignatev1983@rambler.ru.

Krivosheev Gennady Yakovlevich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory for maize breeding and seed production, SSE «Agricultural research center «Donskoy»»; 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: genadiy.krivosheev@mail.ru.

Shevchenko Nikolay Alekseevich, research technician of the Laboratory for maize breeding and seed production, SSE «Agricultural research center «Donskoy»»; 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: kcck-bass@inbox.ru.

Ignatiev Aleksey Stanislavovich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory for maize breeding and seed production, SSE «Agricultural research center «Donskoy»»; 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: ignatev1983@rambler.ru.

*Дата поступления в редакцию – 06.08.2021.*

*Дата принятия к печати – 01.10.2021.*

DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-107-116

УДК 631.559:631.582:631.82

Лукьянов В. А., Нитченко Л. Б.

**УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ  
ПРИ БЕЗОТВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В СЕВООБОРОТАХ ЦЧР**

ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»

**Реферат.** В современном земледелии ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур и их оптимизация приобретают высокую актуальность. Использование научно обоснованных севооборотов, способов основной обработки почвы и доз минеральных удобрений позволяет повысить экономическую эффективность возделывания озимой пшеницы. Цель исследований заключалась в оценке урожайности и качества зерна озимой пшеницы с применением разных доз минеральных удобрений при безотвальной обработке почвы в севооборотах ЦЧР. Исследования проводили в 2012–2020 гг. в стационарном многофакторном полевом опыте ФГБНУ «Курский ФАНЦ». Схема опыта: фактор А – севообороты (зернопаропропашной, зернотравянопропашной, зернотравяной); фактор В – минеральные удобрения (без удобрений,  $N_{20}P_{40}K_{40}$ ,  $N_{40}P_{80}K_{80}$  кг д.в./га). Почва опытного участка представлена чернозёмом типичным, среднесуглинистым. Установлено, что урожайность зерна озимой пшеницы при безотвальной обработке почвы была выше в зернопаропропашном севообороте и составила 3,34 т/га, в зернотравянопропашном севообороте она снижалась на 6,6 %, в зернотравяном – на 10,2 %. Максимальная урожайность зерна – 3,98 т/га отмечена в зернопаропропашном севообороте с дозой минеральных удобрений  $N_{40}P_{80}K_{80}$ . Увеличение доз удобрений повышало содержание белка (от 12,6 до 13,3 %) и клейковины (от 22,8 до 25,6 %), однако по севооборотам различия находились в пределах ошибки опыта. Натура зерна изменялась по изучаемым факторам от 708 до 735 г/л и была выше в зернопаропропашном севообороте при  $N_{40}P_{80}K_{80}$ . Несмотря на более высокий чистый доход с применением увеличенной дозы удобрений  $N_{40}P_{80}K_{80}$ , прибавка урожая зерна озимой пшеницы не позволила получить более высокий уровень рентабельности по сравнению с  $N_{20}P_{40}K_{40}$ . Наиболее экономически эффективно было возделывание озимой пшеницы в зернотравянопропашном севообороте с дозой минеральных удобрений  $N_{20}P_{40}K_{40}$ , где зафиксирована самая низкая себестоимость зерна – 4,92 тыс. руб./т и самая высокая рентабельность – 103,4 %.

**Ключевые слова:** озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), безотвальная обработка почвы, урожайность и качество зерна, севообороты, минеральные удобрения, агротехнологии, экономическая эффективность, Центральном-Черноземный регион.

**Для цитирования:** Лукьянов В. А., Нитченко Л. Б. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы при безотвальной обработке почвы в зависимости от доз минеральных удобрений в севооборотах ЦЧР // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 107–116. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-107-116.

**For citation:** Lukyanov V. A., Nitchenko L. B. Yield and quality of winter wheat grain under non-moldboard soil tillage depending on doses of mineral fertilizers in the crop rotations of the Central Chernozem Region // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 107–116. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-107-116.

## Введение

За последние три года затраты на производство зерновых культур в Российской Федерации заметно увеличились, поэтому оптимизация агротехнологий приобрела колоссальную актуальность. Благодаря ресурсосберегающим агротехнологиям их урожайность поддерживается на максимально высоком уровне, при этом поиск новых эффективных решений продолжается. В список важнейших элементов современного земледелия, которые значительно влияют на прибыль компаний, входят системы севооборотов, обработки почвы, удобрений, защиты растений, эффективная разработка которых позволяет не только увеличить урожайность и качество зерна, но и сохранить плодородие почв [1, 2].

В современных условиях актуальность чередования сельскохозяйственных культур возрастает, так как использование многопольных севооборотов позволяет увеличить эффективность агротехнологий [3–5]. Включение в структуру посевных площадей сидеральных культур даёт возможность частично удовлетворить потребности всех культур севооборота в элементах питания и стабилизировать урожайность сельскохозяйственных культур по годам [6].

Система обработки почвы в совокупности с другими ключевыми элементами агротехнологий создают оптимальные условия для роста и развития сельскохозяйственных растений [7, 8]. В отдельных случаях энергоёмкая отвальная обработка почвы может быть заменена безотвальными обработками с целью снижения производственных затрат и сохранения почвенных ресурсов.

Озимая пшеница, как и многие полевые культуры, хорошо отзывается на внесение разных форм удобрений, но в ряде случаев увеличение их дозы не всегда экономически целесообразно. По сравнению с абсолютным контролем, урожайность озимой пшеницы, как правило, увеличивается с применением минеральных и органических удобрений. Однако уровень рентабельности увеличивается только до определённой степени удобренности, а далее снижается; это закономерное отличие отмечено многими исследователями в различных севооборотах независимо от способа обработки почвы [9–13]. Поэтому конкретная технология возделывания озимой пшеницы должна проходить полевые испытания, после чего необходимо определять экономически эффективные дозы удобрений и корректировать их с учётом полученных результатов.

**Цель исследований** – оценка урожайности и качества зерна озимой пшеницы с применением разных доз минеральных удобрений при безотвальной обработке почвы в севооборотах Центрально-Черноземного региона для совершенствования ресурсосберегающих агротехнологий.

### Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2012–2020 гг. в стационарном многофакторном полевом опыте ФГБНУ «Курский ФАНЦ». Почва опытного участка представлена чернозёмом типичным, среднесуглинистым с содержанием в слое 0–20 см: гумус – 5,12 % (ГОСТ 26213-84), щёлочногидролизуемый азот – 17,4 мг/100 г (по Корнфилду), подвижный фосфор – 14,0 мг/100 г (ГОСТ 26204-91), подвижный калий – 11,7 мг/100 г (ГОСТ 26204-91), рН<sub>KCl</sub> – 5,7 (ГОСТ 26483-85).

Климат Центрально-Черноземного региона (ЦЧР) умеренно-континентальный с продолжительным тёплым летом и относительно мягкой зимой. Среднегодовая температура воздуха составляет 5,4 °С, сумма активных температур 2425 °С. Средняя многолетняя сумма осадков за год – 573 мм. В мае–августе периодически выпадают осадки в виде ливней. Каждый третий год наблюдается засуха слабой интенсивности, каждый пятый год – сильной. Суховейные явления наблюдаются ежегодно в июне–августе.



Агрометеорологические условия в период исследований характеризовались непостоянством влагообеспеченности и повышенным температурным режимом. В период посева и всходов озимой пшеницы погодные условия характеризовались дефицитом осадков на фоне высокого температурного режима. Среднемесячная температура воздуха ежегодно превышала многолетние показатели: в августе 2011 г. она составила 19,1 °С, в 2015 г. – 20,3 °С, в 2019 г. – 19,2 °С (средняя многолетняя температура 17,6 °С); в сентябре – 13,7 °С, 16,7 °С и 14,3 °С соответственно (средняя многолетняя температура 12,4 °С). Сумма осадков соответственно по годам исследований в августе – 85 мм, 3 мм, 27 мм (норма 55 мм), в сентябре – 13 мм, 87 мм, 39 мм (норма 51 мм). Условия вегетации озимой пшеницы в целом можно характеризовать как недостаточно увлажнённые: с сентября 2011 г. по июль 2012 г. гидротермический коэффициент (ГТК) по Селянинову составил 1,03, с сентября 2015 г. по июль 2016 г. ГТК = 1,28, с сентября 2019 г. по июль 2020 г. ГТК = 1,29.

Опыт заложен на склоне северной экспозиции (крутизна 3°12' – 6°40') в трёх севооборотах (фактор А): зернопаропропашной (ЗП) (озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – кукуруза (*Zea mays* L.) на зелёный корм – ячмень (*Hordeum vulgare* L.) – чистый пар); зернотравянопропашной (ЗТП) (озимая пшеница – кукуруза на зелёный корм – ячмень + эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria*) – эспарцет песчаный первого года пользования; зернотравяной (ЗТ) (озимая пшеница – ячмень + эспарцет песчаный – эспарцет песчаный первого года пользования – эспарцет песчаный второго года пользования)). Система удобрений (фактор В) под озимую пшеницу включала варианты: без удобрений, минеральные удобрения в дозе N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> и N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> кг д.в./га. Дозы удобрений рассчитаны для поддержания в почве уравновешенного и положительного баланса питательных веществ в зависимости от уровня почвенного плодородия и потребности растений в элементах питания. Вариант без внесения удобрений позволяет оценить влияние изучаемых факторов на мобилизацию природного плодородия почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. Одинарные дозы минеральных удобрений N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> обеспечивают возврат по севообороту азота, фосфора и калия согласно их выносу с урожаем. Двойные дозы минеральных удобрений N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> обеспечивают в севообороте положительный баланс элементов питания.

Площадь посевных делянок 280 м<sup>2</sup>, повторность двукратная. Использован сорт озимой пшеницы Синтетик, норма высева семян составила 5 млн шт./га.

Использовали основную безотвальную обработку почвы под озимую пшеницу во всех севооборотах на глубину 20–22 см. В зернопаропропашном севообороте после уборки предшественника проводили лущение стерни на глубину 8–10 см, внесение минеральных удобрений под основную обработку почвы, ранневесеннее боронование, 3–4 культивации чистого пара, предпосевную культивацию, посев. В зернотравянопропашном и зернотравяном – лущение стерни на глубину 8–10 см, внесение удобрений под основную обработку почвы, предпосевную культивацию, посев.

Учёт урожая проводили прямым комбайнированием.

Массу 1000 зёрен определяли по ГОСТ 10842-89, натуру зерна – ГОСТ 10840-64, содержание сырой клейковины – ГОСТ Р 54478-2011, содержание белка – ГОСТ 10846-91. Математический анализ экспериментальных данных выполняли методом двухфакторного дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [14].

### Результаты и их обсуждение

Урожайность зерна озимой пшеницы по изучаемым факторам исследований имела статистически значимые различия. Наименьшая урожайность зерна озимой пшеницы отмечана в вариантах без применения минеральных удобрений: в

зернопаропропашном севообороте – 2,70 т/га, в зернотравянопропашном – 2,37 т/га, в зернотравяном – 2,44 т/га. Уровень минерального питания способствовал повышению урожайности озимой пшеницы в изучаемых севооборотах (таблица 1).

В зернотравянопропашном севообороте в варианте без внесения минеральных удобрений снижение урожайности озимой пшеницы на 0,33 т/га статистически существенно (при НСР<sub>05</sub> = 0,27 т/га) по сравнению с аналогичным вариантом в зернопаропропашном севообороте. В этом севообороте с применением минеральных удобрений снижение урожайности было несущественно. В зернотравяном севообороте при внесении минеральных удобрений в дозе N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> урожайность озимой пшеницы достоверно на 0,55 т/га снизилась по сравнению с аналогичным вариантом в зернопаропропашном севообороте.

**Таблица 1 – Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от севооборотов и доз минеральных удобрений (2012–2020 гг.)**

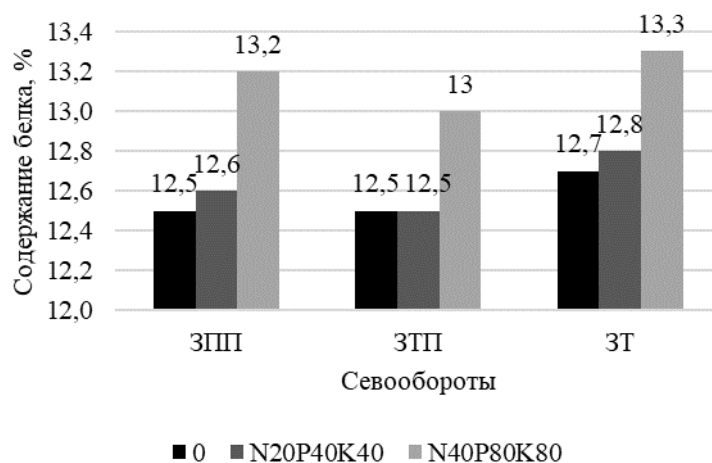
Севооборот (фактор А)	Удобрения (фактор В)	Урожайность, т/га	Прибавка, т/га	
			севооборот	удобрения
Зернопаропропашной	0	2,70	-	-
	N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	3,35	-	+0,65
	N <sub>40</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	3,98	-	+1,28
	средняя	3,34	-	-
Зернотравянопропашной	0	2,37	-0,33	-
	N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	3,26	-0,09	+0,89
	N <sub>40</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	3,74	-0,24	+1,37
	средняя	3,12	-0,22	-
Зернотравяной	0	2,44	-0,26	-
	N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	3,14	-0,21	+0,70
	N <sub>40</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	3,43	-0,55	+0,99
	средняя	3,00	-0,34	-
Средняя	0	2,50		
	N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	3,25		+0,75
	N <sub>40</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	3,72		+1,22
	средняя	3,15		
НСР <sub>05</sub>			A = 0,27, B = 0,27, AB = 0,47	

Применение минеральных удобрений в дозе N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> позволило увеличить урожайность в севооборотах соответственно на 0,65; 0,89; 0,70 т/га; в дозе N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> – на 1,28; 1,37; 0,99 т/га. Наибольшая прибавка урожайности озимой пшеницы от внесения минеральных удобрений была в зернотравянопропашном севообороте. Максимальная урожайность озимой пшеницы – 3,98 т/га зафиксирована в зернопаропропашном севообороте с дозой минеральных удобрений N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>. В среднем за годы исследований урожайность озимой пшеницы при безотвальной обработке почвы составила в зернопаропропашном севообороте 3,34 т/га, в зернотравянопропашном – 3,12 т/га (–6,6 %), в зернотравяном – 3,00 т/га (–10,2 %). Снижение урожайности в зернотравяном севообороте достоверно.

Окупаемость минеральных удобрений была выше при внесении в дозе N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> и составляла в зернотравянопропашном севообороте – 8,9 кг зерна/кг д.в. удобрений, в зернотравяном – 7,0 кг зерна/кг д.в. удобрений, в зернопаропропашном – 6,5 кг зерна/кг д.в. удобрений.

Содержание белка в зерне изменялось по уровням применения удобрений, при этом по севооборотам отличия были несущественные (НСР = 0,12). В варианте без внесения минеральных удобрений содержание белка составило в

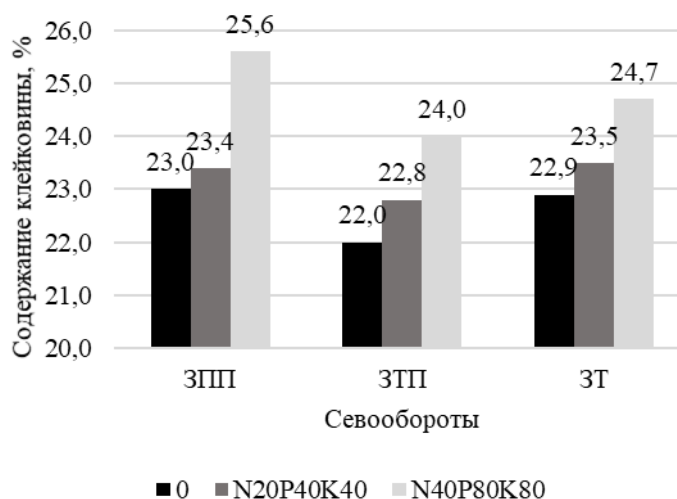
зернопаропропашном севообороте – 12,5 %, в зернотравянопропашном – 12,5 %, в зернотравяном – 12,7 % (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Влияние севооборотов и доз минеральных удобрений на содержание белка в зерне озимой пшеницы**

Применение минеральных удобрений в дозе N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> практически не влияло на содержание белка в представленных севооборотах. Наибольшее содержание белка наблюдали при внесении минеральных удобрений в дозе N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>: в зернотравяном севообороте – 13,3 %, в зернопаропропашном – 13,2 %, в зернотравянопропашном – 13,0 %.

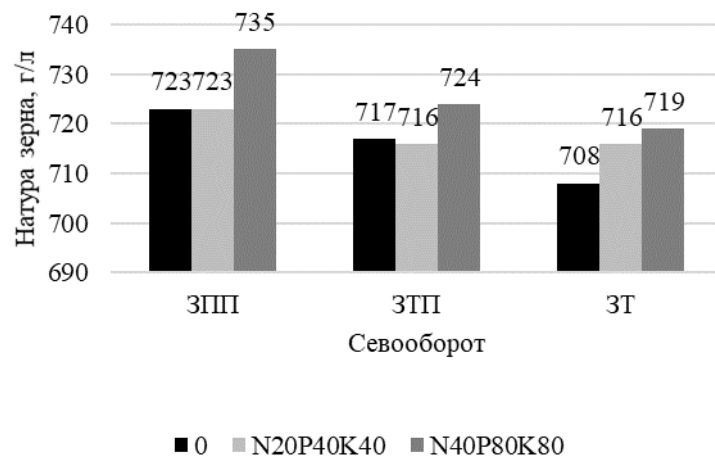
Содержание клейковины варьировало в изучаемых вариантах от 22,0 до 25,6 % (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Содержание клейковины в зерне озимой пшеницы в изучаемых вариантах**

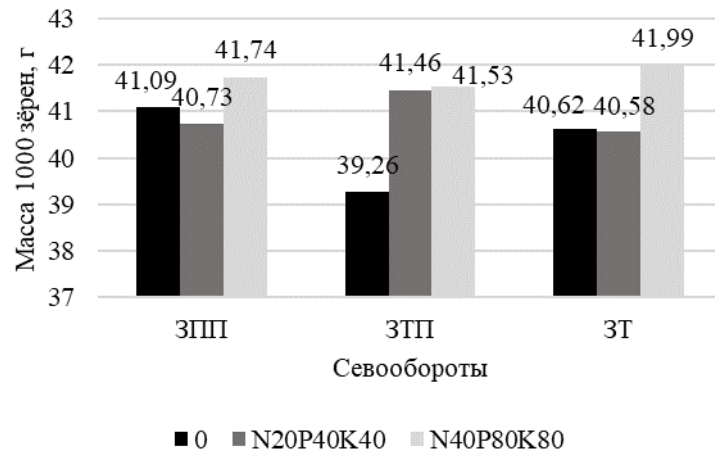
Минимальное её количество отмечали в вариантах без применения минеральных удобрений: в зернопаропропашном севообороте она составила 23,0 %, в зернотравянопропашном – 22,0 %, в зернотравяном – 22,9 %. С применением минеральных удобрений в дозе N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> содержание клейковины увеличивалось в зернопаропропашном севообороте до 23,4 %, в зернотравянопропашном – до 22,8 %, в зернотравяном – до 23,5 %. Использование дозы N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> в большей степени влияло на её содержание и по севооборотам составило 25,6; 24,0 и 24,7 % соответственно.

Натура зерна в зернопаропропашном севообороте варьировала от 723 до 735 г/л и была выше при дозе минеральных удобрений N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> (рисунок 3). В зернотравянопропашном севообороте отмечено снижение натуры зерна озимой пшеницы до 716–724 г/л. Самое низкое её содержание наблюдали в зернотравяном севообороте (708–719 г/л).



**Рисунок 3 – Натура зерна озимой пшеницы в зависимости от севооборота и доз минеральных удобрений**

Изучаемые виды севооборотов и минеральных удобрений способствовали изменению массы 1000 зёрен озимой пшеницы с 39,26 до 41,99 г., но различия по исследуемым вариантам находились в пределах ошибки опыта (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Влияние севооборотов и доз минеральных удобрений на массу 1000 зёрен озимой пшеницы**

Анализ полученных результатов исследований показал, что используемые севообороты и применяемые дозы удобрений имели разную экономическую эффективность (таблица 2). Самая низкая эффективность возделывания озимой пшеницы в вариантах без применения минеральных удобрений по всем севооборотам, в них получены более высокая себестоимость зерна, низкий чистый доход и рентабельность производства.

Производственные затраты при возделывании озимой пшеницы изменялись от 15,64 до 20,90 тыс. руб./га в зернопаропропашном, от 13,86 до 18,53 тыс. руб./га в зернотравянопропашном и от 13,94 до 18,30 тыс. руб./га в зернотравяном

севооборотах. Отличительной особенностью зернопаропропашного севооборота было снижение себестоимости продукции с увеличением дозы удобрений, в данном случае прибавка урожая компенсировала текущие производственные затраты.

**Таблица 2 – Эффективность возделывания озимой пшеницы в зависимости от севооборотов и доз минеральных удобрений**

Показатель	Зернопаропропашной			Зернотравянопропашной			Зернотравяной		
	0	N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>40</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	0	N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>40</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	0	N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>40</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>
Урожайность зерна, т/га	2,70	3,35	3,98	2,37	3,26	3,74	2,44	3,14	3,43
Стоимость продукции, тыс. руб./га	27,0	33,5	39,8	23,7	32,6	37,4	24,4	31,4	34,3
Производственные затраты, тыс. руб./га	15,64	18,22	20,90	13,86	16,03	18,53	13,94	15,82	18,30
Чистый доход, тыс. руб./га	11,36	15,28	18,90	9,84	16,57	18,87	10,46	15,58	16,00
Себестоимость зерна, тыс. руб./т	5,79	5,44	5,25	5,85	4,92	4,95	5,71	5,04	5,34
Рентабельность, %	72,6	83,9	90,4	71,0	103,4	101,8	75,0	98,5	87,4

Самая низкая себестоимость зерна отмечена в зернотравянопропашном севообороте в вариантах с N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> и N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> – 4,92 и 4,95 тыс. руб./т соответственно.

Наиболее рентабельным было возделывание озимой пшеницы при безотвальной обработке почвы в зернотравянопропашном севообороте с дозой минеральных удобрений N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub>, где уровень рентабельности составил 103,4 %, при внесении N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> уровень рентабельности снизился до 101,8 %. Рентабельность снижалась соответственно по дозам удобрений до 98,5 и 87,4 % в зернотравяном севообороте и менее рентабельным был зернопаропропашной севооборот – 83,9 и 90,4 %. Стоит отметить, что, несмотря на более высокий чистый доход с увеличением дозы минеральных удобрений с N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> до N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>, прибавка урожая зерна озимой пшеницы не позволила получить более высокий уровень рентабельности в зернотравянопропашном и зернотравяном севооборотах. Использование удобрений в дозе N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> способствовало получению более высокого экономического эффекта благодаря тому, что производственные затраты были ниже.

#### Выводы

Минеральные удобрения (фактор В) оказали большее влияние на урожайность зерна пшеницы озимой по сравнению с севооборотами (фактор А). В среднем за годы исследований ее урожайность в зернопаропропашном севообороте составила – 3,34 т/га, в зернотравянопропашном – 3,12 т/га, в зернотравяном – 3,00 т/га. Без применения минеральных удобрений урожайность зерна пшеницы озимой в среднем по севооборотам составила 2,50 т/га, с N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> увеличилась до 3,25 т/га, с N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> – до 3,72 т/га. Максимальная урожайность зерна 3,98 т/га получена в зернопаропропашном севообороте с дозой минеральных удобрений N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>, однако производственные затраты в этом варианте превышали чистый доход. Поэтому наиболее рентабелен (103,4 %) вариант с дозой N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> в зернотравянопропашном севообороте. В зернопаропропашном севообороте наиболее эффективна доза минеральных удобрений N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>, в зернотравянопропашном и зернотравяном – N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub>. Наибольшее содержание белка (13,3 %) отмечено в зернотравяном севообороте с дозой N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>, в

севооборотах с  $N_{20}P_{40}K_{40}$  его количество варьировало в пределах от 12,5 до 12,8 %, незначительно отличаясь от вариантов без удобрений. Содержание клейковины увеличивалось при использовании  $N_{40}P_{80}K_{80}$  и составило в зернопаропропашном севообороте 25,6 %, в зернотравянопропашном – 24,0 %, в зернотравяном – 24,7 %.

*Работа выполнена по теме государственного задания № 0632-2019-0015.*

### Литература

1. Akramovna G. L., Doniyorovich M. F., Xaliqjonovna E. O., Yuldashevna M. D., Mamasaitovich Q. M. The effect of the use of organic fertilizers, sowing legumes on the winter wheat yield and quality // *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2020. Vol. 21. No. 42. P. 73–79.
2. Gostev A. V., Dubovik D. V., Masyutenko N. P., Nitchenko L. B., Reznik V., Kruglov V., Davydov R. The impact of agricultural resource-saving technologies on grain yield and quality // *IOP Conference Series “Earth and Environmental Science”*. XVI International Youth Science and Environmental Baltic Region Countries Forum, 2019. Art. No. 012040. DOI: 10.1088/1755-1315/390/1/012040.
3. Минакова О. А., Александрова Л. В., Подвигина Т. Н. Урожайность культур и продуктивность зерносвекловичного севооборота в Центрально-Черноземном регионе России при длительном внесении удобрений // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019. № 6. С. 7–10. DOI: 10.31857/S2500-2627201967-10.
4. Турусов В. И., Гармашов В. М., Богатых О. А., Балюнова Е. А. Роль предшественников пшеницы озимой в севообороте в условиях ЦЧЗ // *Аграрная наука*. 2017. № 11–12. С. 10–11.
5. Морозов Н. А., Хрипунов А. И., Общия Е. Н. Продуктивность зернопропашного звена в шестипольных зерновых севооборотах с чистым и занятым паром // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 56. № 2. С. 32–37.
6. Кравцова Е. В. Использование сидерального удобрения для повышения урожайности озимой пшеницы // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2018. № 70. С. 54–58. DOI: 10.21515/1999-1703-70-54-58.
7. Воронин А. Н., Никитин В. В., Соловиченко В. Д., Мельников В. И. Влияние структуры севооборота, способа основной обработки почвы и удобрений на продуктивность озимой пшеницы в Центрально-Черноземном регионе // *Агрехимия*. 2016. № 5. С. 21–27.
8. Stupakov A. G., Orekhovskaya A. A., Kulikova M. A., Manokhina L. A., Panin S. I., Geltukhina V. I. Ecological and agrochemical bases of the nitrogen regime of typical chernozem depending on agrotechnical methods // *IOP Conference Series “Earth and Environmental Science”*. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations, 2019. Art. No. 52027. DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052027.
9. Черткова Н. Г., Фирсова Т. И., Скворцова Ю. Г., Филенко Г. А., Рябов Р. О. Использование комплексных удобрений в семеноводстве на сортах озимой пшеницы // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 2 (74). С. 52–57. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-52-57.
10. Дзанагов С. Х., Лазаров Т. К., Калоев Б. С., Кубатиева З. А., Калагова Р. В. Влияние длительного применения удобрений на показатели роста, урожайность и качество зерна озимой пшеницы // *Агрехимия*. 2019. № 4. С. 31–38. DOI: 10.1134/S0002188119020066.
11. Небытов В. Г., Коломейченко В. В., Мазалов В. И. Высокопродуктивные сорта и удобрения – основа устойчивого наращивания производства зерна озимой пшеницы в условиях Орловской области // *Вестник аграрной науки*. 2019. № 1 (76). С. 11–18. DOI: 10.15217/issn2587-666X.2019.1.11.
12. Romanenkov V., Krasilnikov P., Belichenko M., Petrova A., Raskatova T., Jahn G. Soil organic carbon dynamics in long-term experiments with mineral and organic fertilizers in Russia // *Geoderma Regional*. 2019. T. 17. C. Art. No. e00221. DOI: 10.1016/j.geodrs.2019.e00221.
13. Соловиченко В. Д., Никитин В. В., Карабутов А. П., Навольнева Е. В. Влияние севооборотов, способов обработки почв и удобрений на урожайность и экономические показатели производства пшеницы озимой // *Аграрная наука*. 2018. № 5. С. 46–49.
14. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

### References

1. Akramovna G. L., Doniyorovich M. F., Xaliqjonovna E. O., Yuldashevna M. D., Mamasaitovich Q. M. The effect of the use of organic fertilizers, sowing legumes on the winter wheat yield and quality // *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2020. Vol. 21. No. 42. P. 73–79.

2. Gostev A. V., Dubovik D. V., Masyutenko N. P., Nitchenko L. B., Reznik V., Kruglov V., Davydov R. The impact of agricultural resource-saving technologies on grain yield and quality // IOP Conference. Series "Earth and Environmental Science". XVI International Youth Science and Environmental Baltic Region Countries Forum. 2019. P. 012040. DOI: 10.1088/1755-1315/390/1/012040.
3. Minakova O. A., Alexandrova L. V., Podvigina T. N. Yield of crops and productivity of grain-beet crop rotation in the Central Black-Earth Region of Russia when applying fertilizers for a long time // Rossiiskaia selskokhoziaistvennaia nauka. 2019. No. 6. P. 7–10. DOI: 10.31857/S2500-2627201967-10.
4. Turusov V. I., Garmashov V. M., Bogatykh O. A., Balunova E. A. The role of winter wheat predecessors in crop rotation under conditions of the Central Chernozem Region // Agrarian Science. 2017. No. 11-12. P. 10–11.
5. Morozov N. A., Khripunov A. I., Obshchiya E. N. Productivity of grain link in six-field grain naked and seed fallow crop rotations // Proceedings of Gorsky State Agrarian University. 2019. Vol. 56. No. 2. P. 32–37.
6. Kravtsova E. V. Use of sedimental fertilizer for winter wheat productivity increase // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2018. No. 70. P. 54–58. DOI: 10.21515/1999-1703-70-54-58.
7. Voronin A. N., Nikitin V. V., Solovichenko V. D., Melnikov V. I. The influence of structure of crop rotation, method of main soil tillage and fertilizers on productivity of winter wheat in Central Chernozem Region // Agrohimiia. 2016. No. 5. P. 21–27.
8. Stupakov A. G., Orekhovskaya A. A., Kulikova M. A., Manokhina L. A., Panin S. I., Geltukhina V. I. Ecological and agrochemical bases of the nitrogen regime of typical chernozem depending on agrotechnical methods // IOP Conference Series "Earth and Environmental Science". Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations, 2019. Art. No. 52027. DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052027.
9. Chertkova N. G., Firsova T. I., Skvortsova Yu. G., Filenko G. A., Ryabov R. O. The use of complex fertilizers in seed production of winter wheat varieties // Grain Economy of Russia. 2021. No. 2 (74). P. 52–57. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-52-57.
10. Dzanagov S. Kh., Lazarov T. K., Kaloev B. S., Kubatieva Z. A., Kalagova R. V. Effect of long-term fertilization on growth indicators, yield and quality of winter wheat grain // Agrohimiia. 2019. No. 4. P. 31–38. DOI: 10.1134/S0002188119020066.
11. Nebytov V. G., Kolomeichenko V. V., Mazalov V. I. Highly productive varieties and fertilizers as a basis for sustainable growth of production of winter wheat grain under the conditions of the Orel region // Bulletin of Agrarian Science. 2019. No. 1 (76). P. 11–18. DOI: 10.15217/issn2587-666X.2019.1.11.
12. Romanenkov V., Krasilnikov P., Belichenko M., Petrova A., Raskatova T., Jahn G. Soil organic carbon dynamics in long-term experiments with mineral and organic fertilizers in Russia // Geoderma Regional. 2019. Vol. 17. Art. No. e00221. DOI: 10.1016/j.geodrs.2019.e00221.
13. Solovichenko V. D., Nikitin V. V., Karabutov A. P., Navolneva E. V. The impact of crop rotation, methods of tillage and fertilizers on the yield and economic performance of winter wheat // Agrarian Science. 2018. No. 5. P. 46–49.
14. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.

UDC 631.559:631.582:631.82

Lukyanov V. A., Nitchenko L. B.

**YIELD AND QUALITY OF WINTER WHEAT GRAIN  
UNDER NON-MOLDBOARD SOIL TILLAGE DEPENDING ON DOSES  
OF MINERAL FERTILIZERS IN THE CROP ROTATIONS OF THE CENTRAL  
CHERNOZEM REGION**

*Summary.* In modern agriculture, resource-saving technologies for cultivating grain crops and their optimization are becoming more and more relevant. The use of scientifically-based crop rotations, tillage methods and doses of mineral fertilizers allow increasing economic efficiency of winter wheat cultivation. The purpose of the research was to assess the yield and quality of winter wheat grain depending on different doses of mineral fertilizers under non-moldboard soil tillage in the crop rotations of the Central Chernozem Region. The research was carried out in 2012-2020 in a stationary multifactorial field experiment in Federal Agricultural Kursk Research Center. The experimental design included the following options: Factor A – crop rotations (grain-

*fallow-row, grain-grass-row, grain-grass); Factor B – mineral fertilizers (without fertilizers,  $N_{20}P_{40}K_{40}$ ,  $N_{40}P_{80}K_{80}$  kg ha<sup>-1</sup>). The soil of the experimental site is represented by typical, medium-loamy chernozem. The paper shows that the yield of winter wheat grain in the context of non-moldboard soil tillage was higher in the grain-fallow-row crop rotation and amounted to 3.34 t ha<sup>-1</sup>. In the grain-grass-row and grain-grass crop rotations, yield decreased by 6.6 % and 10.2 %, respectively. The maximum grain yield (3.98 t/ha<sup>-1</sup>) was obtained in grain-fallow-row crop rotation with  $N_{40}P_{80}K_{80}$ . An increase in fertilizers doses led to protein and gluten content increment from 12.6 to 13.3 % and from 22.8 to 25.6 %, respectively; however, the differences in crop rotations were within the limits of experimental error. The grain nature varied according to the studied factors from 708 to 735 g/l<sup>-1</sup> and was higher in the grain-fallow-row crop rotation with a dose of mineral fertilizers  $N_{40}P_{80}K_{80}$ . Despite more significant net income after increased fertilizers dose ( $N_{40}P_{80}K_{80}$ ), the increase in the winter wheat grain yield did not allow obtaining a higher level of profitability compared to  $N_{20}P_{40}K_{40}$ . Winter wheat cultivation in grain-grass-row crop rotation with  $N_{20}P_{40}K_{40}$  was the most cost-effective. In this variant, the cost of grain was the lowest (4.92 thousand rubles t<sup>-1</sup>); the profitability, on the contrary, was the highest (103.4 %).*

**Keywords:** *winter wheat (*Triticum aestivum* L.), non-moldboard soil tillage, grain yield and quality, crop rotations, mineral fertilizers, agricultural technologies, economic efficiency, Central Chernozem region.*

Лукьянов Вячеслав Анатольевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории адаптивных агротехнологий и средств их механизации, ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»; 305021, Россия, г. Курск, ул. Карла Маркса, 70Б; e-mail: lukyanov27@mail.ru.

Нитченко Людмила Борисовна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории адаптивных агротехнологий и средств их механизации, ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»; 305021, Россия, г. Курск, ул. Карла Маркса, 70Б; e-mail: nitchenko58@yandex.ru.

Lukyanov Vyacheslav Anatolievich, Cand. Sc. (Biol.), researcher of the Laboratory of adaptive agricultural technologies and means of their mechanization, Federal Agricultural Kursk Research Center; 70B, Karl Marks str., Kursk, 305021, Russia; e-mail: lukyanov27@mail.ru.

Nitchenko Lyudmila Borisovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of adaptive agricultural technologies and means of their mechanization, Federal Agricultural Kursk Research Center; 70B, Karl Marks str., Kursk, 305021, Russia; e-mail: nitchenko58@yandex.ru.

*Дата поступления в редакцию 01.06.2021.*

*Дата принятия к печати 28.08.2021.*



DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-117-124

УДК 634.75:577.2:575.22

Лыжин А. С., Лукьянчук И. В.

**АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГИБРИДНЫХ ФОРМ ЗЕМЛЯНИКИ ПО  
ГЕНАМ *FaOMT* И *FaFAD1* АРОМАТА ПЛОДОВ**

ФГБНУ «Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина»

**Реферат.** Важной потребительской характеристикой плодов земляники является их аромат. К числу важнейших ароматообразующих соединений плодов земляники относятся  $\gamma$ -декалактон и мезифуран. Содержание  $\gamma$ -декалактона в плодах определяется экспрессией гена *FaFAD1*, мезифурана – гена *FaOMT*. Выявление генотипов, несущих целевые аллели генов ароматического комплекса, является важным этапом совершенствования сортимента земляники и создания сортов с ароматными плодами. Цель исследования – молекулярно-генетический анализ гибридных сеянцев земляники по генам *FaOMT* и *FaFAD1* для идентификации генотипов, перспективных для селекции на аромат плодов. В качестве биологических объектов использованы отборные и элитные гибриды земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa Duch.*), полученные в ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина». Идентификацию аллелей гена *FaOMT* проводили с использованием кодоминантного маркера *FaOMT-SI/NO*. Наличие гена *FaFAD1* определяли с использованием маркера *FaFAD1*. С использованием маркера *FaOMT-SI/NO* функциональный аллель гена *FaOMT* (*FaOMT+*) выявлен у отборных гибридных сеянцев 298-19-9-43 (*FB<sub>2</sub> F. orientalis Los.*, *F. moschata Duch.*, *F. × ananassa Duch.*), 932-29 (*F. virginiana subsp. platypetala (Rydb.) Staudt* × Фейерверк), 928-12 (298-19-9-43 × Привлекательная), 69-29 (Фейерверк × Былинная), 72-25, 72-71 (Привлекательная × Былинная), 26-5 (Рубиновый кулон × 298-19-9-43). Ген *FaFAD1* идентифицирован у гибридов 72-25 (Привлекательная × Былинная), 56-8 (Гигантелла × Привлекательная) и 61-12 (Былинная × Олимпийская надежда). Отборный сеянец 72-25 (Привлекательная × Былинная) характеризуется сочетанием функциональных аллелей обоих генов (*FaOMT* + *FaFAD1*). Вовлечение в гибридизацию указанных форм позволит ускорить процесс создания новых сортов земляники с улучшенным ароматом плодов.

**Ключевые слова:** земляника садовая (*Fragaria* × *ananassa Duch.*), генотип, аромат плодов,  $\gamma$ -декалактон, мезифуран, молекулярные маркеры.

**Для цитирования:** Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. Анализ перспективных гибридных форм земляники по генам *FaOMT* и *FaFAD1* аромата плодов // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 117–124. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-117-124.

**For citation:** Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V. Analysis of promising strawberry hybrid forms by *FaOMT* and *FaFAD1* fruit aroma genes // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 117–124. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-117-124.

**Введение**

Земляника относится к числу наиболее широко возделываемых ягодных культур. Промышленные насаждения земляники садовой расположены в 78 странах мира и валовый сбор плодов земляники превышает  $\frac{2}{3}$  мирового объёма производства ягод [1–3]. Однако в современных условиях повсеместной дестабилизации климата, массового развития болезней различной этиологии, а также повышенного внимания к качеству получаемой ягодной продукции, многие существующие сорта в недостаточной степени отвечают требованиям рынка, поэтому необходимо проведение направленной селекционной работы с целью

конструирования генотипов земляники, характеризующихся комплексом таких признаков, как высокая ежегодная урожайность, ценные товарно-потребительские качества плодов, устойчивость к комплексу неблагоприятных факторов среды [4, 5].

Важной потребительской характеристикой плодов земляники является их аромат, который обусловлен содержанием большого количества летучих ароматообразующих органических веществ [6, 7]. Необходимо отметить, что многие широко возделываемые сорта земляники обладают невыраженным, слабым ароматом вследствие элиминации данного признака (до недавнего времени считавшегося несущественным) в процессе генетико-селекционного совершенствования сортимента [8–10].

Наиболее значительный вклад в формирование ароматического профиля плодов земляники вносят около 20 соединений, к числу которых относятся  $\gamma$ -декалактон, придающий плодам персикоподобный, сладкий аромат, и мезифуран, обладающий фруктово-карамельным ароматом [11, 12].

Уровень накопления в плодах земляники  $\gamma$ -декалактона детерминирован экспрессией гена *FaFAD1* [11], мезифурана – гена *FaOMT* [13], благодаря чему возможна идентификация ценных генотипов с использованием диагностических ДНК-маркеров, сцепленных с целевыми аллелями [14].

Для гена *FaOMT* характерны два аллельных варианта: активный (функциональный) аллель, детерминирующий высокий уровень накопления мезифурана в плодах и неактивный (нефункциональный) аллель, определяющий сниженный уровень биосинтеза мезифурана. У некоторых форм земляники могут также присутствовать дополнительные аллели, фенотипически не связанные с наличием или отсутствием мезифурана в плодах [15].

Для гена *FaFAD1* идентифицирован функциональный аллель, экспрессия которого обуславливает высокий уровень накопления  $\gamma$ -декалактона в плодах. Отсутствие  $\gamma$ -декалактона в плодах земляники детерминировано либо блокировкой транскрипции матричной РНК гена *FaFAD1*, либо полной делецией активного аллеля [11].

**Цель исследований** – молекулярно-генетический анализ гибридных семян земляники по генам *FaOMT* и *FaFAD1* для идентификации генотипов, перспективных для селекции на аромат плодов.

#### Материалы и методы исследований

Исследования проведены в 2020–2021 гг. В качестве биологических объектов использованы перспективные отборные и элитные гибриды земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.), полученные в ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина».

Экстракцию тотальной ДНК земляники осуществляли согласно модифицированному протоколу Diversity Arrays Technology P/L [16, 17].

Для идентификации аллелей генов *FaOMT* и *FaFAD1* использовали кодоминантный маркер *FaOMT-SI/NO* и доминантный маркер *FaFAD1* (таблица 1).

**Таблица 1 – Характеристика использованных в работе праймеров**

Маркер	Нуклеотидная последовательность праймеров 5'-3'	Размер ампликонов, пар нуклеотидов	Источник
FaOMT-SI/NO	For CGATCATTTTCGAAAAGGACTA	214, 248	Zorrilla-Fontanesi et al., 2012 [13]
	Rev AAGCAGGGTTAGTTGTGGAGA		
FaFAD1	For CGGGATTAATGGTTTTGTTGTTGACCGACC	500	Chambers et al., 2014 [11]
	Rev GTAGAAGAGAGAGACCAAGACGAG		

Смесь для ПЦР общим объёмом 15 мкл содержала 1,5 мМ Таq-буфера, 2,0 мМ смеси дезоксинуклеозидтрифосфатов, 2,5 мМ хлорида магния, 0,2 U Таq-полимеразы, 0,2 мкМ каждого праймера и 20 нг геномной ДНК. Все компоненты произведены фирмой Thermo Fisher Scientific (США).

Полимеразную цепную реакцию проводили в термоциклере T100 (BIO-RAD) по программам:

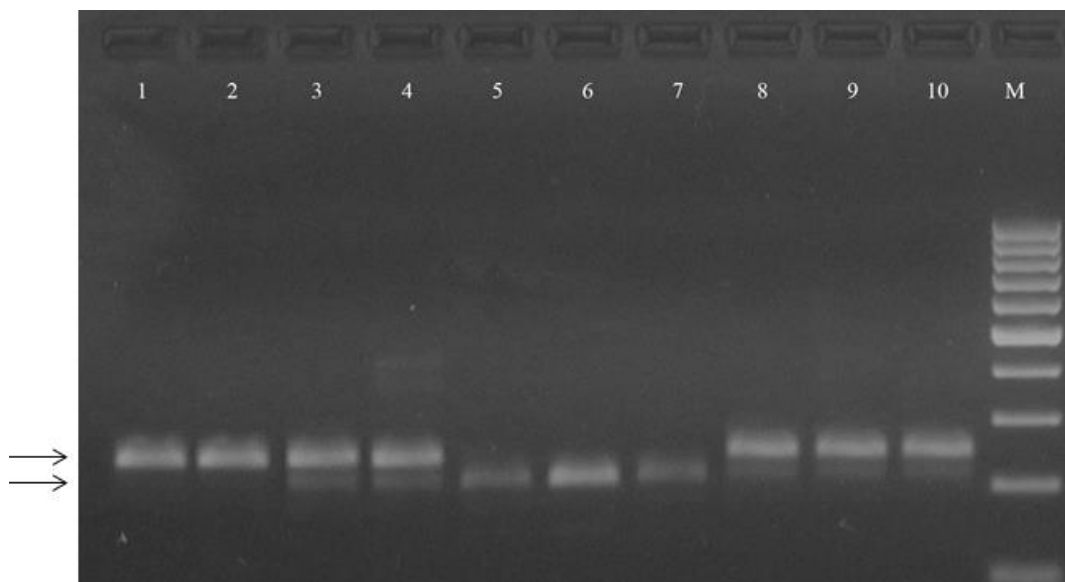
маркер FaFAD1: начальная денатурация: 4 мин при 94 °С, далее 25 циклов: 30 с при 94 °С, 30 с при 56 °С, 30 с при 72 °С; далее финальная элонгация: 10 мин при 72 °С.

маркер FaOMT-SI/NO: начальная денатурация 3 мин при 95 °С, далее 10 циклов: 30 с при 95 °С, 30 с при 60 °С (-0,5 °С/цикл), 45 с при 72 °С; далее 25 циклов: 30 с при 95 °С, 30 с при 55 °С, 45 с при 72 °С; далее финальная элонгация 5 мин при 72 °С [18].

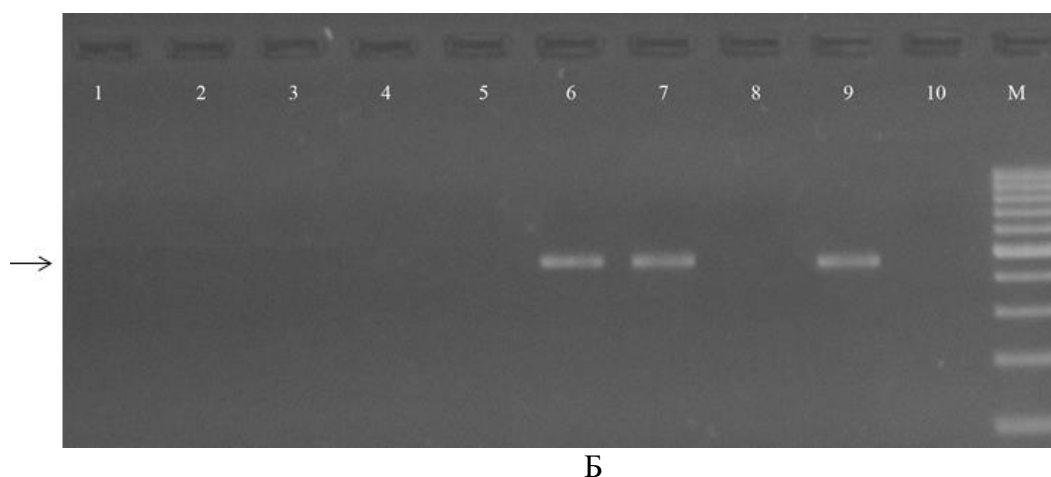
Разделение продуктов амплификации проводили методом электрофореза в агарозном геле (концентрация агарозы – 2%, буферная система – 1x TBE). Определение размера ампликонов проводили с использованием DNA Ladder Gene Ruler 100 bp (Thermo Fisher Scientific).

### Результаты и их обсуждение

С использованием маркера FaOMT-SI/NO функциональный аллель гена *FaOMT*, детерминирующий высокое содержание мезифурана в плодах (*FaOMT+*), выявлен у отборных гибридных форм межвидового (298-19-9-43 (FB<sub>2</sub> *F. orientalis* Los., *F. moschata* Duch., *F.* × *ananassa* Duch.), 26-5 (Рубиновый кулон × 298-19-9-43), 932-29 (*F. virginiana* subsp. *platypetala* (Rydb.) Staudt × Фейерверк), 928-12 (298-19-9-43 × Привлекательная)) и межсортового (69-29 (Фейерверк × Былинная), 72-25, 72-71 (Привлекательная × Былинная)) происхождения (рисунок 1а, таблица 2).



А



**Рисунок 1 – Электрофоретические профили маркерных фрагментов генов *FaOMT* (А) и *FaFAD1* (Б) у гибридных форм земляники**

*Примечание.* 1 – 298-19-9-43; 2 – 932-29; 3 – 26-5; 4 – 928-12; 5 – 65-26; 6 – 56-8; 7 – 61-12; 8 – 69-29; 9 – 72-25; 10 – 72-71; М – маркер молекулярного веса.

**Таблица 2 – Аллельное разнообразие генов *FaOMT* и *FaFAD1* ароматического комплекса плодов у отборных семян земляники**

Генотип	<i>FaOMT</i>		<i>FaFAD1</i>
	217 п.н.	248 п.н.	500 п.н.
298-19-9-43 ( $FB_2$ <i>F. orientalis</i> Los., <i>F. moschata</i> Duch., <i>F. × ananassa</i> Duch.)		+	
932-29 ( <i>F. virginiana</i> subsp. <i>platypetala</i> (Rydb.) Staudt × Фейерверк)		+	
26-5 (Рубиновый кулон × 298-19-9-43)	+	+	
928-12 (298-19-9-43 × Привлекательная)	+	+	
69-29 (Фейерверк × Былинная)	+	+	
72-25 (Привлекательная × Былинная)	+	+	+
72-71 (Привлекательная × Былинная)	+	+	
56-8 (Гигантелла × Привлекательная)	+		+
65-26 (Олимпийская надежда × Былинная)	+		
61-12 (Былинная × Олимпийская надежда)	+		+

При этом у отборных форм 298-19-9-43 ( $FB_2$  *F. orientalis* Los., *F. moschata* Duch., *F. × ananassa* Duch.) и 932-29 (*F. virginiana* subsp. *platypetala* (Rydb.) Staudt × Фейерверк) аллель *FaOMT*<sup>+</sup> находится в гомозиготном (*FaOMT*<sup>+</sup>*FaOMT*<sup>+</sup>) состоянии, а у форм 26-5 (Рубиновый кулон × 298-19-9-43), 69-29 (Фейерверк × Былинная), 928-12 (298-19-9-43 × Привлекательная), 72-25, 72-71 (Привлекательная × Былинная) – в гетерозиготном (*FaOMT*<sup>+</sup>*FaOMT*<sup>-</sup>) состоянии.

Полученные результаты подтверждаются анализом родословных анализируемых генотипов. Так, отборная форма 932-29 (гомозиготный генотип по аллелю *FaOMT*<sup>+</sup>) выделена в комбинации, где обе родительские формы (сорт земляники садовой Фейерверк и дикорастущий подвид земляники виргинской – *F. virginiana* subsp. *platypetala* (Rydb.) Staudt) являются носителями функционального аллеля гена *FaOMT* [18, 19], поэтому в гибридном потомстве возможна идентификация гомозиготных (*FaOMT*<sup>+</sup>*FaOMT*<sup>+</sup>) генотипов. Гибриды, полученные с участием сорта Былинная (69-29, 72-25, 72-71, 65-26, 61-12), характеризуются либо гетерозиготным состоянием функционального аллеля, либо гомозиготным состоянием нефункционального аллеля, что объясняется

гомозиготным состоянием нефункционального аллеля у сорта Былинная (генотип *FaOMT-FaOMT*-) [18]. Поэтому гибридные комбинации с участием сорта Былинная имеют вид анализирующего скрещивания (*FaOMT*+(-) × *FaOMT-FaOMT*-) и получение форм с гомозиготным генотипом по активному аллелю невозможно.

Ген *FaFAD1* среди проанализированных отборных форм земляники выявлен у гибридов межсортового происхождения 72-25 (Привлекательная × Былинная), 56-8 (Гигантелла × Привлекательная) и 61-12 (Былинная × Олимпийская надежда) (рисунок 1b, таблица 2). В отмеченных комбинациях скрещивания сорта Былинная и Гигантелла характеризуются наличием целевого аллеля *FaFAD1*, тогда как у сортов Олимпийская надежда и Привлекательная анализируемый локус отсутствует [18]. Поэтому комбинации скрещивания Привлекательная × Былинная, Гигантелла × Привлекательная, Былинная × Олимпийская надежда соответствуют анализирующему типу скрещивания и, следовательно, гибридные сеянцы 72-25, 56-8 и 61-12 характеризуются гетерозиготным состоянием гена *FaFAD1*. Необходимо также отметить, что трёхвидовой сеянец 298-19-9-43 характеризуется отсутствием гена *FaFAD1*, хотя и был получен с участием дикорастущих видов – носителей функционального аллеля *FaFAD1*.

Так как гены *FaOMT* и *FaFAD1* локализованы на различных хромосомах (*FaOMT* – на VII-F.1, *FaFAD1* – на III-2) [13, 20], то в гибридном потомстве земляники целевые аллели наследуются независимо и возможна их комбинация в одном генотипе. Среди изучаемых гибридных сеянцев комбинация целевых аллелей генов *FaOMT* и *FaFAD1* выявлена у гибрида 72-25 (Привлекательная × Былинная). Отборные формы 298-19-9-43, 26-5, 928-12, 932-29, 69-29, 72-71, 56-8 и 61-12 характеризуются наличием в генотипе одного из генов. Гибридный сеянец 65-26 (Олимпийская надежда × Былинная) активных аллелей генов *FaOMT* и *FaFAD1* не имеет (рецессивный гомозиготный генотип по обоим генам).

### Выводы

Таким образом, в результате молекулярно-генетического анализа гибридных сеянцев земляники по генам ароматического комплекса плодов идентифицированы перспективные генотипы – носители целевых аллелей генов: 298-19-9-43, 932-29, 928-12, 26-5, 69-29, 72-25, 72-71 (ген *FaOMT*); 72-25, 56-8, 61-12 (ген *FaFAD1*). Отборный сеянец 72-25 (Привлекательная × Былинная) характеризуется сочетанием функциональных аллелей обоих генов. Вовлечение в гибридизацию указанных форм позволит ускорить процесс создания новых сортов земляники с улучшенным ароматом плодов.

### Литература

1. Hummer K., Hancock J. F. Strawberry genomics: botanical history, cultivation, traditional breeding, and new technologies // Genetics and Genomics of Rosaceae. 2009. Vol. 7. P. 413–436. DOI: 10.1007/978-0-387-77491-6\_20.
2. Giampieri F., Tulipani S., Alvarez-Suarez J. M., Quiles J. L., Mezzetti B., Battino M. The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health // Nutrition. 2012. No. 28(1). P. 9–19. DOI: 10.1016/j.nut.2011.08.009.
3. FAOSTAT. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E> (дата обращения 06.02.2021).
4. Mezzetti B., Giampieri F., Zhang Y. T., Zhong C. F. Status of strawberry breeding programs and cultivation systems in Europe and the rest of the world // Journal of Berry Research. 2018. No. 8(3). P. 205–221. DOI: 10.3233/JBR-180314.
5. Марченко Л. А. Земляника садовая: оценка отечественного сортимента и направления селекции // Аграрный вестник Урала. 2020. № 12(203). С. 50–60. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-50-60.
6. Raab T. L., López-Ráez J. A., Klein D., Caballero J. L., Moyano E., Schwab W., Muñoz-Blanco J. FaQR, required for the biosynthesis of the strawberry flavor compound 4-hydroxy-2,5-dimethyl-

3(2H)-furanone, encodes an enone oxidoreductase // *Plant Cell*. 2006. Vol. 18. P. 1023–1037. DOI: 10.1105/tpc.105.039784.

7. Ulrich D., Komes D., Olbricht K., Hoberg E. Diversity of aroma patterns in wild and cultivated *Fragaria* accessions // *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2007. No. 54(6). P. 1185. DOI: 10.1007/s10722-006-9009-4.

8. Negri A. S., Allegra D., Simoni L., Rusconi F., Tonelli C., Espen L., Galbiati M. Comparative analysis of fruit aroma patterns in the domesticated wild strawberries “Profumata di Tortona” (*F. moschata*) and “Regina delle Valli” (*F. vesca*) // *Frontiers in Plant Science*. 2015. Vol. 6. P. 56. DOI: 10.3389/fpls.2015.00056.

9. Ulrich D., Olbricht K. A search for the ideal flavor of strawberry – comparison of consumer acceptance and metabolite patterns in *Fragaria* × *ananassa* Duch. // *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 2016. Vol. 89. P. 223–234. DOI: 10.5073/JABFQ.2016.089.029.

10. Зубкова М. И., Макаркина М. А., Князев С. Д. Оценка сортов земляники по биохимическим и органолептическим качествам ягод в условиях Орловской области // *Вестник аграрной науки*. 2020. № 4(85). С. 9–15. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.4.9.

11. Chambers A. H., Pillet J., Plotto A., Bai J., Whitaker V. M., Folta K. M. Identification of a strawberry flavor gene candidate using an integrated genetic-genomic-analytical chemistry approach // *BMC genomics*. 2014. No. 15(1). P. 217. DOI: 10.1186/1471-2164-15-217.

12. Urrutia M., Rambla J. L., Alexiou K. G., Granell A., Monfort A. Genetic analysis of the wild strawberry (*Fragaria vesca*) volatile composition // *Plant Physiol. Bioch.* 2017. Vol. 121. P. 99–117. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.10.015.

13. Zorrilla-Fontanesi Y., Rambla J. L., Cabeza A., Medina J. J., Sánchez-Sevilla J. F., Valpuesta V., Botella M. A., Granell A., Amaya I. Genetic analysis of strawberry fruit aroma and identification of O-methyltransferase *FaOMT* as the locus controlling natural variation in mesifurane content // *Plant Physiology*. 2012. No. 159(2). P. 851–870. DOI: 10.1104/pp.111.188318.

14. Noh Y. H., Lee S., Whitaker V. M., Cearley K. R., Cha J. S. A high-throughput marker-assisted selection system combining rapid DNA extraction high-resolution melting and simple sequence repeat analysis: strawberry as a model for fruit crops // *Journal of Berry Research*. 2017. No. 7(1). P. 23–31. DOI: 10.3233/JBR-160145.

15. Cruz-Rus E., Sesmero R., Ángel-Pérez J. A., Sánchez-Sevilla J. F., Ulrich D., Amaya I. Validation of a PCR test to predict the presence of flavor volatiles mesifurane and  $\gamma$ -decalactone in fruits of cultivated strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) // *Molecular Breeding*. 2017. No. 37(10). P. 131. DOI: 10.1007/s11032-017-0732-7.

16. DArT. [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.diversityarrays.com/sites/default/files/resources/DArT\\_DNA\\_isolation.pdf](http://www.diversityarrays.com/sites/default/files/resources/DArT_DNA_isolation.pdf) (дата обращения 18.11.2019).

17. Лукьянчук И. В., Лыжин А. С., Козлова И. И. Анализ генетической коллекции земляники (*Fragaria* L.) по генам *Rca2* и *Rpfl* с использованием молекулярных маркеров // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018. Т. 22. № 7. С. 795–799. DOI: 10.18699/VJ18.423.

18. Лыжин А. С., Лукьянчук И. В., Жбанова Е. В. Полиморфизм сортов и дикорастущих видов земляники генетической коллекции Федерального научного центра им. И.В. Мичурина по генам аромата плодов *FaOMT* и *FaFAD1* // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020. Т. 24. № 1. С. 5–11. DOI: 10.18699/VJ20.588.

19. Luk'yanchuk I. Molecular genetic analysis of strawberry genotypes for the *FaOMT* fruit aroma gene // *BIO Web of Conferences*. 2020. Vol. 25. P. 03003. DOI: 10.1051/bioconf/20202503003.

20. Sánchez-Sevilla J. F., Cruz-Rus E., Valpuesta V., Botella M. A., Amaya I. Deciphering gamma-decalactone biosynthesis in strawberry fruit using a combination of genetic mapping, RNA-Seq and eQTL analyses // *BMC Genomics*. 2014. No. 15(1). P. 218. DOI: 10.1186/1471-2164-15-218.

## References

1. Hummer K., Hancock J. F. Strawberry genomics: botanical history, cultivation, traditional breeding, and new technologies // *Genetics and Genomics of Rosaceae*. 2009. Vol. 7. P. 413–436. DOI: 10.1007/978-0-387-77491-6\_20.

2. Giampieri F., Tulipani S., Alvarez-Suarez J. M., Quiles J. L., Mezzetti B., Battino M. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health // *Nutrition*. 2012. No. 28(1). P. 9–19. DOI: 10.1016/j.nut.2011.08.009.

3. FAOSTAT. [Electronic resource] Access point: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E> (references date 06.02.2021).

4. Mezzetti B., Giampieri F., Zhang Y. T., Zhong C. F. Status of strawberry breeding programs and cultivation systems in Europe and the rest of the world // *Journal of Berry Research*. 2018. No. 8(3). P. 205–221. DOI: 10.3233/JBR-180314.

5. Marchenko L. A. Strawberry: evolution of the domestic assortment and direction of selection // Agrarian bulletin of the Urals. 2020. No. 12(203). P. 50–60. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-50-60.
6. Raab T. L., López-Ráez J. A., Klein D., Caballero J. L., Moyano E., Schwab W., Muñoz-Blanco J. FaQR, required for the biosynthesis of the strawberry flavor compound 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone, encodes an enone oxidoreductase // Plant Cell. 2006. Vol. 18. P. 1023–1037. DOI: 10.1105/tpc.105.039784.
7. Ulrich D., Komes D., Olbricht K., Hoberg E. Diversity of aroma patterns in wild and cultivated *Fragaria* accessions // Genetic Resources and Crop Evolution. 2007. No. 54(6). P. 1185. DOI: 10.1007/s10722-006-9009-4.
8. Negri A. S., Allegra D., Simoni L., Rusconi F., Tonelli C., Espen L., Galbiati M. Comparative analysis of fruit aroma patterns in the domesticated wild strawberries “Profumata di Tortona” (*F. moschata*) and “Regina delle Valli” (*F. vesca*) // Frontiers in Plant Science. 2015. Vol. 6. P. 56. DOI: 10.3389/fpls.2015.00056.
9. Ulrich D., Olbricht K. A search for the ideal flavor of strawberry – comparison of consumer acceptance and metabolite patterns in *Fragaria* × *ananassa* Duch. // Journal of Applied Botany and Food Quality. 2016. Vol. 89. P. 223–234. DOI: 10.5073/JABFQ.2016.089.029.
10. Zubkova M.I., Makarkina M.A., Knyazev S.D. Strawberry assessment for biochemical and organoleptic features of berries in the Orel region // Bulletin of Agrarian Science. 2020. No. 4(85). P. 9–15. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.4.9.
11. Chambers A. H., Pillet J., Plotto A., Bai J., Whitaker V. M., Folta K. M. Identification of a strawberry flavor gene candidate using an integrated genetic-genomic-analytical chemistry approach // BMC genomics. 2014. No. 15(1). P. 217. DOI: 10.1186/1471-2164-15-217.
12. Urrutia M., Rambla J. L., Alexiou K. G., Granell A., Monfort A. Genetic analysis of the wild strawberry (*Fragaria vesca*) volatile composition // Plant Physiol. Bioch. 2017. Vol. 121. P. 99–117. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.10.015.
13. Zorrilla-Fontanesi Y., Rambla J. L., Cabeza A., Medina J. J., Sánchez-Sevilla J. F., Valpuesta V., Botella M. A., Granell A., Amaya I. Genetic analysis of strawberry fruit aroma and identification of O-methyltransferase *FaOMT* as the locus controlling natural variation in mesifurane content // Plant Physiology. 2012. No. 159(2). P. 851–870. DOI: 10.1104/pp.111.188318.
14. Noh Y. H., Lee S., Whitaker V. M., Cearley K. R., Cha J. S. A high-throughput marker-assisted selection system combining rapid DNA extraction high-resolution melting and simple sequence repeat analysis: strawberry as a model for fruit crops // Journal of Berry Research. 2017. No. 7(1). P. 23–31. DOI: 10.3233/JBR-160145.
15. Cruz-Rus E., Sesmero R., Ángel-Pérez J. A., Sánchez-Sevilla J. F., Ulrich D., Amaya I. Validation of a PCR test to predict the presence of flavor volatiles mesifurane and  $\gamma$ -decalactone in fruits of cultivated strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) // Molecular Breeding. 2017. No. 37(10). P. 131. DOI: 10.1007/s11032-017-0732-7.
16. DArT. [Electronic resource] Access point: [http://www.diversityarrays.com/sites/default/files/resources/DaRT\\_DNA\\_isolation.pdf](http://www.diversityarrays.com/sites/default/files/resources/DaRT_DNA_isolation.pdf). (references date 18.11.2019).
17. Luk'yanchuk I. V., Lyzhin A. S., Kozlova I. I. Analysis of strawberry genetic collection (*Fragaria* L.) for *Rca2* and *Rpfl* genes with molecular markers // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018. Vol. 22. No. 7. P. 795–799. DOI: 10.18699/VJ18.423.
18. Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V., Zhanova E. V. Polymorphism of the *FaOMT* and *FaFAD1* genes for fruit flavor volatiles in strawberry varieties and wild species from the genetic collection of the Michurin Federal Research Center // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020. Vol. 24. No. 1. P. 5–11. DOI: 10.18699/VJ20.588.
19. Luk'yanchuk I. Molecular genetic analysis of strawberry genotypes for the *FaOMT* fruit aroma gene // BIO Web of Conferences. 2020. Vol. 25. P. 03003. DOI: 10.1051/bioconf/20202503003.
20. Sánchez-Sevilla J. F., Cruz-Rus E., Valpuesta V., Botella M. A., Amaya I. Deciphering gamma-decalactone biosynthesis in strawberry fruit using a combination of genetic mapping, RNA-Seq and eQTL analyses // BMC Genomics. 2014. No. 15(1). P. 218. DOI: 10.1186/1471-2164-15-218.

UDC 634.75:577.2:575.22

Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V.

### **ANALYSIS OF PROMISING STRAWBERRY HYBRID FORMS BY *FAOMT* AND *FAFAD1* FRUIT AROMA GENES**

**Summary.** An important consumer trait of strawberry fruits is their aroma. Among the most important strawberry fruit aroma compounds are  $\gamma$ -decalactone and mesifurane.

*The content of  $\gamma$ -decalactone in fruits is controlled by the expression of the FaFAD1 gene. The content of mesifurane in fruits is controlled by the FaOMT gene. Identification of genotypes carrying the target alleles of the aromatic complex genes is an important stage in improving the strawberry assortment and creating strawberry varieties with aromatic fruits. The purpose of the study is molecular genetic analysis of strawberry hybrid seedlings by the FaOMT and FaFAD1 genes to identify genotypes promising in breeding for fruit aroma. Promising selected and elite forms of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) created at the FSSI “I.V. Michurin FSC” were used as biological objects. To identify the allelic state FaOMT gene, the codominant molecular marker FaOMT-SI/NO was used. To identify FaFAD1 gene, the molecular marker FaFAD1 was used. Using the FaOMT-SI/NO marker, the functional allele of the FaOMT gene (FaOMT+) was identified in the following strawberry selected forms: 298-19-9-43 (FB<sub>2</sub> *F. orientalis* Los., *F. moschata* Duch., *F.* × *ananassa* Duch.), 932-29 (*F. virginiana* subsp. *platypetala* (Rydb.) Staudt × ‘Feyerverk’), 928-12 (298-19-9-43 × ‘Privlekatelnaya’), 69-29 (‘Feyerverk’ × ‘Bylinnaya’), 72-25, 72-71 (‘Privlekatelnaya’ × ‘Bylinnaya’) and 26-5 (‘Rubinovyy kulon’ × 298-19-9-43). The FaFAD1 gene was identified in strawberry hybrids 72-25 (‘Privlekatelnaya’ × ‘Bylinnaya’), 56-8 (‘Gigantella’ × ‘Privlekatelnaya’) and 61-12 (‘Bylinnaya’ × ‘Olimpiyskaya nadezhda’). The strawberry selected form 72-25 (‘Privlekatelnaya’ × ‘Bylinnaya’) is characterized by a combination of functional alleles of both genes (FaOMT + FaFAD1). Involvement of these forms in hybridization will make it possible to intensify the process of creating new strawberry varieties with improved fruit aroma.*

**Keywords:** *strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.), genotype, fruit aroma,  $\gamma$ -decalactone, mesifurane, molecular markers.*

Лыжин Александр Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии устойчивости и геномных технологий, ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина»; 393760 г. Мичуринск, Тамбовская обл., ул. Мичурина, 30; e-mail: Ranenburzhetc@yandex.ru.

Лукьянчук Ирина Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории частной генетики и селекции, ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина»; 393760 г. Мичуринск, Тамбовская обл., ул. Мичурина, 30; e-mail: irina.lk2011@yandex.ru.

Lyzhin Aleksandr Sergeevich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of Laboratory of physiology of resistance and genomic technologies, FSSI “I.V. Michurin Federal Scientific Center”; 30, Michurina str., Michurinsk, Tambov Region, 393774, Russia; e-mail: Ranenburzhetc@yandex.ru.

Luk'yanchuk Irina Vasilievna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of Laboratory of private genetics and breeding, FSSI “I.V. Michurin Federal Scientific Center”; 30, Michurina str., Michurinsk, Tambov Region, 393774, Russia; e-mail: irina.lk2011@yandex.ru.

*Дата поступления в редакцию – 27.04.2021.*

*Дата принятия к печати – 05.06.2021.*



DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-125-134

УДК 632.937:58.035

Маслова М. В.<sup>1</sup>, Грошева Е. В.<sup>1</sup>, Будаговский А. В.<sup>1,2</sup>, Будаговская О. Н.<sup>1,2</sup>,  
Каменева И. А.<sup>3</sup>

**АНТАГОНИСТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ В ОТНОШЕНИИ  
ФИТОПАТОГЕНОВ У БАКТЕРИЙ *PAENIBACILLUS POLYМУХА*, *BACILLUS  
AMYLOLIQUEFACIENS* И ИХ ЛАЗЕРНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»;

<sup>2</sup>ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И. В. Мичурина»;

<sup>3</sup>ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** Биологическому способу защиты растений от болезней уделяется особое внимание благодаря развитию органического земледелия. Поэтому создание новых биопрепаратов и изучение их эффективности является перспективным направлением. Цель исследований – изучение антагонистической активности у бактерий *Paenibacillus polymyxa* и *Bacillus amyloliquefaciens* в отношении ряда фитопатогенов (*Pseudomonas syringae* van Hall, *Fusarium oxysporum* Schldt, *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl.), а также их реакции на лазерное облучение. Исследования проводили на базе научно-исследовательской проблемной лаборатории «Биофотоника» ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ», а также отдела сельскохозяйственной микробиологии ФГБНУ «НИИСХ Крыма» в 2016–2021 гг. Антагонистическую активность бактерий оценивали методом двойных культур. Эффективность лазерного облучения определяли по изменению числа клеток бактерий в суспензии в результате их обработки когерентным светом. Изучение активности бактерий-антагонистов в отношении патогенов показало, что по сравнению с контрольными вариантами степень подавления роста колоний *P. syringae*, *F. oxysporum*, *A. alternata* в двойной культуре с *P. polymyxa* составила 32,5 %; 4,0 % и 77,9 % соответственно. *B. amyloliquefaciens* подавляла рост *P. syringae* на 25,9 %, *F. oxysporum* на 49,0 % и *A. alternata* на 61,1 %. Так же установлено увеличение числа клеток в суспензиях *P. polymyxa* и *B. amyloliquefaciens* после облучения когерентным светом на 23,8 % и 36,1 % соответственно. Таким образом, для биоконтроля *P. syringae* более эффективным оказался бактериальный штамм *P. polymyxa* П. В отношении *F. oxysporum* антагонистическую активность проявлял бактериальный штамм *B. amyloliquefaciens* 01-1. Против *A. alternata* эффективны оба исследуемых микроорганизма. С целью повышения активности деления клеток штаммов-антагонистов фитопатогенов целесообразно применять облучение когерентным светом. В дальнейшем планируется проведение испытания уровня антагонистической активности бактерий *P. polymyxa* и *B. amyloliquefaciens* после облучения лазером.

**Ключевые слова:** биоконтроль фитопатогенов, *Paenibacillus polymyxa*, *Bacillus amyloliquefaciens*, лазерная стимуляция бактерий-антагонистов.

**Для цитирования:** Маслова М. В., Грошева Е. В., Будаговский А. В., Будаговская О. Н., Каменева И. А. Антагонистическая активность в отношении фитопатогенов у бактерий *Paenibacillus polymyxa*, *Bacillus amyloliquefaciens* и их лазерная стимуляция // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 125–134. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-125-134.

**For citation:** Maslova M. V., Grosheva E. V., Budagovsky A. V., Budagovskaya O.N., Kameneva I. A. Antagonistic activity of *Paenibacillus polymyxa*, *Bacillus amyloliquefaciens* and their laser stimulation against phytopathogens // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 125–134. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-125-134.

## Введение

В настоящее время при проведении мероприятий по защите растений от болезней предпочтение отдают экологически безопасным методам. Долгие годы широко использовали пестициды, однако они имеют ряд существенных недостатков – высокую токсичность для растений и человека, а также они способствуют появлению новых устойчивых штаммов микроорганизмов. Поэтому особое внимание уделяется биологическому способу защиты растений. Он заключается в том, что для контроля болезнетворных организмов вместо опасных пестицидов используют микробы-антагонисты патогенов и их метаболиты, которые также способствуют стимуляции роста, активизации иммунных реакций, улучшению минерального питания растений, повышению всхожести семян [1]. Бактерии *Paenibacillus polymyxa* [2] и *Bacillus amyloliquefaciens* [1] широко используются для биологической защиты растений в нашей стране и за рубежом. На их основе создан ряд биопрепаратов, которые показали свою эффективность в борьбе с болезнями зерновых, бобовых, плодовых, цитрусовых, овощных культур, картофеля, винограда и др. [3–11].

Комплексные инокулянты широкого спектра действия на основе ассоциаций микроорганизмов оказывают стабильное положительное действие на растения и почвенную микробиоту и могут быть успешными элементами интегрированных систем защиты растений от возбудителей болезней и вредителей [11–13].

В отделе сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «НИИСХ Крыма» разработаны комплексы микробных препаратов (КМП) на основе ассоциаций бактерий, созданных в условиях *in vitro*. КМП включают штаммы бактерий [14], способных фиксировать азот атмосферы, трансформировать соединения фосфора в легкодоступные растению формы и продуцировать фитогормоны, а также штаммы бактерий-антагонистов фитопатогенов. Актуальными остаются вопросы изучения спектра возбудителей болезней сельскохозяйственных растений, для борьбы с которыми будут эффективны КМП. Кроме того, перспективным направлением исследований является разработка средств и методов повышения активности бактерий-антагонистов патогенной микробиоты. Ранее установлено, что лазерное облучение рабочих растворов биопрепаратов, содержащих *Pseudomonas fluorescens* и *Bacillus subtilis*, позволяет увеличить число клеток в суспензии и антифунгальное действие бактерий, входящих в их состав. В основе стимуляционного эффекта лежит фоторегуляторное действие когерентного света [15].

**Цель исследований** – изучить антагонистическую активность в отношении ряда фитопатогенов у бактерий *P. polymyxa* и *B. amyloliquefaciens*, а также их реакцию на лазерное облучение.

### Материалы и методы исследований

Работу проводили на базе научно-исследовательской проблемной лаборатории «Биофотоника» ФГБОУ «ВО Мичуринский ГАУ», а также отдела сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «НИИСХ Крыма» в 2016–2021 гг.

В исследования включены бактериальные штаммы *Paenibacillus polymyxa* П и *Bacillus amyloliquefaciens* 01-1 из Крымской коллекции микроорганизмов (<http://www.ckp-rf.ru>). На их основе разработаны микробные препараты, в том числе КМП. В качестве тест-культур использованы патогенные микроорганизмы:

- *Pseudomonas syringae* van Hall, вызывающий бактериальный некроз плодовых культур (изолирован из пораженных ветвей вишни);
- *Fusarium oxysporum* Schltdl, возбудитель фузариоза томата, (изолирован из корневой системы томата с признаками увядания);
- *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl., возбудитель альтернариоза томата (изолирован с поверхности листа томата, пораженного данной болезнью).

С целью определения особенностей роста и развития всех исследуемых микроорганизмов на различных питательных средах их культивирование проводили в монокультуре на мясопептонном, бобовом (гороховом) и картофельно-глюкозном агаре.

Оценку антагонистической активности *P. polymyxa* и *B. amyloliquefaciens* осуществляли с применением метода двойных культур (бактериального штриха Cross-Streak). В качестве тестеров использовали выше перечисленные патогенные микроорганизмы. Бактерии высевали в чашки Петри на поверхность бобового и мясопептонного агара на расстоянии 2,5 см от центра микробиологической петлей прямым штрихом длиной 3 см. Агаровый диск гриба-тестера диаметром 3,0 мм помещали в центр. Микроорганизмы инкубировали при температуре 25 °С. По мере роста колоний проводили измерение их размера [16]. Степень активности бактерий-антагонистов определяли по снижению объема биомассы тестеров по сравнению с тем же показателем в контрольном варианте (патогены, выращенные в монокультуре). Повторность опыта шестикратная.

Для облучения готовили 0,01%-ную суспензию исследуемых бактерий в жидкой картофельно-глюкозной среде. Обработку когерентным светом проводили с использованием полупроводникового лазера с длиной волны 660 нм в течение 60, 120, 240 и 480 с. Суспензии бактерий инкубировали при 35 °С. Эффективность облучения оценивали спустя сутки по изменению числа клеток бактерий в суспензии в вариантах с применением лазера в сравнении с контролем (без применения лазера). Количество бактериальных клеток в суспензии определяли путем микроскопирования при увеличении  $\times 640$  с использованием камеры Горяева с последующим пересчетом на 1 мл суспензии. Повторность опыта двенадцатикратная.

При статистической обработке и анализе экспериментальных данных использовали метод t-критерия Стьюдента и стандартные компьютерные программы Microsoft Office Excel.

### Результаты и их обсуждение

С целью определения особенностей роста и развития бактерий *P. polymyxa*, *B. amyloliquefaciens*, *P. syringae* и грибов *F. oxysporum*, *A. alternata* на различных питательных средах их выращивали в монокультуре. Наиболее активный рост всех микроорганизмов отмечен на картофельно-глюкозном агаре (КГА) и бобовом агаре (БА). Объем колоний *P. polymyxa* на данных средах составил 37,7 и 40,9 мм<sup>3</sup> соответственно, *B. amyloliquefaciens* – 22,5 и 20,3 мм<sup>3</sup> соответственно. При этом на мясопептонном агаре (МПА) данный показатель для исследуемых бактерий составил 27,4 и 13,6 мм<sup>3</sup> соответственно.

Бактерия *P. syringae* в монокультуре на БА и КГА также формировала более крупные колонии (40,0 и 36,2 мм<sup>3</sup> соответственно), чем на МПА (14,7 мм<sup>3</sup>).

Патогенные мицелиальные грибы показали активный рост на КГА и БА, а *F. oxysporum* в том числе и на МПА. Колонии в данных вариантах опыта полностью занимали всю чашку Петри (1250 мм<sup>3</sup>). Объем биомассы у *A. alternata* на МПА составлял 59,3 мм<sup>3</sup>.

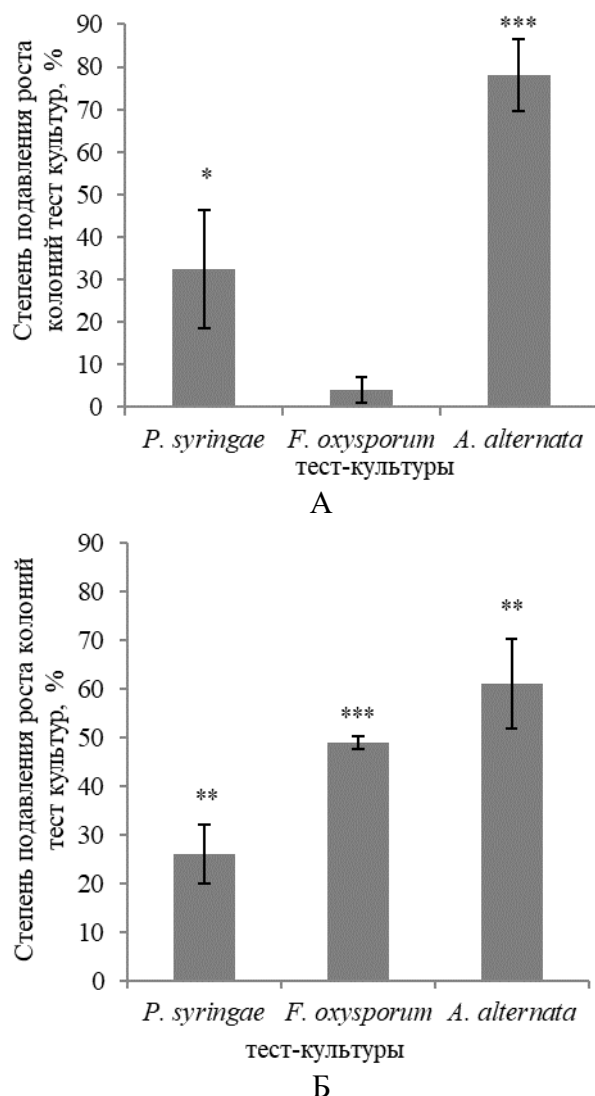
Для совместного культивирования бактерий из биопрепаратов и патогенов использовали среду, где отмечали активный рост всех микроорганизмов (БА), а также, где рост колоний был более сдержанным (МПА).

Установлено, что исследуемые бактерии из биопрепаратов обладают антагонистической активностью в отношении патогенных микроорганизмов. Данный факт был установлен на обеих средах. В совместной культуре с *P. polymyxa* объем колоний тестеров *P. syringae*, *F. oxysporum*, *A. alternata* составил 20,3; 1250,0 и 198,0 мм<sup>3</sup> соответственно на БА и 12,3; 1150 и 16,7 мм<sup>3</sup> соответственно на МПА. Таким образом, в среднем степень подавления роста патогенов составила 32,5; 4,0 и

77,9 % соответственно (рисунок 1 а).

*B. amyloliquefaciens* также контролировала рост патогенов в совместной культуре. На БА колонии *P. syringae*, *F. oxysporum*, *A. alternata* имели объем 24,5; 675,0 и 338,8 мм<sup>3</sup> соответственно, на МПА – 12,7; 600,0 и 30,0 мм<sup>3</sup> соответственно, то есть данная антагонистическая бактерия в среднем подавляла рост и развитие *P. syringae* на 25,9 %, *F. oxysporum* на 49,0 % и *A. alternata* на 61,1 % по сравнению с контрольными вариантами (рисунок 1 б).

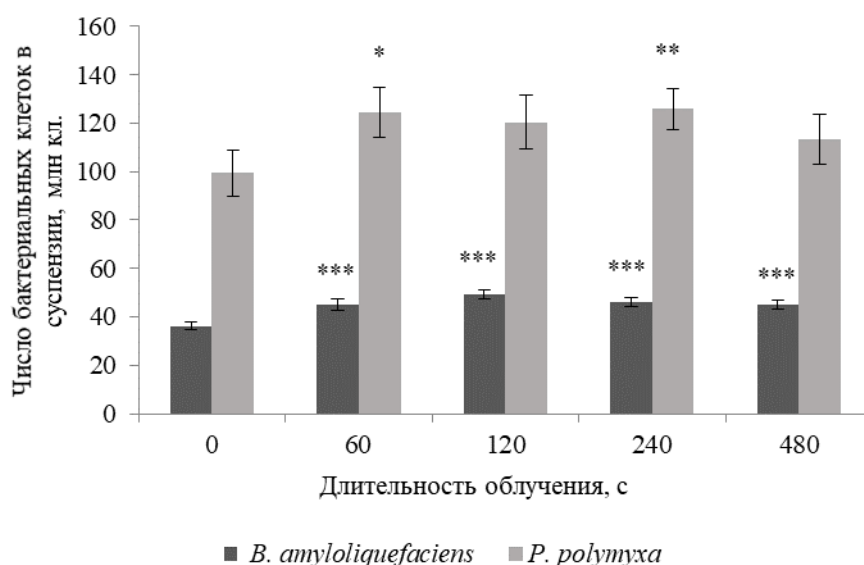
Эффективный контроль развития возбудителя бактериального некроза плодовых растений способен осуществлять штамм *P. polymyxa* П, который подавлял рост *P. syringae* в двойной культуре на 32,5 %. В отношении возбудителя фузариоза томата антифунгальную активность проявлял штамм *B. amyloliquefaciens* 01-1. При этом процент подавления роста колонии *F. oxysporum* составил 49,0 %. Возбудитель альтернариоза томата был значительно ослаблен в совместной культуре с обоими исследуемыми антагонистами, степень подавления роста *A. alternata* в варианте опыта с *P. polymyxa* П составила 77,9 %, а с *B. amyloliquefaciens* 01-1 – 61,1 %.



**Рисунок 1 – Степень подавления роста патогенных микроорганизмов под влиянием бактерий-антагонистов**

**Примечание.** А – *P. polymyxa*; Б – *B. amyloliquefaciens*. Достоверность различий с контролем подтверждена по t-критерию Стьюдента: \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ .

С целью стимуляции роста бактерий *P. polymyxa* и *B. amyloliquefaciens* проводили облучение их суспензий полупроводниковым лазером с длиной волны 660 нм. После суточного культивирования бактерий в жидкой питательной картофельно-глюкозной среде в контрольных вариантах (без применения когерентного света) число клеток в 1 мл суспензии составило  $101,9 \times 10^9$  и  $40,7 \times 10^9$  соответственно. При этом в опытных образцах данный показатель варьировал от  $103,2 \times 10^9$  до  $126,2 \times 10^9$  клеток для *P. polymyxa* и от  $41,5 \times 10^9$  до  $55,3 \times 10^9$  клеток для *B. amyloliquefaciens*. В среднем увеличение числа клеток после лазерного облучения составило 16,0 % и 24,2 % соответственно (рисунок 2). Наибольшую стимуляцию (23,8 %) активности бактерий *P. polymyxa* наблюдали при длительности экспозиции в 240 с. Для *B. amyloliquefaciens* более эффективным оказалось облучение в течение 120 с, при этом число клеток в суспензии увеличилось на 36,1 %. Таким образом, установлено, что кратковременная лазерная обработка способствует стимуляции бактерий-антагонистов.



**Рисунок 2 – Лазерная стимуляция бактерий-антагонистов в зависимости от длительности облучения ( $\lambda = 660$  нм)**

**Примечание.** Достоверность различий с контролем подтверждена по *t*-критерию Стьюдента: \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ .

Полученные результаты исследований позволят найти пути решения проблем, связанных с контролем широко распространенных возбудителей болезней растений *P. syringae*, *F. oxysporum*, *A. alternata*. Поиск и изучение эффективных антагонистов в отношении данных микроорганизмов, а также методов повышения их функциональной активности способствует более широкому внедрению биологических средств защиты растений в практику сельскохозяйственного производства. В настоящее время распространенными в промышленных масштабах являются биопрепараты, созданные на основе какого-либо одного штамма микроорганизмов, в большинстве случаев это *B. subtilis* и *P. fluorescens* [15]. Создание КМП является перспективным направлением, так как его использование позволяет решать несколько задач (контроль патогенов, индукция иммунитета, улучшение питания). Важным этапом при этом следует считать оценку эффективности компонентов микробного комплекса в выполнении целевых функций. Бактерии *P. polymyxa* и *B. amyloliquefaciens*, входящие в состав биопрепаратов, способны

обеспечивать контроль патогенов. Способ действия бактерий заключается в секреции антимикробных соединений и их диффундировании в питательную среду при культивировании *in vitro* [17, 18]. Метаболиты, выделяемые *P. polymyxa* и *B. amyloliquifaciens*, при совместном культивировании с патогенами оказывали ингибирующее действие на тест-культуры *P. syringae*, *F. oxysporum*, *A. alternata*, указывая на наличие в их составе антимикробных соединений.

Потенциал *P. polymyxa* и *B. amyloliquifaciens* в качестве агентов биологического контроля в составе КМП, основанный на антимикробной активности, позволяет охарактеризовать их как перспективные. Их способность продуцировать разнообразный спектр метаболитов, направленных на подавление болезнетворных микроорганизмов отмечает ряд авторов [1, 2, 9, 10, 18, 19, 20].

Используемый анализ *in vitro* позволяет определить характер воздействия метаболитов анализируемых бактерий на тестовые культуры и является репрезентативным для предварительного отбора штаммов-антагонистов [21]. В дальнейшем требуются исследования *in planta*, основанные на многофакторном патосистемном подходе, предусматривающем изучение особенностей развития патогенов, биоагентов и растения-хозяина в контролируемых условиях опыта.

Несмотря на то, что вопросы, касающиеся безопасности окружающей среды, являются основополагающими при разработке мер защиты растений от болезней, реализация потенциала микроорганизмов в качестве агентов биоконтроля фитопатогенов сдерживается рядом факторов, в том числе снижением активности в результате длительного хранения, более низкой эффективностью по сравнению с рядом химических средств, зависимостью от ценогического окружения. Увеличение численности популяции биоагентов и повышение их противомикробной активности способствует успешной колонизации растения-хозяина и борьбе с болезнями.

На основании проведенных экспериментов по влиянию когерентного света на микроорганизмы установлено его стимулирующее действие на ростовые процессы бактерий *P. polymyxa* и *B. amyloliquifaciens*. Данный эффект основан на фоторегуляторном действии красного квазимонохроматического света. Под его влиянием микробные клетки начинают быстрее размножаться в результате активизации физиологических процессов. Проведенные ранее исследования на бактериях *B. subtilis* и *P. fluorescens* показали, что использование лазерного облучения дает возможность восстанавливать их функциональную активность, снизившуюся в результате воздействия неблагоприятных факторов, получать в более короткие сроки культуральную жидкость с определенным количеством клеток и их метаболитов, снижать концентрацию биологических препаратов в рабочих растворах, что способствует экономии при проведении защитных мероприятий [15, 22]. Поэтому в дальнейшем целесообразно проведение испытания уровня антагонистической активности бактерий *P. polymyxa* и *B. amyloliquifaciens* после облучения лазером.

Установленные закономерности являются научным обоснованием перспективы использования когерентного света для стимуляции микробов-антагонистов фитопатогенов, что может быть востребовано в органическом земледелии для повышения эффективности биологических препаратов защиты растений от болезней, в состав которых входят живые клетки бактерий.

#### Выводы

Проведенные исследования показали, что в контроле *P. syringae* более эффективной является бактерия *P. polymyxa*, которая в значительной степени способна подавлять рост данного патогена на 32,5%. В отношении возбудителя фузариоза томата выраженный антагонизм проявляла бактерия *B. amyloliquifaciens*, что снизило объем колоний *F. oxysporum* на 49,0 %. Против патогенного гриба,

вызывающего альтернариоз томата, *P. polymyxa* П и *B. amyloliquefaciens* показали высокую активность. Ингибирование роста и развития колоний *A. alternata* составило 77,9 и 61,1 % соответственно.

Лазерное излучение, благодаря фоторегуляторному действию, способно стимулировать рост и развитие исследуемых бактерий-антагонистов фитопатогенов. Установлено увеличение числа клеток в бактериальных суспензиях после обработки когерентным светом у *P. polymyxa* на 23,8 % при длительности экспозиции 240 с и у *B. amyloliquefaciens* на 36,1 % при длительности экспозиции 120 с.

### Литература

1. Патент РФ № 2673155. «Штамм *Bacillus amyloliquefaciens*, обладающий антибактериальной и фунгистатической активностью, и микробиологический препарат на его основе против болезни растения, вызываемой фитопатогенным микроорганизмом» // Авторы: Игнатов А. Н., Воронина М. В. Патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «Исследовательский Центр "ФитоИнженерия"». 2018. Бюл. № 33. 35 с.
2. Егоренкова И. В., Трегубова К. В., Коннова С. А., Бугреева Л. В., Игнатов В. В. Влияние экзополисахаридов бактерий *Paenibacillus polymyxa* 1465 на рост и защитные реакции пшеницы // Известия Саратовского университета. Серия «Химия. Биология. Экология». 2016. № 4. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-ekzopolisaharidov-bakteriy-paenibacillus-polymyxa-1465-na-rost-i-zaschitnye-reaktsii-pshenitsy> (дата обращения 04.03.2021).
3. Вакуленко Ю. В., Кузнецова А. П. Способы повышения всхожести семян косточковых культур // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. «Сельскохозяйственные науки: научные приоритеты учёных». Пермь: Федеральный центр науки и образования «Эвенсис», 2016. С. 32–37.
4. Клименко О. Е. Использование биопрепаратов для повышения эффективности выращивания привитых саженцев алычи // Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. 2014. № 2. С. 154–157.
5. Мельник С. І., Жилкін В. А., Гаврилюк М. М., Сніговий В. С., Лісовий М. М., Дишлюк В. Є. Рекомендації з ефективного застосування мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Київ: Підрозділ оперативного друку Чернігівського центру науково-технічної і економічної інформації, 2007. 52 с.
6. Чайковская Л. А., Клименко Н. Н. Размножение бактерии *Paenibacillus polymyxa* П в ризосфере винограда // Аграрный вестник Урала. 2016. № 3. С. 72–76.
7. Чайковская Л. А., Ключенко В. В., Баранская М. И., Овсиенко О. Л. Фосфатмобилизующие бактерии в агроценозах Крыма. Симферополь: ИТ «Ариал», 2018. 150 с.
8. Wang B., Cheng H., Qian W., Zhao W., Liang C., Liu C., Zhang, L. Comparative genome analysis and mining of secondary metabolites of *Paenibacillus polymyxa* // Genes & Genetic Systems. 2020. Vol. 95. Iss. 3. P. 141–150. DOI: 10.1266/ggs.19-00053.
9. Borriss R. Phytostimulation and biocontrol by the plant-associated *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42: an update // In book: Phyto-Microbiome in Stress Regulation // Ed. by Manoj K., Vivek K, Ram P. Springer, Singapore, 2020. P. 1–20. DOI: 10.1007/978-981-15-2576-6\_1.
10. Qian J., Zhang T., Tang S., Zhou L., Li K., Fu X., & Yu S. Biocontrol of citrus canker with endophyte *Bacillus amyloliquefaciens* QC-Y // Plant Protection Science. 2020. Vol. 57. No. 1. P. 1–13. DOI: 10.17221/62/2020-PPS.
11. Melnichuk T., Egovtseva A., Abdurashytov S., Abdurashytova E., Kameneva I., Yakubovskaya A., Radchenko A., Ganotskaya L., Radchenko L. Associative to *Triticum aestivum* L. bacteria as a source of strains for biotechnology of the rhizosphere // Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2020. Vol. 8. No. 5. P. 1194–1197. DOI: 10.15414/jmbfs.2019.8.5.1194-1197.
12. Кулинич Р. А., Турина Е. Л. Изучение различных микробиологических препаратов на горохе сорта девиз в Крыму // Материалы 2-й международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки и практики XXI в.». Нижневартовск: Издательский центр «Наука и практика», 2016. С. 5–10.
13. Кулинич Р. А. Формирование урожая зернобобовых культур при применении полифункциональных микробных препаратов в зоне центральной Степи Крыма в условиях орошения. Автореф. дис. ... к.с.-х.н. Ставрополь: ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», 2017. 22 с.
14. Коллекция микроорганизмов отдела сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «НИИСХ Крыма». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://niishk.ru/innovacionnye-razrabotki/kolleksiya-mikroorganizmov>. (дата обращения 22.09.2020).
15. Maslova M. V., Grosheva E. V., Budagovsky A. V., Budagovskaya O. N. The Effect of laser

irradiation on the activity of the bacteria *Bacillus Subtilis* and *Pseudomonas Fluorescens* // Amazonia Investiga. 2019. Vol. 8. No. 21. P. 610–616.

16. Минаева О. М., Акимова Е. Е., Зюбанова Т. И., Терещенко Н. Н. Биопрепараты для защиты растений: оценка качества и эффективности. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. 130 с.

17. Beck H. C., Hansen A. M., Lauritsen F. R. Novel pyrazine metabolites found in polymyxin biosynthesis by *Paenibacillus polymyxa* // FEMS Microbiology Letters. 2003. Vol. 220. No. 1. P. 67–73. DOI: 10.1016/S0378-1097(03)00054-5.

18. Yasmin S., Zaka A., Imran A., Zahid M. A., Yousaf S., Rasul G., Arif M., Mirza M. Plant growth promotion and suppression of bacterial leaf blight in rice by *Paenibacillus polymyxa* Sx3 // Lett Appl Microbiol. 2019. Vol. 11. No. 8. P.423–429. DOI: 10.1111/lam.13117.

19. Chen X. H., Koumoutsi A., Scholz R., Borriss R. More than anticipated – production of antibiotics and other secondary metabolites by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 // J. Mol. Microbiol. Biotechnol. 2009. Vol. 16. P. 14–24. DOI: 10.1159/000142891.

20. Горовцов А. В., Усатов А. В., Карапетян Р. Р., Козьменко С. В. Исследование антагонистической активности аэробных спорообразующих бактерий относительно грибов р. *Fusarium*, выделенных из различных агроценозов // Сборник II Всероссийской научно-практической конференции «Передовое развитие современной науки как драйвер роста экономики и социальной сферы». Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая наука», 2020. С. 175–180.

21. Daranas N., Roselló G., Cabrefiga J., Donati I., Francés J., Badosa E., Spinelli F., Montesinos E., Bonaterra A. Biological control of bacterial plant diseases with *Lactobacillus plantarum* strains selected for their broad spectrum activity // Annals of Applied Biology. 2019. Vol. 174. No. 1. P. 92–105. DOI: 10.1111/aab.12476.

22. Патент РФ № 2683684. «Способ восстановления активности защитных биопрепаратов после транспортировки, длительного или неправильного хранения» // Авторы: Будаговский А. В., Маслова М. В., Будаговская О. Н., Грошева Е. В., Будаговский И. А. Патентообладатель: ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», 2019. Бюл. № 10. 7 с.

## References

1. Patent RF No. 2673155. “*Bacillus amyloliquefaciens* strain with antibacterial and fungistatic activity, and microbiological preparations on its base against plant diseases caused by phytopathogenic microorganism” / Authors: Ignatov A. N., Voronina M. V. Proprietor(s) “Research Center “FitoInzheneriya” ООО” (Limited Liability Company) (RU). 2018. Bull. No. 33. 35p.

2. Egorenkova I. V., Tregubova K. V., Konnova S. A., Bugreeva L. V., Ignatov V. V. Effect of exopolysaccharides of the bacterium *Paenibacillus polymyxa* 1465 on growth and defense responses of wheat // Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Chemistry. Biology. Ecology. 2016. No. 4. [Electronic resource]. Access point: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-ekzopolisaharidov-bakterii-paenibacillus-polymyxa-1465-na-rost-i-zaschitnye-reaktsii-pshenitsy> (references date 03.04.2021).

3. Vakulenko Yu. V., Kuznetsova A. P. Methods for increasing seed germination of stone fruit crops // Collection of scientific papers on the results of the International Scientific and Practical Conference “Agricultural sciences: scientific priorities of scientists”. Perm: “Evansys” Federal Center of Science and Education, 2016. P. 32–37.

4. Klimenko O. E. The use of biological products to improve the efficiency of growing grafted cherry plum seedlings // Bulletin of the Dnipropetrovsk State Agrarian-Economic University. 2014. No. 2. P. 154–157.

5. Melnik S. I., Zhilkin V. A., Gavrilyuk M. M., Snizhny V. S., Lesnoy M. M., Dyshlyuk V. E. Recommendations for the effective use of microbial preparations in crop cultivation technologies. Kiev: Operational Press Division of the Chernihiv Center for scientific, technical and economic information, 2007. 52 p.

6. Chaikovskaya L. A., Klimenko N. N. Growth of bacteria *Paenibacillus polymyxa* II in grape rhizosphere // Agrarian Bulletin of the Urals. 2016. No. 3. P. 72–76.

7. Chaikovskaya L. A., Klyuchenko V. V., Baranskaya M. I., Ovsienko O. L. Phosphate-mobilizing bacteria in agroecosystems of the Crimea. Simferopol: “Ariat”, 2018. 150 p.

8. Wang B., Cheng H., Qian W., Zhao W., Liang C., Liu C., Zhang L. Comparative genome analysis and mining of secondary metabolites of *Paenibacillus polymyxa* // Genes & Genetic Systems. 2020. Vol. 95. Iss. 3. P. 141–150. DOI: 10.1266/ggs.19-00053.

9. Borriss R. Phytostimulation and biocontrol by the plant-associated *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42: an update // In book: Phyto-Microbiome in Stress Regulation // Ed. by Manoj K., Vivek K., Ram P. Springer, Singapore, 2020. P. 1–20. DOI: 10.1007/978-981-15-2576-6\_1.

10. Qian J., Zhang T., Tang S., Zhou L., Li K., Fu X., & Yu S. Biocontrol of citrus canker with endophyte *Bacillus amyloliquefaciens* QC-Y // Plant Protection Science. 2020. Vol. 57. No. 1. P. 1–13. DOI: 10.17221/62/2020-PPS.

11. Melnichuk T., Egovtseva A., Abdurashytov S., Abdurashytova E., Kameneva I., Yakubovskaya A., Radchenko A., Ganotskaya L., Radchenko L. Associative to *Triticum aestivum* L. bacteria as a source of strains for biotechnology of the rhizosphere // Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2020. Vol. 8.



No. 5. P. 1194–1197. DOI: 10.15414/jmbfs.2019.8.5.1194-1197.

12. Kulinich R. A., Turina E. L. Study of various microbiological agents in the pea varieties of Deviz in Crimea // Materials of the 2<sup>nd</sup> international scientific and practical conference “Topical issues of science and practice of the XXI century”. Nizhnevartovsk: Publishing Center “Science and Practice”, 2016. P. 5–10.

13. Kulinich R. A. Formation of the yield of leguminous crops when using polyfunctional microbial preparations in the zone of the central Steppe of Crimea under irrigation conditions. Authors' abstract diss. ... Cand. Sc. (Agr.). Stavropol: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Stavropol State Agrarian University», 2017. 22 p.

14. Collection of microorganisms of the Department of Agricultural Microbiology of FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. [Electronic resource]. Access point: <https://niishk.ru/innovacionnye-razrabotki/kollekciya-mikroorganizmov>. (reference's date 22.09.2020).

15. Maslova M. V., Grosheva E. V., Budagovsky A. V., Budagovskaya O. N. The effect of laser irradiation on the activity of the bacteria *Bacillus Subtilis* and *Pseudomonas fluorescens* // Amazonia Investiga. 2019. Vol. 8. No. 21. P. 610–616.

16. Minaeva O. M., Akimova E. E., Zyubanova T. I., Tereshchenko N. N. Biological products for plant protection: assessment of quality and efficiency. Tomsk: Publishing House of Tomsk State University. 2018. 130 p.

17. Beck H. C., Hansen A. M., Lauritsen F. R. Novel pyrazine metabolites found in polymyxin biosynthesis by *Paenibacillus polymyxa* // FEMS Microbiology Letters. 2003. Vol. 220. No. 1. P. 67–73. DOI: 10.1016/S0378-1097(03)00054-5.

18. Yasmin S., Zaka A., Imran A., Zahid M. A., Yousaf S., Rasul G., Arif M., Mirza M. Plant growth promotion and suppression of bacterial leaf blight in rice by *Paenibacillus polymyxa* Sx3 // Lett Appl Microbiol. 2019. Vol. 11. No. 8. P. 423–429. DOI: 10.1111/lam.13117.

19. Chen X.H., Koumoutsi A., Scholz R., Borriss R. More than anticipated – production of antibiotics and other secondary metabolites by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 // J. Mol. Microbiol. Biotechnol. 2009. Vol. 16. P. 14–24. DOI: 10.1159/000142891.

20. Gorovtsov A. V., Usatov A. V., Karapetyan R. R., Kozmenko S. V. Research of antagonistic activity of aerobic spore-forming bacteria against *Fusarium* strains isolated from various agroecosystems // Collection of the II All-Russian Scientific-Practical Conference “Advanced development of modern science as a driver of economic and social growth”. Petrozavodsk: “New Science” International Center for Scientific Partnership, 2020. P. 175–180.

21. Daranas N., Roselló G., Cabrefiga J., Donati I., Francés J., Badosa E., Spinelli F., Montesinos E., Bonaterra A. Biological control of bacterial plant diseases with *Lactobacillus plantarum* strains selected for their broad spectrum activity // Annals of Applied Biology. 2019. Vol. 174. No. 1. P. 92–105. DOI: 10.1111/aab.12476.

22. Patent RF No. 2683684 “Method for recovery of activity of protective biologics after transportation, long-term or improper storage” // Authors: Budagovsky A. V., Maslova M. V., Budagovskaya O. N., Grosheva E. V., Budagovsky I. A. Proprietor(s) Michurinsk State Agrarian University, 2019. Bull. No. 10. 7 p.

UDC 632.937:58.035

Maslova M. V., Grosheva E. V., Budagovsky A. V., Budagovskaya O. N., Kameneva I. A.

### ANTAGONISTIC ACTIVITY OF *PAENIBACILLUS POLYMYXA*, *BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS* AND THEIR LASER STIMULATION AGAINST PHYTOPATHOGENS

**Summary.** Nowadays, thanks to organic farming development, particular attention is paid to the biological methods of plants protection, especially from diseases. Therefore, new biological preparations creation and studying their effectiveness are promising directions. The aim of the research was to study the antagonistic activity of the bacteria *Paenibacillus polymyxa* and *Bacillus amyloliquefaciens* against some phytopathogens (*Pseudomonas syringae* van Hall, *Fusarium oxysporum* Schltdl, *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl.), as well as their reaction to laser irradiation. The research was carried out in the Research Problem Laboratory “Biphotonika” of the Michurinsk State Agrarian University and the Department of Agricultural Microbiology of the Research Institute of Agriculture of Crimea in 2016–2021. The antagonistic activity of the bacteria was evaluated by the double culture method. The effectiveness of irradiation (as a result of their treatment with coherent light) was determined by the change in the number of bacterial cells in the suspension. The study of the activity of bacteria-antagonists against pathogens showed

that the suppression of *P. syringae*, *F. oxysporum*, *A. alternata* growth in the double culture with *P. polymyxa* compared to the control variants was 32.5 %; 4.0 % and 77.9 %, respectively. *B. amyloliquefaciens* suppressed the growth of *P. syringae* by 25.9 %, *F. oxysporum* – by 49.0 %; *A. alternata* – by 61.1 %. An increase in the number of cells in suspensions of *P. polymyxa* and *B. amyloliquefaciens* after coherent light irradiation by 26.6 % and 36.7 %, respectively, was also found. Thus, to control *P. syringae*, bacterial strain of *P. polymyxa* P was more effective. The bacterial strain *B. amyloliquefaciens* 01-1 showed antagonistic activity against *F. oxysporum*. Both studied microorganisms were effective against *A. alternata*. To increase the activity of cell division of antagonist strains of phytopathogens, it is advisable to use coherent light irradiation. In future, it is advisable to test the level of antagonistic activity of the bacteria *P. polymyxa* and *B. amyloliquefaciens* after laser irradiation.

**Keywords:** biocontrol of phytopathogens, *Paenibacillus polymyxa*, *Bacillus amyloliquefaciens*, laser stimulation of bacteria-antagonists.

Маслова Марина Витальевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской проблемной лаборатории «Биофотоника» ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»; 393760, Россия, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101; e-mail: marinamaslova2009@mail.ru.

Грошева Екатерина Владимировна, научный сотрудник научно-исследовательской проблемной лаборатории «Биофотоника» ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»; 393760, Россия, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101; e-mail: ekaterina2687@mail.ru.

Будаговский Андрей Валентинович, доктор технических наук, заведующий научно-исследовательской проблемной лабораторией «Биофотоника» ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»; ФГБНУ «Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина»; 393760, Россия, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101; e-mail: budagovsky@mail.ru.

Будаговская Ольга Николаевна, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской проблемной лаборатории «Биофотоника» ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»; ФГБНУ «Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина»; 393760, Россия, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101; e-mail: budagovsky@mail.ru.

Каменева Ирина Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии и экологии микроорганизмов, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: irina.kameneva.7@mail.ru.

Maslova Marina Vitalievna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, Research Problem Laboratory “Biophotonika”, FSBEI of HE “Michurinsk State Agrarian University”; 101, Internatsionalnaya Str., Michurinsk, Tambov region, 393760, Russia; e-mail: marinamaslova2009@mail.ru.

Grosheva Ekaterina Vladimirovna, researcher, Research Problem Laboratory “Biophotonika”, FSBEI of HE “Michurinsk State Agrarian University”; 101, Internatsionalnaya Str., Michurinsk, Tambov region, 393760, Russia; e-mail: ekaterina2687@mail.ru.

Budagovsky Andrey Valentinovich, Dr. Sc. (Tech.), head of the Research Problem Laboratory “Biophotonika”, FSBEI of HE “Michurinsk State Agrarian University”; FSSI “I.V. Michurin FSC”; 101, Internatsionalnaya Str., Michurinsk, Tambov region, 393760, Russia; e-mail: budagovsky@mail.ru.

Budagovskaya Olga Nikolaevna, Dr. Sc. (Tech.), leading researcher, Research Problem Laboratory “Biophotonika”, FSBEI of HE “Michurinsk State Agrarian University”; FSSI “I.V. Michurin FSC”; 101, Internatsionalnaya Str., Michurinsk, Tambov region, 393760, Russia; e-mail: ekaterina2687@mail.ru.

Kameneva Irina Alekseevna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory of physiology and ecology of microorganisms, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya Str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: irina.kameneva.7@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 08.04.2021.

Дата принятия к печати – 18.05.2021.

DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-135-143

УДК 633:521:631:521

Понажев В. П.

## СОЗДАНИЕ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ЛЬНА С МАРКЕРНЫМ ПРИЗНАКОМ – ЖЕЛТОЙ ОКРАСКОЙ СЕМЯН

ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»

**Реферат.** Создание исходного материала льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) с маркерными признаками – перспективное направление селекции, определяющее эффективность выведения сортов с улучшенными свойствами. Цель исследований – создание исходного материала льна для получения семян, обладающих маркерным признаком (желтой окраской) и повышенной массой. Исследования выполняли в ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» в 2015–2018 гг. В работе использованы сорта льна-долгунца: Смолич, Антей, С-108, формы, полученные из этих сортов. Указанные сорта являлись контролем. Закладку питомников осуществляли в условиях выровненного агрофона, с высеваем семян квадратным способом (2,5×2,5 см). Эксперименты проведены в соответствии с действующими методиками, в том числе фитопатологического тестирования. Почва участка – дерново-подзолистая, среднесуглинистая, окультуренная. Гидротермический коэффициент составлял: в 2015 г. – 1,3, 2016 г. – 2,2, 2017 г. – 1,8, 2018 г. – 1,3 единицы. При проведении отбора растений льна получены три его формы с маркерным признаком – желтой окраской семян. Селекционной ценностью обладала желтосемянная форма 1. Она превосходила сорт-стандарт Смолич по массе семени на 0,8 мг (16,0 %), урожайности семян – 0,06 т/га (9,8 %). Форма 1 отнесена к улучшенной линии льна-долгунца. Форма № 3 по сравнению с сортом-стандартом С-108 имела более высокую массу семени (5,6 мг). По урожайности семян эта форма превосходила стандарт на 0,08 т/га (14,8 %), массе 1000 семян – 0,49 г (10,6 %). Форма № 3 – это селекционный материал для создания сортов двустороннего использования. Форма № 2 имела признаки линии льна масличного. Она превышала сорт стандарт Антей по урожайности семян на 0,18 т/га (40 %), массе 1000 семян – 0,53 г (11,2 %). Созданный материал, обладающий селекционной ценностью, передан для пополнения биоресурсной коллекции льна, банка признаковой коллекции и включен в селекционный процесс.

**Ключевые слова:** лен-долгунец (*Linum usitatissimum* L.), окраска семян, масса семян, волокно, отбор, посев.

**Для цитирования:** Понажев В. П. Создание исходного материала льна для получения семян с маркерным признаком – желтой окраской // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 135–143. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-135-143.

**For citation:** Ponazhev V. P. Creation of *Linum usitatissimum* initial material with marker sign – yellow-colored seeds // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 135–143. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-135-143.

### Введение

Лен-долгунец является важнейшей технической культурой, позволяющей обеспечить импортозамещение хлопка. Решение проблемы импортозамещения и производства необходимого объема льнопродукции во многом определяется состоянием селекции и семеноводства льна-долгунца, возможностью гарантированного обеспечения льняной отрасли семенами высокого качества.

Сорта льна-долгунца отечественной селекции обладают высокой продуктивностью, комплексной устойчивостью к болезням и полеганию. Они превосходят зарубежные аналоги по устойчивости к болезням, адаптивному потенциалу, имеют менее продолжительный вегетационный период [1–4]. В создании многих из них использовался селекционный материал из признаковой коллекции, полученный в результате его оценки на устойчивость к эдафическим факторам среды, стрессам и болезням [5–7]. Это позволило расширить ареал выращивания новых сортов, повысить эффективность использования их биологического потенциала, особенно в экстремальных условиях [8–10]. Вместе с тем остается не полностью решенной проблема выведения новых сортов льна, обладающих высокой урожайностью, а также повышенной массой семени, обеспечивающей высокую энергию прорастания, начального роста и развития растений. Приоритетом в зарубежной селекции, в отличие от отечественной, является создание крупносемянных сортов льна-долгунца. Некоторые из них включены в Госреестр селекционных достижений РФ (Мерилин, Агата). Недостаточно используется в селекции направление, связанное с созданием сортов льна-долгунца с маркерными признаками, что способствовало бы снижению затрат труда, повышению уровня сортового и семенного контроля в семеноводстве, повышению качества семенного материала. Среди отечественных сортов льна-долгунца, в отличие от западноевропейских, почти отсутствуют сорта, обладающие маркерными признаками, в том числе другой окраской семян. Это могло бы расширить возможности применения семенной продукции таких сортов [11]. Основная причина – отсутствие для этого исходного селекционного материала. Использование данного направления зарубежными селекционерами позволило создать ряд сортов, обладающих светло-коричневой окраской семян и белоцветковостью (Мерилин, Белинка и другие). Методы создания такого материала в селекции основаны на проведении многократных индивидуальных и трудоемких отборов, оценки его по комплексу хозяйственно ценных признаков и получении качественных семян для дальнейшего испытания. Главными показателями посевного качества семян льна-долгунца являются всхожесть, масса 1000 семян, отсутствие зараженности болезнями. К фенотипическим показателям качества относятся выполненность и окраска семян. На формирование качества семенного материала оказывает влияние совокупность биологических, технологических и метеорологических факторов. Некоторые из них значительно снижают качественные характеристики семян, в том числе их фенотипические признаки из-за поражения болезнями [12, 13]. Поэтому очень важным является осуществление отбора исходного материала по признакам семенной продуктивности, что повышает эффективность селекционной работы [14].

**Цель исследований** – создание исходного материала льна для получения семян, обладающих маркерным признаком (желтой окраской) и повышенной массой.

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

Исследования проводили на опытном поле и в лаборатории селекционно-семеноводческих технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (Тверская область) в 2015–2018 гг. Предметом исследований являлись сорта-стандарты льна-долгунца: Смолич, Антей, С-108, льна масличного – Воронежский и 3 формы (линии) льна, которые были получены в процессе отбора растений из посевов этих сортов, выращенных в условиях Средне-Волжского (южного) региона. Эти растения отличались желтой окраской семени и повышенной массой семени. Объект исследований – селекционный процесс: индивидуальный

отбор и анализ растений по комплексу хозяйственно ценных признаков с последующим высевом потомств, отобранных растений, проведение индивидуального отбора и анализа растений по тем же признакам.

Эксперименты выполняли в соответствии с действующими методиками [15–17]. Закладку питомников для отбора и оценки растений льна на однородность по цвету семян (маркерному признаку) осуществляли в условиях выровненного агрофона с высевом семян квадратным способом ( $2,5 \times 2,5$  см). Отобранные растения льна оценивали по комплексу морфологических показателей (общая высота, техническая длина стебля, количество коробочек на растении) и хозяйственно-ценных признаков (устойчивость к болезням, однородность по содержанию волокна в стебле, семенная продуктивность). Посевные качества семян оценивали в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52325-2005.

Контролем в полевом эксперименте служили соответствующие сорта льна-долгунца (Смолич, Антей, С-108), а также льна масличного (Воронежский) с целью исключения принадлежности изучаемых форм ко льну масличному. Определение сортовой однородности семян сортов льна-долгунца Смолич, Антей, С-108 осуществляли с использованием метода грунтового контроля [18].

Оценку однородности растений льна по высоте, содержанию волокна в стебле и окраске семени в потомстве осуществляли методом грунтового контроля в условиях выровненного агрофона [18]. Особенности метода позволяют рассчитать коэффициент вариации признаков и не предусматривают определение достоверности различий между вариантами опыта. Посев семенного материала проводили квадратным способом ( $2,5 \times 2,5$  см).

Инфекционно-провокационный фон антракноза (*Colletotrichum lini* Mannst et Bolley), ржавчину (*Melampsora lini* Pers.Lev) создавали путем внесения инфекции в почву в день посева. Предварительно создавалась искусственная популяция патогенов из штаммов различной вирулентности. Инфекционно-провокационный фон на пасмо (*Septoria linicola* Speg Gar.) создавали путем внесения инокулюма (отрезки соломы, пораженные пасмо) в почву в день посева. Для усиления инфекционного фона по всходам раскладывали пораженную льносолому восприимчивого к этому патогену сорта льна [19–21]. Славный 82 и Альфа – стандарты по восприимчивости к болезням. Поражение растений болезнями оценивали по четырехбалльной шкале [20–22]. Почва опытных участков во всех экспериментах – дерново-подзолистая среднесуглинистая, хорошо окультуренная:  $pH_{KCl}$  – 5,1–5,4;  $P_2O_5$  – 232–316 мг/кг;  $K_2O$  – 130–152 мг/кг. Кислотность почвы ( $pH_{KCl}$ ) определяли ионометрическим методом, содержание подвижных форм фосфора и калия – методом Кирсанова.

В районе проведения исследований (Тверская область, Торжокский район) сумма активных температур воздуха (выше  $10^\circ C$ ), за вегетационный период составляет 1850–1900  $^\circ C$ , количество осадков – 260–295 мм (43–49 % годовой нормы). Гидротермический коэффициент за вегетационный период (по Селянинову) составляет 1,5–1,7 единиц (в отдельные засушливые годы – менее 1,0, влажные – более 2,0 единиц) [22].

Метеоусловия 2015 г. характеризовались засушливостью в первой половине вегетации растений (осадков выпало в 2,3 раза меньше нормы) и удерживанием среднесуточной температуры воздуха на  $1^\circ C$  выше нормы. Во второй половине вегетации температура и осадки находились в пределах нормы. ГТК в течение вегетации составил 1,3 единицы.

Метеоусловия 2016 г. характеризовались избыточным количеством осадков в течение вегетации (на 50,4 % выше нормы) и повышенной среднесуточной

температурой воздуха, которая превысила норму на 2,2 °С). ГТК – 2,2. В 2017 г. температурный фон и количество выпавших осадков находились в пределах среднемноголетних значений, а ГТК не превысил 1,8 единицы. В 2018 г. температура и осадки в течение вегетации были близки к оптимальным значениям. ГТК составил 1,3 единицы.

Статистическая обработка опытных данных осуществлялась согласно методике полевого опыта с использованием метода дисперсионного анализа, критерия Фишера для оценки однородности дисперсий, других критериев, характеризующих значимость различий [23].

### Результаты и их обсуждение

В результате многократного индивидуального отбора были получены однородные по фенотипическому признаку (окраске семян) растения льна. Исследования в инфекционно-провокационном питомнике показали, что устойчивость растений с желтой окраской и повышенной массой семени к поражению антракнозом и пасмо составила соответственно 38,2 и 29,9 % против 39,5–44,4 и 64,7–66,7 % у сортов-стандартов по восприимчивости к болезням льна-долгунца Славный 82 и Альфа (таблица 1).

**Таблица 1 – Устойчивость растений льна с желтой окраской семян (на примере формы № 1) к поражению болезнями в инфекционно-провокационном питомнике (среднее за 2015–2016 гг.)**

Сорт/форма	Устойчивость к болезням, %		
	антракноз	пасмо	ржавчина
С желтой окраской семян	38,2	29,9	37,5
Славный 82 (St.)	39,5	66,7	2,9
Альфа (St.)	44,4	64,7	16,7
НСР <sub>05</sub>	11,3	16,8	14,8

Экспериментальные данные свидетельствуют о меньшей восприимчивости (большей устойчивости) растений льна с желтой окраской семян к ржавчине, чем растений сортов-стандартов Славный 82, Альфа.

Результаты последующей сравнительной оценки полученных желтосемянных форм льна представлены в таблице 2.

Исследования показали, что наибольшей ценностью обладала желтосемянная форма № 1. По массе единичного семени (5,8 мг) она превосходила сорт-стандарт Смолич на 0,8 мг (16,0 %), урожайности семян – на 0,06 т/га (9,8 %). Она может считаться улучшенной долгунцовой формой льна, имея при этом маркерный признак – желтую окраску семени.

Форма № 3 также имела преимущество перед сортом-стандартом С-108. Она обладала повышенной массой семени (5,6 г) и характеризовалась урожайностью семян, которая на 0,08 т/га (14,8 %) превосходила стандарт. В качестве исходного материала эта форма может использоваться при создании сортов льна двойного назначения.

Форма № 2 по общей высоте растения больше напоминала линию льна масличного. Она превосходила сорт-стандарт Антей по урожайности семян на 0,18 т/га (40,0 %), массе 1000 штук – 0,53 г (11,2 %) и содержала при этом 30,6 % волокна в стеблях.

Сравнительная оценка эффективности размножения созданных партий семян льна с желтой окраской с использованием узкорядного способа посева (междурядье 7,5 см) представлена в таблице 3.

**Таблица 2 – Результаты оценки растений льна с желтой окраской семени (маркерным признаком) по морфологическим показателям и семенной продуктивности (среднее за 2016–2018 гг.)**

Сорт/форма	Общая высота растения, см	Количество коробочек на растении, шт.	Количество семян на растении, шт.	Масса единичного семени, мг	Содержание волокна в стебле, %
Желтосемянная форма № 1	75,2	4,9	33	5,8	31,8
Смолич (St.)	76,8	4,4	31	5,0	28,9
НСР <sub>05</sub>	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>	0,7	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>
Желтосемянная форма № 2	68,2	4,7	32	5,5	30,6
Антей (St.)	69,1	3,9	28	5,0	31,2
НСР <sub>05</sub>	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>
Желтосемянная форма № 3	74,2	4,4	32	5,6	28,4
С-108 (St.)	75,5	4,3	30	5,0	27,7
НСР <sub>05</sub>	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>	0,6	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>
Воронежский (St.) (лен масличный)	65,9	4,5	32	5,1	24,8

**Таблица 3 – Урожайность и качество семян льна с желтой окраской (маркерным признаком) в процессе их размножения (среднее за 2017–2018 гг.)**

Сорт/форма	Урожайность семян, т/га	Всхожесть семян, %	Масса 1000 семян, г	Содержание волокна в стебле, %
Желтосемянная форма № 1	0,67	94	5,46	27,9
Смолич (St.)	0,61	93	5,00	25,9
НСР <sub>05</sub>	0,06	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>
Желтосемянная форма № 2	0,63	93	5,04	28,5
Антей (St.)	0,45	93	4,51	29,2
НСР <sub>05</sub>	0,08	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>	0,39	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>
Желтосемянная форма № 3	0,62	94	5,11	27,1
С-108 (St.)	0,54	92	4,62	25,7
НСР <sub>05</sub>	0,07	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>	0,46	F <sub>05</sub> > F <sub>факт.</sub>
Воронежский (St.) (лен масличный)	0,53	92	4,93	23,0

Желтосемянная форма № 1 по сравнению с сортом-стандартом Смолич оказалась более урожайной по семенам (0,67 т/га). Желтосемянная форма № 2 превосходила сорт-стандарт Антей по урожайности семян на 0,18 т/га или на 40,0 %, по массе 1000 семян на 0,53 г или на 11,2 %. Все желтосемянные формы льна имели преимущество перед своими сортами-стандартами льна-долгунца (Смолич, Антей, С-108) по урожайности семян, а формы №№ 2, 3 и по массе их 1000 штук.

Таким образом, результаты оценки эффективности размножения желтосемянных форм льна в узкорядном посеве в определенной степени подтвердили данные, полученные при их испытании в условиях выровненного агрофона с площадью питания растений 2,5 × 2,5 см.

При изучении созданных новых форм льна очень важным является оценка их растений на однородность по высоте и содержанию волокна в стебле. Эти показатели, являясь сортовыми признаками, во многом характеризуют уровень стабильности, эффективность проведенного отбора и тестирования растений. Растения желтосемянных форм льна характеризовались хорошей однородностью по содержанию волокна в стебле и высоте растений (таблица 4).

**Таблица 4 – Однородность растений желтосемянных форм льна по высоте и содержанию волокна в стебле (среднее за 2017–2018 гг.)**

Сорт/форма	Однородность растений – $C_v$ , %	
	по высоте	по содержанию волокна в стебле
Желтосемянная форма № 1	4,2	3,4
Смолич (St.)	4,1	2,1
Желтосемянная форма № 2	3,6	4,2
Антей (St.)	3,7	4,3
Желтосемянная форма № 3	4,5	4,1
С-108 (St.)	5,6	3,4
Воронежский (St.) (лен масличный)	3,2	2,3

Коэффициент вариации по высоте растений у желтосемянных форм изменялся в пределах 3,6–4,5 %, по содержанию волокна в стебле – 3,4–4,2 % (5 % и выше – уровень однородности удовлетворительный, а менее 5 % – хороший).

Показатели однородности растений у сортов-стандартов незначительно отличались от значений однородности у новых форм льна с маркерным признаком. Полученный оригинальный материал всех желтосемянных форм льна передан для пополнения одной крупнейшей в мире биоресурсной коллекции льна (более 7,0 тыс. образцов), находящейся в ФГБНУ ФНЦ ЛК, включен в признаковую коллекцию льна, а также в селекционный процесс с осуществлением при этом параллельного размножения семян.

#### Выводы

В процессе отбора созданы и размножены три высокопродуктивные формы (селекционные линии) льна с маркерным признаком – желтой окраской семян. Формы 1 и 3 обладали к тому же повышенной массой семени. Установлено, что селекционной ценностью обладала желтосемянная форма № 1. Она превосходила сорт-стандарт Смолич по массе семени на 0,8 мг (16,0 %), урожайности семян – 0,06 т/га (9,8 %). Отмечено, что данная форма льна характеризовалась хорошей выровненностью по высоте растений ( $C_v = 4,2$  %) и содержанию волокна в стебле ( $C_v = 3,4$  %). По комплексу оценочных признаков желтосемянная форма № 1 отнесена к улучшенной линии льна-долгунца. Выявлено, что желтосемянная форма № 3 по сравнению с сортом-стандартом С-108 также имела более высокую массу семени (5,6 мг). По урожайности семян эта форма превосходила стандарт на 0,08 т/га (14,8 %). Форма 3 с маркерным признаком – это селекционный материал, обладающий хозяйственно полезными признаками для двустороннего использования в селекции.

Форма № 2, характеризуясь пониженной высотой растений, в большей степени имела признаки линии льна масличного, одновременно обладая по сравнению с сортом-стандартом Антей более высокой урожайностью семян (0,63 против 0,45 т/га) и массой 1000 семян, а также маркерным признаком – желтой окраской семени.

Созданный оригинальный материал передан для пополнения биоресурсной коллекции льна, банка признаковой коллекции и включен в селекционный процесс.

*Работа выполнена в рамках Госзадания по теме № 0477-2019-0016.*

#### Литература

1. Рожмина Т. А. Научные достижения – важнейший ресурс возрождения льняной отрасли России // Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы, перспективы: научное пособие. Тверь: Тверской госуниверситет, 2018. С. 3–13.



2. Рожмина Т. А., Павлова Л. Н. Понажев В.П., Захарова Л. М. Льняная отрасль на пути к возрождению // Защита и карантин растений. 2018. № 1. С. 3–8.
3. Ван Мансвельт Я. Д., Темирбекова С. К. Органическое сельское хозяйство: принципы, опыт и перспективы // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 53. № 3. С. 478–486. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.478rus.
4. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (официальное издание). Т. 1: Сорта растений. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2020. 496 с.
5. Dmitriev A. A., Krasnov G. S., Rozhmina T. A., Kishlyan N. V., Zyablitsin A. V., Sadritdinova A. F., Snezhkina A. V., Fedorova M. S., Yurkevich O. Y., Muravenko O. V., Bolsheva N. L., Kudryavtseva A. V., Melnikova N. V. Glutathione S-transferases and UDP-glycosyltransferases are involved in response to aluminum stress in flax // Front. Plant. Sci. 2016. DOI: 10.3389/fpls.2016.01920.
6. Dmitriev A. A., Kudryavtseva A. V., Bolsheva N. L., Zyablitsin A. V., Rozhmina T. A., Kishlyan N. V., Krasnov G. S., Speranskaya A. S., Krinitsina A. A., Sadritdinova A. F., Snezhkina A. V., Fedorova M. S., Yurkevich O. Yu., Muravenko O. V., Belenikin M. S., Melnikova N. V. miR319, miR390, and miR393 are involved in aluminum response in flax (*Linum usitatissimum* L.) // BioMed Research International. 2017. Vol. 2017. Article ID 4975146. DOI: 10.1155/2017/4975146.
7. Dmitriev A. A., Krasnov G. S., Rozhmina T. A. Novakovskiy R. O., Snezhkina A. V., Fedorova M. S., Yurkevich O. Yu., Muravenko O. V., Bolsheva N. L., Kudryavtseva A. V. Melnikova N. V. Differential gene expression in response to *Fusarium oxysporum* infection in resistant and susceptible genotypes of flax (*Linum usitatissimum* L.) // BMC Plant Biol. 2017. Vol. 17. Iss.S2. Article number: 253. DOI: 10.1186/s12870-017-1192-2.
8. Caser M., Lovisolo C. Scariot V. The influence of water stress on growth ecophysiology and ornamental quality of potted *Primula vulgaris* Heidy plants. New insights to increase water use efficiency in plant production // Plant Growth Regulation 2017. Vol. 83. P. 361–373. DOI: 10.1007/s10725-017-0301-4.
9. Figueiredo N., Carranca C., Trindade H., Pereira J., Goufo P., Coutinho J., Marques P., Maricato R., de Varennes A. Elevated carbon dioxide and temperature effects on rice yield leaf greenness, and phenological stages duration // Paddy and Water Environment. 2015. Vol. 13. P. 313–324. DOI: 10.1007/s10333-014-0447-x.
10. Dmitriev A. A., Kudryavtseva A. V., Krasnov G. S., Rozhmina T. A. Koroban N. V., Speranskaya A. S., Krinitsina A. A., Belenikin M. S., Snezhkina A. V., Sadritdinova A. F., Kishlyan N. V., Rozhmina T. A., Yurkevich O. Yu., Muravenko O. V., Bolsheva N. L., Melnikova N. V. Gene expression profiling of flax (*Linum usitatissimum* L.) under edaphic stress // BMC Plant Biology. 2016. Vol. 16. Suppl. 3. Art. No. 237. DOI: 10.1186/s12870-016-0927-9.
11. Рожмина Т. А., Александрова Т. А., Лошакова Н. И. Высокопродуктивные сорта льна-долгунца // В кн.: Усовершенствованные технологии в льноводстве. Научное издание. Тверь: Тверской госуниверситет, 2016. С. 8–9.
12. Понажев В. П., Медведева О. В. Особенности семеноводства современных сортов льна-долгунца при расширении зоны их возделывания // В кн.: Усовершенствованные технологии в льноводстве. Научное издание. Тверь: Тверской госуниверситет, 2016. С. 14–15.
13. Лоскутов И. Г., Блинова Е. В. Гаврилова О. П., Гагкаева Т. Ю. Разнообразие культурного овса по хозяйственно-ценным признакам и их связь с устойчивостью к фузариозу // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 20 (3). С. 286–294. DOI: 10.18699/VJ16.151.
14. Понажев В. П., Медведева О. В. Пути повышения эффективности первичного семеноводства льна-долгунца // Аграрный вестник Верхневолжья. 2018. № 3. С. 59–64.
15. Яньшина А. А., Павлова Л. Н., Рожмина Т. А., Строганова Г. А. Первичное семеноводство льна-долгунца. Методические указания. Тверь: Тверской госуниверситет, 2010. 59 с.
16. Понажев В. П., Павлова Л. Н., Рожмина Т. А. Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца: Методические указания. Тверь: Тверской госуниверситет, 2014. С. 92–94.
17. Карпунин Ф. М., Петрова Л. И., Комаров А. М. Методические указания по проведению полевых опытов со льном-долгунцом. Торжок, 1978. 72 с.
18. Яньшина А. А. Грунтовой сортовой контроль льна-долгунца. Методические указания. Торжок, 1999. 21 с.
19. Курчакова Л. Н. Эколого-генетические основы селекции льна на устойчивость к септориозу. Монография. Тверь: Тверской госуниверситет, 2015. 149 с.
20. Прасолова О. В., Кудрявцева Л. П. Методические аспекты оценки и отбора исходного материала льна на устойчивость к антракнозу // Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы и перспективы. Научное издание. Тверь: Тверской госуниверситет, 2018. С. 48–54.
21. Карпунин Б. Ф. Антракноз льна: селекция на устойчивость: монография. Lap Lambert Academic Publishing, 2016. 113 с.

22. Понажев В. П., Рожмина Т. А., Павлова Л. Н., Тихомирова В. Я. Агроэкологическое районирование льна // В кн.: Лен и конопля: зонально-адаптивные сорта и технологии производства. Тверь: Тверской госуниверситет, 2014. С. 88–103.

23. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат. 1985. 295 с.

## References

1. Rozhmina T. A. Scientific achievements are the most important resource for the revival of the flax industry in Russia // Scientific support for the production of spinning crops: state, problems, prospects. Scientific publication. Tver: Tver State University, 2018. P. 3–13.

2. Rozhmina T. A., Pavlova L. N., Ponazhev V. P., Zakharova L. M. Linen industry on the way to revival // Plant protection and quarantine. 2018. No. 1. P. 3–8.

3. Van Mansvelt J. D., Temirbekova S. K. General position of organic agriculture in western Europe: concept, practical aspects and global prospects // Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural biology]. 2017. Vol. 53. No. 3. P. 478–486. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.478rus.

4. State register of breeding achievements approved for use (official publication). Vol. 1: Plant varieties. Moscow: FSBSI "Rosinformagrotech, 2020. 496 p.

5. Dmitriev A. A., Krasnov G. S., Rozhmina T. A., Kishlyan N. V., Zyablitsin A. V., Sadritdinova A. F., Snezhkina A. V., Fedorova M. S., Yurkevich O. Y., Muravenko O. V., Bolsheva N. L., Kudryavtseva A. V., Melnikova N. V. Glutathione S-transferases and UDP-glycosyltransferases are involved in response to aluminum stress in flax // Front. Plant. Sci. 2016. DOI: 10.3389/fpls.2016.01920.

6. Dmitriev A. A., Kudryavtseva A. V., Bolsheva N. L., Zyablitsin A. V., Rozhmina T. A., Kishlyan N. V., Krasnov G. S., Speranskaya A. S., Krinitsina A. A., Sadritdinova A. F., Snezhkina A. V., Fedorova M. S., Yurkevich O. Yu., Muravenko O. V., Belenikin M. S., Melnikova N. V. miR319, miR390, and miR393 are involved in aluminum response in flax (*Linum usitatissimum* L.) // BioMed Research International. 2017. Vol. 2017. Art. No. 4975146. DOI: 10.1155/2017/4975146.

7. Dmitriev A. A., Krasnov G. S., Rozhmina T. A., Novakovskiy R. O., Snezhkina A. V., Fedorova M. S., Yurkevich O. Yu., Muravenko O. V., Bolsheva N. L., Kudryavtseva A. V., Melnikova N. V. Differential gene expression in response to *Fusarium oxysporum* infection in resistant and susceptible genotypes of flax (*Linum usitatissimum* L.) // BMC Plant Biol. 2017. Vol. 17. Iss.S2. Art. No. 253. DOI: 10.1186/s12870-017-1192-2.

8. Caser M., Lovisolo C., Scariot V. The influence of water stress on growth ecophysiology and ornamental quality of potted *Primula vulgaris* 'Heidy' plants. New insights to increase water use efficiency in plant production // Plant Growth Regulation 2017. Vol. 83. P. 361–373. DOI: 10.1007/s10725-017-0301-4.

9. Figueiredo N., Carranca C., Trindade H., Pereira J., Goufo P., Coutinho J., Marques P., Maricato R., de Varennes A. Elevated carbon dioxide and temperature effects on rice yield leaf greenness, and phenological stages duration // Paddy and Water Environment. 2015. Vol. 13. P. 313–324. DOI: 10.1007/s10333-014-0447-x.

10. Dmitriev A. A., Kudryavtseva A. V., Krasnov G. S., Rozhmina T. A., Koroban N. V., Speranskaya A. S., Krinitsina A. A., Belenikin M. S., Snezhkina A. V., Sadritdinova A. F., Kishlyan N. V., Rozhmina T. A., Yurkevich O. Yu., Muravenko O. V., Bolsheva N. L., Melnikova N. V. Gene expression profiling of flax (*Linum usitatissimum* L.) under edaphic stress // BMC Plant Biology. 2016. Vol. 16. Suppl. 3. Art. No. 237. DOI: 10.1186/s12870-016-0927-9.

11. Rozhmina T. A., Aleksandrova T. A., Loshakova N. I. Highly productive varieties of fiber flax // In book: Improved technologies in flax growing. Scientific publication. Tver: Tver State University, 2016. P. 8–9.

12. Ponazhev V. P., Medvedeva O. V. Features of seed production of modern varieties of fiber flax with the expansion of their cultivation area // In book: Improved technologies in flax growing. Scientific publication. Tver: Tver State University, 2016. P. 14–15.

13. Loskutov I. G., Blinova E. V., Gavrilova O. P., Gagkaeva T. Yu. The valuable characteristics of oats genotypes and resistance to *Fusarium* disease // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019. No. 20 (3). P. 286–294. DOI: 10.18699/VJ16.151.

14. Ponazhev V. P., Medvedeva O. V. Ways to improve the effectiveness of flax primary seed // Agrarian Bulletin of the Upper Volga region. 2018. No. 3. P. 59–64.

15. Yanyshina A. A., Pavlova L. N., Rozhmina T. A., Stroganova G. A. Primary seed production of fiber flax. Methodical instructions. Tver: Tver State University, 2010. 59 p.

16. Ponazhev V. P., Pavlova L. N., Rozhmina T. A. Breeding and primary seed production of fiber flax: Methodical guidelines. Tver: Tver State University, 2014. P. 92–94.

17. Karpunin F. M., Petrova L. I., Komarov A. M. Methodical instructions for carrying out field experiments with fiber flax. Torzhok, 1978. 72 p.

18. Yanyshina A. A. Soil varietal control of fiber flax. Methodical instructions. Torzhok, 1999. 21 p.

19. Kurchakova L. N. Ecological and genetic foundations of flax selection for resistance to septoria. Monograph. Tver: Tver State University, 2015. 149 p.

20. Prasolova O. V., Kudryavtseva L.P. Methodological aspects of the assessment and selection of the initial flax material for resistance to anthracnose // Scientific support for the production of spinning crops: state, problems and prospects. Scientific publication. Tver: Tver State University, 2018. P. 48–54.

21. Karpunin B. F. Flax anthracnose: breeding for resistance: monography. Lap Lambert Academic Publishing, 2016. 113 p.

22. Ponazhev V. P., Rozhmina T. A., Pavlova L. N., Tikhomirova V. Ya. Agroecological zoning of flax // In book: Flax and hemp: zonal adaptive varieties and production technologies. Tver: Tver State University, 2014. P. 88–103.

23. Dospikhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results) Moscow: Agropromizdat, 1985. 295 p.

UDC 633:521:631:521

Ponazhev V. P.

### CREATION OF *LINUM USITATISSIMUM* INITIAL MATERIAL WITH MARKER SIGN – YELLOW-COLORED SEEDS

**Summary.** *Creation of the initial material of fiber flax (*Linum usitatissimum* L.) with marker signs is a promising direction of breeding, which determines the efficiency of breeding varieties with improved properties. The purpose of the research was to create initial flax material for obtaining seeds with a marker sign (yellow color) and increased weight. The studies were carried out at the Federal Research Center for Bast Fiber Crops in 2015–2018. In our work, we used flax varieties ‘Smolich’, ‘Antey’, ‘C-108’, as well as forms obtained from these varieties. These varieties were used as control. Nurseries were laid under conditions of a leveled agricultural background. Seeds were sown in a square way (2.5×2.5 cm). The experiments were conducted according to the current methods, including phytopathological testing. Soil – sod-podzolic, medium loamy, cultivated. Selyaninov Hydrothermal Coefficient (HTC) in 2015 was 1.3; in 2016 – 2.2; in 2017 – 1.8; in 2018 – 1.3. During the flax plants selection, we obtained three forms with yellow-colored seeds. Yellow-seeded form No. 1 was valuable from the breeding point of view. It exceeded standard variety ‘Smolich’ in seed weight by 0.8 mg (16.0%), in seed yield – by 0.06 t/ha (9.8%). Form No. 1 belongs to the improved fiber flax line. Form No. 3 had a higher seed mass (5.6 mg) compared to standard variety ‘C-108’. In terms of seed yield and 1000-seed weight, this form exceeded the standard by 0.08 t/ha or 14.8% and 0.49 g or 10.6%, respectively. Form No. 3 is a breeding material for creating varieties of bilateral use. Form No. 2 had signs of the oil flax line. It exceeded standard variety ‘Antey’ in seed yield by 0.18 t/ha (40%); 1000-seed weight – by 0.53 g (11.2%). The created material has a breeding value. It was transferred to the bioresource collection of flax for its replenishment, to the bank of the characteristic collection and was additionally included in the breeding process.*

**Keywords:** *fiber flax (*Linum usitatissimum* L.), seeds colour, seeds weight, fiber, selection, sowing.*

Понажев Владимир Павлович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»; 172002, Российская Федерация, Тверская область, г. Торжок, ул. Луначарского, 35; e-mail: info.trk@fncl.ru.

Ponazhev Vladimir Pavlovich, Dr. Sc. (Agr.), senior researcher, chief researcher of the Laboratory of breeding technologies, Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center for Bast Fiber Crops”; 35, Lunacharsky str., Torzhok, Tver region, 172002, Russia; e-mail: info.trk@fncl.ru.

Дата поступления в редакцию – 12.04.2021.  
Дата принятия к печати – 25.06.2021.

DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-144-154

УДК 631.874:551.50

Приходько А. В., Черкашина А. В.

## ПРОДУКТИВНОСТЬ СИДЕРАЛЬНЫХ КУЛЬТУР В РАЗЛИЧНЫХ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** Сидерация способствует повышению биологической активности почвы, обогащает её органическим веществом и элементами питания, улучшает агрофизические и агрохимические свойства. Цель исследований – установить влияние видового состава сидеральных культур на продуктивность агрофитоценозов и поступление в почву органических веществ в различных гидротермических условиях. Исследования проводили в 2016–2019 гг. в ФГБУН «НИИСХ Крыма» на черноземе южном слабогумусированном. Среднесуточная температура воздуха составила: в 2016 г. 11,8 °С, 2017 – 12,7 °С, 2018 – 12,5 °С, 2019 – 12,6 °С при среднемноголетней норме 10,8 °С. Количество осадков по годам было на уровне 162, 67, 129, 108 % нормы. Опыты заложены в соответствии с методическими указаниями Б. А. Доспехова. Размещение вариантов систематическое, повторность трёхкратная. Площадь делянки 720 м<sup>2</sup>. Предмет исследования – агроценозы сидеральных культур. Объект исследования – процесс формирования продуктивности сидеральных культур. В среднем за годы исследований наибольший урожай зеленой массы сформировали посеvy многолетних трав донника и эспарцета (29,1 и 27,1 т/га соответственно), и озимых злаковых – тритикале и ржи (24,5 и 25,8 т/га соответственно). Клевер луговой и фацелия характеризовались низкой продуктивностью. Наибольшее количество органики поступило в почву при использовании в качестве зеленого удобрения ржи – 5,88 т/га; тритикале – 5,72 т/га; эспарцета – 5,56 т/га и донника – 5,52 т/га. Установлена достоверная средняя корреляционная связь на 5 % уровне значимости между количеством осадков за период «посев–укосная спелость» в 2016–2017 гг. и урожайностью зеленой массы сидеральных культур ( $r = 0,52$ ), а также урожайностью сухого вещества ( $r = 0,59$ ). Достоверная отрицательная корреляция средней силы установлена между среднесуточной температурой периода «посев – укосная спелость» в 2017–2018 гг. и урожайностью зеленой массы ( $r = -0,66$ ), а также урожайностью органического вещества ( $r = -0,64$ ).

**Ключевые слова:** почва, сидерация, плодородие, температура, атмосферные осадки, органическое вещество.

**Для цитирования:** Приходько А. В., Черкашина А. В. Продуктивность сидеральных культур в различных гидротермических условиях // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 144–154. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-144-154.

**For citation:** Prikhodko A. V., Cherkashyna A. V. Productivity of green manure crops depending on hydrothermal conditions // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 144–154. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-144-154.

### Введение

Интенсивное использование пахотных земель сопровождается их деградацией и снижением плодородия [1]. За последние годы в среднем по России ежегодные потери гумуса в пахотном слое составляют 0,52 т/га [2]. В Крыму содержание гумуса в почве за последние десятилетия снизилось в среднем на 0,5–0,8 % [3]. Важнейшим фактором стабилизации плодородия почв и повышения

эффективности возделывания сельскохозяйственных культур является применение в системе севооборотов органических удобрений – переработанных отходов животного происхождения [4]. В Крыму, из-за значительного сокращения поголовья животных за последние десятилетия внесение органических удобрений снизилось с 8,2 до 0,4 т/га посевных площадей [5]. По данным ФГБНУ «ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова», недостаток органических удобрений отрицательно сказывается на балансе гумуса и питательных веществ, биологической активности почвы [6], что ведет к снижению урожайности сельскохозяйственных культур [7].

В связи с тем, что в Республике Крым резко снизилось внесение навоза, который был основным органическим удобрением в течение многих десятилетий, возникла необходимость поиска альтернативных источников пополнения почвы органическими веществами [8].

В естественных условиях основным источником поступления в почву органического вещества являются остатки растений. В мировом земледелии накоплен значительный опыт выращивания растений для последующей их заделки в почву и использования в качестве органического удобрения [9–11], получивший название «сидерация».

Академик Д. Н. Прянишников [12] считал сидерацию мало используемым, но доступным резервом эффективного и комплексного повышения плодородия почвы. По его мнению, когда для улучшения почв необходимо обогащение их органическим веществом, а навоза по той или иной причине не хватает, зеленое удобрение или сидерация приобретает особенно важное значение. Сидерация способствует повышению биологической активности почвы, обогащает её органическим веществом и элементами питания, улучшает агрофизические и агрохимические свойства [13, 14].

В. Г. Лошаков доказал высокую агроэкологическую, агротехническую, энергосберегающую и экономическую эффективность сидерации в условиях центральных областей Нечерноземной зоны России [15].

В лесостепи Иркутской области, по данным В. И. Солодун и др., сидеральный пар приближается по влиянию на урожайность первой и второй культур зернопарового севооборота к действию чистого пара [16]. Однако эффективность сидерации в значительной степени зависит от почвенно-климатических условий [13] и от сидеральной культуры [17, 18].

По характеру водного баланса степной Крым относится к зоне недостаточного и неустойчивого увлажнения. В таких условиях продуктивность сельскохозяйственных культур определяется гидротермическими условиями вегетационного периода [19].

**Цель исследований** – установить влияние видового состава сидеральных культур на продуктивность агрофитоценозов и поступление в почву органических веществ в различных гидротермических условиях лет исследований.

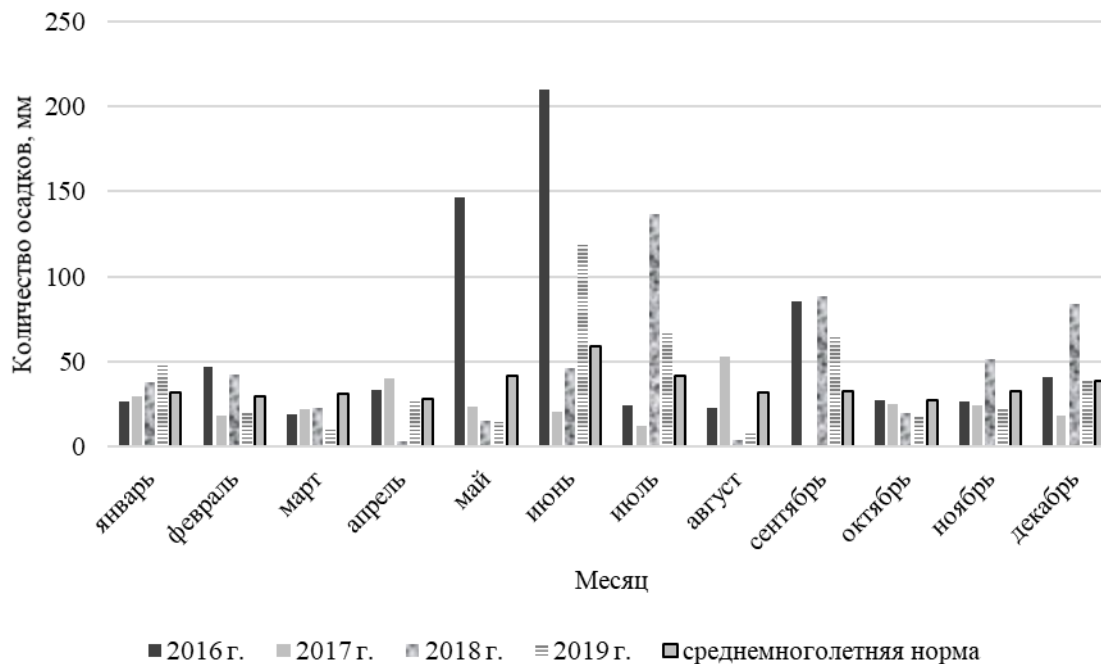
#### **Материалы и методы исследований**

Исследования проводили в 2016–2019 гг. в стационарном севообороте лаборатории земледелия ФГБУН «НИИСХ Крыма», расположенного в центральной части степного Крыма. Почвенный покров опытного участка представлен черноземом южным слабогумусированным на лессовидных глинах [20]. Мощность гумусового горизонта не превышает 40 см. Содержание гумуса (по Тюрину) – 2,0–2,2 %, подвижного фосфора (по Мачигину) – 40–42, калия (по Мачигину) около 400 мг на кг почвы, средневзвешенный показатель рН – 7,6 ед.

Климат степной, умеренно холодный, полусухой, континентальный, с большими годовыми и суточными колебаниями температуры. Среднегодовая

температура составляет 10,8 °С [21]. В последние годы наблюдается устойчивая тенденция к ее повышению. В годы проведения исследований среднесуточная температура воздуха составила: в 2016 г. – 11,8 °С, 2017 – 12,7 °С, 2018 – 12,5 °С, 2019 – 12,6 °С при среднемноголетней норме 10,8 °С.

Среднемноголетняя годовая сумма осадков составила 428 мм. Годы проведения исследований значительно различались по условиям влагообеспеченности (рисунок).



**Рисунок – Распределение атмосферных осадков в годы проведения исследований**

В 2016 и 2018 гг. атмосферные осадки превзошли среднемноголетние показатели на 62 % и 29 %, на 691 мм и 553 мм соответственно, в 2017 г. они составили 67 % от нормы (288 мм), и только в 2019 г. их количество было близким к многолетним показателям – 464 мм. Распределение осадков было неравномерным. В 2016 г. основное их количество выпало в мае (147 мм), июне (210 мм) и сентябре (85 мм); в 2017 – в августе (53 мм), в 2018 – в июле (137 мм) и сентябре (89 мм), в 2019 – в феврале (120 мм). Влажность воздуха и почвы в критические периоды жизни полевых культур очень часто была пониженной из-за недостаточного количества осадков при высоком температурном режиме и сильных ветрах. Ежегодно наблюдали периоды с минимальными осадками на фоне повышенных среднесуточных температур воздуха: в 2016 г. в августе выпало 4,7 мм, в 2017 – в сентябре 0,1 мм, в 2018 – в апреле 3,1 мм и августе – 4,3 мм, в 2019 – в апреле – 7,8 мм.

Закладку опыта осуществляли в соответствии с методическими указаниями Б. А. Доспехова [22] после уравнительного посева ярового ячменя сорта Сталкер. Размещение вариантов опыта систематическое, повторность трёхкратная. Площадь делянки 720 м<sup>2</sup> (ширина 18 м, длина 40 м). Предмет исследования – агроценозы сидеральных культур: донника желтого (*Melilotus officinalis* Mill.), клевера лугового (*Trifolium pratense* L.), эспарцета песчаного (*Onobrychis arenaria* (Kit. ex Willd.) DC.), ржи озимой (*Secale cereale* L.), тритикале озимой (*Triticale aestivum* forme), вики паннонской (*Vicia pannonica*), фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia* Vent.) и

травосмеси озимых культур (тритикале, рожь, вика). Объект исследования – процесс формирования продуктивности сидеральных культур в различных погодных условиях.

Многолетние бобовые травы (донник, эспарцет, клевер) подсеивали в первой декаде марта под покров уравнительного посева. Учеты делали во второй год пользования, кроме фацелии. Озимые культуры (тритикале, рожь, вика и смесь озимых культур) высевали в третьей декаде октября, а фацелию – в первой декаде марта в год проведения исследований. Нормы высева составляли: для донника сорта Донче – 14 кг/га, клевера Наследник – 12 кг/га, эспарцета Крымский – 90 кг/га, тритикале Аллегро – 170 кг/га, ржи Марусенька – 160 кг/га, вики паннонской – 200 кг/га, смеси озимых культур 180 кг/га (тритикале – 40 кг/га, рожь – 40 кг/га, вика – 100 кг/га), фацелии Услада – 10 кг/га.

Скашивание и измельчение биомассы сидеральных культур осуществляли кормоуборочным комбайном «Рось-2» в агрегате с трактором МТЗ-82 при достижении фазы «начало колошения» у злаковых и «бутонизация – начало цветения» у культур других семейств. Заделку растительных остатков в почву проводили непосредственно после измельчения и равномерного распределения биомассы на поверхности делянок с помощью тяжелой дисковой бороной БДТ-6 на глубину 10–15 см в два следа. Перед скашиванием отбирали растения для определения содержания в биомассе растений органического вещества (ГОСТ 26226-95), общего азота по Кьельдалю (ГОСТ 13496.4-93), общего фосфора (ГОСТ 26717-85) и общего калия (ГОСТ 26718-85). Статистический анализ опытных данных проводили методом однофакторного дисперсионного анализа [22] с помощью компьютерной программы Excel.

#### Результаты и их обсуждение

В результате анализа гидротермических условий периода «посев – укосная спелость» изучаемых сидеральных культур установлено, что они значительно различались по годам и культурам.

Наиболее благоприятные погодные условия для получения всходов и вегетации культур весеннего срока сева (донник, клевер, эспарцет) сложились в 2016 г. За период «посев – укосная спелость» (I декада марта 2016 г., II декада мая 2017 г.) температура воздуха была близкой к среднемноголетним значениям, количество осадков составило 764,8 мм, 143 % от нормы (таблица 1).

**Таблица 1 – Гидротермические условия периода «посев-укосная спелость» различных сидеральных культур**

Сидеральная культура	Среднесуточная температура, °С				Количество осадков, мм			
	период вегетации			среднемноголетняя норма [21]	период вегетации			среднемноголетняя норма [21]
	2016–2017 гг.	2017–2018 гг.	2018–2019 гг.		2016–2017 гг.	2017–2018 гг.	2018–2019 гг.	
Многолетние травы (донник, клевер, эспарцет)	11,1	12,4	12,0	10,4	764,8	353,5	596,8	535
Озимая тритикале, вика	4,5	7,1	5,7	4,7	207,5	170,4	268,8	238
Озимая рожь и смесь озимых	4,1	6,5	5,1	4,1	197,6	165,2	257,2	227
Фацелия	2017 г.	2018 г.	2019 г.	среднемноголетняя норма [21]	2017 г.	2018 г.	2019 г.	среднемноголетняя норма [21]
	10,0	11,3	9,9		8,8	80,7	34,2	

Это позволило многолетним травам сформировать полноценный высокопродуктивный травостой на первом и втором годах вегетации.

В 2017 г. всходы многолетних трав и фацелии на ранних этапах развития попали под жесточайшую весеннюю засуху. За период «посев–укосная спелость» температура воздуха значительно превысила среднемноголетнюю норму в сочетании с дефицитом осадков (66,1 % от среднемноголетнего значения у многолетних трав и 39,5 % у фацелии (период – март – II декада мая 2017 г.)). В результате растения фацелии сформировали малопродуктивный травостой, а многолетние травы оказались слабо конкурентными к покровной культуре и сорной растительности. На второй год вегетации удельный вес культурных растений многолетних трав в этих фитоценозах составил: эспарцета – 82,6 %, донника – 71,8 %, а клевер луговой практически полностью выпал из травостоя (сохранились единичные растения). Освободившуюся в фитоценозах площадь заняли сорные растения.

В условиях весеннего периода 2018 г. были получены полноценные всходы всех многолетних трав и фацелии. Однако в дальнейшем преобладала жаркая погода. За период «посев–укосная спелость» фацелии в 2018 г. выпало 34,2 мм осадков (39,3 % от нормы), что обусловило резкое снижение продуктивности. Несмотря на выпадение осадков в количестве 596,8 мм (111,6 % от нормы), растения многолетних трав испытывали дефицит влаги и находились в угнетенном состоянии, что отрицательно сказывалось на их продуктивности. В зиму многолетние травы ушли в ослабленном состоянии. Особенно сильно пострадали растения влаголюбивой культуры – клевера лугового, которые, в отличие от эспарцета и донника, более остро реагировали на дефицит влаги и повышенные температуры. На второй год вегетации удельный вес растений этой культуры в фитоценозе составил только 32,1 %. Несмотря на среднее за три вегетационных периода клевера лугового количество осадков – 571,7 мм (106,9 % от среднемноголетней нормы), в условиях повышенных температур его оказалось недостаточно для формирования продуктивного агрофитоценоза.

В 2019 г. за период вегетации фацелии (март – II декада мая) выпало 51,3 мм или 59,0 % нормы. В среднем за 2017–2019 гг. фацелия была меньше всех культур обеспечена влагой (55,4 мм или 63,7 % от нормы).

Период «посев–укосная спелость» озимых культур продолжался с третьей декады октября по первую декаду мая (рожь и смесь озимых); по вторую декаду мая (тритикале) и характеризовался недобором осадков в 2016–2017 и 2017–2018 гг. (87,1 и 72,1 % от среднемноголетнего значения), в 2018–2019 гг. осадков было выше нормы (113,1 %).

Перед посевом озимых культур относительно благоприятные запасы продуктивной влаги в почве перед посевом сложились осенью 2016 г., когда в пахотном слое содержалось 20,8 мм, а метровом горизонте – 94,4 мм влаги, и в 2018 г. – соответственно 17,6 и 87,1 мм. В 2017 г. почвенные запасы влаги были минимальными – 11,5 мм в пахотном и 39,0 мм в метровом слоях.

Изучаемые сидеральные культуры значительно различались по биологическим и хозяйственным признакам. В условиях степного Крыма раньше всех культур фаза использования на зеленое удобрений наступила у ржи – с четвертого по шестое мая, что в среднем на 7 дней раньше относительно вики, на 9 – эспарцета, 11 – донника и тритикале, 15 – клевера и 16 дней – от фацелии.

Значительно различались сидеральные культуры и по химическому составу сухого вещества растений при достижении фазы использования (таблица 2).



**Таблица 2 – Химический состав сухого вещества биомассы сидератов, среднее за 2017–2019 гг.**

Сидеральная культура	Влажность сырья, %	Массовая доля на сухое вещество, %			
		органического вещества	общего азота	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Донник	8,79	91,4	2,57	0,55	2,18
Клевер	8,99	86,9	2,60	0,60	2,52
Эспарцет	9,21	93,0	2,37	0,58	2,37
Тритикале	7,82	92,6	1,32	0,55	2,05
Рожь	9,48	93,0	1,57	0,59	2,09
Вика	8,78	90,0	2,38	0,51	2,79
Смесь озимых	8,29	90,5	2,03	0,64	2,77
Фацелия	10,07	79,1	2,26	0,61	3,26

Более высокое содержание органики в сухом веществе сидератов отмечено в растениях эспарцета, ржи – по 93,0 и тритикале – 92,6 %. Бобовые травы (донник, клевер, эспарцет и вика), которые способны использовать атмосферный азот благодаря симбиозу с клубеньковыми бактериями, характеризовались повышенным содержанием общего азота. Максимальная его массовая доля – 2,57 и 2,60 % отмечена у донника и клевера, а самое низкое содержание азота наблюдали у злаковых культур тритикале и ржи – 1,32 и 1,57 % соответственно. По содержанию фосфора выделилась смесь озимых культур – 0,64 %. Этот фитоценоз использовался в качестве сидератов при достижении фазы «начало колошения» первой культуры – ржи, когда остальные компоненты травосмеси находились на более ранних стадиях развития. Как известно, такие растения содержат в своем составе больше минеральных солей и меньше органического вещества по отношению к более поздним фазам развития. Фацелия превзошла все культуры по содержанию K<sub>2</sub>O – 3,26 %. Растения этой культуры содержали значительно меньшее количество органики в сухом веществе, чем остальные сидераты – 79,1 % и, соответственно, больше минеральных веществ. Этот факт может служить основанием для утверждения, что растения фацелии лучше используют из почвы труднодоступные минеральные соли.

Самые низкие показатели продуктивности на протяжении трех лет исследований получены в агроценозах фацелии, имеющей самый короткий период вегетации, и клевера – культуры умеренных широт, более требовательной к условиям увлажнения. Фитоценоз клевера сформировал полноценный травостой только в условиях 2017 г. В 2018 г. эта культура полностью выпала из травостоя, а в 2019 г. клевер занимал в структуре фитоценоза меньше третьей части от общей его биомассы.

Количество органического вещества, поступающего в почву при использовании сидератов, определяется урожайностью биомассы исследуемых фитоценозов и химическим составом сидеральных культур (таблица 3).

Гидротермические условия периода вегетации (как количество осадков, так и среднесуточная температура) оказывали значительное влияние на продуктивность сидеральных культур. Наблюдали достоверную (на 5 %-м уровне значимости) среднюю корреляционную зависимость между количеством осадков за период «посев – укосная спелость» 2016–2017 гг. и урожайностью зеленой массы сидеральных культур ( $r = 0,52$ ), а также урожайностью сухого вещества ( $r = 0,59$ ). Достоверная (на 5 %-м уровне значимости) отрицательная корреляция средней силы установлена между среднесуточной температурой периода «посев–укосная спелость» 2017–2018 гг. и урожайностью зеленой массы ( $r = -0,66$ ), а также урожайностью органического вещества ( $r = -0,64$ ).

**Таблица 3 – Продуктивность фитоценозов перед заделкой сидератов в почву при различных гидротермических условиях вегетации, т/га**

Сидеральная культура	Зеленая масса			Сухое вещество			Органическое вещество		
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Донник	41,3	8,5	37,5	7,73	2,44	8,02	7,08	2,13	7,36
Клевер	19,5	3,6	15,3	4,03	1,41	3,07	3,65	1,14	2,74
Эспарцет	35,3	6,8	39,2	7,00	2,10	8,90	6,44	1,91	8,32
Тритикале	26,2	10,2	37,2	5,57	3,87	9,03	5,04	3,60	8,52
Рожь	30,6	8,3	38,5	5,83	2,40	10,67	5,37	2,24	10,02
Вика	21,5	7,7	31,7	4,33	2,31	6,57	3,88	2,08	5,94
Смесь озимых	25,6	9,2	35,2	4,63	2,69	8,70	4,15	2,45	7,90
Фацелия	18,5	6,2	12,0	2,17	1,73	2,20	1,77	1,30	1,77
Средняя	27,3	7,6	30,8	5,16	2,37	7,14	4,67	2,10	6,57
НСР <sub>05</sub>	7,3	2,0	5,0	1,08	0,65	1,13	0,98	0,56	1,04

В условиях экстремально засушливого 2018 г. лучшие показатели продуктивности (урожайность зеленой массы 10,19 т/га, сухого вещества – 3,87 т/га и органического вещества – 3,60 т/га) обеспечил травостой тритикале.

В среднем за годы исследований по продуктивности биомассы выделились посеы многолетних трав донника и эспарцета, обеспечившие наивысшую среднюю урожайность зеленой массы (29,1 и 27,1 т/га), и озимых злаковых (тритикале и ржи) – 24,5 и 25,8 т/га.

Последние культуры, уступив по урожайности зеленой массы самым продуктивным многолетним травам – доннику и эспарцету, превзошли их по урожайности сухого вещества на 0,10–0,30 т/га (2,7–5,0 %) и поступлению в почву органического вещества на 0,16–0,36 т/га (2,9–5,8 %) соответственно. Наибольшее количество органики заделали в почву при использовании в качестве зеленого удобрения ржи – 5,88 т/га; тритикале – 5,72 т/га; эспарцета – 5,56 т/га и донника – 5,52 т/га.

Сидеральные культуры характеризуются высокими потенциальными возможностями пополнения почвы органикой, однако их продуктивность в условиях рискованного земледелия, когда основным лимитирующим фактором является влагообеспеченность растений, нестабильна. При выборе видового состава сидеральных культур следует учитывать соответствие их следующим требованиям: эффективное использование осенне-зимних запасов влаги, способность в весенний период в максимально ранние сроки интенсивно формировать биомассу, обеспечить сохранение в почве необходимых запасов доступных питательных веществ и влаги для получения всходов последующих культур севооборота.

Культуры умеренных широт, к которым относится клевер луговой, в засушливых условиях не постоянно сохраняются в фитоценозе в отличие от аборигенных культур. Поэтому их использование в качестве сидератов не оправдано.

### Выводы

В результате анализа гидротермических условий вегетационного периода сидеральных культур установлено, что в период «посев – укосная спелость» многолетних трав они были более благоприятными в 2016–2017 и 2018–2019 гг., озимых культур – в 2018–2019 гг., фацелии – в 2017 г.

В среднем за годы исследований максимальную урожайность зеленой массы сформировали посеы многолетних трав донника и эспарцета (29,1 и 27,1 т/га), озимые тритикале и рожь – 24,5 и 25,8 т/га. Клевер луговой и фацелия имели низкую продуктивность. Их использование в качестве сидератов не рекомендуется.

Озимые тритикале и рожь превзошли по урожайности сухого вещества донник и эспарцет на 0,10–0,30 т/га (2,7–5,0 %) и поступлению в почву органического вещества на 0,16–0,36 т/га (2,9–5,8) % соответственно.

Наибольшее количество органики поступило в почву при использовании в качестве зеленого удобрения: ржи – 5,88 т/га, тритикале – 5,72 т/га, эспарцета – 5,56 т/га, и донника – 5,52 т/га.

Установлена достоверная (на 5 %-м уровне значимости) средняя связь за период «посев – укосная спелость» в 2016–2017 гг. между количеством осадков и урожайностью зеленой массы сидеральных культур ( $r = 0,52$ ), а также урожайностью сухого вещества ( $r = 0,59$ ) на 5 %-м уровне значимости. Достоверная (на 5 %-м уровне значимости) отрицательная корреляция средней силы наблюдалась между среднесуточной температурой периода «посев – укосная спелость» 2017–2018 гг. и урожайностью зеленой массы ( $r = -0,66$ ), а также урожайностью органического вещества ( $r = -0,64$ ).

### Литература

1. Турин Е. Н. Преимущества и недостатки системы земледелия прямого посева в мире (Обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 2(22). С. 150–168. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-150-168.
2. Сычев В. Г., Ефремов Е. Н. Концепция программы агрохимических мероприятий до 2020 года // В кн.: Инновационные решения регулирования плодородия почв сельскохозяйственных угодий. М.: ВНИИА, 2011. 30 с.
3. Научно обоснованная стратегия развития агропромышленного комплекса Крыма до 2020 г. // Под общ. ред. Паштецкого В. С. Симферополь: ИТ «Ариал», 2016. 132 с.
4. Bhunia S., Bhowmik A., Mallick R., Mukherjee J. Agronomic efficiency of animal-derived organic fertilizers and their effects on biology and fertility of soil: a review // *Agronomy*. 2021. Vol. 11. Iss. 5. Art. No. 823. DOI: 10.3390/agronomy11050823.
5. Проблемы и перспективы инновационного развития сельских территорий Крыма: коллективная монография // Под ред. Паштецкого В. С. Симферополь: ИТ «Ариал», 2019. 252 с. DOI: 10.33952/978-5-907162-56-3.
6. Рекомендации по эффективному использованию соломы и сидератов в земледелии // Под ред. Сычева В. Г. М.: ВНИИА, 2012. 44 с.
7. Amede T., Legesse G., Agegnehu G., Gashaw T., Degefu T., Desta G., Mekonnen K., Schulz S., Thorne P. Short term fallow and partitioning effects of green manures on wheat systems in East African highlands // *Field Crops Research*. 2021. Vol. 269. Art. No. 108175. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108175.
8. Приходько А. В., Сусский А. Н., Моляр С. А. Альтернативные источники улучшения плодородия почвы в условиях Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2016. № 2(6). С. 24–35.
9. Ma D., Yin L., Ju W., Li X., Liu X., Deng X., Wang Sh. Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China // *Field Crops Research*. 2021. Vol. 266. Art. No. 108146. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108146.
10. Da Silva J. N., Neto F. B., de Lima J. S. S., Chaves A. P., Nunes R. L. C., Rodrigues G. S. D., Lino V. A. D., de Sa J. M., dos Santos E. C. Sustainability of carrot-cowpea intercropping systems through optimization of green manuring and spatial arrangements // *Ciencia Rural*. 2021. Vol. 51. Iss. 1. Art. No. e20190838. DOI: 10.1590/0103-8478cr20190838.
11. Khalep Yu., Moskalenko A., Shapovalyuk M., Arabska E. Ecological and economical value of green manuring for Polissia organic agrocenoses // *Agricultural and Resource Economics-International Scientific E-Journal*. 2021. Vol. 7. No. 1. P. 211–231. DOI: 10.51599/are.2021.07.01.11.
12. Прянишников Д. Н. Общие вопросы агротехники и химизации земледелия. Избранные сочинения. Т.3. М.: Колос, 1965. С. 7–82.
13. Housman M., Tallman S., Jones, C., Miller P., Zabinski C. Soil biological response to multi-species cover crops in the Northern Great Plains // *Agriculture, Ecosystems & Environment* 2021. Vol. 313. Art. No. 107373. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107373.
14. Freund L., Mariotte P., Santonja M., Buttler A., Jeangros B. Species identity, rather than species mixtures, drives cover crop effects on nutrient partitioning in unfertilized agricultural soil // *Plant and Soil*. 2020. Vol. 460. Iss. 1-2. P. 149–162. DOI: 10.1007/s11104-020-04782-z.
15. Лошаков В. Г. Зеленое удобрение как фактор повышения плодородия почвы, биологизации и экологизации земледелия // *Плодородие*. 2018. № 2. С. 26–29. DOI:10.25680/S19948603.2018.101.09.

16. Солодун В. И., Цвынтарная Л. А., Зайцев А. М., Горбунова М. С. Сравнительная оценка сидеральных культур и способов заделки их на серых лесных почвах лесостепи Иркутской области // Материалы международной научно-практической конференции, приуроченной к 90-летию профессора Ишигенова И.А. БГСХА им. В. Р. Филиппова «Почвы степных и лесостепных экосистем внутренней Азии и проблемы их рационального использования». Улан-Удэ: Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова, 2015. С. 211–214.
17. Турусов В. И., Гармашов В. М., Абанина О. А., Михина Т. И. Сидеральный пар как прием повышения плодородия почвы и продуктивности озимой пшеницы // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 3 (45). Ч. 3. С. 125–126.
18. Паштецкий В. С., Приходько А. В. Использование сидератов для воспроизводства плодородия почв в условиях степного Крыма // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5(79). С. 44–46.
19. Черкашина А. В. Влияние элементов технологии и гидротермических условий на урожайность зерна кукурузы гибридов разных групп спелости в неорошаемых условиях степной зоны Крыма // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 85. С. 290–294. DOI: 10.21515/1999-1703-85-290-294.
20. Гусев В. П., Колесниченко В. Т. Почвы сельскохозяйственной опытной станции и прилегающих районов Крымских степей // Труды Крымской Государственной сельскохозяйственной опытной станции. 1955. Т. 1. С. 21–49.
21. Агрокліматичний довідник по Автономній Республіці Крим (1986–2005 pp.): довідкове видання // За ред. Прудка О. І., Адаменко Т. І. Сімферополь: ЦГМ в АРК, 2011. 344 с.
22. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

## References

1. Turin E. N. Advantages and disadvantages of no-till farming around the world (review) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 2(22). P. 150–168. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-150-168.
2. Sychev V. G., Efremov E. N. The concept of the agrochemical measures program until 2020 // Innovative solutions for the regulation of soil fertility of agricultural land. Moscow: Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, 2011. 30 p.
3. Scientifically based strategy for the development of the agro-industrial complex of the Crimea until 2020 // Under the general editorship of Pashtetskiy V. S. Simferopol: IT “Arial”, 2016. 132 p.
4. Bhunia Sh., Bhowmik A., Mallick R., Mukherjee J. Agronomic efficiency of animal-derived organic fertilizers and their effects on biology and fertility of soil: a review// Agronomy. 2021. Vol. 11. Iss. 5. Art. No. 823. DOI: 10.3390/agronomy11050823.
5. Problems and prospects of innovative development of rural territories of the Crimea: Collective monograph // Ed. by Pashtetskiy V. S. Simferopol: IT “Arial”, 2019. 252 p. DOI: 10.33952/978-5-907162-56-3.
6. Recommendations on the effective use of straw and green manure in agriculture / Ed. by Sychev V. G. Moscow: Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, 2012. 44 p.
7. Amede T., Legesse G., Agegnehu G., Gashaw T., Degefu T., Desta G., Mekonnen K., Schulz S., Thorne P. Short term fallow and partitioning effects of green manures on wheat systems in East African highlands // Field Crops Research. 2021. Vol. 269. Art. No 108175. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108175.
8. Prikhodko A. V., Sysskiy A. N., Molyar S. A. Alternative sources of soil fertility improvement under the conditions of the Crimea // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2016. No. 2(6). P. 24–35.
9. Ma D., Yin L., Ju W., Li X., Liu X., Deng X., Wang Sh. Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China // Field Crops Research. 2021. Vol. 266. Art. No 108146. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108146.
10. Da Silva J. N., Neto F. B., de Lima J. S. S., Chaves A. P., Nunes R. L. C., Rodrigues G. S. D., Lino V. A. D., de Sa J. M., dos Santos E. C. Sustainability of carrot-cowpea intercropping systems through optimization of green manuring and spatial arrangements // Ciencia Rural. 2021. Vol. 51. Iss. 1. Art. No. e20190838. DOI: 10.1590/0103-8478cr20190838.
11. Khalep Yu., Moskalenko A., Shapovalyuk M., Arabska E. Ecological and economical value of green manuring for Polissia organic agrocenoses // Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal. 2021. Vol. 7. No. 1. P. 211–231. DOI: 10.51599/are.2021.07.01.11.
12. Pryanishnikov D. N. General issues of agricultural technology and chemicalization of agriculture. Selected Works. Vol. 3. Moscow: Kolos, 1965. P. 7–82.
13. Housman M., Tallman S., Jones, C., Miller P., Zabinski C. Soil biological response to multi-species cover crops in the Northern Great Plains // Agriculture, Ecosystems & Environment 2021. Vol. 313. Art. No. 107373. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107373.
14. Freund L., Mariotte P., Santonja M., Buttler A., Jeangros B. Species identity, rather than species mixtures, drives cover crop effects on nutrient partitioning in unfertilized agricultural soil // Plant and Soil. 2020. Vol. 460. Iss. 1-2. P. 149–162. DOI: 10.1007/s11104-020-04782-z.

15. Loshakov V. G. Green manure as a factor of soil fertility improving, biologization and ecologization of agriculture // Plodorodie. 2018. No. 2. P 26–29. DOI: 10.25680/S19948603.2018.101.09.
16. Solodun V. I., Tsvyntarnaya L. A., Zaitsev A. M., Gorbunova M. S. Comparative evaluation green manure crops and their method of closure on grayforest soils of forest-steppe Irkutsk region // Materials of the international scientific-practical conference dedicated to the 90<sup>th</sup> anniversary of Professor I. A. Ishigenov “Soils of steppe and forest-steppe ecosystems of inner Asia and the issues of their rational use”. Ulan-Ude: Buryat State Academy of Agriculture named after V. R. Filippov, 2015. P. 211–214.
17. Turusov V. I., Garmashov V. M., Abanina O. A., Mihina T. I. Pairs of green manure as a method of improving soil fertility and productivity of winter wheat // International Research Journal. 2016. Iss. 3 (45). Part. 3. P. 125–126. DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.170.
18. Pashtetskiy V. S., Prikhodko A. V. The use of green manure crops to recover soil fertility under the conditions of Crimean steppes // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2019. No. 5(79). P. 44–46.
19. Cherkashyna A. Influence of elements of cultivation technology and hydrothermal conditions on yield of maize hybrids of different maturity groups under non-irrigated conditions in the steppe zone of the Crimea // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2020. No. 85. P. 290–294. DOI: 10.21515/1999-1703-85-290-294.
20. Gusev V. P., Kolesnichenko V. T. Soils of the Agricultural Experimental Station and the surrounding areas of the Crimean steppes // Scientific works of the Crimean State Agricultural Experimental station. 1955. Vol. 1. P. 21–49.
21. Agrarian climatic handbook of the Autonomous Republic of Crimea (1986–2005) // Ed. by Prudko A. I., Adamenko T. I. Simferopol: Central hydrometeorology in the Autonomous Republic of Crimea, 2011. 344 p.
22. Dospikhov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.

UDC 631.874:551.50

Prikhodko A. V., Cherkashyna A. V.

### PRODUCTIVITY OF GREEN MANURE CROPS DEPENDING ON HYDROTHERMAL CONDITIONS

**Summary.** *Green manuring can increase biological activity of the soil, enrich it with organic matter, nutrients and improve its agrophysical and agrochemical properties. The aim of the research was to establish the influence of green manure crops species composition on the productivity of agrophytocenoses and the input of soil organic matter under various hydrothermal conditions. The studies were conducted in 2016–2019 on the experimental fields of the Research Institute of Agriculture of Crimea. Soil – chernozems southern low-humus. Average daily air temperature was: in 2016 – 11.8 °C; in 2017 – 12.7 °C; in 2018 – 12.5 °C; in 2019 – 12.6 °C (average long-term values – 10.8 °C). The amount of precipitation over the years was at the level of 162, 67, 129, 108 % of the norm. The experiments were laid according to B. A. Dospikhov “Methods of field research”. Position of the variants is systematic, triple replication. Fields square – 720 m<sup>2</sup>. The research subject is green manure crops agrocenoses. The object of the research is the process of forming the productivity of green manure crops. On average, over the years of research, the highest yield of green mass was formed by sweet clover and sainfoin (29.1 and 27.1 t/ha, respectively), winter triticale (24.5 t/ha) and winter rye (25.8 t/ha). *T. pratense* and *P. tanacetifolia* were low-yielding. The largest amount of accumulated soil organic matter was detected when rye, triticale, sainfoin and sweet clover were used as green manure; it was 5.88, 5.72, 5.56 and 5.52 t/ha, respectively. We established an average correlation (at 5 % significance level) between the amount of precipitation for the period “sowing – ripeness” in 2016–2017 and the yield of green mass of green manure crops ( $r = 0.52$ ), as well as dry matter yield ( $r = 0.59$ ). A negative correlation of average strength was also established between the average daily temperature of the period “sowing – ripeness” in 2017–2018 and yield of green mass ( $r = -0.66$ ), as well as organic matter yield ( $r = -0.64$ ).*

**Keywords:** soil, green manuring, soil fertility, temperature, precipitation, organic matter.

Приходько Александр Валентинович, старший научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: prihodko\_a@niishk.ru.

Черкашина Анна Владимировна, научный сотрудник лаборатории земледелия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: cherkashyna\_a@niishk.ru.

Prihodko Aleksandr Valentinovich, senior researcher of the Laboratory of agriculture, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: prihodko\_a@niishk.ru.

Cherkashyna Anna Vladimirovna, researcher of the Laboratory of the Laboratory of agriculture, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”, 150 Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: cherkashyna\_a@niishk.ru.

*Дата поступления в редакцию – 23.06.2021.*

*Дата принятия к печати – 05.08.2021.*

Пташник О. П.

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА СОРТОВ И СОРТООБРАЗЦОВ ЛЮПИНА БЕЛОГО (*LUPINUS ALBUS L.*)**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** Отсутствие орошения в Крыму поставило задачу замены сои на равнозначную по питательной ценности и более приспособленную к условиям Крыма культуру. Одна из таких культур – люпин белый (*Lupinus albus L.*). Цель исследований – оценка продуктивности и содержания сырого протеина в зерне, выделение наиболее перспективных сортов и селекционных номеров люпина белого при выращивании в условиях степного Крыма. Исследования проводили в 2016–2018 гг. на опытном поле НИИСХ Крыма в соответствии с методиками полевого опыта и Госсортоиспытания. Изучали влияние биоклиматических условий степного Крыма на рост, развитие, формирование урожайности зерна и содержание белка у четырех сортов (Мичуринский, Алы́й парус (*St.*), Дега и Деснянский 2) и четырех перспективных сортобразцов (СН-1022-09, СН-1677-10, СН-1397-10 и СН-6-11). Погодные условия лет исследований различались и дали возможность провести оценку образцов в благоприятных и стрессовых условиях. В наиболее засушливые годы продолжительность вегетационного периода была 93–97 дня благодаря сокращению межфазных периодов, а в более мягкий год – 101 день. Показатели урожайности неоднозначны по годам: в 2016 г. они составили 0,48–1,45 т/га, в 2017 г. – 0,35–0,56 т/га и в 2018 г. – 0,39–0,54 т/га. В среднем за годы изучения наиболее урожайными были селекционные номера СН-1022-09 и СН-1677-10, урожайность которых составила 0,65 и 0,81 т/га соответственно. В 2017 г. содержание протеина варьировало от 24,02 до 28,49 %, в 2018 г. – от 26,05 до 31,1 %. В среднем за годы изучения наибольшее содержание белка было у сортов Алы́й парус (29,30 %) и Мичуринский (29,03 %). Самой высокой продуктивностью и урожайностью отличались селекционные номера СН-1022-09 и СН-1677-10, а по содержанию сырого протеина — сорта Алы́й парус и Мичуринский, которые рекомендованы для выращивания.

**Ключевые слова:** люпин белый (*Lupinus albus L.*), сорт, селекционный номер, вегетационный период, погодные условия, урожайность, качество зерновой продукции.

**Для цитирования:** Пташник О. П. Изучение продуктивности и качества зерна сортов и сортобразцов люпина белого (*Lupinus albus L.*) // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 155–163. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-155-163.

**For citation:** Ptashnik O.P. Yield and grain quality of varieties and cultivars of white lupine (*Lupinus albus L.*) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 155–163. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-155-163.

**Введение**

Зернобобовые культуры играют немаловажную роль в обеспечении населения высококачественными пищевыми продуктами, а также незаменимы в животноводстве как источник высокобелковых кормов. Не менее важны они в воспроизводстве почвенного плодородия, экономии энергетических ресурсов, получении экологически чистой продукции [1, 2].

Основными зернобобовыми культурами в Крыму являются горох, нут, чечевица. Резкое снижение посевов сои связано с отсутствием орошения (не более 300 га). Возникает необходимость замены этой культуры на равнозначную по питательной ценности и более приспособленную к засушливым условиям Крыма. При интродукции и расширении ассортимента кормовых культур важен их подбор, они должны характеризоваться высокой и стабильной урожайностью, хорошими кормовыми достоинствами, меньшими энергозатратами на возделывание, высокой биологической пластичностью и адаптивностью, меньшей требовательностью к почвенно-климатическим условиям и рационально использующих агроклиматические условия зоны возделывания [3]. Одной из таких культур может служить люпин белый (*Lupinus albus* L.), который характеризуется высоким содержанием в семенах сбалансированного по аминокислотному составу протеина (35–42 %), а по биологической ценности не уступает сое. Люпин – хороший источник жира с высоким уровнем ненасыщенных жирных кислот, углеводов, минеральных веществ и витаминов. Среди зернобобовых культур он имеет наименьшее количество веществ, ингибирующих действие протеолитических ферментов, – трипсина и химотрипсина, поэтому переваримость питательных веществ достаточно высокая. Помимо кормовых достоинств, люпин обладает высокой азотфиксирующей способностью и низкой энергоемкостью при возделывании. Все это делает его культурой многоцелевого использования [4–6]. В отличие от сои, его можно возделывать в разных регионах практически без ограничений по почвенным и климатическим условиям [7–9]. Однако немецкими учеными доказано сильное влияние на урожайность места выращивания культуры по сравнению с влиянием года и генотипа [10].

Сорта белого люпина характеризуются высоким потенциалом урожайности. Новые адаптивные высокопродуктивные сорта, созданные в ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт люпина», позволяют значительно расширить посевные площади этой ценной культуры и в условиях биологизации земледелия получать высокие урожаи семян в регионах с засушливым климатом. Реализация потенциала новых сортов возможна только при учете их адаптации к конкретным природно-климатическим условиям [11, 12].

Урожайность сельскохозяйственных культур, в том числе и зернобобовых, в условиях Крыма лимитируется различными неблагоприятными факторами, к числу которых относится резкий дефицит осадков на фоне высоких температур. Оценка адаптивной способности зернобобовых культур особенно при интродукции новых видов является актуальной своевременной задачей, решение которой будет способствовать внедрению культуры в производство.

**Цель исследований** – оценка продуктивности и содержания сырого протеина в зерне, выделение наиболее перспективных сортов и селекционных номеров люпина белого при выращивании в условиях степного Крыма.

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

Исследования проводили в 2016–2018 гг. Опыты размещали на опытном поле отдела интродукций и технологий в полеводстве и животноводстве ФГБУН «НИИСХ Крыма» (с. Клепинино, Красногвардейский район). Полевой опыт закладывали систематическим методом со смещением делянок в четыре яруса, в четырехкратной повторности. Площадь делянок 25 м<sup>2</sup>. Учеты и наблюдения проводили по общепринятым методикам [13, 14]. В опытах применяли агротехнику, рекомендованную Всероссийским НИИ люпина [15]. Перед посевом семена обрабатывали штаммом клубеньковых бактерий *Rhizobium lupine* (разработка отдела сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «НИИСХ Крыма» (Крымская коллекция микроорганизмов ФГБУН «НИИСХ Крыма», зарегистрирована на сайте <http://www.scrp-rg> под номером 507484). Ранневесенний посев (2016 г. – 18 марта, 2017 г.



– 16 марта, 2018 г. – 29 марта) осуществляли селекционной сеялкой «СКС-6-10». Урожай убирали малогабаритным комбайном «Сампо-130». Статистическую обработку полученных результатов проводили методом дисперсионного анализа [13]. Содержание белка в зерне люпина белого определяли с помощью анализатора «Инфраматик 9500».

Почва опытного участка – чернозем южный, слабогумусированный, легкоглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое 2,26 % (ГОСТ 2621384), валового азота – 0,12–0,3 % (ГОСТ Р58596-2019), фосфора – 0,09–0,16 %, калия – 1,8–2,7 % (ГОСТ 26205-91). Мощность гумусового горизонта 24–36 см. Реакция почвенного раствора нейтральная или слабощелочная (рН – 7,1–7,9). Южные черноземы из-за своего тяжелого механического состава подвержены быстрому уплотнению [16].

Климат центральной части степного Крыма умеренно-континентальный. Средняя годовая температура воздуха составляет 9,8–10,5 °С. Сумма температур выше 10 °С – 3100–3400 °С. Годовая сумма осадков 340–418 мм, из них в период с температурой выше 10 °С – 192–205 мм [17]. Для характеристики метеоусловий за годы исследования использовали материалы многолетних наблюдений метеостанции с. Клепонино. Расчет гидротермического коэффициента (ГТК) проводили по Г. Т. Селянинову [18].

В годы исследований метеоусловия вегетационного периода люпина белого складывались контрастные, что позволило провести оценку образцов в благоприятных и стрессовых для роста условиях. Метеоусловия характеризовались повышенным температурным режимом и сильно варьировали по годам. Наибольшая сумма эффективных температур (1846,7 °С) отмечена в 2018 г., наименьшая (1602,6 °С) – в 2017 г. Превышение по сравнению со среднемноголетними данными составило 357,7 и 113,6 °С или 24,0 и 7,6 % (таблица 1).

**Таблица 1 – Характеристика метеорологических условий периода вегетации люпина белого (*Lupinus albus* L.) в условиях степного Крыма**

Показатель	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднемноголетнее значение
Сумма эффективных температур, °С	1756,3	1602,6	1846,7	1489,0
Количество осадков, мм	404,3	94,7	100,2	158,0
Гидротермический коэффициент	2,30	0,59	0,54	1,06

Количество осадков за период вегетации люпина белого (апрель–июль) резко различалось по годам исследования. Наибольшее их количество (404,3 мм) выпало в 2016 г. (236,4 % среднемноголетнего показателя). В 2017 г. и 2018 г. сумма осадков находилась на уровне 94,7 и 100,2 мм соответственно, что составило 59,9 и 63,4 % среднемноголетней нормы. За период вегетации культуры распределение осадков неравномерное и в основном в критические периоды роста и развития культуры (конец мая–начало июня) осадки не отмечали. По влагообеспеченности за период вегетации люпина белого 2016 г. характеризовался как влажный (ГТК = 2,30), а 2017 и 2018 гг. – очень засушливые (ГТК = 0,59 и 0,54 соответственно). Самые благоприятные метеорологические условия для вегетации люпина белого сложились в 2016 г.

Объектом исследований служили включенные в Госреестр селекционных достижений РФ сорта и перспективные селекционные образцы люпина белого селекции ВНИИ люпина: Мичуринский, Алыи парус (St.), Дега и Деснянский 2; селекционные номера: СН-1022-09, СН-1677-10, СН-1397-10 и СН-6-11. Предмет исследований – формирование продуктивности и урожайности у сортов и селекционных номеров люпина белого в условиях степного Крыма.

**Результаты и их обсуждение**

Погодные условия в годы проведения исследований влияли на рост и развитие растений люпина белого и в целом на продолжительность вегетации. Продолжительность вегетационного периода сортов и селекционных номеров составила от 93 до 101 сут в 2018 г. и 2016 г. соответственно (таблица 2).

**Таблица 2 – Структура вегетационного периода сортов и селекционных номеров люпина белого**

Год	Дата					Продолжительность периода вегетации, сут
	Посев	Полные всходы	Цветение	Созревание, 90 % побурение	Уборка	
2016	18 марта	04 апреля	28 мая	10 июля	14 июля	101
2017	16 марта	10 апреля	28 мая	06 июля	19 июля	97
2018	29 марта	10 апреля	22 мая	29 июня	9 июля	93

В засушливые годы происходило уменьшение продолжительности вегетационного периода за счет сокращения межфазных периодов, начиная с фазы цветения. Продолжительность межфазного периода «цветение–созревание» составила: в 2016 г. – 43 сут, в 2017 и 2018 гг. – 38 и 37 сут соответственно.

Одним из главных показателей, обеспечивающих возможность продвижения культуры в производство, является ее урожайность. В свою очередь, величина урожая определяется целым рядом дополнительных признаков, среди которых важнейшее место занимают показатели, характеризующие структуру товарной части урожая [19, 20]. В результате проведенного структурного анализа снопового материала нами установлены основные показатели продуктивности сортов и сортообразцов люпина белого при условиях выращивания в степном Крыму. Количество бобов на растении варьировало от 14,2 до 2,9 шт. (таблица 3).

**Таблица 3 – Продуктивность сортов и сортообразцов люпина белого**

Сорт/ сортообразец	Количество бобов, шт./раст.				Масса семян с растения, г				Масса 1000 семян, г
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	среднее	2016 г.	2017 г.	2018 г.	среднее	
Алый парус (St.)	4,6	3,2	3,7	3,8	2,6	1,6	1,9	2,0	190
Дега	4,6	3,4	3,3	3,8	2,8	2,3	1,8	2,3	199
Деснянский 2	8,8	3,6	3,2	5,2	5,3	2,9	2,1	3,4	193
Мичуринский	10,2	5,2	3,7	6,4	4,6	3,8	2,0	3,5	170
СН-1022-09	11,0	3,9	2,9	5,9	6,5	3,7	2,2	4,1	208
СН-1677-10	14,2	3,7	3,1	7,0	10,4	3,1	1,7	5,1	202
СН-1397-10	9,0	5,3	4,0	6,1	6,3	3,8	2,1	4,1	210
СН-6-11	11,8	3,9	3,5	6,4	7,5	3,8	2,0	4,4	177
Среднее по опыту	8,7	4,1	3,4	5,4	5,8	3,1	2,0	3,6	194
НСР <sub>05</sub>	1,4	0,2	0,4		0,9	1,0	0,4	1,0	1,0

Наибольшее количество бобов завязалось в 2016 г., наименьшее – в 2018 г. При засухе в критический период цветения и формирования плодов и семян число бобов на растении снизилось в среднем на 52,8 и 60,9 %. Наибольшее количество бобов отмечено у сорта Мичуринский и сортообразцов СН-6-11 и СН-1677-10.

Масса семян с растения также значительно варьировала в зависимости от погодных условий года: в 2016 г. вариация составила от 2,6 г (сорт Алый парус) до 10,4 г (селекционный номер СН-1677-10); в 2017 г. – от 1,6 до 3,8 г и 2018 г. – от 1,7 до 2,2 г. В засушливые годы величины этого показателя на 45,6 и 65,6 % были ниже по сравнению с более благоприятным годом по влагообеспеченности. Номера СН-1677-10 и СН-6-11, которые сформировали высокую продуктивность в 2016 г., в

острозасушливом 2018 г. были наименее продуктивными. Сорта Алый парус и Дега имели массу семян более стабильную независимо от погодных условий года.

Масса 1000 семян – сортовой признак [21]. В нашем опыте она варьировала от 170 до 210 г. В значительной степени по величине этого показателя отличались образцы СН-1397-10 – 210 г и СН-1022-09 – 208 г, что достоверно выше всех изучаемых сортов.

Все изучаемые сортообразцы люпина белого характеризовались различной урожайностью, которая сильно варьировала в зависимости от погодных условий года. Максимальная урожайность в опыте отмечена в 2016 г. у селекционных номеров СН-1022-09 и СН-1677-10 – 1,15 и 1,45 т/га соответственно (таблица 4). В 2017 и 2018 гг. урожайность культуры на 0,39 т/га или 46,6 % была ниже по сравнению с 2016 г.

В среднем за три года самую высокую урожайность обеспечил селекционный номер СН-1677-10, достоверно превысив стандартный сорт Алый парус на 0,38 т/га или на 88,4 %. Урожайность остальных изучаемых образцов была на уровне стандарта, а отклонение – в пределах НСР<sub>05</sub>.

**Таблица 4 – Урожайность сортов и сортообразцов люпина белого, т/га**

Сорт/сортообразец	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее
Алый парус (St.)	0,48	0,35	0,45	0,43
Дега	0,65	0,42	0,48	0,52
Деснянский 2	0,65	0,45	0,47	0,52
Мичуринский	0,50	0,43	0,54	0,49
СН-1022-09	1,15	0,40	0,41	0,65
СН-1677-10	1,45	0,54	0,43	0,81
СН-1397-10	0,80	0,56	0,39	0,58
СН-6-11	1,03	0,43	0,43	0,63
Среднее	0,84	0,45	0,45	0,65
НСР <sub>05</sub>	0,32	0,16	0,12	0,36

Основное предназначение люпина белого – решение проблемы получения растительного белка. Содержание сырого протеина в зерне – один из главнейших показателей качества производимой продукции этой культуры [22]. Оценка зерна по содержанию сырого протеина и сбору его с урожаем представлены в таблице 5. Установлено, что содержание протеина зависело от условий года. Повышенный температурный режим при отсутствии осадков в период формирования урожая 2018 г. способствовал большему, чем в 2017 г. накоплению белка в зерне белого люпина на 11,7 %.

Вариация содержания сырого протеина по сортообразцам в 2017 г. составила от 24,02 до 28,49 %, а в 2018 г. – от 26,05 до 31,10 %. В среднем за два года наибольшее количество сырого протеина отмечено у стандартного сорта Алый парус (29,30 %).

**Таблица 5 – Урожайность и качество зерна сортов и сортообразцов люпина белого**

Сорт/ сортообразец	Средняя урожайность, т/га (2017–2018 гг.)	Содержание сырого протеина в абсолютно сухом веществе зерна, %			Сбор белка по зерну, т/га
		2017 г.	2018 г.	среднее	
Алый парус (St.)	0,40	28,49	30,10	29,30	0,12
Дега	0,45	25,14	26,60	25,87	0,12
Деснянский 2	0,46	26,55	31,10	28,83	0,13
Мичуринский	0,49	27,05	31,00	29,03	0,14
СН-1022-09	0,41	25,07	28,90	26,98	0,11
СН-1677-10	0,49	24,02	26,05	25,04	0,12
СН-1397-10	0,48	26,74	30,40	28,57	0,14
СН-6-11	0,43	26,89	30,30	28,60	0,12
Среднее	0,45	26,24	29,30	27,77	0,13

Однако сбор белка с 1 га у сорта Алый Парус составил 0,12 т/га, а у сорта Мичуринский и селекционного номера СН-1397-10 – 0,14 т/га, благодаря более высокой урожайности. Выход белка в равной степени зависит от урожайности образца и содержания в зерне сырого протеина.

#### Выводы

Вегетационный период, урожайность и качество зерновой продукции люпина белого в условиях степного Крыма в большой степени зависели от гидротермических условий года исследований. Продолжительность вегетационного периода исследуемых образцов варьировала от 93 в 2018 г. до 101 сут в 2016 г. В засушливые годы происходило уменьшение периода вегетации из-за сокращения межфазных периодов, начиная с фазы цветения.

По ряду показателей, характеризующих урожайность, лучшими были селекционные номера СН-1022-09 и СН-1677-10 при средней урожайности 0,65 и 0,81 т/га соответственно.

Результаты анализов зерна люпина белого показали высокое содержание сырого протеина во всех изучаемых образцах. Наибольшее его количество характерно для сортов Алый парус (29,30 %) и Мичуринский (29,03 %).

Сбор белка с единицы площади в равной степени зависит от урожайности и содержания в зерне сырого протеина. Наибольший показатель (0,14 т/га) отмечен у сорта Мичуринский и селекционного номера СН-1397-10.

В результате проведенных исследований установлено, что в условиях степного Крыма по урожайности выделились селекционные номера СН-1022-09 и СН-1677-10, а по содержанию сырого протеина – сорта Алый парус и Мичуринский.

#### Литература

1. Зотиков В. И., Сидоренко В. С., Грядунова Н. В. Развитие производства зернобобовых культур в Российской Федерации // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 2(26). С.4–10. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10008.
2. Халимулина А. А., Созинов А. В. Влияние сроков посева на продуктивность люпина белого в Курганской области // Аграрный научный журнал. 2019. № 3. С. 19–24. DOI: 10.28983/asj.y2019i3pp19-24.
3. Pantsyreva H., Stroyanovskiy V., Myalkovsky R. The influence of bio-organic growing technology on the productivity of legumins // Ukrainian Journal of Ecology. 2021. No. 11 (3). P. 35–39.
4. Sonta M., Rekiel A. Legumes – use for nutritional and feeding purposes // Journal of Elementology. 2020. No. 25 (3). P. 835–849. DOI: 10.5601/jelem.2020.25.1.1953.
5. Hall C., Hillen C., Robinson J. G. Composition, nutritional value, and health benefits of pulses // Cereal Chemistry. 2017. No. 94 (1). P. 11–31. DOI: 10.1094/CCHEM-03-16-0069-FI.
6. Cesare Sirtori I. The evolving story of dietary proteins – from structural and functional nutrients to biopharmaceuticals: is lupin the superstar? // Proceedings of the XIV International Lupin Conference. Italy: Milan, 2015. P. 102.
7. Гатаулина Г. Г., Бельшклина М. Е., Медведева Н. В. Влияние погодных условий на стабильность урожайности у сортов люпина белого (*Lupinus albus* L.) // Известия ТСХА. 2017. Вып. 6. С. 16–28. DOI: 10.26897/0021-342X-2017-6-16-28.
8. Wink M., Prins U., Abberton M., Capraro J., Scarafoni A. Hill G. Lupins in European cropping systems // In book: Legumes in cropping systems. Boston: CAB International, 2017. P. 88–108. DOI: 10.1079/9781780644981.0088.
9. Блинник А. С., Демидова А. Г., Наумкина Л. А., Куренская О. Ю., Лукашевич М. И. Результаты испытания новых сортов и образцов люпина белого в условиях Лесостепи Центрально-Черноземного региона // Зерновое хозяйство России. 2021. № 3(75). С. 5–56. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-75-3-51-56.
10. Dieterich R. Effects of genotype and environment on grain yield and crude protein content in narrow-leaved lupin // Proceedings of the XIV International Lupin Conference. Italy: Milan, 2015. P. 125–127.
11. Титова В. И., Дабахова Е. В., Титова Е. О. Изучение возможности выращивания белого люпина на светло-серых лесных породах Нижегородской области // Достижение науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 9. С. 32–35.

12. Arief O. M., Pang J., Shaltout K. H., Lambert H. Performance of two *Lupinus albus* L. varieties in response to three soil pH levels // *Experimental Agriculture*. 2020. No. 56 (3). P. 321–330. DOI: 10.1017/S0014479719000383.
13. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351с.
14. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. М.: Колос, 1985. С. 30–35.
15. Перспективная ресурсосберегающая технология возделывания люпина: научно-практические рекомендации. Брянск: ВНИИ люпина, 2017. 74 с.
16. Половицкий И. Я., Гусев П. Г., Почвы Крыма и повышение их плодородия. Симферополь: Таврия, 1987. 152 с.
17. Гусев П. Г., Кизяков Ю. Е., Белоглазова Е. А. Почвенно-климатические ресурсы Крыма // В кн.: Научно обоснованная система земледелия Республики Крым. Симферополь: Редотдел Крымского комитета по печати, 1994. С. 25–40.
18. Грингоф И. Г., Попова В. Н., Страшный В. Н. Агрометеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1987. С. 185.
19. Яговенко Г. Л., Захарова М. В., Лукашевич М. И. Потенциал зерновой продукции люпина белого и его реализация в условиях Центральной Нечерноземной зоны России // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2020. № 2(34). С. 35–40. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11167.
20. Гатаулина М. Е., Бельшклина М. Е., Медведева Н. В. Урожайность семян и элементы продуктивности у разнотипных сортов люпина белого в разные по метеорологическим условиям годы // *Известия ТСХА*. 2016. Вып. 6. С. 32–44.
21. Прахова Т. Я., Прахов В. А. Оценка сортов горчицы сарептской в условиях Лесостепи Среднего Поволжья // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2020. № 4(85). С. 203–207. DOI: 10.21515/1999-1703-85-203-208.
22. Лукашевич М. И., Захарова М. В., Свириденко Т. В., Хараборкина Н. И., Трошина Л. В. Урожайность и кормовая ценность сортов и перспективных образцов люпина белого во Всероссийском НИИ люпина // *Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Новые сорта люпина, технология их выращивания и переработки, адаптация в системы земледелия и животноводства»*. Брянск: ЗАО «Издательство «Читай-город»», 2017. С. 59–66.

## References

1. Zotikov V. I., Sidorenko V. S., Gryadunova N. V. Development of production of leguminous crops in the Russian Federation // *Legumes and Groat Crops*. 2018. No. 2 (26). P. 4–10. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10008.
2. Khalimullina A. A., Sozinov A. V. Influence of sowing time on the productivity of white lupin in the Kurgan region // *The Agrarian Scientific Journal*. 2019. No. 3. P. 19–24. DOI: 10.28983/asj.y2019i3pp19-24.
3. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kravtsov V. V., Kapustin A. S. Foxtail millet (*Setaria italica*) is a valuable fodder crop // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2018. No. 4(16). P. 42–49. DOI: 10.25.637/TVAN2018.04.04.
4. Sonta M., Rekiel A. Legumes – use for nutritional and feeding purposes // *Journal of Elementology*. 2020. No. 25 (3). P. 835–849. DOI: 10.5601/jelem.2020.25.1.1953.
5. Hall C., Hillen C., Robinson J. G. Composition, nutritional value, and health benefits of pulses // *Cereal Chemistry*. 2017. No. 94 (1). P. 11–31. DOI: 10.1094/CCHEM-03-16-0069-FI.
6. Cesare Sirtori I. The evolving story of dietary proteins – from structural and functional nutrients to biopharmaceuticals: is lupin the superstar? // *Proceedings of the XIV International Lupin Conference*. Italy: Milan, 2015. P. 102.
7. Gataulina G. G., Belyshkina M. Ye., Medvedeva N. V. Effect of weather conditions on yield stability of white lupine cultivars (*Lupinus albus* L.) // *Izvestia Timirazevskoj sel'skhozajstvennoj akademii*. 2017. No. 6. P. 16–28. DOI: 10.26897/0021-342X-2017-6-16-28.
8. Wink M., Prins U., Abberton M., Capraro J., Scarafoni A. Hill G. Lupins in European cropping systems // In book: *Legumes in cropping systems*. Boston: CAB International, 2017. P. 88–108. DOI: 10.1079/9781780644981.0088.
9. Blinnik A.S., Demidova A.G., Naumkina L.A., Kurenskaya O.Yu., Lukashevich M.I. The testing results of the new white lupine varieties and samples in the forest-steppe conditions of the Central Blackearth region // *Grain Economy of Russia*. 2021. No. 3(75). P. 5–56. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-75-3-51-56.
10. Dieterich R. Effects of genotype and environment on grain yield and crude protein content in narrow-leaved lupin // *Proceedings of the XIV International Lupin Conference*. Italy: Milan, 2015. P. 125–127.
11. Titova V. I., Dabakhova E. V., Titova E. O. Study of the possibility of white lupine growing on light gray forest soils in Nizhniy Novgorod region // *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2015. Vol. 29. No. 09. P. 32–35.

12. Arief O. M., Pang J., Shaltout K. H., Lambert H. Performance of two *Lupinus albus* L. varieties in response to three soil pH levels // *Experimental Agriculture*. 2020. No. 56 (3). P. 321–330. DOI: 10.1017/S0014479719000383.
13. Dospikhov B. A. *Methods of field research*. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
14. *Methods of the State variety testing of agricultural crops*. Vol. 1. Moscow: Kolos, 1985. P. 30–35.
15. Promising resource-saving technology of lupine cultivation: scientific-practical recommendations. Bryansk: All-Russian Research Institute of Lupine, 2017. 74 p.
16. Polovitsky I. Ya. Gusev P. G. *Soils of the Crimea and increasing their fertility*. Simferopol: Tauria, 1987. 152 p.
17. Gusev P. G., Kizyakov Yu. E., Beloglazova E. A. Soil and climatic resources of the Crimea // *Scientifically grounded system of agriculture of the Republic of Crimea*. Simferopol: Editorial Department of the Crimean Press Committee, 1994. P. 25–40.
18. Gringof I. G., Popova V. N., Strashny V. N. *Agrometeorology*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 185 p.
19. Yagovenko G. L., Zakharova M. V., Lukashevitch M. I. Potential white lupin grain productivity and its realization under conditions of the non-chernozem zone of Russia // *Legumes and Groat Crops*. 2020. No. 2(34). P. 35–40. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11167.
20. Gataulina G. G., Belyshkina M. E., Medvedeva N. V. Crop yield and productivity elements of multi-type sorts of white lupin (*Lupinus albus* L.) depending on meteorological conditions of different years // *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2016. Iss. 6. P. 32–44.
21. Prakhova T. Ya., Prakhov V. A. Evaluation of varieties mustard of Sarepta in the conditions of forest-steppe Middle Volga Region // *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2020. No. 4 (85). P. 203–207. DOI: 10.21515/1999-1703-85-203-208.
22. Lukashovich M. I., Zakharova M. V., Sviridenko T. V., Kharaborkina N. I., Troshina L. V. Productivity and fodder value of varieties and promising samples of white lupine in the All-Russian Research Institute of Lupine // *Collection of scientific works of Scientific-Practical Conference: New varieties of lupine, technology of their cultivation and processing, adaptation to the systems of agriculture and animal husbandry*. Bryansk: Publishing House “Chitai-Gorod” ZAO (Close Joint-stock Company), 2017. P. 59–66.

UDC 633.367. 3: 631.52

Ptashnik O. P.

### YIELD AND GRAIN QUALITY OF VARIETIES AND CULTIVARS OF WHITE LUPINE (*LUPINUS ALBUS* L.)

**Summary.** *Due to the lack of irrigation, the question of replacing soybean with an equivalent crop in the context of nutritional value and adaptation to the weather conditions of Crimea arises. One of such crops can be white lupine (*Lupinus albus* L.). The purpose of the research was twofold: assess *L. albus* productivity and crude protein content in grain; identify the most promising varieties and breeding numbers of white lupine under conditions of the steppe Crimea. In 2016-2018, the research was carried out on the experimental field of the Research Institute of Agriculture of Crimea according to the B.A. Dospikhov methods of field research and methodology of the State variety testing of agricultural crops. We studied the influence of bioclimatic conditions of the steppe Crimea on the growth, development, grain yield formation and protein content of four varieties ('Michurinsky', 'Alyi Parus' (standard), 'Dega' and 'Desnyansky 2') and four promising breeding numbers ('CH-1022-09', 'CH-1677-10', 'CH-1397-10' and 'CH-6-11'). A wide diversity of weather conditions during the years of research made it possible to evaluate the samples in favorable and stressful conditions. In drier years, the growing season lasted 93–97 days because of the reduction in interphase periods; in milder ones it was 101 days. The results in grain yield have been mixed: from 0.48 to 1.45 t/ha in 2016; from 0.35 to 0.56 t/ha in 2017; from 0.39 to 0.54 t/ha in 2018. On average, over a three-year study, breeding numbers 'CH-1022-09' and 'CH-1677-10' were the most productive. Their yield was 0.65 and 0.81 t/ha, respectively. In 2017, crude protein content varied from 24.02 to 28.49%; in 2018 – from 26.05 to 31.1%. On average, over the years of study, the highest protein content was typical for the varieties 'Alyi Parus' (29.30%) and 'Michurinsky' (29.03%). Breeding numbers 'CH-1022-09' and 'CH-1677-10' were distinguished by the highest indicators of*

*productivity and yield; in terms of crude protein content, varieties 'Alyi Parus' and 'Michurinsky' were the best. Consequently, they are the ones that are recommended for cultivation.*

**Keywords:** *white lupine (Lupinus albus L.), variety, breeding number, growing season, weather conditions, yield, grain quality.*

Пташник Ольга Павловна, старший научный сотрудник лаборатории семеноводства и изучения новых генотипов Отдела интродукций и технологий в полеводстве и животноводстве ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ptashnik\_61@mail.ru.

Ptashnik Olga Pavlovna, senior researcher of the Laboratory of seed growing and strain investigation of new genotypes, Department of introductions and technologies in agriculture and livestock farming, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: ptashnik\_61@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 05.04.2020.*

*Дата принятия к печати – 11.07.2020.*

DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-164-171

УДК 633.111 «324»:631.524.7/.527

Соколенко Н. И., Галушко Н. А., Комаров Н. М.

## ИСТОЧНИКИ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА ЗЕРНА В СЕЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

ФГБНУ «Северо-Кавказский Федеральный научный аграрный центр»

**Реферат.** Исследования по улучшению сортов озимой мягкой пшеницы в направлении сочетания высокой урожайности и качества зерна являются актуальными. Цель исследований – оценка и отбор сортообразцов озимой мягкой пшеницы с высокими технологическими показателями качества зерна для использования в селекционном процессе. В исследованиях использовали зерно 10 сортообразцов мировой коллекции и стандарт Айвина, выращенных в зоне с неустойчивым увлажнением по чистому пару на черноземе обыкновенном среднесуглинистом среднемощном слабогумусированном в ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Стекловидность зерна сортообразцов урожая 2019 г. составила 44,0–53,0 %, урожая 2020 г. – 30,5–50,0 %, у стандарта Айвина в эти же годы – 56,0 и 48,0 % соответственно. Содержание клейковины в зерне зависело от условий года и генотипа. Зерно урожая 2019 г. в отличие от зерна урожая 2020 г. у всех сортообразцов и у стандарта Айвина отличалось высоким содержанием клейковины (28,2–35,6 %), что соответствует сильной пшенице. Количество клейковины в зерне урожая 2020 г. составило по сортообразцам от 22,9 до 34,6 %, у стандарта – 26,9 %. Качество клейковины у всех сортообразцов в оба года исследований было второй группы. Сортообразцы отличались высоким содержанием белка в зерне – 16,7–20,8 % и 13,5–20,4 %, у стандарта Айвина – 16,7 и 15,8 % в эти же годы. Показатели седиментации у сортообразцов соответственно по годам составили 50–81 мл и 34–64 мл, у стандарта Айвина – 50 и 43 мл. Максимальные значения седиментации отмечены у сорта Престиж, что свидетельствует о возможности формировать зерно по силе характерное для пшеницы-улучшителя. Корреляционная связь между седиментацией и содержанием клейковины ( $r = 0,63$ ), между седиментацией и числом падения ( $r = 0,73$ ) была положительной значительной в оба года исследований. Все изученные генотипы перспективны в селекции новых сортов пшеницы как источники высокого качества зерна.

**Ключевые слова:** озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), сортообразец, отбор, зерно, признак, качество, белок, клейковина.

**Для цитирования:** Соколенко Н. И., Галушко Н. А., Комаров Н. М. Источники высокого качества зерна в селекции озимой мягкой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 164–171. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-164-171.

**For citation:** Sokolenko N. I., Galushko N. A., Komarov N. M. Sources of high-quality grain in winter common wheat breeding // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 164–171. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-164-171.

### Введение

Почвенно-климатические условия Ставропольского края являются благоприятными для возделывания озимой мягкой пшеницы и формирования высоких урожаев высококачественного зерна. Площади посевов ежегодно составляют около 1800 тыс. га, а наибольший валовой сбор зерна – 7765,0 млн т (2017 г.) [1]. Сортимент выращиваемой пшеницы представлен в основном



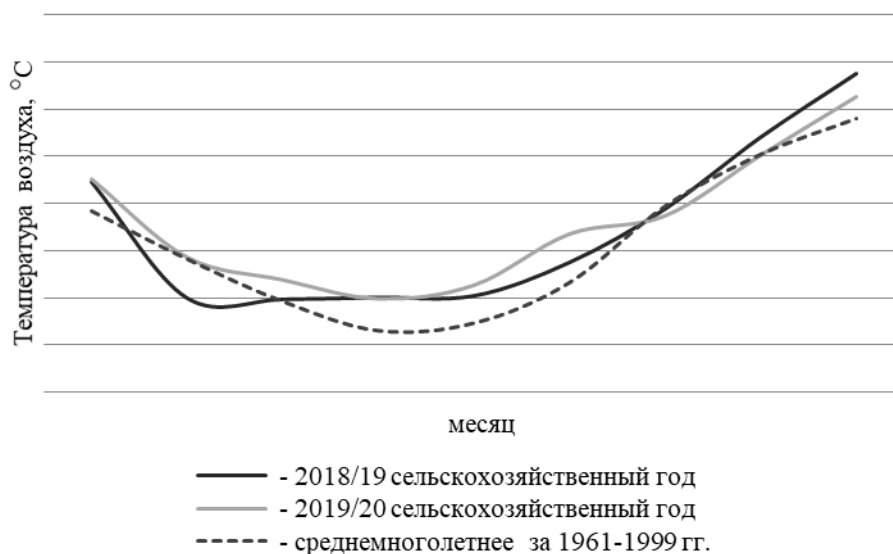
краснодарской, ставропольской и ростовской селекцией. Потенциал современных сортов пшеницы, внесенных в Государственный реестр селекционных достижений РФ с рекомендацией использования в Северо-Кавказском регионе, достигает 9–12 т/га, по качеству зерна – это сильные пшеницы, ценные и филлеры [2–5]. Наибольшее распространение из них на полях края получили пшеницы, формирующие ценное по качеству зерно [6]. Экологические факторы среды значительно влияют на физиологические и биохимические процессы, приводя к изменению реализации генетической информации, снижая качество хлеба и хлебопекарной продукции пшеницы [7]. По данным Центра оценки качества зерна доля продовольственной пшеницы в крае в среднем за 2008–2018 гг. составила 81,2 %, в том числе: 0,11 % второго класса, 27,8 % – третьего класса, 53,4 % – четвертого класса. По годам количество продовольственного зерна варьировало от 74,0 % (2016 г.) до 89,4 % (2017 г.), по второму, третьему и четвертому классам соответственно от 0 % до 0,24 %, от 18,0 % до 39,3 % и от 48,2 % до 63,4 %.

Таким образом, основное количество продовольственного зерна в крае представлено зерном четвертого класса, тогда как доля зерна второго и третьего классов небольшая. Полученные данные свидетельствуют о необходимости дальнейшей селекционной работы по улучшению сортов озимой мягкой пшеницы в направлении сочетания высокой урожайности и качества зерна с повышенной адаптацией к меняющимся факторам среды. Решение проблемы возможно за счет изучения и привлечения в селекцию новых генетических ресурсов [8, 9].

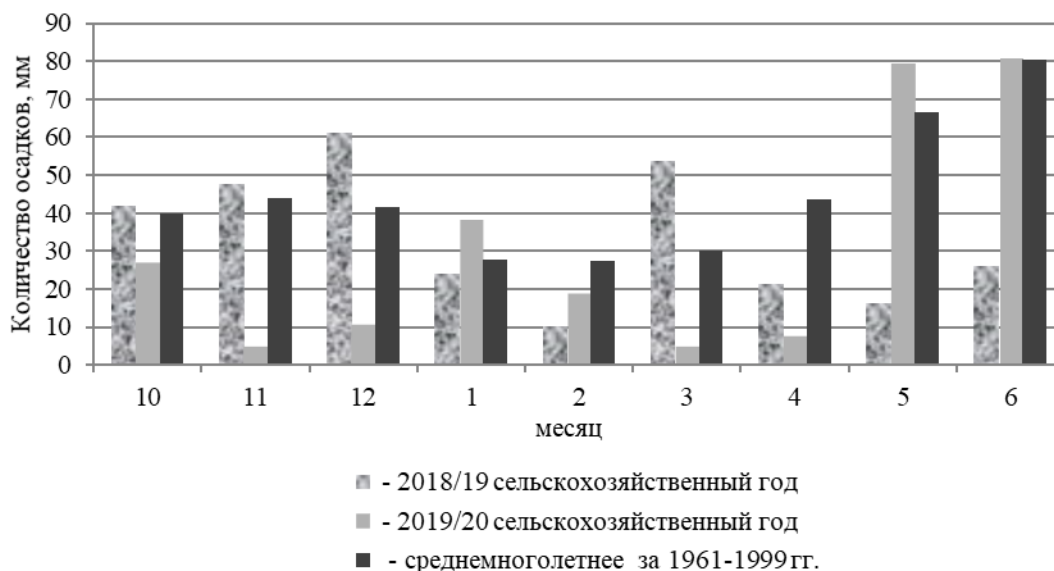
**Цель исследований** – оценка и отбор сортообразцов озимой мягкой пшеницы с высокими технологическими показателями качества зерна для дальнейшего использования в селекционном процессе.

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

Материалом для исследований послужили 10 сортообразцов мягкой озимой пшеницы мировой коллекции, выделенные по урожайности в коллекционном питомнике [10]. Исследования проводили в лаборатории качества зерна на образцах урожая 2019–2020 гг., выращенных в селекционно-семеноводческом севообороте ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Севооборот расположен в III зоне Ставропольского края, характеризующейся неустойчивым увлажнением. Количество осадков по многолетним наблюдениям составляет 559,6 мм, количество эффективных температур – 3177,2 °С, ГТК – 1,06. Условия выращивания сортообразцов для оценки на качество зерна значительно отличались от среднесезонных показателей (рисунки 1, 2). Среднемесячная температура в течение вегетационного периода была выше на 1,54 °С в 2018/2019 сельскохозяйственном году и на 2,20 °С в 2019/2020 сельскохозяйственном году. На фоне повышенных температур количество выпавших осадков в этот период по годам было меньше нормы соответственно на 101,9 мм и 130,4 мм. Снижение количества осадков и неравномерность их выпадения приводила к засухе в отдельные периоды. В 2018/2019 сельскохозяйственном году очень засушливым был период апрель–июнь, ГТК = 0,52 и октябрь–ноябрь, ГТК в октябре составил 0,69. В 2019/2020 сельскохозяйственном году недостаток влаги отмечен в марте и апреле, ГТК в апреле составил 0,34. В годы исследований наблюдали поздневесенние заморозки. В 2019 г. – 18, 19, 21 и 22 апреля до –1 °С, в 2020 г. – второго апреля до –2 °С, 8-го апреля до –3 °С.



**Рисунок 1 – Температурный режим вегетационного периода в годы исследований**



**Рисунок 2 – Влагообеспеченность вегетационного периода в годы исследований**

Посев сортообразцов проводили по чистому пару на черноземе обыкновенном среднесуглинистом среднемощном слабогумусированном. В пахотном слое которого содержится 4,3–4,5 % гумуса (ГОСТ 26213-91), 0,22 % общего азота (ГОСТ 26107-84), 19–22 мг/кг подвижного фосфора, 200–220 мг/кг калия (ГОСТ 26205-91). Перед посевом вносили сложные минеральные удобрения в дозе  $N_{40}P_{60}K_{40}$ , весной проводилась подкормка аммиачной селитрой в дозе 26 кг д.в./га, исходя из данных агрохимического анализа почвы.

Опыты закладывали ручной сеялкой РС-1, используя диск «сплошной посев», с нормой высева 400 семян на 1 м<sup>2</sup> в одной повторности на делянках площадью 1 м<sup>2</sup>, в качестве стандарта использовали сорт Айвина. Уборку урожая проводили вручную, обмолот снопов – на молотилке LD 350 (Австрия). Выделение навесок для анализа качества зерна проводили по ГОСТ 12036-85. Зерно сортообразцов оценивали по стекловидности, ГОСТ 10987-76, содержанию клейковины, ГОСТ 54478-2011 и белка, ГОСТ 10846-9, по числу падения, ГОСТ 30498-97,

седиментацию – по методике А.Я. Пумпянского [11]. Статистическую оценку результатов исследований проводили методом дисперсионного и корреляционного анализов по Б. А. Доспехову [12], с использованием надстройки AgCStat для Excel.

### Результаты и их обсуждение

Важнейшими показателями качества зерна, по которым оценивается перспективность сортообразца в селекции на качество, является стекловидность, количество клейковины и её качество, количество белка, седиментация, число падения.

Стекловидность зерна является сортовым признаком. Имеются сведения, что стекловидное зерно обладает более высокими мукомольными достоинствами [13, 14]. В нашем исследовании стекловидность по сортообразцам составила в 2019 г. 44,0–53,0 %, в 2020 г. – 30,5–50,0 %, у стандарта Айвина в эти же годы 56,0 и 48,0 % соответственно (таблица 1, 2). Наибольшие показатели стекловидности среди сортообразцов в 2019 г. отмечены у пшеницы Крыжинка (51,5 %) и Myrlena (53,0 %), в 2020 г. – у сорта Августа (50,0 %). Стабильно высокую стекловидность зерна выше 40 %, что соответствует третьему классу качества, в оба года показали пшеницы Августа, Престиж, Добрина, Крыжинка, Myrlena, Элегия, Sara и Sideral. В среднем за два года она составила у этих сортообразцов 45,5–50,0 %, у стандарта Айвина – 52,0 %.

Содержание клейковины в зерне зависело от условий года и генотипа. В 2019 г. все сортообразцы, в том числе и стандарт Айвина, имели высокое содержание клейковины (28,2–35,6 %), что соответствует сильной пшенице. Наибольшее её количество (35,6 %) получено у сортов Samanta и Элегия, у стандарта – 28,4 %. В 2020 г. отмечено снижение содержания клейковины в зерне по сравнению с 2019 г. У таких образцов как Sideral, Samanta, Августа, Крыжинка, Элегия, Charmanу и у стандарта Айвина. Самым низким оно оказалось у сортов Августа (22,9 %) и Крыжинка (24,2 %). В этом же году отмечено и некоторое повышение содержания клейковины у пшеницы Sara с 29,8 % до 34,6 % и у сортообразца Myrlena – с 28,5 % до 31,3 %.

**Таблица 1 – Показатели качества зерна сортообразцов мягкой озимой пшеницы, 2019 г.**

Сортообразец, страна происхождения	Общая стекловидность, %	Количество клейковины, %	Качество клейковины, е.п.	Количество белка, %	Седиментация, мл	Число падения, с
Августа, Россия	49,0	28,2	80,7	16,9	70	297
Престиж, Россия	48,5	32,2	79,9	18,4	81	325
Добрина, Украина	48,0	32,2	99,1	19,6	52	250
Крыжинка, Украина	51,5	30,6	92,1	18,0	56	253
Myrlena, Украина	53,0	28,5	90,1	16,7	70	240
Элегия, Украина	48,5	35,6	85,1	20,7	67	282
Sara, Сербия	47,0	29,8	87,7	17,4	52	242
Samanta, Чехия	49,0	35,6	82,9	20,8	65	280
Charmanу, США	45,0	33,1	87,1	19,5	51	283
Sideral, Франция	44,0	33,6	94,7	20,0	76	261
Айвина, St	56,0	28,4	82,1	16,7	50	398
НСР <sub>05</sub>	1,8	2,3	-	1,4	4	9

Качество клейковины у всех сортообразцов было второй группы как в 2019 г., так и в 2020 г.

Сортообразцы отличались высоким содержанием белка в зерне в оба года исследований – у сортообразцов в 2019 г. оно составило 16,7–20,8 %, в 2020 г. – 13,5–20,4 %.

**Таблица 2 – Показатели качества зерна сортообразцов мягкой озимой пшеницы, 2020 г.**

Сортообразец	Общая стекловидность, %	Количество клейковины, %	Качество клейковины, е.п.	Количество белка, %	Седиментация, мл	Число падения, с
Августа, Россия	50,0	22,9	81,8	13,5	47	294
Престиж, Россия	48,0	32,5	91,4	19,1	64	313
Добринка, Украина	46,0	32,3	94,2	19,0	40	273
Крыжинка, Украина	48,5	24,2	96,6	14,2	42	280
Муглена, Украина	45,0	31,3	99,8	18,4	55	223
Элегия, Украина	47,0	27,9	98,8	16,4	45	296
Sara, Сербия	44,0	34,6	102,0	20,4	45	202
Samanta, Чехия	31,5	29,1	84,2	17,1	45	282
Charmany, США	30,5	28,3	96,6	16,6	34	295
Sideral, Франция	48,5	27,5	85,0	16,2	49	292
Айвина, St.	48,0	26,9	93,0	15,8	43	371
НСР <sub>05</sub>	2,7	1,4	-	0,7	3	18

Лучшие результаты в 2019 г. отмечены у образцов: Samanta (20,8 %), Элегия (20,7 %), Sideral (20,0 %), в 2020 г. – у сортообразца Sara (20,4 %). Стандарт Айвина содержал 16,7 и 15,8 % белка соответственно по годам. Стабильно высокое содержание клейковины и белка в оба года показали пшеницы Престиж и Добринка. Количество клейковины соответственно по сортообразцам и годам составило 32,2 и 32,5 %; 32,2 и 32,3 %, количество белка – 18,4 и 19,1 %; 19,6 и 19,0 %.

Важнейшим показателем качества зерна является седиментация, позволяющая дать оценку генотипам даже при небольшом количестве зерна [11, 15]. В наших исследованиях показатели силы муки у всех сортообразцов урожая 2019 г. были выше по сравнению с 2020 г. и соответственно по годам составили 50–81 мл (только сильная пшеница) и 34–64 мл (от ценной до сильной). У сорта Престиж получены максимальные значения в оба года, что свидетельствует о возможности формировать зерно по силе характерное для пшеницы улучшителя. У стандарта Айвина – 50 и 43 мл. Корреляционная связь между седиментацией и содержанием клейковины была положительной значительной в оба года исследований ( $r = 0,63$ ).

Число падения показывает активность фермента  $\alpha$ -амилазы. Высокие значения числа падения свидетельствуют о меньшей его активности и большей устойчивости генотипов к прорастанию зерна на корню [16]. Изученные сортообразцы различались по этому показателю. Лучшие результаты в оба года показали сорт Престиж – 325 и 313 сек. и стандарт Айвина – 398 и 371 сек. Корреляционная связь между числом падения и седиментацией достаточно тесная ( $r = 0,73$ ).

#### Выводы

Изученные генотипы перспективны в селекции озимой мягкой пшеницы как источники высокого качества зерна.

Наибольшие показатели клейковины (28,2–35,6 %) и белка (16,7–20,8 %) в зерне отмечены у сортообразцов урожая 2019 г., в 2020 г. они составили 22,9–34,6 % и 13,5–20,4 %. Высокие показатели и стабильность по их содержанию в разные годы проявили пшеницы Престиж и Добринка. Количество клейковины соответственно по сортообразцам и годам составило 32,2 и 32,5 %; 32,2 и 32,3 %, количество белка –

18,4 и 19,1 %; 19,6 и 19,0 %. У стандарта Айвина в эти же годы 28,4 и 26,9 % клейковины; 16,7 и 15,8 % белка.

Показатели силы муки по сортообразцам урожая 2019 г. составили 50–81 мл (только сильная пшеница), урожая 2020 г. – 34–64 мл (от ценной пшеницы до сильной). У сорта Престиж получены максимальные значения седиментации в оба года, что свидетельствует о возможности формировать зерно по силе характерное для пшеницы улучшителя. Корреляционная связь между седиментацией и содержанием клейковины ( $r = 0,63$ ), между седиментацией и числом падения ( $r = 0,73$ ) была положительной значительной в оба года исследований.

### Литература

1. Статистический ежегодник. Ставропольский край. 2019: статистический сборник. Ставрополь: Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу, 2020. 124 с.
2. Сорта пшеницы и тритикале: каталог // Под ред. Беспалова Л. А., Романенко А. А., Кудряшов И. Н. [и др.]. Краснодар: ЭДВИ, 2020. 176 с.
3. Сорта и гибриды сельскохозяйственных культур ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Каталог // Под ред. Кулинцев В. В., Чумакова В. В., Володин А. Б. [и др.]. Ставрополь: Цех оперативной полиграфии ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», 2021. 196 с.
4. Характеристика сортов и гибридов ФГБНУ «АНЦ «Донской». Каталог. Воронеж: ООО «Издат-Черноземье», 2019. 134 с.
5. Сорта полевых культур: каталог // Под ред. Зинченко В. Е., Грабовец А. И., Фоменко М. А. [и др.]. Ростов-на-Дону: ООО «Издательство «Юг», 2019. 164 с.
6. Дубина В. В., Батагова Е. А., Мазницына О. Г., Фадеева О. Б., Немашкалова Е. С. Результаты работы Госсортсети Ставропольского края за 2018 год. Рекомендации производству. Ставрополь: Бюро новостей, 2018. 72 с.
7. Хлесткина Е. К., Журавлева Е. В., Пшеничникова Т. А., Усенко Н. И., Морозова Е. В., Осипова С. В., Пермякова М. Д., Афонников Д. А., Отмахова Ю. С. Реализация генетического потенциала сортов мягкой пшеницы под влиянием внешних условий среды: современные возможности улучшения качества хлеба и хлебопекарной продукции // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 501–514. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.501rus.
8. Митрофанова О. П., Хакимова А. Г. Новые генетические ресурсы в селекции пшеницы на увеличение содержания белка в зерне // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. № 20 (4). С. 545–554. DOI: 10.18699/VJ16.177.
9. Новосельская-Драгович А. Ю., Беспалова Л. А., Шишкина А. А., Мельник В. А., Упелник В. П., Фисенко А. В., Дедова Л. В., Кудрявцев А. М. Изучение генетического разнообразия сортов мягкой озимой пшеницы по глиадинокодирующим локусам // Генетика. 2015. Т. 51. № 3. С. 324–333. DOI: 10.7868/S0016675815030108.
10. Соколенко Н. И., Комаров Н. М. Адаптивные признаки сортообразцов озимой пшеницы мировой коллекции // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 4 (20). С. 111–116. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-4-20-111-116.
11. Показатель седиментации и его роль в экспертизе качества зерна: метод. указания // Сост.: Казарцева А. Т., Сокол Н. В., Влащик Л. Г. Краснодар: ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», 2010. 15 с.
12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.
13. Ионова Е. В., Кравченко Н. С., Игнатъева Н. Г., Васюшкина Н. Е., Олдырева И. М. Технологическая оценка зерна сортов и линий озимой пшеницы селекции ФГБНУ АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2017. № 6 (54). С. 16–21.
14. Галушко Н. А., Комаров Н. М., Соколенко Н. И. Качество зерна новых сортов мягкой озимой пшеницы селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2019. № 2 (51). С. 7–15. DOI: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-7-14.
15. Нецветаев В. П., Лютенко О. В., Пащенко Л. С., Попкова И. И. Оценка качества зерна мягкой пшеницы SDS-седиментацией // Сельскохозяйственная биология. 2010. № 3. С. 63–70.
16. Крупнов В. А., Крупнова О. В. Подходы по улучшению качества зерна пшеницы: селекция на число падения // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015. Т. 19. № 5. С. 604–612. DOI: 10.18699/VJ15.077.

## References

1. Statistical Yearbook. Stavropol Territory. 2019: statistical book. Stavropol: Department of the Federal State Statistics Service for the North Caucasus Federal District, 2020. 124 p.
2. Varieties of wheat and triticale: catalog // Ed. by Bespalova L. A., Romanenko A. A., Kudryashov I. N. [et al.]. Krasnodar: EDVI, 2020. 176 p.
3. Varieties and hybrids of agricultural crops of the North-Caucasian Federal Research Center. Catalog // Ed. by Kulintsev V. V., Chumakova V. V., Volodin A. B. [et al.]. Stavropol: Operational printing workshop of the FSBSI "North-Caucasian Federal Research Center", 2021. 196 p.
4. Characteristics of varieties and hybrids of the State Scientific Establishment "Agricultural research center "Donskoy" Catalog. Voronezh: "Izdat-Chernozemye OOO" (Limited Liability Company), 2019. 134 p.
5. Varieties of field crops: catalog // Ed. by Zinchenko V. E., Grabovets A. I., Fomenko M. A. [et al.]. Rostov-on-Don: "Izdatelstvo "Yug" OOO" (Limited Liability Company), 2019. 164 p.
6. Dubina V. V., Batagova E. A., Maznitsyna O. G., Fadeeva O. B., Nemashkalova E. S. Results of the State Commission for Selection Achievements of the Stavropol Territory for 2018. Recommendations for production. Stavropol: Byuro novostey, 2018. 72 p.
7. Khlestkina E. K., Zhuravleva E. V., Pshenichnikova T. A., Usenko N. I., Morozova E. V., Osipova S. V., Permyakova M. D., Afonnikov D. A., Otmakhova Yu. S. Modern opportunities for improving quality of bakery products via realizing the bread wheat genetic potential-by-environment interactions (review) // Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2017. Vol. 52. No. 3. P. 501–514. DOI: 10.15389/agrobiologiya.2017.3.501rus.
8. Mitrofanova O. P., Khakimova A. G. New genetic resources in wheat breeding for an increased grain protein content // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2016. No. 20 (4). P. 545–554. DOI: 10.18699/VJ16.177.
9. Novoselskaya-Dragovich A. Yu., Bespalova L. A., Shishkin A. A., Melnik V. A., Upelniak V. P., Fisenko A. V., Dedov L. V., Kudryavtsev A. M. Genetic diversity of common wheat varieties at the gliadin-coding loci // Genetika. 2015. Vol. 51. No. 3. P. 324–333. DOI: 10.7868/S0016675815030108.
10. Sokolenko N. I., Komarov N. M. Adaptive features of winter wheat varieties of the world collection // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2019. No. 4 (20). P. 111–116. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-4-20-111-116.
11. Sedimentation index and its role in grain quality assessment: method. instructions // Ed. by Kazartseva A. T., Sokol N. V., Vlaschik L. G. Krasnodar: FSEI of HPE "Kuban State Agrarian University", 2010. 15 p.
12. Dospikhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alliance, 2014. 351 p.
13. Ionova E. V., Kravchenko N. S., Ignatieva N. G., Vasyushkina N. E., Oldyreva I. M. Technological assessment of varieties and lines of winter soft wheat developed by the FSBSI ARC "Donskoy" // Grain Economy of Russia. 2017. No. 6 (54). P. 16–21.
14. Galushko N. A., Komarov N. M., Sokolenko N. I. Grain quality of new winter wheat varieties breeding by North-Caucasus Research Agricultural Center // Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2019. No. 2 (51). P. 7–15. DOI: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-7-14.
15. Netsvetaev V. P., Lyutenko O. V., Pashchenko L. S., Popkova I. I. Estimation of grain quality in soft wheat variants by SDS-sedimentation // Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2010. No. 3. P. 63–70.
16. Krupnov V. A., Krupnova O. V. Approaches to improve wheat grain quality: breeding for falling number // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2015. No. 19 (5). P. 604–612. DOI: 10.18699/VJ15.077.

UDC 633.111 «324»:631.524.7/.527

Sokolenko N. I., Galushko N. A., Komarov N. M.

### SOURCES OF HIGH-QUALITY GRAIN IN WINTER COMMON WHEAT BREEDING

**Summary.** *Research on improving winter common wheat varieties in the context of combining high yield and grain quality is relevant. The research aimed to evaluate and select variety samples of winter common wheat with high technological indicators of grain quality for breeding purposes. In this study, we analyzed grain from 10 variety samples of the world collection; winter wheat grain of variety 'Aivina' served as a standard. Soil – ordinary medium-loamy medium-thick low-humus chernozem. Wheat was grown on the*

*experimental fields of the North Caucasus FARC in the zone with unstable moistening on bare fallow. Grain vitreousness percentage in 2019 ranged between 44.0 and 53.0 %, in 2020 – 30.5–50.0 %. In the same years, this indicator for variety-standard ‘Aivina’ was 56.0 and 48.0 %, respectively. The gluten content in the grain depended on the weather conditions and genotype. Grain of all varieties harvested in 2019, including standard ‘Aivina’, had a high gluten content (28.2–35.6 %) and corresponded to strong wheat. In 2020, the situation was absolutely different. The amount of gluten in the grain of variety samples harvested in 2020 ranged between 22.9 and 34.6 %; for ‘Aivina’, this indicator reached 26.9 %. The gluten quality in all variety samples during the years of research was typical for class 2. The variety samples were characterized by a high protein content in the grain – 16.7–20.8 % and 13.5–20.4 %; the same indicator for ‘Aivina’ was 16.7 and 15.8 %. Sedimentation rate in the variety samples was 50–81 ml and 34–64 ml; in ‘Aivina’ – 50 and 43 ml. Maximum sedimentation values were noted for the variety ‘Prestizh’. It indicates the ability to form grain, the strength of which is typical for wheat-improver. The correlation between sedimentation and gluten content ( $r = 0.63$ ), as well as between sedimentation and the falling number ( $r = 0.73$ ), was positive and significant during the years of research. All studied genotypes are promising for breeding new wheat varieties as sources for obtaining high-quality grain.*

**Keywords:** winter wheat (*Triticum aestivum* L.), variety sample, selection, grain, trait, quality, protein, gluten.

Соколенко Нина Ивановна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории отдаленной гибридизации ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Ставропольский край, Шпаковский район, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: sokolenko-sniish@mail.ru.

Галушко Наталья Алексеевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории качества зерна ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Ставропольский край, Шпаковский район, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: natasotka@mail.ru.

Комаров Николай Михайлович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории отдаленной гибридизации ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Ставропольский край, Шпаковский район, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: nickkomaroff@mail.ru.

Sokolenko Nina Ivanovna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher of the Laboratory of distant hybridization, FSBSI “North Caucasus Federal Agricultural Research Centre”; 49, Nikonov str., Mikhaylovsk, Shpakovskiy district, Stavropol Territory, 356241, Russia; e-mail: sokolenko-sniish@mail.ru.

Galushko Natalia Alekseevna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher of the Laboratory of grain quality, FSBSI “North Caucasus Federal Agricultural Research Centre”; 49, Nikonov str., Mikhaylovsk, Shpakovskiy district, Stavropol Territory, 356241, Russia; e-mail: natasotka@mail.ru.

Komarov Nikolay Mikhailovich, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher of the Laboratory of distant hybridization, FSBSI “North Caucasus Federal Agricultural Research Centre”; 49, Nikonov str., Mikhaylovsk, Shpakovskiy district, Stavropol Territory, 356241, Russia; e-mail: nickkomaroff@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 28.05.2021.*

*Дата принятия к печати – 15.08.2021.*

Филиппов Е. Г., Брагин Р. Н., Донцова А. А., Донцов Д. П.  
**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ  
СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ**

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»

**Реферат.** Селекция ярового ячменя в Ростовской области направлена на создание скороспелых, засухоустойчивых, стабильно высокоурожайных сортов с хорошими технологическими качествами зерна. Основное влияние на урожайность оказывают хозяйственно-биологические параметры сорта и условия внешней среды в зоне выращивания. Цель исследований – провести сравнительную оценку сортов ярового ячменя по показательным параметрам экологической пластичности и стабильности урожайности к изменениям условий среды. В 2018–2020 гг. проводили исследования по оценке экологической пластичности и стабильности 18 сортов ярового ячменя российской и зарубежной селекции в экологическом сортоиспытании. Опыт проводили в трехкратной повторности с площадью делянки 10 м<sup>2</sup>. Почвенный покров опытного участка был представлен черноземом обыкновенного подтипа с содержанием гумуса в пахотном слое – 3,0–3,5 %, рН = 7,0–7,1. Содержание фосфора – 15–20 мг/кг почвы, обменного калия – 300–500 мг/кг. Оценку влияния на экологическую пластичность и стабильность сортов осуществляли по методикам S.A. Eberhart, W.A. Russell в редакции В. А. Зыкина (2005). По методике В. В. Хангильдина и Н. А. Литвиненко (1981) проводился расчет показателей гомеостатичности и селекционной ценности. За годы исследований на формирование урожайности оказали влияние факторы «сорт» – 66,1 % и «год» – 31,7 %. Индекс условий среды показал, что более благоприятные условия выращивания сложились в 2020 г. ( $I_j = +0,23$ ), а относительно неблагоприятные – в 2018 г. ( $I_j = -0,19$ ). Наибольшая урожайность отмечена у сортов Формат (4,9 т/га), Федос (4,8 т/га) и Грис (4,8 т/га). В сумме по комплексу параметров адаптивности выделился сорт Формат, обладающий селекционной ценностью ( $Sc = 4,6$ ), стрессоустойчивостью ( $Y_{min}-Y_{max} = -0,3$ ), высокой стабильной продуктивностью, а также высоким показателем гомеостатичности ( $Hom. = 531$ ) и низким значением коэффициента вариации ( $C_v = 3,1$  %).

**Ключевые слова:** экологическая пластичность, стабильность, *Hordeum sativum* L., яровой ячмень, урожайность, сорт.

**Для цитирования:** Филиппов Е. Г., Брагин Р. Н., Донцова А. А., Донцов Д. П. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов ярового ячменя // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 172–179. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-172-179.

**For citation:** Filippov E. G., Bragin R. N., Dontsova A. A., Dontsov D. P. Assessment of ecological plasticity and stability of spring barley // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 172–179. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-172-179.

### Введение

В Ростовской области на долю ячменя за последние годы приходится более 350 тыс. га посевных площадей. Основная масса получаемого зерна ячменя (более 65 %) используется в создании комбикормов и в кормовых целях, поскольку зерно ячменя отличается большей по сравнению с пшеницей сбалансированностью белка по составу важных аминокислот. Стоит также отметить, что около 15 % получаемого зерна ячменя уходит на пищевые нужды и около 8 % в пивоваренном производстве [1–3].



В зерне ячменя содержится 10–12 % сырого протеина, 2,0–2,2 % жира, 4,5–6,0 % клетчатки, 60–66 % безазотистых экстрактивных веществ, 2,8–3,5 % золы, а питательная ценность ячменя составляет около 311 ккал в 100 г.

Основная ценность зерна ячменя заключается в содержании белка в зерне, количество и качество которого зависит не только от конкретного сорта, но и от условий внешней среды в период его вегетации. Поэтому зерно ячменя является одним из главных компонентов в рекомендуемых комбикормах, позволяя значительно повысить продуктивность сельскохозяйственных животных.

В пищевой продукции перловая и ячневая крупы отличаются от круп из других зерновых культур более высоким содержанием клетчатки. Их обычно используют в диетах при ожирении, в качестве слизистых и протертых супов [4, 5].

Набольшую часть площадей, занятых под посевами ячменя в Ростовской области, занимают сорта местной селекции, обладающие высокой урожайностью, хорошими кормовыми достоинствами и устойчивостью к засухе [6]. Для Ростовской области характерен резко континентальный климат, с сильными и почти постоянными юго-восточными ветрами, засухой и суховеями, что вызывает определенные трудности в получении высоких и стабильных урожаев зерна ячменя. Поэтому большое значение имеет создание и последующее внедрение в производство сортов, более приспособленных к изменчивым погодным условиям, а также в максимальной степени отвечающих требованиям современного производства, что является основным направлением селекционной работы ФГБНУ «Аграрный Научный Центр «Донской» [7].

**Цель исследований** – провести сравнительную оценку сортов ярового ячменя по показательным параметрам экологической пластичности и стабильности урожайности к изменениям условий среды.

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

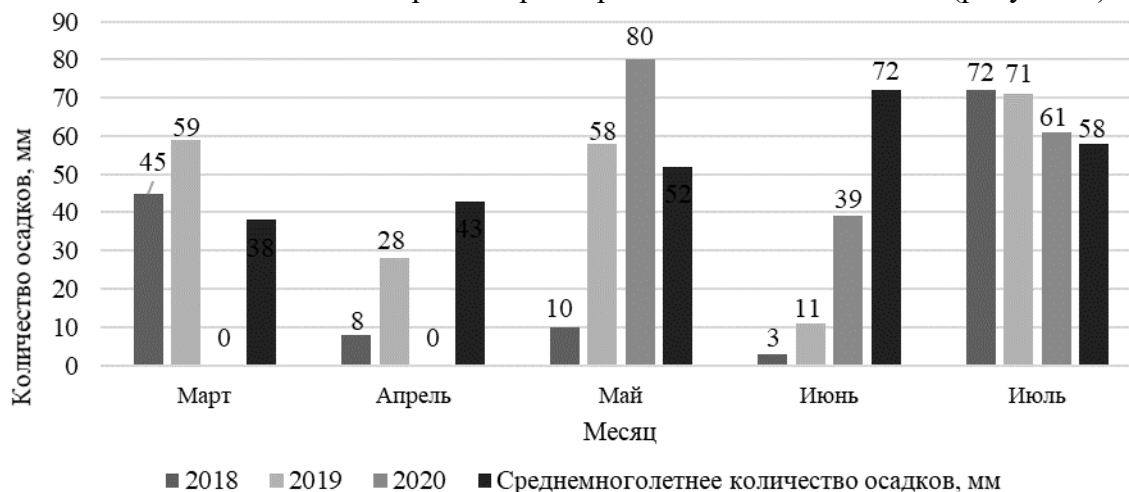
Исследования проводили на полях научного севооборота отдела селекции и семеноводства ячменя ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2018–2020 гг. по предшественнику подсолнечник. Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенного подтипа с высоким содержанием гумуса в пахотном слое – 3,0–3,5 % (по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26213-91), при рН почвы 7,0–7,1 (потенциометрический метод, ГОСТ 32169-2013). Содержание фосфора варьировало в пределах 15–20 мг/кг почвы ( $P_2O_5$ , по методу Б. П. Мачигина в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26205-91), азота – 70–110 мг/кг (ГОСТ 26107-84), обменного калия – 300–500 мг/кг ( $K_2O$ , по методу Б. П. Мачигина в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26205-91). Объектом исследований являлись 18 сортов ярового ячменя различного эколого-географического происхождения: зарубежная селекция (Германия – три сорта, Украина – два сорта) и отечественная селекция (ФГБНУ «АНЦ «Донской» – 10 сортов, ФГБНУ НЦЗ им. П. П. Лукьяненко – три сорта). Учетная площадь делянки 10 м<sup>2</sup>. Опыт проводили в трехкратной повторности. Норма высева – 500 всхожих зерен на 1 м<sup>2</sup>. Стандартный сорт Ратник («АНЦ «Донской», РФ) высевался через 10 номеров [8].

Математическую обработку результатов исследований проводили по методике Б. А. Доспехова [9].

Оценку экологической пластичности и стабильности и расчет теоретической урожайности для определения коэффициента стабильности проводили по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell в редакции В. А. Зыкина [10], показатели гомеостатичности (Hom.) и селекционной ценности (Sc) – по методике В. В. Хангильдина и Н. А. Литвиненко [11]; показатель стрессоустойчивости ( $Y_{min}-Y_{max}$ ) и генетической гибкости ( $(Y_{max}+Y_{min})/2$ ) по уравнениям A. A. Rosielle, J. Hamblin в изложении А. А. Гончаренко [12].

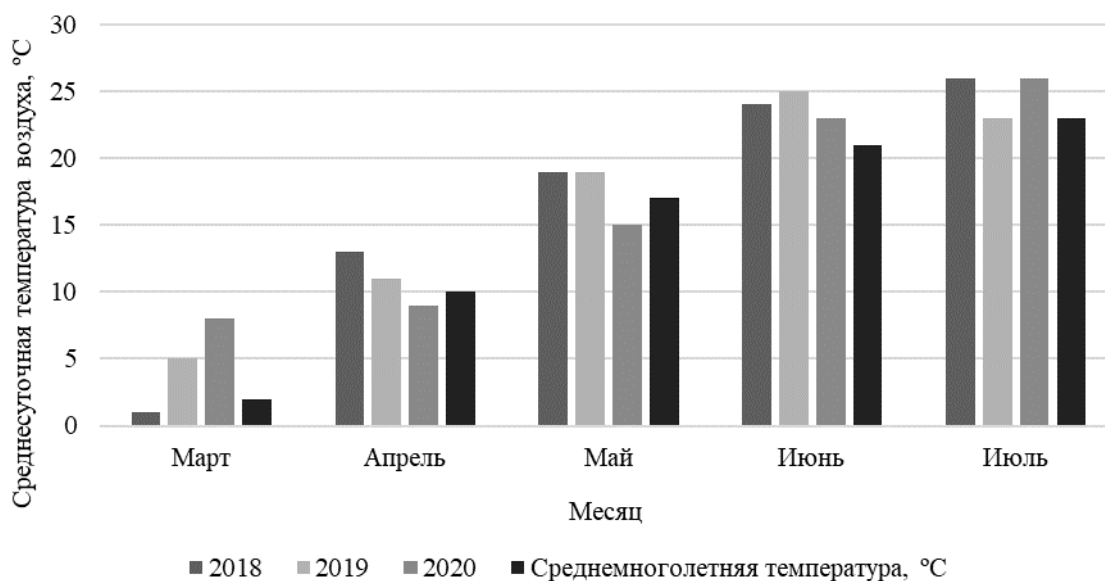
За годы исследований наблюдали варьирование погодных условий по сравнению со средними многолетними данными, что повлияло на формирование урожайности и позволило более полно оценить показатели адаптивности, а также выделить лучшие сорта ярового ячменя.

В 2018 г. наблюдали низкую влагообеспеченность в период с апреля по июнь, что вместе с повышенной температурой по сравнению со среднемноголетними данными, повлияло на формирование урожайности ярового ячменя. В 2019 г. происходило чередование незначительного повышения влагообеспеченности в течение марта и понижение в период апрель–июнь. В 2020 г. низкая влагообеспеченность была в период март–апрель и повышенная в мае (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Среднемесячное количество осадков, мм (метеостанция Зерноград, 2018–2020 гг.)**

Среднесуточная температура воздуха в 2018–2019 гг. незначительно превышала или находилась на уровне среднемноголетних данных. В марте 2020 г. среднесуточная температура воздуха превышала среднемноголетнюю температуру на 6 °С, в остальные месяцы находилась на уровне среднемноголетней (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Среднемесячная температура воздуха (метеостанция Зерноград, 2018–2020 гг.)**

Необходимо отметить, что после проведения исследований более благоприятные условия выращивания сложились в 2020 г. ( $I_j = +0,23$ ), а неблагоприятные в 2018 ( $I_j = -0,19$ ) и в 2019 гг. ( $I_j = -0,04$ ).

### Результаты и их обсуждение

За годы исследований урожайность ярового ячменя варьировала от 3,2 т/га у сорта Маруся до 5,1 т/га у сортов Формат и Грис (таблица 1).

**Таблица 1 – Урожайность сортов ярового ячменя (2018–2020 гг.)**

Сорт	Происхождение	Год			Средняя урожайность, т/га
		2018	2019	2020	
Ратник (St.)	Россия	4,2	4,3	4,7	4,4
Приазовский 9	Россия	4,0	4,6	4,8	4,5
Щедрый	Россия	4,5	4,9	4,8	4,7
Леон	Россия	4,4	4,7	4,8	4,6
Новик	Россия	3,7	3,7	4,1	3,8
Грис	Россия	4,5	4,8	5,1	4,8
Федос	Россия	4,6	4,9	5,0	4,8
Формат	Россия	4,9	4,8	5,1	4,9
Тимофей	Россия	3,9	3,8	4,2	4,0
Маруся	Россия	3,6	3,2	3,9	3,6
Магнит	Россия	4,2	4,6	4,7	4,5
Богатырь	Россия	4,3	4,4	4,9	4,5
Краснояружский 6	Россия	4,3	4,5	4,5	4,4
Прерия	Украина	4,0	4,0	4,4	4,2
Вакула	Украина	4,3	4,6	4,5	4,4
Marget	Германия	4,3	4,3	4,9	4,5
Саншайн	Германия	4,0	4,3	4,4	4,2
Грейс	Германия	4,3	4,4	4,9	4,5
НСР <sub>05</sub>		0,3	0,5	0,3	
$I_j$		-0,19	-0,04	+0,23	
Средняя урожайность за год		4,2	4,4	4,6	

В 2018 г. максимальная урожайность отмечена у сортов Формат (4,9 т/га) и Федос (4,6 т/га) при значении урожайности у стандартного сорта Ратник – 4,2 т/га. В 2019 г. выделились сорта Федос (4,9 т/га), Щедрый (4,9 т/га), Формат (4,8 т/га) и Грис (4,8 т/га) (Ратник – 4,3 т/га). В 2020 г. отмечалась наибольшая урожайность за годы исследований. Наиболее урожайными сортами за данный год исследований стали: Грис (5,1 т/га), Формат (5,1 т/га) и Федос (5,0 т/га), при значении у стандартного сорта Ратник – 4,7 т/га.

Установлено, что доминирующее влияние на формирование урожайности оказал фактор «сорт» – 66,1 %, что обуславливается разнообразием изучаемых в опыте выращиваемых сортов. На фактор «год» приходится 31,7 %, а взаимодействие факторов «год × сорт» – 2,2 %.

Основное значение экологически пластичных сортов выражается в способности стабильно формировать высокую продуктивность при различных погодных и агротехнических условиях. Для расчета экологической пластичности использовался коэффициент линейной регрессии ( $b_i$ ), который варьировал в пределах от  $b_i = 0,21$  до  $b_i = 1,69$ , что позволило разделить сорта по категориям: от слабо отзывчивых ( $b_i < 1$ ) до более отзывчивых ( $b_i > 1$ ) на изменение условий среды. Высокая отзывчивость на изменение условий выращивания была отмечена у сортов Приазовский 9 ( $b_i = 1,69$ ), Marget ( $b_i = 1,60$ ) и Богатырь ( $b_i = 1,49$ ). Слабая реакция на изменения условий выращивания отмечалась у сортов Щедрый ( $b_i = 0,21$ ), Вакула ( $b_i = 0,31$ ), Краснояружский 6 ( $b_i = 0,34$ ) и Формат ( $b_i = 0,47$ ). При значении коэффициента

линейной регрессии близком к единице у исследуемых сортов наблюдалась закономерность полного соответствия изменения урожайности к изменению условий выращивания: Саншайн ( $b_i = 0,98$ ), Новик ( $b_i = 1,02$ ), Магнит ( $b_i = 1,02$ ), Маруся ( $b_i = 1,03$ ), то есть это самые пластичные сорта (таблица 2).

Таблица 2 – Параметры адаптивности сортов ярового ячменя (2018–2020 гг.)

Сорт	Средняя урожайность, т/га	$b_i$	$\sigma^2d$	$C_v, \%$	Ном	Sc	$(Y_{\min} - Y_{\max})$	$(Y_{\max} + Y_{\min})/2$
Ратник (St.)	4,4	1,25	0,01	6,0	146	3,9	-0,5	4,5
Приазовский 9	4,5	1,69	0,08	9,3	60	3,7	-0,8	4,4
Щедрый	4,7	0,21	0,04	3,2	1467	4,3	-0,4	4,7
Леон	4,6	0,95	0,03	4,5	258	4,2	-0,4	4,6
Новик	3,8	1,02	0,01	6,0	159	3,5	-0,4	3,9
Грис	4,8	1,24	0,01	6,2	128	4,2	-0,5	4,8
Федос	4,8	0,89	0,02	4,3	281	4,4	-0,4	4,8
Формат	4,9	0,47	0,02	3,1	531	4,6	-0,3	5,0
Тимофей	4,0	0,89	0,03	5,2	189	3,6	-0,4	4,0
Маруся	3,6	1,03	0,20	9,8	52	2,9	-0,7	3,6
Магнит	4,5	1,02	0,03	5,6	171	4,0	-0,5	4,5
Богатырь	4,5	1,49	0,01	7,1	107	4,0	-0,6	4,6
Краснояружский 6	4,4	0,34	0,01	2,6	851	4,2	-0,2	4,4
Прерия	4,2	1,09	0,01	5,6	185	3,8	-0,4	4,2
Вакула	4,4	0,31	0,03	3,4	792	4,2	-0,2	4,4
Maiget	4,5	1,60	0,03	7,7	97	3,9	-0,6	4,6
Саншайн	4,2	0,98	0,01	4,9	215	3,8	-0,4	4,2
Грейс	4,5	1,50	0,02	7,1	107	4,0	-0,6	4,6

**Примечание.**  $b_i$  – коэффициент линейной регрессии;  $\sigma^2d$  – среднее квадратическое отклонение;  $C_v, \%$  – коэффициент вариации; Ном – показатель гомеостатичности; Sc – показатель селекционной ценности;  $(Y_{\min} - Y_{\max})$  – показатель стрессоустойчивости сорта;  $(Y_{\max} + Y_{\min})/2$  – компенсаторная способность.

Связь показателей гомеостатичности и коэффициента вариации демонстрировала устойчивость признака в изменяющихся условиях среды (стабильность) при дополнении данных среднее квадратическое отклонение. К сортам с высокими показателями гомеостатичности и низкими значениями коэффициента вариации и среднее квадратическое отклонение относились: Щедрый, Краснояружский 6, Вакула и Формат.

Одним из значимых параметров оценки сорта является селекционная ценность генотипа (Sc). Сорта Формат и Федос отличались высокой селекционной ценностью ( $Sc = 4,6$  и  $4,4$  соответственно), что указывает на устойчиво стабильный урожай.

При определении адаптивности и экологической пластичности важное значение уделяется показателю стрессоустойчивости сортов. Стрессоустойчивость выражается в числовой разности между минимальной и максимальной урожайностью. Чем меньше данный показатель между min и max урожайностью, тем более высокая стрессоустойчивость у изучаемого сорта по данному признаку и тем шире возможный диапазон для его использования. Наиболее высокие значения стрессоустойчивости были отмечены у сортов Краснояружский 6, Вакула, Формат.

Для определения гибкости изучаемых сортов использовали показатель  $(Y_{\max} + Y_{\min})/2$ , который отображает среднюю урожайность сорта в контрастных (стрессовых и не стрессовых) условиях за годы исследования. Высокая степень соответствия между генотипом сорта и факторами среды подтверждается высокими значениями данного параметра. В результате проведенной оценки к генетически гибким генотипам относились сорта Формат, Грис и Федос.

### Выводы

Проведенная оценка экологической пластичности изучаемых сортов позволила распределить их по уровню адаптивности к изменяющимся факторам внешней среды. Высокая средняя урожайность получена у сортов Формат (4,9 т/га), Федос (4,8 т/га) и Грис (4,8 т/га). Наибольшую отзывчивость на изменение условий показали сорта Приазовский 9 ( $b_i = 1,69$ ), Marget ( $b_i = 1,60$ ) и Богатырь ( $b_i = 1,49$ ), при этом слабая отзывчивость отмечена у сортов Щедрый ( $b_i = 0,21$ ), Вакула ( $b_i = 0,31$ ), Краснояружский 6 ( $b_i = 0,34$ ) и Формат ( $b_i = 0,47$ ). Высокие показатели по признаку гомеостатичности и низкие значения коэффициента вариации преобладали у сортов Щедрый ( $Hom = 1467$ ,  $C_v = 3,2\%$ ), Краснояружский 6 ( $Hom = 851$ ,  $C_v = 2,6\%$ ), Вакула ( $Hom = 792$ ,  $C_v = 3,4\%$ ) и Формат ( $Hom = 531$ ,  $C_v = 3,1\%$ ). Наибольшая селекционная ценность отмечалась сорта Формат ( $Sc = 4,6$ ) и Федос ( $Sc = 4,4$ ). В сумме по комплексу параметров адаптивности выделился сорт Формат, обладающий селекционной ценностью, стрессоустойчивостью, высокой стабильной продуктивностью, а также высоким показателем гомеостатичности и низким значением коэффициента вариации.

### Литература

1. Посевные площади по культурам в 2020 году, лидеры по приросту и сокращению. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://agrovesti.net/lib/industries/posevnye-ploshchadi-po-kul-turam-v-2020-godu-lidery-po-prirostu-i-sokrashcheniyu.html> (дата обращения: 10.03.2021).
2. Николаев П. Н., Юсова О. А. Стрессоустойчивость сортов ярового ячменя омской селекции в условиях Западной Сибири // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 4 (24). С. 135–142. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-135-142.
3. Самофалова Н. Е., Скрипка О. В., Марченко Д. М., Филиппов Е. Г., Донцова А. А., Краснова Е. В., Кривошеев Г. Я., Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Игнатъев С. А. Характеристика сортов и гибридов ФГБНУ «АНЦ «Донской». Каталог. Воронеж: ООО «Издательство – Черноземье», 2019. 134 с.
4. Юсова О. А., Николаев П. Н., Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Адаптивность сортов ячменя по признаку «масса 1000 зерен» в условиях лесостепи Омской области // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 2. С. 24–28. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10105.
5. Гудзенко В. Н. Статистическая и графическая (GGE biplot) оценка адаптивной способности и стабильности селекционных линий ячменя озимого // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23(1). С. 110–118. DOI: 10.18699/VJ19.469.
6. Турина Е. Л., Прахова Т. Я., Турин Е. Н., Зубоченко А. А., Прахов В. А. Оценка сортообразцов рыжика озимого (*Camelina sylvestris* Waller ssp. *pilosa* Zing.) по экологической адаптивности // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. № 3. С. 564–572. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.564rus.
7. Солонечный П. Н. АММИ и GGE biplot анализ взаимодействия генотип–среда линий ячменя ярового // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. № 21(6). С. 657–662. DOI: 10.18699/VJ17.283.
8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. М.: Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур, 1989. 250 с.
9. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2014. 351 с.
10. Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Уфа: БашГАУ, 2005. 100 с.
11. Хангильдин В. В., Литвиненко Н. А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // Научно-технический бюллетень ВСГИ. 1981. № 1. С. 8–14.
12. Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник РАСХН. 2005. № 6. С. 49–53.

### References

1. Acreage by crop in 2020, leaders in growth and reduction. [Electronic resource]. Access point: <https://agrovesti.net/lib/industries/posevnye-ploshchadi-po-kul-turam-v-2020-godu-lidery-po-prirostu-i-sokrashcheniyu.html> (reference's date 10.03.2021).
2. Nikolaev P. N., Yusova O. A. Resistance of spring barley varieties bred by the Omsk Agrarian Scientific Center to stress under conditions of Western Siberia // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 4 (24). P. 135–142. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-135-142.

3. Samofalova N. E., Skripka O. V., Marchenko D. M., Filippov E. G., Dontsova A. A., Krasnova E. V., Krivosheev G. Ya., Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Ignatiev S. A. Characteristics of varieties and hybrids of SSE «ARC «Donskoy» // catalog. Voronezh: "Publishing House-Chernozemye OOO" (Limited Liability Company). 2019. 134 p.
4. Yusova O. A., Nikolaev P. N., Aniskov N. I., Safonova I. V. Adaptability of barley varieties by the weight of 1000 grains under forest-steppe conditions of the Omsk region // Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex. 2020. Vol. 34. No. 2. P. 24–28. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10105.
5. Gudzenko V. N. Statistical and graphical (GGE biplot) evaluation of the adaptive ability and stability of winter barley breeding lines // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019. No. 23(1). P. 110–118. DOI: 10.18699/VJ19.469.
6. Turina E. L., Prakhova T. Ya., Turin E. N., Zubochenco A. A., Prakhov V. A. Evaluation of winter camelina (*Camelina sylvestris* Waller ssp. *pilosa* Zing.) cultivars for environmental adaptability // Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2020. Vol. (55). No. 3. P. 564–572. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.564rus.
7. Solonechnyi P. N. AMMI and GGE biplot analyses of genotype-environment interaction in spring barley lines // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017. Vol. 21(6). No. 657–662. DOI: 10.18699/VJ17.283.
8. Methodology of state variety testing of agricultural crops. Iss. 2. Moscow: State Commission for variety testing of agricultural crops, 1989. 250 p.
9. Dospekhov B. A. Methods of fields research. Moscow: Alliance, 2014. 351 p.
10. Zykin V. A., Belan I. A., Yusov V. S. Methodology for calculating and estimation parameters of ecological plasticity of agricultural plants. Ufa: BashSAU, 2005. 100 p.
11. Khangildin V.V., Litvinenko N.A. Homeostaticity and adaptability of winter wheat varieties // Nauchno-tekhnicheskii Byulleten Vsesoyuznogo selektsionno-geneticheskogo instituta. 1981. No. 1. P. 8–14.
12. Goncharenko A. A. On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties // Vestnik of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2005. No. 6. P. 49–53.

UDC 633.161:631.52

Filippov E. G., Bragin R. N., Dontsova A. A., Dontsov D. P.

### ASSESSMENT OF ECOLOGICAL PLASTICITY AND STABILITY OF SPRING BARLEY

**Summary.** *Spring barley breeding in the Rostov region is aimed at developing early maturing, drought-resistant, high-yielding varieties with good technological qualities of grain. Productivity is mainly affected by the economic and biological parameters of the variety and the environmental conditions in the growing area. The purpose of the research is to conduct a comparative assessment of spring barley varieties by indicative parameters of ecological plasticity and yield stability to changes in environmental conditions. In 2018-2020, for a targeted study of this impact, trials with 18 spring barley varieties of Russian and foreign breeding to estimate their ecological adaptability and stability were carried out. Square of the plot – 10 m<sup>2</sup>; experiment was replicated thrice. Soil – chernozem ordinary with humus content in the arable layer at the level of 3.0–3.5%, pH = 7.0–7.1. Phosphorus content – 15–20 mg/kg of soil, exchangeable potassium – 300–500 mg/kg. The estimation of the effect on the ecological plasticity and stability of varieties was carried out according to the method of S.A. Eberhart, W.A. Russell edited by V.A. Zykin (2005). Indicators of homeostaticity and breeding value were calculated according to the V.V. Khangildin and N.A. Litvinenko method (1981). Over the years of research, the productivity formation was mainly influenced by the factors 'variety' (66.1%) and 'year' (31.7%). The environmental conditions index showed that more favorable growing conditions were in 2020 ( $I_j = +0.23$ ); in 2018, on the contrary, they were relatively unfavorable ( $I_j = -0.19$ ). As a result of the three-year analysis, the highest productivity was identified in the varieties 'Format' (4,9 t/ha), 'Fedos' (4,8 t/ha) and 'Gris' (4,8 t/ha). In general, according to the complex of adaptivity parameters, 'Format' variety was distinguished. It has high indicators of breeding value ( $Sc = 4.6$ ), stress resistance ( $Y_{min}-Y_{max} = -0.3$ ), high stable productivity, as well as a high homeostatic index ( $Hom = 531$ ) and a low coefficient of variation ( $V = 3.1\%$ ).*

**Keywords:** *ecological plasticity, stability, *Hordeum sativum* L, spring barley, productivity, yield, variety.*

Филиппов Евгений Григорьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий отделом селекции и семеноводства ячменя ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740 Россия, г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: filippov.vniizk@mail.ru.

Брагин Роман Николаевич, младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740 Россия, г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: braginroman@ya.ru.

Донцова Александра Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: doncova601@mail.ru.

Донцов Дмитрий Петрович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: doncova601@mail.ru.

Filippov Evgeny Grigoryevich, Cand. Sc. (Agr.), associate professor, head of the Department of barley breeding and seed production, SSE “Agricultural research center «Donskoy»”; 3, Nauchny gorodok, Zernograd, 347740, Russia; e-mail: filippov.vniizk@mail.ru.

Bragin Roman Nikolayevich., junior researcher of the Department of barley breeding and seed production, SSE “Agricultural research center «Donskoy»”; 3, Nauchny gorodok, Zernograd, 347740, Russia; e-mail: braginroman@ya.ru.

Dontsova Aleksandra Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Department of barley breeding and seed production, SSE “Agricultural research center «Donskoy»”; 3, Nauchny gorodok, Zernograd, 347740, Russia; e-mail: doncova601@mail.ru

Dontsov Dmitry Petrovich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Department of barley breeding and seed production, SSE “Agricultural research center «Donskoy»”; 3, Nauchny gorodok, Zernograd, 347740, Russia; e-mail: doncova601@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 28.01.2021.*

*Дата принятия к печати – 05.03.2021.*

Фомина Т. И.

**БИОЛОГИЯ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ЛУКА (*ALLIUM L.*)**

ФГБУН «Центральный сибирский ботанический сад СО РАН»

**Реферат.** Семенное размножение – один из факторов успешного культивирования растений в конкретных природно-климатических условиях. Цель исследований – изучение характера прорастания, качества и долговечности семян у 15 представителей рода лук (*Allium L.*) для оценки их репродуктивного потенциала. Исследования выполнены в 1996–2019 гг. в ЦСБС СО РАН (г. Новосибирск). Лабораторную всхожесть семян определяли по общепринятым методикам. Семена проращивали спустя три–семь месяцев после сбора в комнатных условиях – при температуре 17–23 °С на свету, в двух повторностях по 25–50 шт. семян каждая, в случае затрудненного прорастания применяли двухмесячную стратификацию при 4 °С. В дальнейшем тестирование семян проводили после трех, пяти и семи лет комнатного хранения. Семена луков по характеру прорастания и величине всхожести представляют три типа. У семян типа I (восемь видов, одна разновидность из подрода *Rhizirideum*) период покоя отсутствует. Прорастание быстрое и дружное, со средней всхожестью 77,1–92,2 %. Семена типа II (*A. leucoserphalum* и *A. microdictyon* из подрода *Rhizirideum*, *A. caeruleum* и *A. flavum* из подрода *Allium*) отличаются растянутым прорастанием и различной величиной всхожести – от 32,6 % до 81,1 %. Глубоко покоящиеся семена типа III (*A. obliquum* из подрода *Rhizirideum* и виды подрода *Melanocrotmium*) не прорастают или прорастают с низкой всхожестью, при стратификации ее величина повышается до 47–67 %. Период хозяйственной долговечности семян луков составляет три–пять лет, а биологическая долговечность варьирует в пределах пяти–восьми лет. Наибольшим репродуктивным потенциалом обладают виды, продуцирующие полноценные семена с хорошей всхожестью, пригодные для длительного хранения: *A. altaicum*, *A. bidentatum*, *A. flavum*, *A. microdictyon*, *A. nutans*, *A. ramosum*, *A. rubens*, *A. schoenoprasum*, *A. senescens*, *A. senescens var. glaucum* и *A. strictum*.

**Ключевые слова:** *Allium L.*, дикорастущие луки, характер прорастания, всхожесть, долговечность семян.

**Для цитирования:** Фомина Т. И. Биология прорастания семян некоторых видов лука (*Allium L.*) // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 180–190. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-180-190.

**For citation:** Fomina T. I. Biology of seed germination in some onion species (*Allium L.*) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 180–190. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-180-190.

**Введение**

Изучение биологии прорастания и качества семян дикорастущих растений в ботанических садах представляет необходимое звено интродукционной работы с коллекциями природной флоры. Возможность семенного размножения – один из факторов перспективности видов в конкретных природно-климатических условиях [1]. Семенное размножение обусловлено биоморфологическими особенностями интродуцентов, а также степенью их экологической пластичности при переносе в культуру. Представители рода лук (*Allium L.*) относятся к числу ценных ресурсных растений, используемых в пищу, в лечебно-профилактических целях и для озеленения. Многолетние дикорастущие луки представляют интерес для



культивирования с целью получения ранней витаминной зелени, а также как источник различных биоактивных веществ и микронутриентов [2–4].

В ФГБУН «Центральный сибирский ботанический сад РАН» (ЦСБС СО РАН) с 1996 г. по настоящее время изучено 14 видов и одна разновидность лука в основном из флоры Сибири. Сезонные ритмы развития их в Новосибирске устойчивые, с регулярным цветением и плодоношением [5]. Фитохимическое исследование надземных органов луков выявило высокое содержание витаминов, сахаров, фенольных соединений, пектиновых веществ [6]. Различия в темпах сезонного развития видов обеспечивают зеленый конвейер весной – в начале лета для потребления в свежем виде. Благодаря разнообразию габитуальных признаков (высота цветоносов, окраска соцветий, форма листьев), луки представляют перспективные многолетники для декоративных композиций в условиях лесостепи Западной Сибири [7].

Большое внимание уделяли изучению особенностей прорастания, качества семян и их долговечности. Методической основой послужили типы прорастания семян, выделенные у дикорастущих видов И. В. Борисовой [8]: семена с ускоренным прорастанием (I); семена с замедленным (растянутым) прорастанием (II); семена с очень слабым прорастанием или его отсутствием (III). Согласно классической работе М. Г. Николаевой [9], растения семейства Alliaceae имеют семена с хорошо или не вполне дифференцированным зародышем, иногда твердым эндоспермом. Отмечается разнообразие типов покоя: «... имеются виды, семена которых легко прорастают, и наряду с этим виды с морфологическим, физиологическим и морфофизиологическим покоем семян разной глубины» [9].

Данные о характере, сроках и условиях прорастания семян отдельных представителей рода *Allium* имеются в ряде источников [10–12]. Т. Аоба [13], изучив влияние различных температур (5, 13, и 20 °C) на прорастание семян 21 вида садовых декоративных луков, выделил четыре типа с оптимальным режимом прорастания: в теплых, прохладных, холодных условиях и в широком диапазоне температур. Наиболее обстоятельное исследование охватывает 91 вид и три культивара луков. Авторы проращивали семена при различных температурах на 12-часовом дне. Проанализированы характер прорастания, всхожесть семян и их связь с таксономической принадлежностью и географическим происхождением луков. Оптимум прорастания семян подрода *Allium* из Средиземноморья и Юго-Западной Азии составил 16 °C, тогда как для семян подрода *Melanocrommyum* из Восточно-Туранской области наиболее успешным был режим 5 °C, а высокие температуры ингибировали прорастание. В пределах широко распространенного в Северном полушарии подрода *Rhizirideum* отмечены значительные различия по всхожести и времени прорастания, но при лучших показателях при 16 и 26 °C [14].

Прорастание семян 33 представителей этого подрода в ЦСБС СО РАН изучали Ю.М. Днепровский с соавторами [15], которые установили, что большинство видов образуют семена с нормальным типом и хорошей всхожестью (65–100 %), прорастающие в широком температурном диапазоне. Оптимум прорастания за немногими исключениями лежит в пределах 19–26 °C и определяется главным образом видовой принадлежностью. В целом сведения по биологии прорастания семян луков ограничены и, в некоторых случаях, противоречивы. Кроме того, различные условия формирования репродукций (погодные и эколого-географические) обуславливают физиологическую разнокачественность семян по выполненности, глубине покоя, всхожести [16–18].

**Цель исследований** – изучение характера прорастания, качества и долговечности семян у 15 представителей рода лук (*Allium* L.) для оценки их репродуктивного потенциала.

### Материалы и методы исследований

Исследование выполнено в Центральном сибирском ботаническом саду (г. Новосибирск) в 1996–2019 гг., в коллекции декоративных видов природной флоры. Объектами послужили виды рода лук – *Allium* L.: *A. caeruleum* Pall., *A. flavum* L. (подрод *Allium*); *A. aflatunense* B. Fedtsch., *A. rosenbachianum* Regel (подрод *Melanocrommyum*); *A. altaicum* Pall., *A. bidentatum* Fisch. ex Prokh., *A. leucocephalum* Turcz. ex Ledeb., *A. microdictyon* Prokh., *A. nutans* L., *A. obliquum* L., *A. ramosum* L., *A. rubens* Schrad. ex Willd., *A. schoenoprasum* L., *A. senescens* L. s. str., *A. senescens* var. *glaucum* Regel (подрод *Rhizirideum*). Растения луков в ботаническом саду выращиваются на среднем агрофоне, включающем внесение в почву при посадке органоминеральной смеси, мульчирование поверхности торфом, регулярные прополки и рыхление почвы в междурядьях в течение вегетационного периода.

Климат г. Новосибирска, расположенного на юго-востоке Западносибирской равнины, в Северопредалтайской лесостепной провинции, характеризуется как континентальный, умеренно-холодный с недостаточным увлажнением. Сумма температур воздуха выше 10 °С, обеспечивающих активную вегетацию растений, составляет 1800–2000 °С. Безморозный период длится от 92 до 144 дней. Среднегодовое количество осадков равно 442 мм, в том числе с апреля по октябрь выпадает 338 мм. Средние температуры зимних месяцев равны –16...–19 °С, летних – 16–19 °С, среднегодовая температура составляет 0,2 °С [19].

Лабораторную всхожесть семян определяли с использованием общепринятых в семенном контроле методик [20]. Семена луков проращивали спустя три–семь месяцев после сбора, в чашках Петри на фильтровальной бумаге, в двух повторностях по 25–50 шт. семян каждая в зависимости от наличия семян. Для выявления типа прорастания семена всех видов проращивали в одинаковых условиях – при температуре 17–23 °С на свету. Семена с затрудненным прорастанием подвергали холодной стратификации при температуре 4 °С в течение двух месяцев. В дальнейшем семена тестировали после трех, пяти и семи лет сухого комнатного хранения.

По результатам многолетних опытов определены средние показатели качества семян, оцениваемые по количеству всхожих, щуплых, загнивших и твердых семян, а также лимитные значения лабораторной всхожести на уровне видов. Статистическая обработка данных проведена с использованием средней арифметической и ее ошибки ( $M \pm m_m$ ), критерия Стьюдента ( $t$ ). Количество щуплых семян служит одним из критериев репродуктивной способности вида, а количество твердых (выполненных, но не проросших семян) характеризует глубину покоя у семян данного вида. В зависимости от длительности содержания в коллекции исследовано 3–11 репродукций каждого вида, за исключением *A. rubens* и *A. rosenbachianum*, у которых протестированы одна и две репродукции, соответственно. При выделении типов семян по И. В. Борисовой [8] использовали следующие показатели: начало и длительность прорастания, его характер, всхожесть, процент твердых семян.

### Результаты и их обсуждение

Особенности прорастания и качество семян исследованных луков значительно различаются. Семена большинства представителей подрода *Rhizirideum* (восемь видов, одна разновидность) относятся к типу I. Покой семян, как правило, отсутствует или неглубокий физиологический и полностью устраняется в процессе послеуборочного дозревания при хранении в течение нескольких месяцев. Они характеризуются быстрым и дружным прорастанием спустя 2–8 дней от начала опыта (рисунок 1). Период прорастания варьирует в зависимости от вида и репродукции, но большинство или все семена прорастают в течение одной–трех недель. Всхожесть семян хорошая (> 60 %) или высокая (>80 %) (таблица 1). Значительное снижение всхожести отдельных репродукций, обычно до средних значений (40–60 %), обусловлено

главным образом содержанием щуплых семян. Пустосемянность весьма распространена в этой группе луков, особенно у *A. rubens*, *A. strictum*, *A. schoenoprasum* и *A. nutans*. Твердые семена отсутствуют, или их количество невелико, лишь у *A. senescens* var. *glaucum* оно достигает в среднем 9,7 %.

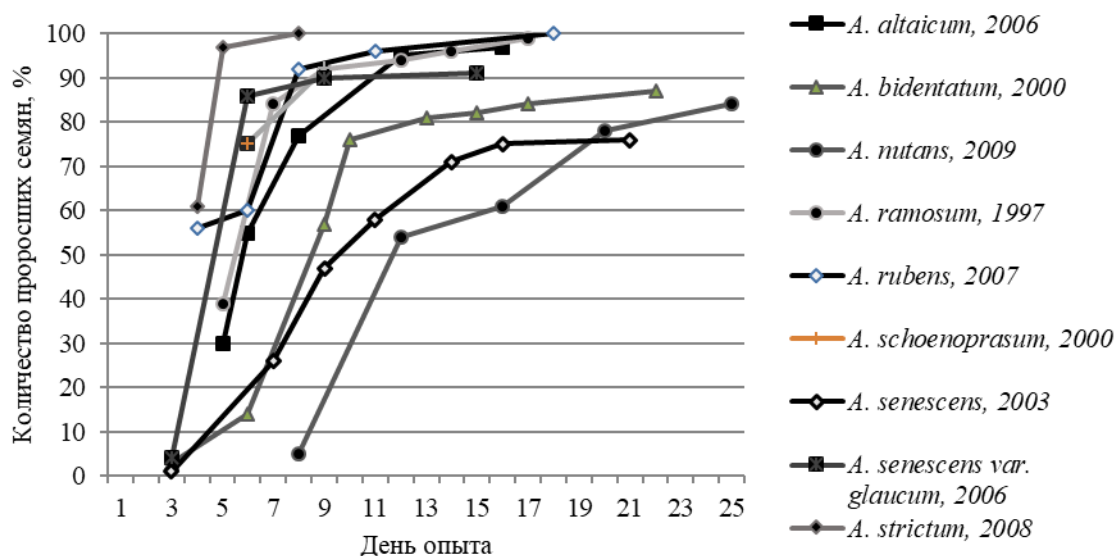


Рисунок 1 – Прорастание семян корневищных луков типа I через 3–7 месяцев после сбора при температуре 17–23 °С на свету в репродукциях разных лет

Таблица 1 – Качество семян видов *Allium* в ЦСБС СО РАН (1996–2019 гг.)

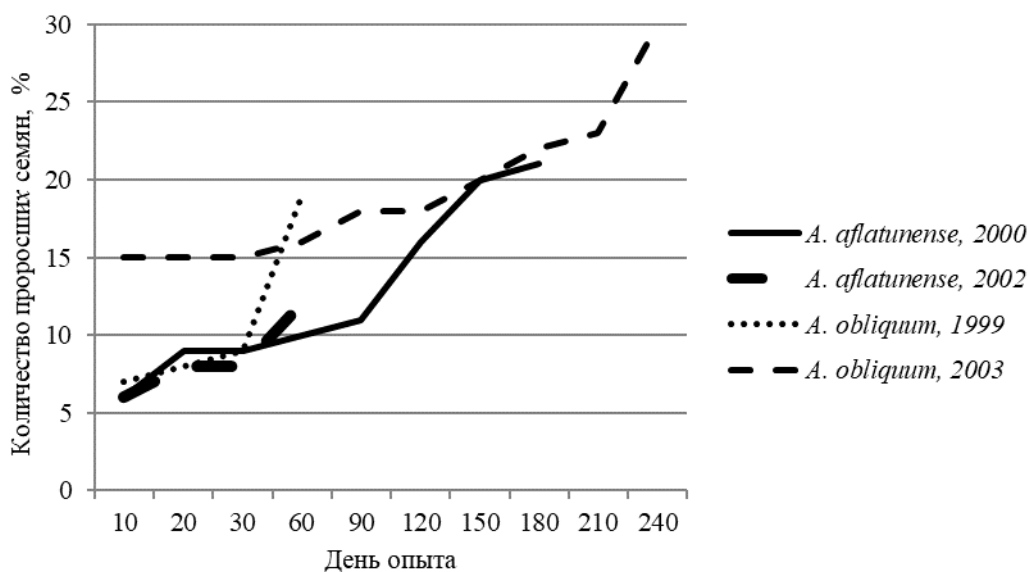
Вид	Исследовано семян, шт.	Количество семян, % (M ± m)				Всхожесть, % (lim)
		всхожих	щуплых	загнивших	твердых	
<i>A. aflatunense</i>	450	27,9 ± 10,9	10,7 ± 8,1	29,0 ± 8,5	32,4 ± 16,4	4–67*
<i>A. altaicum</i>	400	92,2 ± 4,4	5,5 ± 2,6	0,5 ± 0,5	1,8 ± 1,4	79–98
<i>A. bidentatum</i>	175	89,1 ± 4,4	2,9 ± 1,7	8,0 ± 4,0	0,0 ± 0,0	86–100
<i>A. caeruleum</i>	125	32,6 ± 11,5	45,0 ± 10,9	3,1 ± 1,7	19,4 ± 2,4	22–59
<i>A. flavum</i>	400	81,1 ± 7,5	6,9 ± 2,3	11,0 ± 6,3	1,0 ± 1,3	61–95
<i>A. leucocephalum</i>	475	58,1 ± 9,9	38,9 ± 10,9	1,5 ± 0,7	1,5 ± 0,6	16–89
<i>A. microdictyon</i>	325	71,1 ± 6,9	6,2 ± 3,7	12,6 ± 3,5	10,2 ± 3,6	53–96
<i>A. nutans</i>	400	85,0 ± 4,2	12,0 ± 2,9	1,5 ± 1,5	1,5 ± 1,0	74–94
<i>A. obliquum</i>	800	23,8 ± 5,0	9,9 ± 3,7	8,1 ± 2,5	58,3 ± 4,7	4–47*
<i>A. ramosum</i>	850	82,9 ± 4,4	10,6 ± 4,2	5,8 ± 1,5	0,7 ± 0,3	56–99
<i>A. rosenbachianum</i>	200	0,5 ± 0,4	5,1 ± 0,6	64,5 ± 13,1	29,9 ± 12,6	0–2
<i>A. rubens</i>	100	50,0	47,0	3,0	0,0	50**
<i>A. schoenoprasum</i>	700	80,9 ± 6,7	14,3 ± 6,9	4,3 ± 1,2	0,4 ± 0,3	46–100
<i>A. senescens</i>	550	82,2 ± 3,7	8,3 ± 2,8	5,1 ± 2,4	4,4 ± 2,2	70–97
<i>A. senescens</i> var. <i>glaucum</i>	550	77,1 ± 7,7	10,4 ± 3,6	2,9 ± 1,6	9,7 ± 8,0	44–95
<i>A. strictum</i>	500	82,6 ± 10,8	16,0 ± 9,9	1,4 ± 1,2	0,0 ± 0,0	47–100

Примечание. \* максимальная всхожесть стратифицированных семян; \*\* исследована первая репродукция.

Семена корневищных луков *A. leucocephalum* и *A. microdictyon*, а также *A. flavum* и *A. caeruleum* из подрода *Allium* отнесены к типу II по характеру прорастания. Появление первых проростков отмечается через 3–12 дней от начала опыта. Большая

часть семян прорастает в течение 1–1,5 месяцев (рисунок 2). Всхожесть семян отдельных репродукций высокая, кроме *A. caeruleum*. Однако по средним показателям виды значительно различаются. Высокая всхожесть определена для семян *A. flavum* (81,1 %) и хорошая – для семян *A. microdictyon* (71,1 %). Фактором существенного снижения качества репродукций *A. leucosephalum* и *A. caeruleum* служат щуплые семена, среднее содержание которых достигает 38,9–45,0 %. Виды группы различаются и по содержанию твердых семян: от 1,0–1,5 % у *A. flavum* и *A. leucosephalum* до 19,4 % в среднем у *A. caeruleum*. Выражена физиологическая разнокачественность семян. Она проявляется в растянутом характере прорастания семян одной репродукции и значительном варьировании периода прорастания у семян разных репродукций. Например, из шести исследованных репродукций *A. leucosephalum* для одной половины он составил 13–38 дней, а для другой был гораздо длиннее – от 124 до 215 дней.

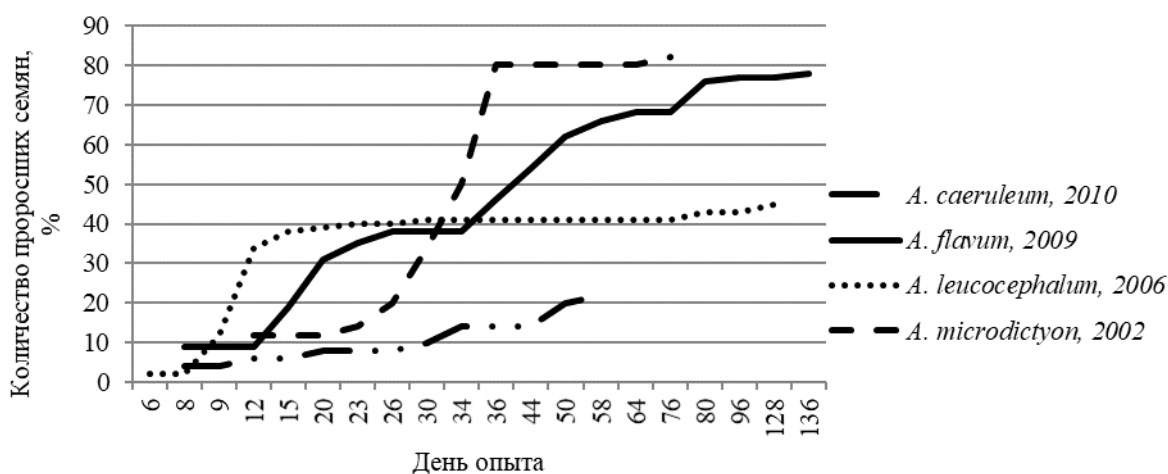
Растянутое прорастание свидетельствует о наличии покоящихся семян. Так же, как появление грунтовых всходов у *A. microdictyon* через год после посева [15]. Однако по данным зарубежных авторов [21], семена этого вида лука (syn. *A. victorialis*) лишены покоя и прорастают свежесобранными, с высокой всхожестью при 20 °С и хорошей аэрации, правда, на стерильном субстрате. Такие противоречивые сведения отражают нюансы условий тестирования, а также влияние экотипических и географических факторов формирования семян.



**Рисунок 2 – Прорастание семян луков типа II через три–семь месяцев после сбора при температуре 17–23 °С на свету в репродукциях разных лет**

Среди исследованных видов *A. obliquum* из подрода *Rhizirideum* и представители подрода *Melanocrommyum* – *A. aflatumense*, *A. rosenbachianum* отнесены по характеру прорастания семян к типу III (рисунок 3). Они продуцируют хорошо выполненные семена, но с затрудненным прорастанием, обусловленным состоянием глубокого покоя. Единичные проростки могут появиться через два дня от начала опыта, как и у других луков, или позже, но период прорастания крайне растянут. Конечная величина всхожести не превышает средних значений, а в большинстве случаев очень низка, или семена вообще не прорастают в комнатных условиях (у видов *Melanocrommyum*).

Максимальная всхожесть для репродукций разных лет составила у *A. obliquum* 42 %, у *A. aflatunense* – 57 %. При холодной стратификации семян в течение двух месяцев значения повысились до 47 % и 67 % соответственно. При этом значительная часть семян остались твердыми. Семена *A. rosenbachianum*, как и других видов группы, выполнены. При проращивании в комнатных условиях, в том числе после двухмесячной холодной стратификации, получен отрицательный результат. В тепле семена загнивают, как и у *A. aflatunense*. Между тем, по данным Т. Аоба [13], семена *A. rosenbachianum* прорастали при 5 °С на экспозиции более 50 дней, и в течение 90–110 дней от начала прорастания достигали всхожести 86 %. Согласно другому источнику [14], семена видов подрода *Melanocrommyum* прорастают только при низких положительных температурах (у *A. aflatunense* более 80 % семян проросло при температуре 5 °С на протяжении 100 дней), при этом воздействие переменных температур, холода (–15 °С в течение двух месяцев) и стимуляторов прорастания никакого эффекта не оказали.



**Рисунок 3 – Прорастание семян луков типа III через три-семь месяцев после сбора при температуре 17–23 °С на свету в репродукциях разных лет**

Очевидно, особенности прорастания семян местных репродукций *A. aflatunense* и *A. rosenbachianum* требуют дальнейшего изучения. Что касается *A. obliquum*, то наши данные не подтвердили мнение [15] о неглубоком покое семян этого вида, но вполне согласуются с данными Л. А. Тухватуллиной и Л. М. Абрамовой [22]. Авторы отмечают низкую лабораторную всхожесть – до 33 % и ее увеличение вдвое при стратификации. О глубоком покое семян видов группы косвенно свидетельствует отсутствие самосева на коллекционном участке, в то время как большинство луков I и II типов его продуцируют.

О наличии покоя семян и его глубине можно судить по динамике прорастания семян при сухом хранении. У семян I и II типов всхожесть высокая в первый год после сбора, а спустя три года существенно снижается у большинства репродукций и через пять лет хранения утрачивается полностью. Отдельные репродукции сохраняют хозяйственную долговечность (всхожесть не ниже 50 %) в течение пяти лет, тогда как период биологической долговечности достигает 7–8 лет (рисунок 4). У *A. obliquum* в первые годы хранения всхожесть несколько повышается – от 8–10 % до 18–27 % у нестратифицированных семян, но через семь лет после сбора семена становятся невсхожими. У *A. aflatunense* всхожесть семян снизилась после трех лет хранения с 67 % до 33 % у стратифицированных семян. В течение пяти лет семена этого вида полностью утрачивают всхожесть. По-видимому, темпы изменения всхожести при

хранении семян видоспецифичны, различаясь даже у семян одного типа прорастания (таблица 2). Полученные данные по долговечности семян луков вполне согласуются с немногими сведениями из литературных источников [23].

В процессе тестирования хранившихся семян отчетливо проявляется их внутривидовая разнородность, значительные различия по длительности жизни семян репродукций разных лет. Условия формирования семян, прежде всего, погодные факторы вегетационного периода оказывают существенное влияние на выполненность семян и состояние покоя, поэтому репродукции во многих случаях существенно различаются не только всхожестью, но и характером прорастания. Так, у *A. senescens* (I) в репродукции 2006 г. прорастание началось через три дня, отличалось высокой энергией (за 13 дней проросло 57 % семян) и высокой всхожестью (82 %), но крайне растянутым характером – в течение 221 дня. В репродукции 2010 г. прорастание отмечали через семь дней от начала опыта, причем в первый день проросло 96 % семян. У *A. flavum* (II) при растянутом прорастании в целом в одних репродукциях пик наблюдается в начале, для других характерно порционное прорастание. Для *Allium aflatunense* (III) всхожесть семян репродукции 2000 г. через шесть месяцев после сбора составила 21 %, а репродукции 2003 г. – 57 %, тогда как семена трех других репродукций не образовали проростков [5].

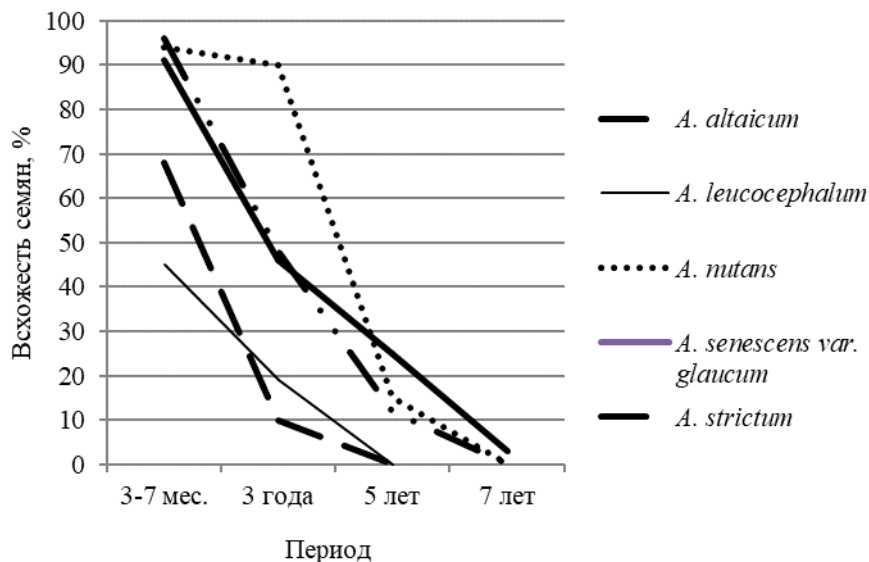


Рисунок 4 – Динамика всхожести семян луков при сухом комнатном хранении (репродукция 2006 г.)

Таблица 2 – Достоверность различий семян луков по величине всхожести в процессе хранения (репродукция 2006 г.)

Вид	Период хранения		
	три–семь мес. – три года	три года – пять лет	пять лет – семь лет
<i>A. altaicum</i>	24,0	5,69	2,0
<i>A. leucocephalum</i>	2,35	1,73	–
<i>A. nutans</i>	1,0	18,2	15,0
<i>A. senescens var. glaucum</i>	6,43	4,20	4,31
<i>A. strictum</i>	7,03	5,0	–

Примечание.  $t_{05} = 4,30$ .

### Выводы

Исследованные виды рода *Allium* по особенностям прорастания семян представляют три типа. Виды типа I (восемь видов, одна разновидность из подрода *Rhizirideum*) имеют семена с нормальным прорастанием: покой у них отсутствует или

он неглубокий физиологический и устраняется в процессе послеуборочного дозревания при сухом хранении. Прорастание быстрое и дружное, со средней всхожестью 77,1–92,2 %. Видам типа II (*A. leucosephalum* и *A. microdictyon* из подрода *Rhizirideum*, *A. caeruleum* и *A. flavum* из подрода *Allium*) свойственно состояние покоя семян, поэтому прорастание замедленное. Максимальная для них всхожесть достигается при комнатной температуре, а ее величина варьирует от 32,6 % до 81,1 %. Виды типа III (*A. obliquum* из подрода *Rhizirideum* и виды подрода *Melanocrommyum*) характеризуются затрудненным прорастанием семян, обусловленным состоянием глубокого покоя, который устраняется лишь частично при сухом хранении или холодной стратификации. Семена в комнатных условиях не прорастают совсем или прорастают с низкой всхожестью, при стратификации ее величина повышается до 47–67 %. Репродукции одного вида, но разных лет, отличаются высокой вариабельностью качества семян. Хозяйственная долговечность семян луков составляет три–пять лет, а период биологической долговечности достигает пяти–восьми лет в зависимости от вида и репродукции.

**Работа выполнена в рамках государственного задания по проекту АААА-А21-121011290025-2 «Анализ биоразнообразия, сохранение и восстановление редких и ресурсных видов растений с использованием экспериментальных методов». При подготовке статьи использовали материалы Биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН, УНУ «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте», USU 440534.**

### Литература

1. Некрасов В. И. Актуальные вопросы развития теории акклиматизации растений. М.: Наука, 1980. 102 с.
2. Казакова А. А. Лук // В кн.: Культурная флора СССР. Т. 10. Л.: Колос, 1978. 264 с.
3. Ширшова Т. И., Бешлей И. В., Матистов Н. В. Представители рода *Allium* как перспективный источник биологически активных веществ и микронутриентов // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 10–11. С. 15–21.
4. Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 6. Семейства Вутомасеae – Турфасеae // Отв. ред. Буданцев А. Л. Санкт-Петербург – Москва: Изд-во КМК, 2014. 391 с.
5. Фомина Т. И. Биологические особенности декоративных растений природной флоры в Западной Сибири. Новосибирск: Академическое издательство «ГЕО», 2012. 179 с.
6. Фомина Т. И., Кукушкина Т. А. Содержание биологически активных веществ в надземной части некоторых видов лука (*Allium* L.) // Химия растительного сырья. 2019. № 3. С. 177–184. DOI: 10.14258/jcrpm.2019034842.
7. Кукушкина Т. А., Фомина Т. И. Содержание биологически активных веществ в зеленой массе многолетних луков (*Allium* L.) // Аграрный вестник Урала. 2021. № 4(207). С. 85–92. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-85-92.
8. Фомина Т. И. Перспективные пищевые и декоративные дикорастущие виды *Allium* L. в коллекции Центрального сибирского ботанического сада СО РАН // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2020. № 1 (33). С. 48–55. DOI: 10.32516/2303-9922.2020.33.5.
9. Борисова И. В. Типы прорастания семян степных и пустынных растений // Ботанический журнал. 1996. Т. 81. № 12. С. 9–22.
10. Николаева М. Г. Особенности прорастания семян растений из класса Liliopsida // Ботанический журнал. 1989. Т. 74. № 12. С. 1701–1710.
11. Далецкая Т. В., Никифорова В. Н. Изучение прорастания некоторых видов лука // В кн.: Экологические проблемы семеноведения интродуцентов. Рига: Зинантне, 1984. С. 24–25.
12. Черней Е. Н. Определение лабораторной всхожести семян декоративных луков (*Allium* L.) // В кн.: Анализ и прогнозирование результатов интродукции декоративных и лекарственных растений мировой флоры в ботанические сады. Минск: Тэхналогія, 1996. С. 78–79.
13. Kirmizi S., Guleryuz G., Arslan H. Effects of environmental and storage conditions on the germination of *Allium* species // Fresenius Environmental Bulletin. 2017. Vol. 26. No. 5. P. 3470–3478.

14. Dashti F., Ghahremani-Majd H., Esna-Ashari M. Overcoming seed dormancy of mooseer (*Allium hirtifolium*) through cold stratification, gibberellic acid, and acid scarification // Journal of Forestry Research. 2012. Vol. 23. No. 4. P. 707–710. DOI: 10.1007/s11676-012-0314-9.
15. Winiarczyk K., Skrzypczak K., Jaroszek-Scisel J., Bocianowski J. Investigations of the capacity and strength of seed germination in *Allium victorialis* L. // Acta Societatis Botanicorum Poloniae. 2014. Vol. 83. No. 3. P. 219–228. DOI: 10.5586/asbp.2014.021.
16. Aoba T. Effects of different temperatures on seed germination of garden ornamentals in *Allium* // J. of the Japanese Society for Horticultural Science. 1967. Vol. 36. No 3. P. 333–338. DOI: 10.2503/jjshs.36.333.
17. Specht C. E., Keller E. R. J. Temperature requirements for seed germination in species of the genus *Allium* L. // Genetic Resources and Crop Evolution. 1997. Vol. 44. P. 509–517.
18. Днепровский Ю. М., Черемушкина В. А., Судобина В. П. Особенности прорастания семян корневищных луков Северной Азии // Бюллетень Главного ботанического сада. 1991. Вып. 159. С. 89–95.
19. Николаева М. Г. Особенности прорастания семян в зависимости от филогенетического положения растений и эколого-географических условий их обитания // Физиология растений. 1999. Т. 46. № 3. С. 432–437.
20. Philips N. Seed and bulb dormancy characteristics in New World *Allium* L. (Amaryllidaceae): a review // International Journal of Botany. 2010. Vol. 6. No. 3. P. 228–234. DOI: 10.3923/ijb.2010.228.234.
21. Ge W., Bu H., Wang X., Martinez S. A., Du G. Inter- and intra-specific difference in the effect of elevation and seed mass on germinability of eight *Allium* species // Global Ecology and Conservation. 2020. Vol. 22. DOI: 10.1016/j.gecco.2020.e01016.
22. Воронина Л. В., Гриценко А. Г. Климат и экология Новосибирской области. Новосибирск: СГГА, 2011. 228 с.
23. Международные правила определения качества семян // Под ред. Леурды И. Г. М.: Колос, 1969. 182 с.
24. Kamenetsky R., Gębura J., Winiarczyk K. Germination strategy of *Allium victorialis* – wild edible plant with high commercial potential // Botany. 2016. Vol. 95. No. 2. DOI: 10.1139/cjb-2016-0126.
25. Тухватуллина Л. А., Абрамова Л. М. Редкие виды рода *Allium* L. в интродукции // Научные ведомости БелГУ. Серия «Естественные науки». 2011. № 14-1(98). С. 68–74.
26. Короткова В. И., Салтыкова А. А. Влияние сроков хранения на всхожесть семян представителей различных семейств // Комплексное изучение полезных растений Сибири. Новосибирск: Наука, 1974. С. 7–16.

## References

1. Nekrasov V. I. Topical issues of development of the plant acclimatization theory. Moscow: Nauka, 1980. 102 p.
2. Kazakova A. A. Onion // In book: Cultural flora of the USSR. Vol. 10. Leningrad: Kolos, 1978. 264 p.
3. Shirshova T. I., Beshley I. V., Matistov N. V. Representatives of *Allium* genus as a perspective source of biologically active substances and micronutrients // Vestnik Insituta biologii Komi NC UrO RAN. 2011. No. 10–11. P. 15–21.
4. Plant resources of Russia: wild flowering plants, their component composition and biological activity. Vol. 6. Families Butomaceae – Typhaceae // Ed. by Budantsev A. L. Saint-Petersburg– Moscow: Publishing house KMK, 2014. 391 p.
5. Fomina T. I. Biological characteristics of ornamental plants of natural flora in West Siberia. Novosibirsk: Academic publishing house “GEO”, 2012. 179 p.
6. Fomina T. I., Kukushkina T. A. Content of biologically active substances in the aboveground part of some onion species (*Allium* L.) // *Khimija rastitel'nogo syr'ja* (Chemistry of plant raw material). 2019. No. 3. P. 177–184. DOI: 10.14258/jcprm.2019034842.
7. Kukushkina T. A., Fomina T. I. The content of biologically active substances in the green biomass of perennial onions (*Allium* L.) // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021. No. 4(207). P. 85–92. DOI: 10/32417/1997-4868-2021-207-04-85-92.
8. Fomina T. I. Promising food and decorative wild species of *Allium* L. in the collection of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS // *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal*. 2020. No. 1 (33). P. 48–55. DOI: 10.32516/2303-9922.2020.33.5.
9. Borisova I. V. Seed germination types in steppe and desert plants // *Botanicheskii Zhurnal*. 1996. Vol. 81. No. 12. P. 9–22.
10. Nikolaeva M. G. The characters of seed germination of plants in the Liliopsida class // *Botanicheskii Zhurnal*. 1989. Vol. 74. No. 12. P. 1701–1710.
11. Daletskaya T. V., Nikiforova V. N. Study of germination of some onion species // In book: Ecological problems of seed research of introduced species. Riga: Zinantne, 1984. P. 24–25.



12. Cherney E. N. Determination of laboratory germination of seeds in ornamental onions (*Allium* L.) // In book: Analysis and forecasting the results of the introduction of ornamental and medicinal plants of the world flora into botanical gardens. Minsk: Tekhnologiya, 1996. P. 78–79.
13. Kirmizi S., Guleryuz G., Arslan H. Effects of environmental and storage conditions on the germination of *Allium* species // Fresenius Environmental Bulletin. 2017. Vol. 26. No. 5. P. 3470–3478.
14. Dashti F., Ghahremani-Majd H., Esna-Ashari M. Overcoming seed dormancy of mooseear (*Allium hirtifolium*) through cold stratification, gibberellic acid, and acid scarification // Journal of Forestry Research. 2012. Vol. 23. No. 4. P. 707–710. DOI: 10.1007/s11676-012-0314-9.
15. Winiarczyk K., Skrzypczak K., Jaroszek-Scisiel J., Bocianowski J. Investigations of the capacity and strength of seed germination in *Allium victorialis* L. // Acta Societatis Botanicorum Poloniae. 2014. Vol. 83. No. 3. P. 219–228. DOI: 10.5586/asbp.2014.021.
16. Aoba T. Effects of different temperatures on seed germination of garden ornamentals in *Allium* // J. of the Japanese Society for Horticultural Science. 1967. Vol. 36. No. 3. P. 333–338. DOI: 10.2503/jjshs.36.333.
17. Specht C. E., Keller E. R. J. Temperature requirements for seed germination in species of the genus *Allium* L. // Genetic Resources and Crop Evolution. 1997. Vol. 44. P. 509–517.
18. Dneprovsky Yu. M., Cheremushkina V. A., Sudobina V. P. Peculiarities of seed germination of rhizome onions in Northern Asia // Bulletin of the Main Botanical Garden. 1991. Iss. 159. P. 89–95.
19. Nikolaeva M. G. Specific patterns of seed germination as related to phylogeny and ecological and geographical conditions of plant habitats // Russian Journal of Plant Physiology. 1999. Vol. 46. No. 3. P. 432–437.
20. Philips N. Seed and bulb dormancy characteristics in New World *Allium* L. (Amaryllidaceae): a review // International Journal of Botany. 2010. Vol. 6. No. 3. P. 228–234. DOI: 10.3923/ijb.2010.228.234.
21. Ge W., Bu H., Wang X., Martinez S. A., Du G. Inter- and intra-specific difference in the effect of elevation and seed mass on germinability of eight *Allium* species // Global Ecology and Conservation. 2020. Vol. 22. DOI: 10.1016/j.gecco.2020.e01016.
22. Voronina L. V., Gritsenko A. G. Climate and ecology of the Novosibirsk region. Novosibirsk: SSGA, 2011. 228 p.
23. International rules for seed testing // Ed. by Leurda I. G. Moscow: Kolos, 1969. 182 p.
24. Kamenetsky R., Gębura J., Winiarczyk K. Germination strategy of *Allium victorialis* – wild edible plant with high commercial potential // Botany. 2016. Vol. 95. No. 2. DOI: 10.1139/cjb-2016-0126.
25. Tukhvatullina L. A., Abramova L. M. Rare species of the genus *Allium* L. in introduction // Belgorod State University Scientific Bulletin. Series “Natural sciences”. 2011. No. 14-1 (98). P. 68–74.
26. Korotkova V. I., Saltykova A. A. Influence of storage periods on seed germination in representatives of different families // Complex study of useful plants of Siberia. Novosibirsk: Nauka, 1974. P. 7–16.

UDC 582.573.16:631.53.01

Fomina T. I.

### **BIOLOGY OF SEED GERMINATION IN SOME ONION SPECIES (*ALLIUM* L.)**

**Summary.** *The possibility of seed reproduction is one of the factors of successful cultivation of resource plants in specific environmental conditions. The aim of the work was to study the germination behavior, quality and longevity of seeds in 15 onions (Allium L.) from the collection of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk. The research was carried out in 1996–2019. Laboratory germination of seeds was determined according to generally accepted methods. Seeds were tested 3–7 months after harvesting at 17–23 °C in the light. The number of seeds in each Petri dish – 25–50; double replication. In the case of hindered germination, a two-month chilling at 4 °C was applied. In the future, laboratory germination was determined after 3, 5 and 7 years of room storage. We have established that onion seeds have three types of germinating. Seeds of type I – eight species, one variety from the subgenus Rhizirideum – usually lack dormancy. Germination is fast and simultaneous, and average germination percentages are 77.1–92.2 %. Seeds of type II – A. leucocephalum and A. microdictyon from the subgenus Rhizirideum, also A. caeruleum and A. flavum from the subgenus Allium – are characterized by stretched germination period due to the shallow dormancy, and their germination percentages vary from 32.6 % to 81.1 %. Seeds of type III – A. obliquum from the subgenus Rhizirideum and two species of the subgenus Melanocrommyum – do not germinate in room conditions, or germinate with*

*low germination percentages, whereas chilling increases them up to 47.0–67.0 %. The hindered germination of these seeds is due to the deep organic dormancy. The economic longevity of onion seeds is 3–5 years, and the biological longevity varies at interspecific level within 5–8 years. Thus, the species that produce plump and good germinating seeds suitable for long-term storage – *A. altaicum*, *A. bidentatum*, *A. flavum*, *A. microdictyon*, *A. nutans*, *A. ramosum*, *A. rubens*, *A. schoenoprasum*, *A. senescens*, *A. senescens* var. *glaucum*, and *A. strictum* – have the highest reproductive potential in culture.*

**Keywords:** *Allium*, wild onions, germination behavior, germination percentage, seed longevity.

Фомина Татьяна Ивановна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории интродукции декоративных растений, ФГБУН «Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения РАН»; 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101; e-mail: fomina-ti@yandex.ru.

Fomina Tatyana Ivanovna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher of the Laboratory of the introduction of ornamental plants, Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 101, Zolotodolinskaya str., Novosibirsk, 630090, Russia; e-mail: fomina-ti@yandex.ru.

*Дата поступления в редакцию – 18.01.2021.*

*Дата принятия к печати – 25.03.2021.*

**БИОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ФИТОПАРАЗИТИЧЕСКИХ НЕМАТОД НА  
ОСНОВЕ МИКРООРГАНИЗМОВ (ОБЗОР)**

ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»

**Реферат.** Фитопаразитические нематоды являются опасными вредителями сельскохозяйственных и декоративных культур. Ежегодно потери урожая вследствие поражения фитонематодами составляют до 15 %, а ущерб оценивается в миллиарды долларов. Целью исследований является обобщение и анализ научных публикаций, посвященных вредоносности фитопаразитических нематод, и микроорганизмам, оказывающим антагонистическое действие по отношению к ним, для дальнейшей разработки биопрепаратов нематоцидного действия на основе бактерий-антагонистов. Задачами исследования является установление наиболее распространенных групп нематод, обзор микроорганизмов, оказывающих нематоцидный эффект, и биопрепаратов на их основе. В обзоре рассмотрены основные представители нематод – паразитов растений, отмечен их ареал, вредоносность, поражаемые культуры и симптомы заражения. Даны краткие описания жизненных циклов и систематической принадлежности. Анализ научных публикаций по исследуемой теме показал, что существует большое количество микроорганизмов, способных проявлять нематоцидную активность, прямо или косвенно влияя на нематод в почве. Способностью проявлять антагонистический эффект по отношению к фитопаразитическим нематодам обладают как грибы, так и бактерии. Для обеих групп микроорганизмов существует несколько механизмов действия, таких как хищничество, паразитизм, конкуренция и др. Грибы и бактерии синтезируют метаболиты различной природы, обладающие нематоцидным эффектом: токсины, литические ферменты, антибиотики, сидерофоры. Отмечено, что микроорганизмы-антагонисты способны проявлять нематоцидную активность в отношении разных стадий жизненного цикла нематод: яиц, ювенильных и взрослых особей. Существуют коммерческие препараты на основе микроорганизмов-антагонистов, которые успешно применяются в сельском хозяйстве в разных странах. На сегодняшний день найдено небольшое количество вирусов, способных поражать нематоды, установлена их систематическая принадлежность. Отмечено, что по сравнению с бионематоцидами на основе грибов и бактерий не разработано ни одного бионематоцида на основе вирусов. Тематика разработки бионематоцидов на основе микроорганизмов-антагонистов является перспективной, но требует дальнейших исследований взаимодействий в системе растение-нематода-микроорганизм.

**Ключевые слова:** фитопаразитические нематоды, бионематоциды, микроорганизмы-антагонисты, вирусы, грибы.

**Для цитирования:** Хомяк А. И., Асатурова А. М., Сидоров Н. М., Дубяга В. М. Биологический контроль фитопаразитических нематод на основе микроорганизмов (обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 191–219. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-191-219.

**For citation:** Homyak A. I., Asaturova A. M., Sidorov N. M., Dubyaga V. M. Biological control of phyt parasitic nematodes based on microorganisms (review) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 191–219. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-191-219.

## Введение

Фитопаразитические нематоды – это микроскопические черви класса *Nematoda*, являются облигатными паразитами, питающиеся исключительно живыми клетками растений [1]. Фитопаразитические нематоды признаны одной из самых больших угроз для растениеводства. Под их влиянием могут нарушаться физиологические процессы, задерживаться развитие растений, ослабляться их рост, снижаться качество плодов [2]. По оценкам, убытки от фитопаразитических нематод составляют 8,8 % (в развитых странах) и 14,6 % (в развивающихся странах) ежегодно, что примерно составляет 157 млрд долларов. Основной средой обитания фитопаразитических нематод является пленка воды, окружающей частицы почвы. Нематоды адаптированы как к субтропическим условиям, так и к умеренному климату в соответствии с растениями–хозяевами [3].

Жизненный цикл нематод относительно прост. Он состоит из яйца, четырех ювенильных стадий и стадии взрослых особей. Продолжительность жизненного цикла сильно различается среди разных родов, начиная от нескольких дней до почти года при оптимальных условиях окружающей среды. Нематоды размножаются как половым путем, так и партеногенетически. Репродуктивный потенциал также различается: от родов, особи которых производят меньше, чем 50 яиц на самку до родов, самки которых могут производить более 1000 яиц [4].

Все культурные растения подвержены поражению как минимум одним видом нематод. Хотя большинство нематод являются корневыми паразитами, они приспособлены к паразитизму почти во всех тканях и органах растений [5, 6]. Степень поражения нематодами урожая тесно связана с плотностью популяции нематод, особенно в однолетних посевах. Для многолетних культур даже невысокое начальное количество нематод в благоприятных условиях может увеличиваться достаточно быстро, обеспечивая существенные потери урожая [7, 8].

**Цель исследований** – обобщение и анализ англоязычных и русскоязычных научных публикаций, посвященных вредности фитопаразитических нематод, и микроорганизмов, оказывающим антагонистическое действие по отношению к ним для дальнейшей разработки биопрепаратов нематодцидного действия на основе бактерий-антагонистов из БРК «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов» ФГБНУ ФНЦБЗР.

Нематоды, паразитирующие на растениях, могут быть разделены на относительно ограниченные специализированные группы, которые либо наносят прямой вред своему хозяину, либо действуют как вирусные векторы [9]. Среди нематод выделяют вредителей, поражающих стебли, листья и корни растений.

**Листовые нематоды.** Важнейшими вредителями среди листовых нематод являются нематоды рода *Aphelenchoides*: земляничная нематода – *A. fragariae* (Ritzema Bos) Christie, хризантемная нематода – *A. ritzemabosi* (Schwartz) Steiner и рисовая нематода – *A. besseyi* (Christie) [10]. *A. besseyi* встречается только в тропических и субтропических регионах, тогда как два других вида найдены в регионах с умеренным климатом. Афеленхоидные нематоды являются паразитами более 700 видов растений из 85 семейств, включая папоротники, травянистые и древесные растения, такие как лук, чеснок, кукуруза, картофель, соя, пекинская капуста, сахарный тростник, хрен, листья салата, пшеница, цветочные, косточковые культуры, каучуковое дерево. Представители рода *Aphelenchoides* в большинстве случаев питаются сапрофитными грибами [11].

Листовые нематоды в основном питаются за пределами растительной ткани, вставляя свой стилет в клетки для вывода содержимого, в результате чего листья, особенно молодые, становятся скрученными, искривленными и недоразвитыми. Растения, пораженные листовыми нематодами, часто остаются низкорослыми,

становятся кустистыми. Листья выглядят изогнутыми, скрученными или морщинистыми и имеют более темный цвет, чем обычно. Красноватый цвет может появиться на краях листа, жилки и черешка. Поврежденные растения поздно начинают плодоносить [12]. Повреждение листовыми нематодами можно спутать с заболеваниями, вызванными бактериями, грибами, вирусами, недостатком питательных веществ или химическими повреждениями [13].

Рисовая нематода *A. besseyi* наиболее известна как возбудитель беловершинности риса. *A. besseyi* является основной патогенной нематодой во многих азиатских странах. Так, в Турции отмечены потери урожая риса до 57 % [14], в Китае – до 71 % [15]. В 2014 г. рисовая нематода была включена в Перечень карантинных объектов Российской Федерации в список отсутствующих видов, хотя, согласно литературным данным, она имеет ограниченное распространение на территории России: в Астраханской области и Краснодарском крае [16]. Нематода вызывает характерные побеления кончиков листьев, которые в дальнейшем некротизируются и приводят к уменьшению размера зерна. Метелка часто развивается лишь частично или не развивается вообще, ее размер уменьшается, как и число зерен [17].

*A. besseyi* также поражает клубнику, являясь возбудителем «гофрированной» болезни – заболевания, зарегистрированного в США, Австралии и Европе [18]. В литературе отмечены случаи поражения *A. besseyi* растений сои в Бразилии. Кроме того, этот вид был предложен в качестве возбудителя «болезни черных пятен» на фасоли в Коста-Рике [19].

Хризантемная нематода *A. ritzemabosi* является мигрирующим экто- и эндопаразитом листьев, почек и других надземных частей растений. Хотя хризантемная нематода имеет диапазон хозяев примерно 200 видов, включая декоративные растения, овощные, плодовые и дикорастущие растения, его типичным хозяином является хризантема [20]. Также *A. ritzemabosi* поражает растения циннии, шалфея, астры и георгина. Распространение осуществляется с посадочным материалом. Последующее выращивание цветочных культур в монокультуре приводит к массовому размножению фитонематод, паразитирование которых обуславливает ухудшение их декоративных качеств, а в ряде случаев и гибель растений. При заражении на растениях обычно появляются удлиненные или угловатые пятна. На пораженных растениях листья часто опускаются, высыхают, желтеют и опадают [21]. В основном встречается в регионах с умеренным климатом, включая Азию, Европу, Северную и Южную Америку. В Китае встречается в очень немногих регионах [22].

Земляничная нематода *A. fragariae* является экономически важным вредителем в декоративной промышленности, нанося ущерб широкому спектру ландшафтных и выращиваемых в питомниках травянистых и древесных многолетников, ухудшая их товарный вид. Нематоды заражают молодые листья, предположительно через устьица, и питаются клетками мезофилла, в результате чего большие участки листа становятся хлоротичными. Иногда может быть заражен весь лист, который затем высыхает и опадает. В теплицах и питомниках дождевание и дождевые осадки позволяют листовым нематодам перемещаться с растения на растение [23].

**Стеблевые нематоды.** Стеблевые нематоды являются мигрирующими эндопаразитами, попадая в растение-хозяина через устьица. Род *Ditylenchus* насчитывает более 80 видов, образ жизни которых варьируется от паразитов растений до микофагов [24]. К наиболее значимым фитопатогенам из числа видов рода *Ditylenchus* относят виды *D. dipsaci* (Kühn) Filipjev, *D. destructor* (Thorne), *D. angustus* (Butler) Filipjev, вызывающие дитиленхозы у зерновых, кормовых, овощных, технических, ягодных, декоративных культур. Стеблевые нематоды имеют большое

экономическое значение как в России, так и во всем мире, нанося большие потери сельскохозяйственным и декоративным культурам [25].

Стеблевая нематода *D. dipsaci*, является облигатным эндопаразитом, поражающим более 500 видов растений, из которых наиболее подвержены заражению лук, чеснок, свекла, клубника, бобовые, картофель, декоративные растения, люцерна и овес [26]. В Европе *D. dipsaci* занесен в карантинный список Европейской и средиземноморской организации защиты растений (EPPO) [27]. В России стеблевая нематода *D. dipsaci* входит в перечень карантинных объектов в категории «регулируемые не карантинные вредные организмы». В Европе *D. dipsaci* представляет собой серьезную угрозу для сахарной свеклы. Ее проникновение в проростки приводит к растворению средних пластинок и набуханию гипокотыля.

*D. dipsaci* может привести к потере урожая на чесночных полях до 90 %. Основные симптомы заражения чеснока и лука – это вздутие и деформация листьев и луковиц. В Турции потеря урожая лука может составлять до 60–80 % [28].

Стеблевая нематода картофеля *D. destructor* поражает более 70 культурных и диких растений. Однако картофель на сегодняшний день описан как типовой хозяин и является наиболее важной культурой, поражаемой *D. destructor*. В некоторых странах Западной Европы и США *D. destructor* является карантинным объектом. В ряде областей России потери урожая вследствие дителенхоза доходят от 40 до 78 % [29]. В Украине потери от поражения картофеля стеблевой нематодой составляют 30–50 %, в Республике Беларусь – 43,3 % [30]. В Китае урожайность сладкого картофеля вследствие паразитизма *D. destructor* может снижаться на 20–50 % [31]. В период хранения картофеля потери могут достигать 80 % и более. Основными источниками распространения *D. destructor* являются растения для посадки, включая семенной картофель и луковицы цветов.

**Почвенные нематоды.** Среди почвенных фитопаразитических нематод выделяются свободноживущие, цистообразующие и галловые нематоды.

**Свободноживущие нематоды** в основном представлены корневыми нематодами, из которых особо опасны и широко распространены в мире представители семейств *Longidoridae* и *Trichodoridae*, являющиеся переносчиками многочисленных непо- и тобра- групп вирусов [32]. В комплексе с вирусами они приводят к снижению продуктивности растений на 30–50 %. К вредоносным непевирусам относятся вирусы мозаики резухи (ArMV), кольцевой пятнистости малины (RpRSV), латентной кольцевой пятнистости земляники (SLRSV) и черной кольцевой пятнистости томата (TBRV). Так, потери урожая ягодных культур в отдельные годы могут составлять до 90 %. Симптомы поражения непевирусами проявляются в виде карликовости, хлоротического рисунка, колец, линий и пятен на листьях [33].

Представители этих семейств – облигатные, мигрирующие, многоядные эктопаразиты, питающиеся на всасывающих корнях главным образом многолетних древесных и кустарниковых пород, хотя способны паразитировать и на корнях однолетних травянистых растений [34].

В настоящее время семейство *Longidoridae* включает 3 рода и около 300 видов. Встречаются на всех обитаемых континентах, с наибольшим количеством видов в Европе (более 75 видов), за которой следуют Азия, Северная Америка и Африка [35]. Векторами непевирусов являются 22 вида, в том числе 10 видов рода *Longidorus*, 11 видов рода *Xiphinema* и один рода *Paralongidorus* [36].

Нематоды семейства *Trichodoridae* – небольшая группа фитопаразитических нематод, ограниченная четырьмя родами. Они относятся к эктопаразитам корневой системы растений и питаются корневыми волосками и клетками эпидермиса вблизи кончика растущего корня, вызывая тем самым симптомы «оборванных корней» –

появление укороченных вздутых корней [37]. В настоящее время известно, что к переносу вирусов способна лишь часть видов триходорид, относящихся к двум родам *Trichodorus* и *Paratrichodorus* [38]. Распространены на территории России, Европы, Северной Америки [39].

**Цистообразующие нематоды** – это группа нематод, ведущих прикрепленный биотрофный образ жизни за счет прикрепления к растениям–хозяевам. Они проникают в корни с помощью стилета и набора ферментов, продуцируемых клетками субвентральной железы и разрушающих клеточную стенку, и перемещаются внутриклеточно (в отличие от галловых нематод, перемещающихся между клетками) к сосудистому цилиндру или внутренним слоям коры, чтобы вызвать образование многоклеточного участка питания, называемого синцитием, который является единственным источником питательных веществ для паразита на протяжении всей его жизни. Синцитий может состоять из более чем сотни клеток, протопласты которых сливаются вместе посредством локального растворения клеточной стенки [40]. Самки остаются привязанными к синцитию на протяжении всей жизни. Когда самка умирает, ее тело затвердевает и образует цисту, защищающую яйца. Внутри яиц нематоды проходят первую и вторую ювенильную стадии. Цисты могут выживать в почве в течение многих лет [41].

К наиболее вредоносным видам относятся соевая нематода – *Heterodera glycines* Ichinohe с ежегодными экономическими потерями в США более 1,5 млрд долларов; бледная картофельная нематода – *Globodera pallida* Stone и золотистая картофельная нематода – *Globodera rostochiensis* Wollenweber с оценочной потерей урожая в 9 % во всем мире, а также цистовая нематода злаков – *Heterodera avenae* Wollenweber с потерей урожая до 90 % [42].

Соевая нематода *H. glycines* широко распространена в большинстве стран, где производство сои является основой сельскохозяйственной деятельности: Японии, Китае, Корее, Индонезии, Египте, США, странах Южной Америки, а также России. В мире 10 % сельскохозяйственной продукции сои теряется из-за повреждений соевой цистообразующей нематодой [43]. *H. glycines* включена в список А2 Европейской и Средиземноморской Организации по карантину и защите растений (ЕОКЗР), находится в карантинных списках региональных организаций по защите растений COSAVE, CAN, CPPC, IAPSC. В 2014 г. включена в первый список Перечня карантинных объектов Российской Федерации, хотя имеет ограниченное распространение на территории России (Приморье и Амурская область). Предпочитает умеренный климат с температурой от 15 до 33 °С [44]. Кроме сои *H. glycines* поражает многие виды бобовых, бурачниковых, капустных, каперсовых, гвоздичных, маревых, яснотковых, норичниковых, пасленовых и т.д. [45].

*H. glycines* снижает фотосинтетические показатели, содержание хлорофилла, высоту растений и массу семян в период массового цветения и бобообразования. Заражение *H. glycines* корневой системы сои приводит к снижению количества клубеньков. На корневой системе появляется много дополнительных корней [46]. В пределах зараженной территории нематода распространяется с помощью сельскохозяйственных орудий, воды для полива и т.д.

Золотистая картофельная нематода *G. rostochiensis* поражает томаты, баклажаны, картофель другие растения из семейства пасленовых [47]. Считается объектом внешнего и внутреннего карантина. На территории России встречается очагами в семи федеральных округах 61 субъекта РФ на территории общей площадью около 1,8 млн га. По данным Европейской и Средиземноморской организации по защите растений (ЕРРО), в настоящее время распространена во всех странах Европы, в том числе и на территории сопредельных стран, таких как Беларусь, Латвия,

Эстония, Литва, Украина, Грузия, Армения; на Азиатском континенте в Таджикистане, Японии и Индии [48].

Сначала на посадках картофеля появляются небольшие участки (несколько кустов) на которых у растений отмирают нижние листья, остальные желтеют. Цветение имеет скудный характер либо отсутствует, клубни либо слишком мелкие, либо вообще не формируются. Потери урожая могут достигнуть 30–80 %. Обычно цисты *G. rostochiensis* разносятся с посадочным материалом, почвой, оставшейся на клубнях, корнеплодах, луковицах, дождевой водой и ветром [49].

Бледная картофельная нематода *G. pallida* изначально считалась патотипом *G. rostochiensis*. Основным диагностическим признаком *G. pallida* – окраска цист: в конце созревания они не приобретают золотистый цвет, как у *G. rostochiensis*, а остаются бледными. *G. pallida* зарегистрирована во всех странах Европы, кроме Беларуси, Латвии, Литвы, Польши и Словакии. На Азиатском континенте очаги бледной нематоды зафиксированы в Индии и Японии. В России до настоящего времени бледная нематода не обнаружена [48].

Цистовая нематода злаков *H. avenae*. Поражает корни пшеницы и родственных ей злаков в подсемействе *Pooideae*. Ежегодные потери урожая в Европе оцениваются в 3 млн фунтов стерлингов, в США – 3,4 млн долларов [41]. Широко распространена в большинстве регионов с умеренным климатом. Значительные экономические потери из-за этой нематоды были зарегистрированы в Западной Азии, Северной Африке, Европе, Австралии и США [50]. Встречается примерно на 80 % площадей выращивания пшеницы в Китае [51].

Проростки пшеницы и ячменя, пораженные *H. avenae*, сначала бледно-зеленые, и часто сильно отстают в росте. Корни интенсивно разветвляются в местах прикрепления нематоды. Пиковое количество ювенильных особей в почве в каждом географическом регионе обычно совпадает с традиционными сроками посева пшеницы и появления всходов [52].

**Галловые нематоды** – паразитические нематоды, поражающие корни растений. Являются одними из наиболее вредоносных нематод, паразитирующих практически на всех культурных и диких растениях в открытом и защищенном грунте. Около 5% мирового производства сельскохозяйственных культур ежегодно уничтожается видами *Meloidogyne*. Галловые нематоды распространены, в основном, в странах с тропическим и субтропическим климатом и реже в условиях полупустынь и умеренных широт. Род насчитывает около 98 видов, наиболее распространенными являются южная нематода *Meloidogyne incognita* Kofoid & White, яванская нематода *Meloidogyne javanica* Treub, северная нематода *Meloidogyne hapla* Chitwood и арахисовая нематода *Meloidogyne arenaria* Neal [53].

Галловые нематоды индуцируют разрастание корневых клеток, что приводит к образованию галлов на корнях растений. Галлы различаются по размеру от небольших утолщений до вздутых 5–10 см. Нематода повреждает сосудистые ткани корней, тем самым мешая нормальному движению воды и питательных веществ. Зараженные растения демонстрируют признаки дефицита питательных веществ: медленный рост, пожелтение листьев, увядание и отмирание растения. При таком состоянии урожайность растений может понизиться 50–80 %, а в некоторых случаях может произойти потеря всего урожая [54].

Личинки второй стадии проникают в корень растения-хозяина, используя стилет и гидролитические ферменты клеточной стенки, мигрируют к верхушке корня в сосудистый цилиндр. После создания группы из пяти–восьми клеток в сосудистом цилиндре клетки трансформируются в питающие, называемые гигантскими клетками [55]. Далее ювенильные особи претерпевают три линьки и развиваются во взрослых особей. Самки остаются малоподвижными, самцы способны к миграции.



Южная галловая нематода – *M. incognita* имеет широкий спектр хозяев, охватывающий более 3000 видов растений, включая хлопок, табак, бобовые, овощные, декоративные культуры. Распространена в тропических и субтропических районах по всему миру. Убыток, наносимый южной нематодой во всем мире, ежегодно оценивается в 100 миллиардов долларов [56]. Является доминирующим вредителем на соевых полях в Китае [57]. В Нигерии распространение южной нематоды на плантациях сои способно привести к потере 90 % урожая [58]. В Индии потери урожая томатов вследствие поражения южной нематодой составляют 27 % [59]. Зараженные растения проявляют типичные симптомы: разрушение корней, задержка роста, дефицит питательных веществ и в частности дефицит азота [60].

Яванская нематода *M. javanica* – вредитель овощных и декоративных культур. К растениям–хозяевам нематод относятся также зерновые, включая рис, просо, кукурузу, картофель, свеклу, брюкву, подсолнечник, кормовые и бобовые культуры. В открытом грунте распространена в фауне тропических и субтропических зон. Географический диапазон включает Африку, Австралию, Южную Америку, Азию, США. На территории Европы и России встречается только в защищенном грунте [12]. При поражении *M. javanica* корнеплодов существенного влияния на состав и вкусовые качества не зафиксировано, но плоды не подлежат реализации вследствие деформации и изменения физических характеристик [61].

Северная галловая нематода – *M. hapla* может нанести значительный ущерб таким культурам, как морковь, картофель, лук, салат и клубника. Также поражает овощные и цветочные культуры в закрытом грунте [62]. Встречается в холодных регионах растениеводства [63]. Паразитирует на корнях растений, вызывая образование округлых, продолговатых галлов размерами от нескольких мм до 3–5 см и более. Пораженные растения зачастую отстают в росте, затем засыхают. Нематода распространяется с почвой, остатками корней, инструментами для ухода за растениями, поливной водой, особенно из застойных водоемов [64].

Арахисовая нематода *M. arenaria* поражает растения многих семейств, включая однодольные, двудольные, травянистые и древесные растения. Этот вид нематод паразитирует на большинстве основных сельскохозяйственных культур: овощных, фруктовых, ягодных, декоративных. Является основным вредителем арахиса, снижая его урожайность до 50 % [65]. Широко распространена по всему миру в тропическом, субтропическом и умеренном климате. Образует галлы диаметром до 20 см на корнях, клубнелуковицах, клубнях или стручках арахиса, приводящие к неправильному формированию и функциям корневой системы. Растения, зараженные арахисовой нематодой, отстают в росте, листья становятся хлоротичными, урожайность и качество продукции снижается [66].

**Микроорганизмы-антагонисты фитопаразитических нематод и биологические средства защиты растений на их основе.** Учитывая серьезное экономическое воздействие фитопаразитических нематод на сельскохозяйственные культуры, было разработано большое количество стратегий борьбы с нематодами в сельском хозяйстве, включая использование химических нематодицидов. Однако вред для здоровья человека и загрязнение окружающей среды существенно ограничивает их применение [67]. Кроме того, применение химических препаратов в защищенном грунте ограничивается санитарно-гигиеническими требованиями [68]. Нематоды, в отличие от своего растения–хозяина, лучше переживают неблагоприятные воздействия: химические, термические обработки почвы и понижение температуры, способны выживать при продолжительном отсутствии растения-хозяина [69]. В связи с этим все большую актуальность приобретает использование биологических средств защиты растений. С 2009 г. по настоящее время рынок биологических нематодицидов вырос почти на 20 %, при этом большая часть биопрепаратов приходится на США.

Предположительно к 2024 г. продажи биологических нематод достигнут 1,3 миллиарда долларов в год [70].

Стратегии защиты, связанные с биоконтролем, являются более безопасной и практичной альтернативой борьбы с нематодами, паразитирующими на растениях. Термин «биологический контроль» (или «биоконтроль») подразумевает использование живых организмов для подавления плотности популяции или воздействия на конкретный организм–вредитель, что делает его менее распространенным или менее опасным. В частности, биологический контроль нематод определяется как регулирование популяций нематод и/или уменьшение ущерба, наносимого нематодами, посредством действия антагонистических по отношению к ним организмов [71].

В настоящее время известно, что спектр организмов, таких как грибы, бактерии, вирусы, хищные нематоды, действует как агенты биоконтроля против нематод, паразитирующих на растениях [72]. В почвенной экосистеме микроорганизмы применяют сложные стратегии для захвата, уничтожения и переваривания фитопаразитических нематод, часто нацеленные на конкретные стадии развития их жизненных циклов. Наиболее уязвимые для микроорганизмов яйца и ювенильные стадии нематод, паразитирующих на растениях. Эти жизненные стадии существуют вне растения в водной пленке на частицах почвы, что позволяет микроорганизмам–антагонистам вступить в контакт. Их мощное действие против нематод делает их идеальными агентами биологической борьбы [73].

**Грибы-нематофаги.** Открытие антагонистических взаимодействий между нематодами и некоторыми ризосферными грибами может служить основой развития стратегии контроля для защиты сельскохозяйственных культур от фитопаразитических нематод.

Грибы-нематофаги можно разделить на четыре основные группы на основе механизмов действия на нематод: 1: грибы-хищники, улавливающие и удерживающие живых нематод благодаря обширной сети гиф; 2: облигатные эндопаразитические грибы, которые существуют в окружающей среде в виде конидий и заражают нематод либо прилипая к поверхности жертвы, либо непосредственно попадая в организм нематоды, за которыми следует прорастание, рост и гибель нематод; 3: яичные и цистопаразитарные грибы как факультативные паразиты, которые растут и паразитируют на малоподвижных стадиях нематод; 4: грибы, продуцирующие токсичные соединения, активные против нематод [74].

Распознавание хозяев и адгезия грибов к кутикуле нематод или яичной оболочке – это первые шаги к заражению. Исследователи предполагают, что секретлируемые грибами ферменты играют важную роль во время инвазии нематод грибами. В частности, присутствие внеклеточных гидролитических ферментов, таких как хитиназы, коллагеназы и протеазы, необходимо для проникновения в кутикулу нематод [75]. Проникновение обычно сопровождается перевариванием содержимого, что приводит к образованию биомассы грибов внутри, а затем и снаружи нематод. Грибы-хищники обычно не зависят от хозяина и могут улавливать многие виды почвенных нематод, в то время как эндопаразитические грибы обладают некоторой специфичностью к хозяину [76].

Другой причиной синтеза нематодных соединений является способность этих соединений обездвиживать некоторые виды нематод, питающихся грибными колониями. Известно, что некоторые грибы, не являющиеся нематофагами, синтезируют токсины, но они просто парализуют свои цели и не потребляют их. Так *Climacodon septentrionalis* продуцирует токсины, которые парализуют нематод рода *Aphelenchoides* и уничтожают их позже [77].

В различных регионах мира зарегистрировано около 380 видов **грибов-хищников**, включая роды *Arthrobotrys*, *Cystopage*, *Dactylellina*, *Dactylella*, *Drechslerella*, *Hohenbuehelia*, *Hyphoderma*, *Monacrosporium*, *Nematoctonus*, *Orbilina*, *Stylopaga*, *Tridentaria*, *Tripasporina* и *Zoophagus*. Для грибов, способных к поражению нематод, отмечено несколько типов улавливающих конструкций: в том числе сужающиеся кольца и пять типов адгезивных ловушек (сидячие клейкие ручки, выступающие клейкие ручки, липкие сетки, липкие столбики и кольца), все они произошли от вегетативных гиф [78].

Несмотря на разнообразный морфогенез, разные виды ловушек нематод имеют две структурные особенности, которые отличаются от вегетативных гиф. Первый – наличие многочисленных цитозольных органелл, широко известных как плотные тела. Их функции связаны с «разрушением» нематоды и поставкой энергии и структурных компонентов в гифы. Второй характерной чертой клеевых ловушек (колонн, сеток и ручек) является наличие обширных слоев внеклеточных полимеров, важных для адгезии ловушек на поверхность нематод. Обе эти особенности представляют ключевые факторы адаптации грибов при отлове нематод [79]. Предположительно, молекулярным сигналом для распознавания добычи и запуска образования ловушки служат аскарозиды, представляющие собой высококонсервативное семейство небольших молекул, секретируемых многими видами почвенных нематод [75].

Способность ловить нематод делает грибы-хищники привлекательными кандидатами для борьбы с фитопаразитическими нематодами. Так, в 2015 г. была впервые обнаружена активность *Aspergillus awamori* в отношении *M. incognita*. Установлено, что гриб способен образовывать гифальные кольца, которые заканчиваются открытой сужающейся петлей, захватывающей нематод. Нематоды погибали через 4 ч после попадания в ловушку, а гифы проникли в нематоду. При оценке хищной активности *A. awamori* против *M. incognita* на растениях томата в горшках было отмечено, что гриб снижает популяцию *M. incognita* по сравнению с необработанным контролем на 30 %, количество яиц – на 40 % [80].

Команда ученых из Бразилии сообщила о способности *Monacrosporium thaumasium* продуцировать ферменты группы протеаз, обладающих нематотицидной активностью в отношении яиц *M. javanica* [81]. Хитиная активность в отношении *Heterodera schachtii* была отмечена у *Stropharia rugosoannulata* и *Lecanicillium muscarium* [82].

В 2019 г. проведены исследования влияния *Arthrobotrys oligospora* на поражение растений кофе и черного перца во Вьетнаме. В ходе исследований установлено, что плотность *M. incognita* и *Pratylenchus coffea* в почве снижалась до 59 % и 51 % в полевом эксперименте [83]. Эффективность *A. oligospora* в отношении *M. incognita* была подтверждена в исследованиях 2021 г. Внесение суспензии гриба в почву, зараженную *M. incognita*, снижало образование галлов на растениях томата в два раза по сравнению с контролем. Микроскопические исследования показали, что *A. oligospora* образует различные формы ловушек и клеящих устройств, в которых попадают личинки нематоды [84].

Но, несмотря на эффективность применения хищных грибов в отношении нематод в лабораторных условиях, до сих пор очень мало коммерческих продуктов на их основе. На активность этих грибов могут влиять pH почвы, влажность, температура и количество питательных веществ. Кроме того, их медленное развитие и потребность в большом количестве пищи, иногда очень специфичной, не позволяют широко применять их в биоконтроле в полевых условиях. Так, на сегодняшний день во Франции разработано только два коммерческих биологических нематотицида на основе *Arthrobotrys irregularis*, *A. oligospora* и *A. robusta* – «Royal 300» и «Royal 350» [85].

**Эндопаразитические грибы** – это группа грибов, которые поражают нематод, главным образом, конидиями (*Drechmeria coniospora*), пищевыми спорами (*Harposporium spp.*), адгезивными спорами (*Nematoctonus concurrens*) или зооспорами (*Catenaria anguillulae*). Большинство из примерно 50-ти видов эндопаразитов – облигатные паразиты с широким кругом хозяев. Их споры либо прилипают к кутикуле нематоды, либо проглатываются хозяином, а затем прорастают внутри тела нематоды, что в конечном итоге приводит к ее гибели [86].

Представители *Harposporium* имеют приятные на вкус конидии, морфологически адаптированные к проглатыванию. При этом нематоды со стилетами не могут заглатывать споры *Harposporium*. *C. anguillulae* производит зооспоры с единственным задним жгутиком, которые прикрепляются к определенному участку нематоды. Они проникают в тело нематоды, образуя спорангии. У *Myzocyttium biflagellate* зооспоры выходят через эвакуационные трубки, образованные спорангиями, находящимися внутри хозяина [87].

На сегодняшний день о потенциале коммерциализации и применения эндопаразитов нематод в биоконтроле известно очень мало.

Грибы, **паразитирующие на нематодах**, являются обычными почвенными сапрофитами, поражающими в первую очередь малоподвижные стадии (стадии самки и яйца) нематод или корневых нематод, таких как *Heterodera*, *Globodera*, *Meloidogyne*. Наиболее распространены *Lecanicillium lecanii*, *Pochonia chlamydosporia*, *P. rubescens*, *Catenaria auxiliaris* и др. Агрессории или шаровидные слизистые выступы образуются, когда гифы гриба контактируют с яйцами. Далее протеазы вызывают ферментативные нарушения трехслойной оболочки яйца. На ранней стадии инфекции гифы полностью занимают эмбрион в яйце и вакуолизируются после употребления содержимого [88].

Проникновение облегчается внеклеточными ферментами, такими как хитиназы и протеазы. Учеными из Великобритании отмечено, что гифы гриба *P. chlamydosporia* покрывают яйца нематод *M. incognita* и разрушают внутреннее содержимое при помощи смеси протеаз, тем самым снижая численность нематоды на растениях томата в лабораторных и тепличных экспериментах [89].

*P. chlamydosporia* и *P. lilacinum* являются одними из наиболее изученных биологических агентов, направленных на биоконтроль нематод. На основе *P. chlamydosporia* разработаны такие препараты, как «KlamiC», зарегистрированный для применения в Латинской Америке и «Xianchongbike», производящийся в Америке, Африке, Европе и Китае. *P. lilacinum* послужил основой для препаратов «BIOACTWG» (Бельгия), «BIOCON» (Филиппины), «Bio-Nematon» (Индия), «Yorker» (Индия), «Miexianning» (Китай), «PIPlus» (Южная Африка), «Meloscon» (Германия) и др. [90].

Эффективность препаратов подтверждена многочисленными исследованиями. Так, обработка растений томата препаратом «BIOACTWG» снижала распространение личинок *M. incognita* в почве на 60 % по сравнению с контролем [91]. «Meloscon» способствовал снижению количества яиц *H. Glycines* на единицу биомассы корня растений сои [92]. При применении препарата «Bio-Nematon» отмечено снижение популяции *M. incognita* на 40 % на растениях томата [93].

**Токсинообразующие грибы** выделяют токсины, иммобилизующие нематод перед проникновением гиф через кутикулу. Их разнообразные структуры в основном относятся к алкалоидам, хинонам, изоэпоксидонам, пиранам, фуранам, пептидам, макролидам, терпеноидам, жирным кислотам, дикетопиперазинам, афталинам, простым ароматическим соединениям и др. [94].

*Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. является важным патогенным грибом, продуцирующим биоактивное вещество боверицин, обладающее нематотической активностью в отношении ряда фитопаразитических нематод. Установлено, что

внесение суспензии *B. bassiana* обеспечивало смертность 99 % личинок *M. incognita*, 64 % личинок *A. bessey*, и 98 % личинок *H. glycines* [95].

Доказано, что *Streptomyces avermectilis* продуцирует авермектины, оказывающие антибиотическое действие в отношении *Meloidogyne spp.* Антибиотик ингибирует синтез РНК и, как следствие, уменьшает количество яиц [96]. Препарат «Фитоверм», на основе метаболитов *S. avermectilis* на сегодняшний день является единственным бионематицидом, зарегистрированным в Государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешенных для применения в РФ [97].

Новый класс сильнодействующих нематицидных термолидов был выделен из термофильного гриба *Talaromyces thermophilus*. Термолиды А и В показали высокую активность против *M. incognita*, *Bursaphelenches siylophilus*, *Panagrellus redivevus*, аналогичную с авермектинами [98].

Брефельдин А идентичен двум известным химическим веществам – аскотоксину и декумбину. Проявил высокую нематицидную активность в отношении *A. aceti*. Впервые он был получен из *Penicillium decumbens*, а затем обнаружен у других видов грибов, включая *P. brefeldianis*, *P. camemberti*, *Hemicarpenales paradoxus*, *Alternaria carthami*. Терпеноид фумагиллин, выделенный из *P. nigricans*, был умеренно активен в отношении нематоды *A. aceti*. Глиотоксин был выделен из *Gliocladium fimbriatum*, *Penicillium sp.* и др. [94].

Триходермин был выделен из этилацетатного экстракта *Trichoderma sp.* Соединение обеспечивает 95 % смертность *P. redivivus*. Триходермин обнаружен у нескольких видов *Trichoderma*, включая *T. viride*, *T. harzianum*, *T. longibrachiatum* и *T. reesei* [99]. Кроме того, грибы рода *Trichoderma* способны синтезировать внеклеточные ферменты, такие как хитиназа и протеаза, которые позволяют грибу проникать в яйца, напрямую воздействуя на очень многочисленные структурные компоненты яичной оболочки, тем самым уменьшая количество яиц, способных к вылуплению. В частности, *T. longibrachiatum* оказывает сильное ингибирующее действие на вылупление цист, продуцируемых *H. avenae*. На основе грибов рода *Trichoderma* разработаны коммерческие эффективные бионематициды: «Romulus» (Южная Африка), «Ecosom-ТН» (Индия), «Commander Fungicide» (Индия), «Trichobiol» (Колумбия), «Trifisol» (Колумбия) [100].

Исследования показали, что применение *Fusarium oxysporum* на растениях банана снижало численность нематод *Pratylenchus goodeyi* и *Helicotylenchus multincinctus* до 45 %, при этом обеспечивая дополнительный урожай в 35 % [101]. Предположительно нематицидный эффект *F. oxysporum* может быть вызван синтезом летучих органических соединений, таких как кариофиллен, бутилированный гидрокситолуол и акорадиен [102].

Научными центрами Новой Зеландии проведено исследование нематицидного действия аскомицета *Myrothecium verurruccaria*. Его применение уменьшает количество яиц, блокирует развитие и даже убивает нематод. Основными метаболитами аскомицета, оказывающими нематицидный эффект, являются лабдановые дитерпены и 2,4-динитрофениловый эфир тиоциановой кислоты [103]. *M. verurruccaria* является действующим веществом биопрепарата «DiTera» (США), обладающего ростстимулирующей и нематицидной активностью [104].

**Бактерии-антагонисты.** В ходе многочисленных исследований выявлены активные штаммы бактерий-антагонистов, обладающие высокой нематицидной активностью в сочетании с высокой биологической и хозяйственной эффективностью. Особым вниманием со стороны специалистов пользуются штаммы бактерий родов *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Pasteuria*, *Azotobacter*, *Clostridium*, *Desulfovibrio*, *Serratia* [105].

Подавление фитопаразитических нематод с помощью бактерий достигается с помощью различных механизмов, основанных на способности микробов эффективно конкурировать за экологическую нишу, колонизировать поверхность растений и

производить нематцидные и антимикробные соединения (антибиотики, токсины, сидерофоры, гидролитические ферменты и др.). Косвенно бактерии могут усиливать защитные механизмы растения-хозяина, стимулируя индуцированную системную устойчивость. Также, бактерии потребляют корневые экссудаты, тем самым предотвращая распознавание нематодой точки проникновения к корню [106].

Члены семейства Bacillaceae продуцируют литические ферменты (протеазы, хитиназы, коллагеназы, липазы), которые влияют на разные этапы жизненного цикла нематод. Способность продуцировать литические ферменты была также зарегистрирована у представителей *Serratia*, *Corynebacterium* и *Stenotrophomona* [107]. Кроме того, бациллы продуцируют липопептиды, оказывающие нематцидный эффект – сурфактин, бацилломицин D, фенгицин, итурин и бактериоцин. Ферменты могут вызывать повреждение яичной оболочки нематод, состоящей из белковой матрицы и хитинового слоя, а также кутикулы нематод, основу которой составляет белковая мембрана [108]. Ферментативная активность (хитиназы и протеазы) супернатанта культуры *B. megaterium* обеспечивала нематцидный эффект в диапазоне 21–30 % в отношении личинок *Meloidogyne sp.* и 30–37 % в отношении яиц [109]. Отмечено, что внесение в суспензию *Meloidogyne sp.* жидких культур на основе штаммов *S. marcescens*, синтезирующих хитиназу, протеазу и желатиназу, способствовало лизису пищевода и кутикулы, что обеспечивало смертность 98 % нематод [110]. При изучении штаммов *P. aeruginosa*, *Paenibacillus polymyxa*, *Lysinibacillus sphaericus*, *B. cereus*, *B. subtilis* и *Achromoxydanster xylox* как потенциальных агентов биоконтроля, было обнаружено, что ферментационный фильтрат исследуемых штаммов обеспечивал ингибирование яиц *M. incognita* на 62–77 % по сравнению с контролем. При этом происходила аномальная деформация оболочки и повышенная вакуолизация [111].

Такие ферменты, как фенилаланинаммиаклиаза, полифенолоксидаза, пероксидаза, супероксиддисмутаза, липоксигеназа, каталаза, способствуют развитию системной устойчивости растений. Эти ферменты инициируют индукцию устойчивости за счет продукции фитоалексинов и фенольных соединений. Подобная индуцированная устойчивость достигается за счет механического и физического укрепления клеточной стенки, отложения каллозы и накопления фенольных соединений или путем синтеза нескольких биохимических соединений, активируемых в реакции защиты, а именно: липополисахаридов, сидерофоров, салициловой и жасмоновой кислот, и других вторичных метаболитов [112]. В ходе исследований нематцидных свойств штамма *B. simplex* в отношении *H. glycines* установлено, что при внесении суспензии *B. simplex* в почву, зараженную нематодой, растения сои усиливали синтез таких нематцидных соединений как 4-винилфенол, метионин, пиперин и пальмитиновая кислота [113]. В исследованиях 2021 г. отмечено, что применение жидкой культуры на основе *P. fluorescens* способствовало развитию устойчивости растений огурца и томата в отношении *M. javanica* за счет увеличения синтеза растениями пероксидазы, полифенолоксидазы, каталазы, изопероксидазы [114].

Аммиак, выделяющийся во время разложения азотистых органических соединений аммонифицирующими бактериями, токсичен для нематод и помогает уменьшить их популяции. Производство аммиака ризобактериями было включено в стратегии отбора штаммов со способностями биологического контроля, поскольку это соединение может не только контролировать нематод, но и служить источником азота для растений, улучшая питание растений, повышая урожайность и вызывая устойчивость растений к фитопатогенам [115].

Представители рода *Pseudomonas* продуцируют глюканазы, целлюлазы и пектиназы. Кроме того, у *P. fluorescens* обнаружена способность увеличивать выработку антибиотиков, которые подавляют проникновение фитонематод путем

изменения выделения корневых экссудатов, изменяющих поведение нематод (полисахариды и аминокислоты) [116].

Сообщалось, что цианистый водород, выделяемый представителями *Pseudomonas*, и сульфид водорода, выделяемый бактериями рода *Bacillus*, проявляет нематотическое действие в отношении галловых и цистовых нематод, ингибируя их митохондриальные цитохромоксидазы [117].

*Pasteuria spp.* известны своей способностью подавлять патогенные нематоды растений с помощью двух механизмов. Первый основан на прикреплении спор к поверхности нематод в ювенильной фазе, что приводит к предотвращению движения к корню растения. Второй – клетки *Pasteuria* проникают в тело нематод и локализуются с высокой плотностью внутри псевдоцелома, влияя на эмбриогенетические процессы и нарушая воспроизводство хозяина [118].

Бактерия-нематофаг *B. nematocida* заражает нематод, используя механизм, подобный «трянскому коню». Эта бактерия может выделять сильнодействующие летучие органические соединения, такие как 2-гептанон, которые гораздо более привлекательны для нематод, чем таковые из обычных бактерий. После проглатывания нематодами бактерия создает колонии в их кишечном тракте и выделяет факторы вирулентности в виде протеаз, вызывая гибель нематод [119].

Бактерии-антагонисты как основа бионематотических препаратов обладают такими достоинствами, как возможность использования вместе с неорганическими и органическими удобрениями, микроэлементами и некоторыми фунгицидами, гербицидами и пестицидами для приготовления баковых смесей. За последние три десятилетия исследователи подготовили различные типы составов бионематотиков, которые были коммерциализованы на мировом рынке. Так, активно продаются препараты на основе бактерий родов *Bacillus* – «Bio Start» (США), «Stanes Sting» (Индия и Египет), «Quartzo» (Бразилия), «Nemix C» (Бразилия), «Presense» (Бразилия), «BioNem-WP» (Израиль), «VOTiVOWP» (Германия), «Onix» (Бразилия); *Pasteuria* – «Econem» (Япония и США), «ClarivaPN» (Бразилия); *Burkholderia cepacia* – «DenuBluecircle» (США); *S. marcescens* – «Nemaless» (Египет); *P. fluorescens* – «Sheathguard» (Индия) [120], проявившие высокую эффективность в отношении фитопаразитических нематод. Так, «BioNem» способствовал снижению образования галлов *M. incognita* на растениях томата на 91 %, популяция нематод сократилась на 76 %, а количество яиц – на 45 % [121]. Применение препарата «Stanes Sting» на мандарине снижало развитие *Tylenchulus semipenetrans* на 74 % по сравнению с контролем [122]. А его внесение в почву на поле с картофелем обеспечивало снижение количества галлов и яиц *M. arenaria* на 45 % и 71% соответственно [123].

Но, несмотря на многообещающие результаты лабораторных и тепличных исследований, полевые исследования показывают низкую эффективность и существуют различия в полученных результатах в разные годы и для разных культур. Одна из основных причин таких различий объясняется тем, что эксперименты проводятся в контролируемых условиях лаборатории и теплицы, тогда как на полевые исследования влияет множество биотических и абиотических факторов. Неоднородность почвы – одно из главных препятствий, при котором внесенные бактерии иногда не могут найти нишу, обеспечивающую их существование. Эти бактерии должны конкурировать с нативной микробиотой, часто лучше приспособленной к составу питательных веществ и пространству. Они не могут выдержать этой конкуренции с аборигенной микробиотой и, как следствие, вскоре после инокуляции, популяция бактерий быстро сокращается. Таким образом, необходима разработка препаративных форм, способствующих лучшей адаптации микроорганизмов-антагонистов в почве [124].

**Вирусы фитопаразитических нематод.** Хотя бактериальные и грибные патогены фитонематод были идентифицированы и изучены, мало что известно о

вирусных патогенах нематод. Так, нематоды из родов *Longidorus*, *Trichodorus* и *Xiphinema* являются переносчиками вирусов в растения, однако эти вирусы не заражают нематод, а просто прикрепляются к пищеводу и отслаиваются каждый раз, когда нематода линяет. На сегодняшний день установлено, что цистовые нематоды могут быть инфицированы вирусами семейств Bunyaviridae и Rhabdoviridae [125] и недавно предложенного семейства Nyamiviridae [126]. В 2014 г. обнаружен вирус SbCNCV-5, представляющий собой РНК-вирус из семейства Flaviviridae, поражающий *H. glycines* как в теплицах, так и на соевых полях. Наблюдение за тем, что SbCNCV-5 присутствует на всех стадиях развития нематоды, включая яйцеклетки, ювенильных особей и взрослых самок, предполагается, что вирус передается трансвариально следующему поколению нематод. Кроме того, присутствие SbCNCV-5 в мужских особях указывает на то, что вирус также может передаваться половым путем [127]. Позже у *H. glycines* было обнаружено еще четыре вируса: ScNV, ScPV, ScRV и ScTV, способных инфицировать разные стадии жизненного цикла нематоды [128]. У *H. schachtii* был обнаружен РНК-вирус SbCNCV1, способный поражать яйца и ювенильные стадии нематоды [129].

В 2011 г. был обнаружен вирус Orsay – первый вирус, естественным образом заражающий *Caenorhabditis elegans* Maupas в дикой природе. Также были обнаружены два других вируса нематод, инфицирующих *C. briggsae* – Santeuil и Le Blanc. Все три вируса вызывают аномальные нарушения морфологии кишечника без очевидного влияния на продолжительность жизни или размер яиц. Анализ генетической последовательности показал, что вирусы связаны с семейством Nodaviridae [130].

Учеными из США обнаружен вирус RLNV1, поражающий мигрирующую нематоду *P. penetrans*. Вирус широко распространен в США и Канаде и поражает популяции *P. penetrans*, собранные из различных сельскохозяйственных культур в Северной Америке [131].

Полученные данные могут послужить основой для разработки бионематицидов на основе вирусов для защиты сельскохозяйственных культур от фитопаразитических нематод.

### Заключение

Анализ научных публикаций по исследованной теме показал, что фитопаразитические нематоды являются вредителями, способными наносить существенный ущерб сельскохозяйственным культурам всех семейств. В ходе анализа литературных источников установлено, что на сегодняшний день обнаружено большое количество бактерий и грибов, способных проявлять нематицидный эффект как в лабораторных, так и в тепличных условиях. Обнаружено, что для обеих групп микроорганизмов существует несколько механизмов действия, таких как хищничество, паразитизм, конкуренция и др. Установлено, что грибы и бактерии синтезируют метаболиты различной природы, обладающие нематицидным эффектом: токсины, литические ферменты, антибиотики, сидерофоры. Однако отмечено, что в полевых условиях применение микробов-антагонистов не всегда оказывает заявленный эффект по причине низкой адаптации лабораторных штаммов бактерий и грибов к условиям почвенной среды и низкой конкурентоспособности с аборигенной микробиотой.

На сегодняшний день найдено мало вирусов, способных поражать нематоды. И если создание препаратов на основе энтомопатогенных вирусов против насекомых-вредителей активно развивается, то препаратов на основе вирусов против нематод нет и это направление, возможно, будет весьма перспективным.

*Исследования выполнены согласно Государственному заданию № 075-00376-19-00 Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № 0686-2019-0009.*



Литература

1. El-Sagheer A. M. Plant responses to phytonematodes infestations // In book: Plant health under biotic stress // Ed. by Ansari R., Mahmood I. Singapore: Springer, 2019. P. 161–175. DOI: 10.1007/978-981-13-6040-4\_8.
2. Aydinli G., Mennan S. Identification of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) from greenhouses in the Middle Black Sea Region of Turkey // Turkish Journal of Zoology. 2016. Vol. 40. No. 5. P. 675–685. DOI: 10.3906/zoo-1508-19.
3. Prasad B. D. N., Subramanyam B., Lakshmipathi R. N., Rizwan A. A., Rizvi R., Sumbul A., Mahmood I., Susheelamma N., Rachmi C. M. Utilization of beneficial microorganisms in sustainable control of phytonematodes // In book: Management of phytonematodes: recent advances and future challenges // Ed. by Ansari R., Rizvi R., Mahmood I. Singapore: Springer, 2020. P. 317–337. DOI: 10.1007/978-981-15-4087-5\_14.
4. Shah M. M., Mahmood M. Introductory chapter: nematodes – a lesser known group of organisms // In book: Nematology – Concepts, Diagnosis and Control. 2017. P. 1. DOI: 10.5772/intechopen.68589.
5. Рысс А. Ю. Происхождение фитопаразитизма нематод и их коэволюция с хозяевами и переносчиками (на примере афеленхоидных нематод) // В книге: Коэволюция паразитов и хозяев. Коллективная монография. Труды Зоологического института РАН // Под ред: Галактионова К.В. Санкт-Петербург: ЗИН РАН, 2016. С. 127–159.
6. Rehman S., Gupta V. K., Goyal A. K. Identification and functional analysis of secreted effectors from phytoparasitic nematodes // BMC Microbiology. 2016. Vol. 16. Art. No. 48. DOI: 10.1186/s12866-016-0632-8.
7. Devi T. S., Das D., Ansari R. A., Rizvi R., Sumbul A., Mahmood I. Role of organic additives in the sustainable management of phytoparasitic nematodes // In book: Management of phytonematodes: recent advances and future challenges // Ed. by Ansari R., Rizvi R., Mahmood I. Singapore: Springer, 2020. P. 279–295. DOI: 10.1007/978-981-15-4087-5\_12.
8. Mesa-Valle C. M., Garrido-Cardenas J. A., Cebrian-Carmona J., Talavera M., Manzano-Agugliaro F. Global research on plant nematodes // Agronomy. 2020. Vol. 10. No. 8. P. 1148. DOI: 10.3390/agronomy10081148.
9. Mitiku M. Plant-parasitic nematodes and their management: a review // Journal of biology, agriculture and healthcare. 2018. Vol. 8. No. 1. P. 34–42.
10. Sánchez Monge G. A., Flores L., Salazar L., Hocland S., Bert W. An updated list of the plants associated with plant-parasitic *Aphelenchoides* (Nematoda: *Aphelenchoididae*) and its implications for plant-parasitism within this genus // Zootaxa. 2015. Vol. 4013. No. 2. P. 207–224. DOI:10.11646/zootaxa.4013.2.3.
11. Global Biodiversity Information Facility (GBIF). GBIF Backbone Taxonomy. GBIF Secretariat. 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gbif.org/species/2284354> (дата обращения 08.02.2021).
12. Kohl L. M. Foliar nematodes: a summary of biology and control with a compilation of host range // Plant health progress. 2011. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PHP-2011-1129-01-RV> (дата обращения 08.02.2021).
13. Фитопаразитические нематоды России // Под ред. Зиновьева С. В., Чиждова В. Н. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. С. 159–161.
14. Tülek A., Ates S. S., Akin K., Surek H., Kaya R. Kepenekci I. Determining yield losses in rice cultivars resulting from rice white tip nematode *Aphelenchoides besseyi* in field condition // Pakistan journal of nematology. 2014. Vol. 32. P. 149–154.
15. Cheng X., Xiang Y., Xie H., Xu C.-L., Xie T.-F., Zhang C., Li Y. Molecular characterization and functions of fatty acid and retinoid binding protein gene (*Ab-far-1*) in *Aphelenchoides besseyi* // PLOS ONE. 2013. Vol. 8. Art. No. e66011. DOI: [10.1371/journal.pone.0066011](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066011).
16. Сударикова С. В., Худякова Е. А. Рисовая листовая нематода *Aphelenchoides besseyi*: потенциальная опасность для Российской Федерации // Карантин растений. Наука и практика. 2017. № 2 (20). С. 12–16.
17. Lubis N., Lisnawita Safni I. The effect of the rice white tip nematode, *Aphelenchoides besseyi* Christie, on the yield components of rice cultivars in a glasshouse condition // IOP Conference. Series “Earth and Environmental Science”. London: IOP Publishing, 2020. Art. No. 012178. DOI: 10.1088/1755-1315/454/1/012178.
18. Oliveira C. J., Subbotin S. A., Álvarez-Ortega S., Desaeger J., Brito J. A., Xavier K. V., Freitas L. G., Vau S., Inerra R. N. Morphological and molecular identification of two florida populations of foliar nematodes (*Aphelenchoides* spp.) isolated from strawberry with the description of *Aphelenchoides pseudogoodeyi* sp. n. (Nematoda: *Aphelenchoididae*) and notes on their bionomics // Plant Disease. 2019. Vol. 103. No. 11. P. 2825–2842. DOI: 10.1094/PDIS-04-19-0752-RE.
19. Chaves N., Cervantes E., Zabalgogezcoa I., Araya C. *Aphelenchoides besseyi* Christie (Nematoda: *Aphelenchoididae*), agente causal del amachamiento del frijol común // Tropical Plant Pathology. 2013. Vol. 38. P. 243–252. DOI: 10.1590/S1982-56762013005000009.

20. Cui R. Q., Zhao L. R., Zhong G. Q. A rapid method to detect *Aphelenchoides ritzemabosi* by PCR // Acta agriculturae universitatis jiangxiensis. 2010. Vol. 32. P. 714–717.
21. Бабич А. А., Бабич А. Г. Видовой состав и структура комплекса фитонематод цветочно-декоративных растений в условиях Голосеевского парка города Киева // Российский паразитологический журнал. 2018. Т. 12. № 2. С.91–94. DOI: 10.31016/1998-8435-2018-12-2-91-94.
22. Wang D. W., Xu C. L., Bai Z. S., Li J.-Y., Han Y.-C., Zhao L.-R., Xie H. Development of a loop-mediated isothermal amplification for rapid diagnosis of *Aphelenchoides ritzemabosi* // European Journal of Plant Pathology. 2019. Vol. 155. P. 173–179. DOI: 10.1007/s10658-019-01759-2.
23. Kohl L. M., Warfield C. Y., Benson D. M. Population dynamics and dispersal of *Aphelenchoides fragariae* in Nursery-grown Lantana // Journal of Nematology. 2010. Vol. 42. No. 4. P. 332–341.
24. Pethybridge S. J., Gorny A., Hoogland T., Jones L., Hay F., Smart C., Abawi G. Identification and characterization of *Ditylenchus* spp. populations from garlic in New York State, USA // Tropical Plant Pathology. 2016. Vol. 41. P. 193–197. DOI: 10.1007/S40858-016-0083-7.
25. Бутенко К. О., Шестеперов А. А. Методические положения по изучению путей распространения и факторов передачи возбудителей дитиленхозов тюльпанов, ирисов и других декоративных и сельскохозяйственных культур // Российский паразитологический журнал. 2015. № 1. С. 87–94.
26. Mimeo B., Lord E., Véronneau P.Y., Masonbrink R., Yu Q., Akker S. E. D. The draft genome of *Ditylenchus dipsaci* // Journal of Nematology. 2019. Vol. 51. P. 1–3. DOI: 10.21307/jofnem-2019-027.
27. Yavuzaslanoglu E., Ates Sonmezoglu O., Genc N., Akar Z., Terzi B. Molecular characterization of *Ditylenchus dipsaci* on onion in Turkey // European Journal of Plant Pathology. 2018. Vol. 151. P. 195–200. DOI: 10.1007/s10658-017-1366-7.
28. Yavuzaslanoglu E., Dikici A., Elekcioğlu İ. H. Effect of *Ditylenchus dipsaci* Kühn, 1857 (*Tylenchida: Anguinidae*) on onion yield in Karaman Province, Turkey // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2015. Vol. 39. No. 2. P. 227–233. DOI: 10.3906/tar-1404-133.
29. Расулов Ш. А., Гасанов А. Р. Зараженность стеблевой нематодой клубней картофеля на рынке № 2 г. Махачкала // Вестник СПИ. 2018. № 1 (25). С. 9–21.
30. Рябцева Н. А. Дитиленхоз картофеля в зависимости от разновидности сорта // Вестник АГАУ. 2015. № 6 (128). С. 31–35.
31. Wang H., Mao J., Li R., Luo D., Zhao G., Li H. A culture technique for *Ditylenchus destructor* on sweet potato (*Ipomoea batatas*) // Nematology. 2016. Vol. 18. No. 4. P. 501–503. DOI:10.1163/15685411-00002969.
32. Романенко Н. Д., Петруня И. В., Таболин С. Б. К вопросу о современных методах идентификации видов нематод-вирусоносителей // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2015. № 16. С. 356–359.
33. Романенко Н. Д., Упадышев М. Т., Метлицкая К. В. Оценка поражаемости смородины неповирусами и нематодами-векторами в центральном регионе РФ // Плодоводство и ягодоводство России. 2016. № 46. С. 343–346.
34. Сергеева О. В., Разуваева К. П. Методы выделения и идентификации почвенных нематод семейства *Longidoridae* в условиях карантинных лабораторий // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. № 54. С. 69–73.
35. Subbotin S. A., Rogozhin E. A., Chizhov V. N. Molecular characterisation and diagnostics of some *Longidorus* species (*Nematoda: Longidoridae*) from Russia and other countries using rRNA genes // European Journal of Plant Pathology. 2014. Vol. 138. P. 377–390. DOI: 10.1007/s10658-013-0338-9.
36. Palomares-Rius J. E., Cantalapedra-Navarrete C., Archidona-Yuste A., Subbotin S. A., Castillo P. The utility of mtDNA and rDNA for barcoding and phylogeny of plant-parasitic nematodes from *Longidoridae* (*Nematoda, Enoplea*) // Scientific Reports. 2017. Vol. 7. Art. No. 10905. DOI: 10.1038/s41598-017-11085-4.
37. Decraemer W., Palomares-Rius J. E., Cantalapedra-Navarrete C., Landa B. B., Duarte I., Almeida T., Vovlas N., Castillo P. Seven new species of *Trichodorus* (*Diphtherophorina, Trichodoridae*) from Spain, an apparent centre of speciation // Nematology. 2013. Vol. 15. No. 1. P. 57–100. DOI: 10.1163/156854112X645598.
38. Subbotin S. A., Vera I. C. D. P., Inserra R. N., Chizhov V. N., Decraemer W. Molecular characterisation of some stubby root nematodes (*Nematoda: Trichodoridae*) from the USA and other countries // Nematology. 2019. Vol. 22. No. 1 P. 39–52. DOI: 10.1163/15685411-00003279.
39. Козырева Н. И., Романенко Н. Д. Распространение нематод семейства Trichodoridae – переносчиков тобравирусов в московской области // Паразитология. 2008. Т. 42. № 5. С. 428–434.
40. Masonbrink R., Maier T. R., Muppirala U., Seetharam A. S., Lord E., Juvale P. S., Schmutz J., Johnson N. T., Korkin D., Mitchum M. G., Mimeo B., Eves-van den Akker S., Hudson M., Severin A. J., Baum T. J. The genome of the soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) reveals complex patterns of

duplications involved in the evolution of parasitism genes // BMC Genomics. 2019. Vol. 20. P. 119. DOI: 10.1186/s12864-019-5485-8.

41. Moens M., Perry R. N., Jones J. T. Cyst nematodes – life cycle and economic importance // In book: Cyst Nematodes, CABI. UK: Wallingford, 2018. P. 1–26. DOI: 10.1079/9781786390837.0000.

42. Zheng Q., Putker V., Govere A. Molecular and cellular mechanisms involved in host-specific resistance to cyst nematodes in crops // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12. P. 363. DOI: 10.3389/fpls.2021.641582.

43. Peng D. L., Peng H., Wu D. Q., Huang W. K., Ye W. X., Cui J. K. First report of soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) on soybean from Gansu and Ningxia China // Plant disease. 2016. Vol. 100. No. 1. P. 229–229. DOI: 10.1094/PDIS-04-15-0451-PDN.

44. Курдюкова Е. А., Курдюков А. Б. Репродуктивный потенциал карантинного вредителя сои – соевой нематоды *Heterodera glycines* в условиях Приморского края // Амурский зоологический журнал. 2021. Т. 13. № 1. С. 36–53. DOI: 10.33910/2686-9519-2021-13-1-36-53.

45. Сударикова С. В., Худякова Е. А. Опасный вредитель сои – соевая нематода *Heterodera glycines* // Карантин растений. Наука и практика. 2016. № 1(15). С. 38–42

46. Elhady A., Hallmann J., Heuer H. Symbiosis of soybean with nitrogen fixing bacteria affected by root lesion nematodes in a density-dependent manner // Scientific Reports. 2020. Vol. 10. P. 1619. DOI: 10.1038/s41598-020-58546-x.

47. Емельянова Н. А. Ситуация с золотистой картофельной нематодой в Рязанской области // Защита и карантин растений. 2018. № 12. С. 39–40.

48. Мироненко Н. В., Гавриленко Т. А., Хютти А. В., Афанасенко О. С. Потенциально опасные для отечественного картофелеводства карантинные виды и патотипы нематод: изменчивость популяций и генетика устойчивости картофеля // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. № 24(7). С. 705–721. DOI: 10.18699/VJ20.665.

49. Григорьев В. В., Филичкина Л. А. Золотистая картофельная нематода на территории Новгородской области // Защита и карантин растений. 2019. № 1. С. 27–28.

50. Toumi F., Waeyenberge L., Viaene N., Dababat A., Nicol J. M., Ogbonnaya F., Moens M. Development of two species-specific primer sets to detect the cereal cyst nematodes *Heterodera avenae* and *Heterodera filipjevi* // European Journal of Plant Pathology. 2013. Vol. 136. P. 613–624. DOI: 10.1007/s10658-013-0192-9.

51. Chen C., Cui L., Chen Y., Zhang H., Liu P., Wu P., Qiu D., Zou J., Yang D., Yang L., Liu H., Zhou Y., Li H. Transcriptional responses of wheat and the cereal cyst nematode *Heterodera avenae* during their early contact stage // Scientific Reports. 2017. Vol. 7. Art. No. 14471. DOI: 10.1038/s41598-017-14047-y.

52. Smiley R. W., Marshall J. M., Yan G. P. Effect of foliarly applied spirotetramat on reproduction of *Heterodera avenae* on wheat roots // Plant Disease. 2011. Vol. 95. No. 8. P. 983–989.

53. Jones J. T., Haegeman A., Danchin E. G., Gaur H. S., Helder J., Jones M. G., Kikuchi T., Manzanilla-López R., Palomares-Rius J.E., Wesemael W. M. L., Perry R. N. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology // Molecular plant pathology. 2013. Vol. 14. No. 9. P. 946–961. DOI: 10.1111/mp.12057.

54. Тагиев М. М. Галловые нематоды (*Meloidogyne*) на Апшеронском полуострове и борьба с ними // Успехи современной науки и образования. 2015. № 5. С. 22–24.

55. Palomares-Rius J. E., Escobar C., Cabrera J., Vovlas A., Castillo P. Anatomical alterations in plant tissues induced by plant-parasitic nematodes // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8. P. 1987. DOI: 10.3389/fpls.2017.01987.

56. Xiang N., Lawrence K. S., Donald P. A. Biological control potential of plant growth-promoting rhizobacteria suppression of *Meloidogyne incognita* on cotton and *Heterodera glycines* on soybean: a review // Journal of Phytopathology. 2018. Vol. 166. No. 7–8. P. 449–458. DOI: 10.1111/jph.12712.

57. Li C., Hua C., Hu Y., You J., Mao Y., Li J., Tian Z., Wang C. Response of soybean genotypes to *Meloidogyne incognita* and *M. hapla* in Heilongjiang Province in China // Russian Journal of Nematology 2016. No. 2. P. 89–98.

58. Akpheokhai I. L., Claudius-Cole A. O., Fawole B. Evaluation of some plant extracts for the management of *Meloidogyne incognita* on soybean (*Glycine max*) // World Journal of Agriculture Science. 2012. Vol. 8. No. 4. P. 429–435. DOI: 10.5829/idosi.wjas.2012.8.4.1658.

59. Mahesha H. S., Ravichandra N. G., Rao M. S., Narasegowda N. C., Sonyal S., Hotkar S. Bio-efficacy of different strains of *Bacillus* spp. against *Meloidogyne incognita* under *in vitro* // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017. Vol. 6. No. 11. P. 2511–2517. DOI: 10.20546/ijcm.2017.611.295.

60. Seo D. J., Kim K. Y., Park R. D., Kim D. H., Han Y. S., Kim T. H., Jung W. J. Nematicidal activity of 3, 4-dihydroxybenzoic acid purified from *Terminalia nigrovenulosa* bark against *Meloidogyne incognita* // Microbial Pathogenesis. 2013. Vol. 59. P. 52–59. DOI: 10.1016/j.micpath.2013.04.005.

61. Débia P. J. G., Bolanho B. C., Puerari H. H., Dias-Arieira C. R. *Meloidogyne javanica* parasitism and its impacts on the vegetative parameters, physicochemical composition, and antioxidant potential of beet // Pesquisa agropecuária Brasileira. 2019. Vol. 54. Art. No. e00695. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00695.
62. Wesemael W., Viaene N., Moens M. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Europe // Nematology. 2011. Vol. 13. No. 1. P. 3–16. DOI: 10.1163/138855410X526831.
63. Wu X., Zhu X., Wang Y., Liu X., Chen L., Duan Y. The cold tolerance of the northern root-knot nematode, *Meloidogyne hapla* // PLoS ONE. 2018. Vol. 13. No. 1. Art. No. e0190531. DOI: 10.1371/journal.pone.0190531.
64. Осташева Н. А. Галловая нематода (*Meloidogyne hapla* Chitwood) – опасный паразит лекарственных, плодовых и субтропических культур на Черноморском побережье России и меры борьбы с ней // Субтропическое и декоративное садоводство. 2011. № 44. С. 236–240.
65. Grabau Z. J., Mauldin M. D., Habtweld A., Carter E. T. Nematicide efficacy at managing *Meloidogyne arenaria* and non-target effects on free-living nematodes in peanut production // Journal of Nematology. 2020. Vol. 52. P. 1–10. DOI: 10.21307/jofnem-2020-028.
66. Schmitt J., Bellé C., Jacques R. J. S., Cares J. E., Antonioli Z. I. Detection of *Meloidogyne arenaria* in cucumber in Rio Grande do Sul state, Brazil // Australasian Plant Disease Notes. 2018. No. 13. P. 8. DOI: 10.1007/s13314-018-0293-6.
67. Zhang S., Gan Y., Ji W., Xu B., Hou B., Liu J. Mechanisms and characterization of *Trichoderma longibrachiatum* T6 in suppressing nematodes (*Heterodera avenae*) in wheat // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8. P. 1491. DOI: 10.3389/fpls.2017.01491.
68. Giannakou I. O., Panopoulou S. The use of fluensulfone for the control of root-knot nematodes in greenhouse cultivated crops: efficacy and phytotoxicity effects // Cogent Food & Agriculture. 2019. Vol. 5. No. 1. Art. No. 1643819. DOI: 10.1080/23311932.2019.1643819.
69. Зиновьева С. В., Васюкова Н. И., Удалова Ж. В., Герасимова Н. Г. Участие салициловой и жасмоновой кислот в генетической и индуцированной устойчивости томатов при инвазии галловой нематодой *Meloidogyne incognita* (Kofoid, White, 1919) // Известия РАН. Серия Биологическая. 2013. № 3. С. 332–340. DOI: 10.7868/S0002332913030120.
70. Marrone P. G. Status and potential of bioprotection products for crop protection // In book: Recent Highlights in the Discovery and Optimization of Crop Protection Products. USA: Academic Press, 2021. P. 25–38. DOI: 10.1016/B978-0-12-816328-3.00015-5.
71. Stirling G. R. Biological control of plant-parasitic nematodes // In book: Diseases of Nematodes // Ed. by Poinar G. O. USA: CRC Press, 2018. P. 103–150. DOI: 10.1201/9781351071468.
72. Poveda J., Abril-Urias P., Escobar C. Biological control of plant-parasitic nematodes by filamentous fungi inducers of resistance: *Trichoderma*, *mycorrhizal* and endophytic fungi // Frontiers in Microbiology. 2020. Vol. 11. P. 992. DOI: 10.3389/fmicb.2020.00992.
73. Li J., Zou C., Xu J., Ji X., Niu X., Yang J., Huang X., Zhang K. Q. Molecular mechanisms of nematode-nematophagous microbe interactions: Basis for biological control of plant-parasitic nematodes // Annual Review of Phytopathology. 2015. Vol. 53. No. 1. P. 67–95. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080614-120336.
74. Jiang X., Xiang M., Liu X. Nematode-trapping fungi // Microbiology Spectrum. 2017. Vol. 5. No. 1. P. 5–1. DOI: 10.1128/microbiolspec.FUNK-0022-2016.
75. Liang L. M., Zou C. G., Xu J., Zhang K. Q. Signal pathways involved in microbe-nematode interactions provide new insights into the biocontrol of plant-parasitic nematodes // Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences. 2019. Vol. 374. No. 1767. Art. No. 20180317. DOI: 10.1098/rstb.2018.0317.
76. Zhang Y., Zhang K.-Q., Hyde K. The ecology of nematophagous fungi in natural environments // In book: Nematode-Trapping Fungi // Ed. by Zhang K.-Q., Hyde K. D. The Netherlands: Springer, 2014. P. 211–229. DOI: 10.1007/978-94-017-8730-7\_4.
77. De Freitas Soares F. E., Sufiate B. L., de Queiroz J. H. Nematophagous fungi: far beyond the endoparasite, predator and ovicidal groups // Agriculture and Natural Resources. 2018. Vol. 52. No. 1. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.anres.2018.05.010.
78. Su H., Zhao Y., Zhou J., Feng H., Jiang D., Zhang K. Q., Yang J. Trapping devices of nematode-trapping fungi: formation, evolution, and genomic perspectives // Biological Reviews. 2017. Vol. 92. No. 1. P. 357–368. DOI: 10.1111/brv.12233.
79. Ji X., Yu Z., Yang J., Xu J., Zhang Y., Liu S., Zou C., Li J., Liang L., Zhang K. Q. Expansion of adhesion genes drives pathogenic adaptation of nematode-trapping fungi // iScience. 2020. Vol. 23. Art. No. 101057. DOI: 10.1016/j.isci.2020.101057.
80. Cui R., Fan C., Sun X. Isolation and characterisation of *Aspergillus awamori* BS05, a root-knot-nematode-trapping fungus // Biocontrol Science and Technology. 2015. Vol. 25. No. 11. P. 1233–1240. DOI: 10.1080/09583157.2015.1040373.

81. De Souza Gouveia A., de Freitas Soares F. E., Morgan T., Sufiate B. L., Tavares G. P., Braga F. R., de Queiroz J. H. Enhanced production of *Monacrosporium thaumasium* protease and destruction action on root-knot nematode *Meloidogyne javanica* eggs // Rhizosphere. 2017. Vol. 3. P. 13–15. DOI: 10.1016/j.rhisph.2016.12.001.
82. Hussain M., Zouhar M., Rysanek P. Effect of some nematophagous fungi on reproduction of a nematode pest, *Heterodera schachtii*, and growth of sugar beet // Pakistan Journal of Zoology. 2017. Vol. 49. No. 1. DOI: 10.17582/journal.pjz/2017.49.1.189.196.
83. Hiep N. V., Ha N. T., Thuy T. T. T., Van Toan P. Isolation and selection of *Arthrobotrys nematophagous* fungi to control the nematodes on coffee and black pepper plants in Vietnam // Archives of Phytopathology and Plant Protection. 2019. Vol. 52. No. 7–8. P. 825–843. DOI: 10.1080/03235408.2019.1647694.
84. Soliman M. S., El-Deriny M. M., Ibrahim D. S., Zakaria H., Ahmed Y. The nematode trapping fungus *Arthrobotrys oligospora* Fresenius, a potential bio-control agent suppressing the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomato plants // Journal of Applied Microbiology. 2021. DOI:10.1111/JAM.15101.
85. Karakaş M. Nematode-Destroying Fungi: infection structures, interaction mechanisms and biocontrol // Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series C – Biology. 2020. Vol. 29. No. 1. P. 176–201.
86. Kumar K. K. Fungi: A Bio-resource for the Control of Plant Parasitic Nematodes // In book: Agriculturally Important Fungi for Sustainable Agriculture. Fungal Biology // Ed. by Yadav A. N., Mishra S. S., Kour D., Yadav N., Kumar A. Switzerland: Springer, 2020. P. 285–311. DOI: 10.1007/978-3-030-48474-3\_10.
87. Saxena G. Biological control of root-knot and cyst nematodes using Nematophagous fungi // In book: Root Biology. Soil Biology // Ed. by Giri B., Prasad R., Varma A. Switzerland: Springer, 2018. P. 221–237. DOI: 10.1007/978-3-319-75910-4\_8.
88. Devi G. Utilization of nematode destroying fungi for management of plant-parasitic nematodes – a Review // Biosciences Biotechnology Research Asia. 2018. Vol. 15. No. 2. P. 377–396. DOI: 10.13005/bbra/2642.
89. Zhang Y., Li S., Li H., Wang R., Zhang K. Q., Xu J. Fungi–nematode interactions: diversity, ecology, and biocontrol prospects in agriculture // Journal of Fungi. 2020. Vol. 6. No. 4. P. 206. DOI:10.3390/jof6040206 w.
90. Manzanilla-López R. H., Esteves I., Finetti-Sialer M. M., Hirsch P. R., Ward E., Devonshire J., Hidalgo-Díaz L. *Pochonia chlamydosporia*: advances and challenges to improve its performance as a biological control agent of sedentary endo-parasitic nematodes // Journal of Nematology. 2013. Vol. 45. No. 1. P. 1–7.
91. Dahlin P., Eder R., Consoli E., Krauss J., Kiewnick S. Integrated control of *Meloidogyne incognita* in tomatoes using fluopyram and *Purpureocillium lilacinum* strain 251 // Crop Protection. 2019. Vol. 124. P. 104874. DOI: 10.1016/j.cropro.2019.104874.
92. Haarith D., Kim D. G., Chen S., Bushley K. E. Growth chamber and greenhouse screening of promising in vitro fungal biological control candidates for the soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) // Biological Control. 2021. Vol. 160. P. 104635. DOI:10.1016/j.biocontrol.2021.104635.
93. Hore J., Roy K., Maiti A. K. Evaluation of Bio-Nematon (*Purpureocillium lilacinum* 1.15 % WP) against root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in tomato // Journal of Entomology and Zoology Studies. 2018. Vol. 6. No. 4. P. 1700–1704.
94. Li G. H., Zhang K. Q. Nematode-toxic fungi and their nematocidal metabolites // In book: Nematode-trapping fungi. Fungal diversity research series. Vol. 23. The Netherlands: Eds. Springer, 2014. P. 313–375. DOI: 10.1007/978-94-017-8730-7\_7.
95. Zhao D., Liu B., Wang Y., Zhu X., Duan Y., Chen L. Screening for nematocidal activities of *Beauveria bassiana* and associated fungus using culture filtrate // African Journal of Microbiology Research. 2013. Vol. 7. No. 11. P. 974–978. DOI: 10.5897/AJMR12.2340.
96. Sharma M., Jasrotia S., Ohri P. Nematocidal potential of *Streptomyces antibioticus* strain M7 against *Meloidogyne incognita* // AMB Express. 2019. Vol. 9. P. 168. DOI: 10.1186/s13568-019-0894-2.
97. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Часть I. М.: МСХ РФ, 2021. С. 136.
98. Guo J.-P., Zhu C.-Y., Zhang C.-P., Chu Y.-S., Wang Y.-L., Zhang J.-X., Wu D.-K., Zhang K.-Q., Niu X.-M. Thermolides, potent nematocidal PKS-NRPS hybrid metabolites from thermophilic fungus *Talaromyces thermophilus* // Journal of the American Chemical Society. 2012. Vol. 134. No. 50. P. 20306–20309. DOI: 10.1021/ja3104044.
99. Degenkolb T., Vilcinskas A. Metabolites from nematophagous fungi and nematocidal natural products from fungi as alternatives for biological control. Part II: metabolites from nematophagous basidiomycetes and non-nematophagous fungi // Applied Microbiology and Biotechnology. 2016. Vol. 100. No. 9. P. 3813–3824. DOI: 10.1007/s00253-015-7234-5.
100. Kumar G. Maharshi A., Patel J., Mukherjee A., Singh H. B., Sarma B. K. Trichoderma: a potential fungal antagonist to control plant diseases // SATSA Mukhapatra – Annual Technical Issue. 2017. Vol. 21. P. 206–218.

101. Waweru B., Turoop L., Kahangi E., Coyneb D., Dubois T., Non-pathogenic *Fusarium oxysporum* endophytes provide field control of nematodes, improving yield of banana (*Musa sp.*) // *Biological Control*. 2014. Vol. 74. P. 82–88 DOI: 10.1016/j.biocontrol.2014.04.002.
102. Gómez-Tenorio M. A., Tello J. C., Zanón M. J., de Cara M. Soil disinfestation with dimethyl disulfide (DMDS) to control *Meloidogyne* and *Fusarium oxysporum* f. sp. radicis-lycopersici in a tomato greenhouse // *Crop Protection*. 2018. Vol. 112. P. 133–140 DOI: 10.1016/j.cropro.2018.05.023.
103. Westerdahl B. B. Evaluation of trap cropping for management of root-knot nematode on annual crops // *Acta Horticulturae*. 2018. P. 141–146. DOI: 10.17660/ActaHortic.2020.1270.15.
104. Spence K. O., Lewis E. E. Biopesticides with complex modes of action: direct and indirect effects of DiTera® on *Meloidogyne incognita* // *Nematology*. 2010. Vol. 12. No. 6. P. 835–846. DOI: 10.1163/138855410X494251.
105. Gao H., Qi G., Yin R., Zhang H., Li C., Zhao X. *Bacillus cereus* strain S2 shows high nematicidal activity against *Meloidogyne incognita* by producing sphingosine // *Scientific Reports*. 2016. Vol. 06. No. 24. P. 28756. DOI: 10.1038/srep28756.
106. Raymaekers K., Ponet L., Holtappels D., Berckmans B., Cammue B.P.A. Screening for novel biocontrol agents applicable in plant disease management – a review // *Biological Control*. 2020. Vol. 144. Art. No. 104240. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2020.104240.
107. Aballay E., Ordenes P., Mårtensson A., Persson P. Effects of rhizobacteria on parasitism by *Meloidogyne ethiopica* on grapevines // *European Journal of Plant Pathology*. 2013. Vol. 135. P. 137–145. DOI: 10.1007/s10658-012-0073-7.
108. Li X., Hu H.J., Li J.Y., Wang C., Chen S.L., Yan S.Z. Effects of the endophytic bacteria *Bacillus cereus* BCM2 on tomato root exudates and *Meloidogyne incognita* infection // *Plant Disease*. 2019. Vol. 103. P. 1551–1558. DOI: 10.1094 / PDIS-11-18-2016-RE.
109. Tran T. P. H., Wang S.-L., Nguyen V. B., Tran D. M., Nguyen D. S., Nguyen A. D. Study of novel endophytic bacteria for biocontrol of black pepper root-knot nematodes in the central highlands of Vietnam // *Agronomy*. 2019. Vol. 9. No. 11. P. 714. DOI: 10.3390/agronomy9110714.
110. Lubis K. S. I., Tantawi A. R., Murthi S. Isolation and characterization of rhizobacteria for biological control of root-knot nematodes in Indonesia // *Journal of ISSAAS*. 2018. Vol. 24. P. 67–81.
111. Soliman G. M., Ameen H. H., Abdel-Aziz S. M., El-Sayed G. M. *In vitro* evaluation of some isolated bacteria against the plant parasite nematode *Meloidogyne incognita* // *Bulletin of the National Research Centre*. 2019. Vol. 43. P. 171. DOI: 10.1186/s42269-019-0200-0.
112. Gamalero E., Glick B. R. The use of plant growth-promoting bacteria to prevent nematode damage to plants // *Biology*. 2020. Vol. 9. No. 11. P. 381. DOI: 10.3390/biology9110381.
113. Kang W., Zhu X., Chen W. L., Duan Y. Transcriptomic and metabolomic analyses reveal that bacteria promote plant defense during infection of soybean cyst nematode in soybean // *BMC Plant Biology*. 2018. Vol. 18. P. 86. DOI: 10.1186/s12870-018-1302-9.
114. Sahebani N., Gholamrezae N., The biocontrol potential of *Pseudomonas fluorescens* CHA0 against root knot nematode (*Meloidogyne javanica*) is dependent on the plant species // *Biological Control*. 2021. Vol. 152. Art. No. 104445. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2020.104445.
115. Mota M. S., Gomes C. B., Souza J., Moura A. B. Bacterial selection for biological control of plant disease: criterion determination and validation // *Brazilian Journal of Microbiology*. 2017. Vol. 48. No. 1. P. 62–70. DOI: 10.1016 / j.bjm.2016.09.003.
116. Wani A. H. Plant growth-promoting rhizobacteria as biocontrol agents of phytonematodes // In book: *Biocontrol agents of phytonematodes* // Ed. by Askary T. H., Martinelli P. R. P. UK: CABI, 2015. 339 p.
117. Köhl J., Kolnaar R., Ravensberg W. J. Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy // *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. P. 845. DOI: 10.3389/fpls.2019.00845.
118. Phani V., Rao U. Revisiting the life-cycle of *Pasteuria penetrans* infecting *Meloidogyne incognita* under soil-less medium, and effect of streptomycin sulfate on its development // *Journal of Nematology*. 2018. Vol. 50. P. 91–98. DOI: 10.21307/jofnem-2018-022.
119. Zhang C., Zhao N., Chen Y., Zhang D., Yan J., Zou W., Zhang K., Huang X. The signaling pathway of *C. elegans* mediates chemotaxis response to the attractant 2-heptanone in a «Trojan horse»-like pathogenesis // *Journal of Biological Chemistry*. 2016. Vol. 291. No. 45. P. 23618–23627. DOI: 10.1074/jbc.M116.741132
120. Abd-Elgawad M. M. M., Askary T. H. Fungal and bacterial nematicides in integrated nematode management strategies // *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 2018. Vol. 28. No. 1. P. 1–24. DOI: 10.1186/s41938-018-0080-x.
121. Subedi S., Thapa B., Shrestha J. Overview of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) and control management // *Journal of agriculture and natural resources*. 2020. Vol. 3. No. 2. P. 21–31. DOI: 10.3126/janr.v3i2.32298.

122. Hammam M. M. A., Wafaa M., Abd-Elgawad M. M. M. Biological and chemical control of the citrus nematode, *Tylenchulus semipenetrans* (Cobb, 1913) on mandarin in Egypt // Egyptian Journal of Biological Pest Control. 2016. Vol. 26. No. 2. P. 345–349.
123. Abd-El-Khair H., Wafaa M. Field application of bio-control agents for controlling fungal root rot and root-knot nematode in potato // Archives of Phytopathology and Plant Protection. 2014. Vol. 47. No. 10. P. 1218–1230. DOI:10.1080/03235408.2013.837632.
124. Sidhu H. S. Potential of plant growth-promoting rhizobacteria in the management of nematodes: a review // Journal of Entomology and Zoology Studies. 2018. Vol. 6. No. 3. P. 1536–1545.
125. Bekal S., Domier L. L., Niblack T. L., Lambert K. N. Discovery and initial analysis of novel viral genomes in the soybean cyst nematode // Journal of General Virology. 2011. Vol. 92. P. 1870–1879. DOI: 10.1099/vir.0.030585-0.
126. Kuhn J. H., Bekal S., Cai Y., Clawson A. N., Domier L. L., Herrel M., Jahrling P. B., Kondo H., Lambert K. N., Mihindukulasuriya K.A., Nowotny N., Radoshitzky S.R., Schneider U., Staeheli P., Suzuki N., Tesh R.B., Wang D., Wang L.F., Dietzgen R.G. Nyamiviridae: proposal for a new family in the order Mononegavirales // Archives of Virology. 2013. Vol. 158. P. 2209–2226. DOI: 10.1007/s00705-013-1674-y.
127. Bekal S., Domier L. L., Gonfa B., McCoppin N. K., Lambert K. N., Bhalerao K. A novel flavivirus in the soybean cyst nematode // Journal of General Virology. 2014. Vol. 95. No. 6. P. 1272–1280. DOI: 10.1099/vir.0.060889-0.
128. Ruark C. L., Koening S. R., Davis E. L., Opperman C. H., Lommel S. A., Mitchum M. G., Sit T. L. Soybean cyst nematode culture collections and field populations from North Carolina and Missouri reveal high incidences of infection by viruses // PLoS One. 2017. Vol. 12. No. 1. Art. No. e0171514. DOI: 10.1371/journal.pone.0171514.
129. Lin J., Ye R., Thekke-Veetil T., Staton M. E., Arelli P. R., Bernard E. C., Bernard E.C., Hewezi T., Domier L.L., Hajimorad M. R. A novel picornavirus-like genome from transcriptome sequencing of sugar beet cyst nematode represents a new putative genus // Journal of General Virology. 2018. Vol. 99. No. 10. P. 1418–1424. DOI: 10.1099/jgv.0.001139.
130. Guo Y. R., Hryc C. F., Jakana J., Jiang H., Wang D., Chiu W., Zhong W., Tao Y.J. Crystal structure of a nematode-infecting virus // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2014. Vol. 111. No. 35. P. 12781–12786. DOI: 10.1073/pnas.1407122111.
131. Vieira P., Peetz A., Mimee B., Saikai K., Mollov D., MacGuidwin A., Zasada I., Nemchinov L.G. Prevalence of the root lesion nematode virus (RLNV1) in populations of *Pratylenchus penetrans* from North America // Journal of Nematology. 2020. Vol. 52. P. 1–10. DOI: 10.21307/jofnem-2020-045.

## References

1. El-Sagheer A. M. Plant responses to phytonematodes infestations // In book: Plant health under biotic stress // Ed. by Ansari R., Mahmood I. Singapore: Springer, 2019. P. 161–175. DOI: 10.1007/978-981-13-6040-4\_8.
2. Aydinli G., Mennan S. Identification of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) from greenhouses in the Middle Black Sea Region of Turkey // Turkish Journal of Zoology. 2016. Vol. 40. No. 5. P. 675–685. DOI: 10.3906/zoo-1508-19.
3. Prasad B. D. N., Subramanyam B., Lakshmipathi R. N., Rizwan A. A., Rizvi R., Sumbul A., Mahmood I., Susheelamma N., Rachmi C. M. Utilization of beneficial microorganisms in sustainable control of phytonematodes // In book: Management of phytonematodes: recent advances and future challenges // Ed. by Ansari R., Rizvi R., Mahmood I. Singapore: Springer, 2020. P. 317–337. DOI: 10.1007/978-981-15-4087-5\_14.
4. Shah M. M., Mahmood M. Introductory chapter: nematodes – a lesser known group of organisms // In book: Nematology – Concepts, Diagnosis and Control. 2017. P. 1. DOI: 10.5772/intechopen.68589.
5. Ryss A. Yu. Origin of phytoparasitism of nematodes and their coevolution with hosts and vectors (on the example of aphelenchoid nematodes) // In book: Coevolution of parasites and hosts. Collective monograph. Proceedings of the Zoological Institute RAS // Ed. by Galaktionov K. V. Saint-Petersburg: ZIN RAN Publishing House, 2016. P. 127–159.
6. Rehman S., Gupta V. K., Goyal A. K. Identification and functional analysis of secreted effectors from phytoparasitic nematodes // BMC Microbiology. 2016. Vol. 16. Art. No. 48. DOI: 10.1186/s12866-016-0632-8.
7. Devi T. S., Das D., Ansari R. A., Rizvi R., Sumbul A., Mahmood I. Role of organic additives in the sustainable management of phytoparasitic nematodes // In book: Management of phytonematodes: recent advances and future challenges // Ed. by Ansari R., Rizvi R., Mahmood I. Singapore: Springer, 2020. P. 279–295. DOI: 10.1007/978-981-15-4087-5\_12.
8. Mesa-Valle C. M., Garrido-Cardenas J. A., Cebrian-Carmona J., Talavera M., Manzano-Agugliaro F. Global research on plant nematodes // Agronomy. 2020. Vol. 10. No. 8. P. 1148. DOI: 10.3390/agronomy10081148.
9. Mitiku M. Plant-parasitic nematodes and their management: a review // Journal of biology, agriculture and healthcare. 2018. Vol. 8. No. 1. P. 34–42.

10. Sánchez Monge G. A., Flores L., Salazar L., Hocland S., Bert W. An updated list of the plants associated with plant-parasitic *Aphelenchoides* (Nematoda: *Aphelenchoididae*) and its implications for plant-parasitism within this genus // *Zootaxa*. 2015. Vol. 4013. No. 2. P. 207–224. DOI:10.11646/zootaxa.4013.2.3.
11. Global Biodiversity Information Facility (GBIF). GBIF Backbone Taxonomy. GBIF Secretariat. 2016. [Electronic resource]. Access point: <http://www.gbif.org/species/2284354> (reference's date 08.02.2021).
12. Kohl L. M. Foliar nematodes: a summary of biology and control with a compilation of host range // *Plant health progress*. 2011. [Electronic resource]. Access point: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PHP-2011-1129-01-RV> (reference's date 08.02.2021).
13. *Phytoparasitic nematodes of Russia* // Ed. by: Zinovieva S.V., Chizhov V.N. Moscow: Cooperation of scientific publishers KMK, 2012. P. 159–161.
14. Tülek A., Ates S. S., Akin K., Surek H., Kaya R. Kepenekci I. Determining yield losses in rice cultivars resulting from rice white tip nematode *Aphelenchoides besseyi* in field condition // *Pakistan journal of nematology*. 2014. Vol. 32. P. 149–154.
15. Cheng X., Xiang Y., Xie H., Xu C.-L., Xie T.-F., Zhang C., Li Y. Molecular characterization and functions of fatty acid and retinoid binding protein gene (*Ab-far-1*) in *Aphelenchoides besseyi* // *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8. Art. No. e66011. DOI: 10.1371/journal.pone.0066011.
16. Sudarikova S. V., Khudyakova E. A. Rice leaf nematode *Aphelenchoides besseyi*: a potential hazard for the Russian Federation // *Plant Quarantine. Science and practice*. 2017. No. 2 (20). P. 12–16.
17. Lubis N., Lisnawita Safni I. The effect of the rice white tip nematode, *Aphelenchoides besseyi* Christie, on the yield components of rice cultivars in a glasshouse condition // *IOP Conference. Series "Earth and Environmental Science"*. London: IOP Publishing, 2020. Art. No. 012178. DOI: 10.1088/1755-1315/454/1/012178.
18. Oliveira C. J., Subbotin S. A., Álvarez-Ortega S., Desaegeer J., Brito J. A., Xavier K. V., Freitas L. G., Vau S., Inerra R. N. Morphological and molecular identification of two florida populations of foliar nematodes (*Aphelenchoides* spp.) isolated from strawberry with the description of *Aphelenchoides pseudogoodeyi* sp. n. (Nematoda: *Aphelenchoididae*) and notes on their bionomics // *Plant Disease*. 2019. Vol. 103. No. 11. P. 2825–2842. DOI: 10.1094/PDIS-04-19-0752-RE.
19. Chaves N., Cervantes E., Zabalgoageazcoa I., Araya C. *Aphelenchoides besseyi* Christie (Nematoda: *Aphelenchoididae*), agente causal del amachamiento del frijol común // *Tropical Plant Pathology*. 2013. Vol. 38. P. 243–252. DOI: 10.1590/S1982-56762013005000009.
20. Cui R. Q., Zhao L. R., Zhong G. Q. A rapid method to detect *Aphelenchoides ritzemabosi* by PCR // *Acta agriculturae universitatis jiangxiensis*. 2010. Vol. 32. P. 714–717.
21. Babich A. A., Babich A. G. Species composition and structure of complex of phytonematodes of ornamental plants under conditions of Kiev Goloseevskiy park // *Russian Journal of Parasitology*. 2018. Vol. 12. No. 2. P. 91–94. DOI: 10.31016/1998-8435-2018-12-2-91-94.
22. Wang D. W., Xu C. L., Bai Z. S., Li J.-Y., Han Y.-C., Zhao L.-R., Xie H. Development of a loop-mediated isothermal amplification for rapid diagnosis of *Aphelenchoides ritzemabosi* // *European Journal of Plant Pathology*. 2019. Vol. 155. P. 173–179. DOI: 10.1007/s10658-019-01759-2.
23. Kohl L. M., Warfield C. Y., Benson D. M. Population dynamics and dispersal of *Aphelenchoides fragariae* in Nursery-grown Lantana // *Journal of Nematology*. 2010. Vol. 42. No. 4. P. 332–341.
24. Pethybridge S. J., Gorny A., Hoogland T., Jones L., Hay F., Smart C., Abawi G. Identification and characterization of *Ditylenchus* spp. populations from garlic in New York State, USA // *Tropical Plant Pathology*. 2016. Vol. 41. P. 193–197. DOI: 10.1007/S40858-016-0083-7.
25. Butenko K. O., Shesteporov A. A. Methodical guidelines for investigation of distribution and factors in the transmission of ditylenchosis of tulips, iris and other decorative and agricultural crops // *Russian Journal of Parasitology*. 2015. No. 1. P. 87–94.
26. Mimeo B., Lord E., Véronneau P.Y., Masonbrink R., Yu Q., Akker S. E. D. The draft genome of *Ditylenchus dipsaci* // *Journal of Nematology*. 2019. Vol. 51. P. 1–3. DOI: 10.21307/jofnem-2019-027.
27. Yavuzaslanoglu E., Ates Sonmezoglu O., Genc N., Akar Z., Terzi B. Molecular characterization of *Ditylenchus dipsaci* on onion in Turkey // *European Journal of Plant Pathology*. 2018. Vol. 151. P. 195–200. DOI: 10.1007/s10658-017-1366-7.
28. Yavuzaslanoglu E., Dikici A., Elekcioğlu İ. H. Effect of *Ditylenchus dipsaci* Kühn, 1857 (*Tylenchida: Anguinidae*) on onion yield in Karaman Province, Turkey // *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2015. Vol. 39. No. 2. P. 227–233. DOI: 10.3906/tar-1404-133.
29. Rasulov Sh. A., Hasanov A. R. The infestation of stem nematodes of potato tubers in the market No. 2, Makhachkala // *Bulletin of the Socio-Pedagogical Institute*. 2018. Vol. 1. No. 25. P. 9–21.
30. Ryabtseva N. A. Ditylenchosis of potatoes depending on variety features // *Bulletin of the Altai State Agricultural University*. 2015. Vol. 6. No. 128. P. 31–35.
31. Wang H., Mao J., Li R., Luo D., Zhao G., Li H. A culture technique for *Ditylenchus destructor* on sweet potato (*Ipomoea batatas*) // *Nematology*. 2016. Vol. 18. No. 4. P. 501–503. DOI:10.1163/15685411-00002969.



32. Romanenko N. D., Petrunya I. V., Tabolin S. B. On the issue of modern methods of identification of nematode species – virus carriers // Theory and practice of controlling parasitic diseases. 2015. No. 16. P. 356–359.
33. Romanenko N. D., Upadyshev M. T., Metlitskaya K. V. Estimation of nepoviruses and nematode-vectors contamination on currant plants in central region of Russian Federation // Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia. 2016. No. 46. P. 343–346.
34. Sergeeva O. V., Razuvaeva K. P. Methods for isolation and identification of soil nematodes of the *Longidoridae* family in conditions of quarantine laboratories // Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2019. No. 54. P. 69–73.
35. Subbotin S. A., Rogozhin E. A., Chizhov V. N. Molecular characterisation and diagnostics of some *Longidorus* species (*Nematoda: Longidoridae*) from Russia and other countries using rRNA genes // European Journal of Plant Pathology. 2014. Vol. 138. P. 377–390. DOI: 10.1007/s10658-013-0338-9.
36. Palomares-Rius J. E., Cantalapiedra-Navarrete C., Archidona-Yuste A., Subbotin S. A., Castillo P. The utility of mtDNA and rDNA for barcoding and phylogeny of plant-parasitic nematodes from *Longidoridae* (*Nematoda, Enoplea*) // Scientific Reports. 2017. Vol. 7. Art. No. 10905. DOI: 10.1038/s41598-017-11085-4.
37. Decraemer W., Palomares-Rius J. E., Cantalapiedra-Navarrete C., Landa B. B., Duarte I., Almeida T., Vovlas N., Castillo P. Seven new species of *Trichodorus* (*Diphtherophorina, Trichodoridae*) from Spain, an apparent centre of speciation // Nematology. 2013. Vol. 15. No. 1. P. 57–100. DOI: 10.1163/156854112X645598.
38. Subbotin S. A., Vera I. C. D. P., Inserra R. N., Chizhov V. N., Decraemer W. Molecular characterisation of some stubby root nematodes (*Nematoda: Trichodoridae*) from the USA and other countries // Nematology. 2019. Vol. 22. No. 1 P. 39–52. DOI: 10.1163/15685411-00003279.
39. Kozyreva N. I., Romanenko N. D. Distribution of the nematodes from family *Trichodoridae*, vectors of the tobacco rattle virus, in the Moscow oblast // Parasitologiya. 2008. Vol. 42. No. 5. P. 428–434.
40. Masonbrink R., Maier T. R., Muppirala U., Seetharam A. S., Lord E., Juvale P. S., Schmutz J., Johnson N. T., Korkein D., Mitchum M. G., Mimeo B., Eves-van den Akker S., Hudson M., Severin A. J., Baum T. J. The genome of the soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) reveals complex patterns of duplications involved in the evolution of parasitism genes // BMC Genomics. 2019. Vol. 20. P. 119. DOI: 10.1186/s12864-019-5485-8.
41. Moens M., Perry R. N., Jones J. T. Cyst nematodes – life cycle and economic importance // In book: Cyst Nematodes, CABI. UK: Wallingford, 2018. P. 1–26. DOI: 10.1079/9781786390837.0000.
42. Zheng Q., Putker V., Goverse A. Molecular and cellular mechanisms involved in host-specific resistance to cyst nematodes in crops // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12. P. 363. DOI: 10.3389/fpls.2021.641582.
43. Peng D. L., Peng H., Wu D. Q., Huang W. K., Ye W. X., Cui J. K. First report of soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) on soybean from Gansu and Ningxia China // Plant disease. 2016. Vol. 100. No. 1. P. 229–229. DOI: 10.1094/PDIS-04-15-0451-PDN.
44. Kurdyukova E. A., Kurdyukov A. B. Reproductive potential of soybean cyst nematode *Heterodera glycines* – quarantine pest of soybean – in Primorsky region conditions // Amurian Zoological Journal. 2021. Vol. 13. No. 1. P. 36–53. DOI: 10.33910/2686-9519-2021-13-1-36-53.
45. Sudarikova S. V., Khudyakova E. A. A dangerous pest of soy – the soybean nematode *Heterodera glycines* // Plant Quarantine. Science and practice. 2016. Vol. 1. No. 15. P. 38–42.
46. Elhady A., Hallmann J., Heuer H. Symbiosis of soybean with nitrogen fixing bacteria affected by root lesion nematodes in a density-dependent manner // Scientific Reports. 2020. Vol. 10. P. 1619. DOI: 10.1038/s41598-020-58546-x.
47. Emelyanova N. A. The situation with the golden potato nematode in the Ryazan region // Plant protection and quarantine. 2018. No. 12. P. 39–40.
48. Mironenko N. V., Gavrilenko T. A., Khutti A. V., Afanasenko O. S. Quarantine nematode species and pathotypes potentially dangerous for domestic potato production: populations diversity and the genetics of potato resistance // Vavilov Journal of Genetics And Breeding. 2020. Vol. 24. No. 7. P. 705–721. DOI: 10.18699/VJ20.665.
49. Grigoriev V. V., Filichkina L. A. Golden potato nematode on the territory of the Novgorod region // Plant protection and quarantine. 2019. No. 1. P. 27–28.
50. Toumi F., Waeyenberge L., Viaene N., Dababat A., Nicol J. M., Ogbonnaya F., Moens M. Development of two species-specific primer sets to detect the cereal cyst nematodes *Heterodera avenae* and *Heterodera filipjevi* // European Journal of Plant Pathology. 2013. Vol. 136. P. 613–624. DOI: 10.1007/s10658-013-0192-9.
51. Chen C., Cui L., Chen Y., Zhang H., Liu P., Wu P., Qiu D., Zou J., Yang D., Yang L., Liu H., Zhou Y., Li H. Transcriptional responses of wheat and the cereal cyst nematode *Heterodera avenae* during their early contact stage // Scientific Reports. 2017. Vol. 7. Art. No. 14471. DOI: 10.1038/s41598-017-14047-y.

52. Smiley R. W., Marshall J. M., Yan G. P. Effect of foliarly applied spirotetramat on reproduction of *Heterodera avenae* on wheat roots // Plant Disease. 2011. Vol. 95. No. 8. P. 983–989.
53. Jones J. T., Haegeman A., Danchin E. G., Gaur H. S., Helder J., Jones M. G., Kikuchi T., Manzanilla-López R., Palomares-Rius J.E., Wesemael W. M. L., Perry R. N. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology // Molecular Plant Pathology. 2013. Vol. 14. No. 9. P. 946–961. DOI: 10.1111/mp.12057.
54. Tagiev M.M. Gall eeiworms (*Meloidogyne*) on Absheron and fight against them // Successes of modern science and education. 2015. No. 5. P. 22–24.
55. Palomares-Rius J. E., Escobar C., Cabrera J., Vovlas A., Castillo P. Anatomical alterations in plant tissues induced by plant-parasitic nematodes // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8. P. 1987. DOI: 10.3389/fpls.2017.01987.
56. Xiang N., Lawrence K. S., Donald P. A. Biological control potential of plant growth-promoting rhizobacteria suppression of *Meloidogyne incognita* on cotton and *Heterodera glycines* on soybean: a review // Journal of Phytopathology. 2018. Vol. 166. No. 7–8. P. 449–458. DOI: 10.1111/jph.12712.
57. Li C., Hua C., Hu Y., You J., Mao Y., Li J., Tian Z., Wang C. Response of soybean genotypes to *Meloidogyne incognita* and *M. hapla* in Heilongjiang Province in China // Russian Journal of Nematology. 2016. No. 2. P. 89–98.
58. Akpheokhai I. L., Claudius-Cole A. O., Fawole B. Evaluation of some plant extracts for the management of *Meloidogyne incognita* on soybean (*Glycine max*) // World Journal of Agriculture Science. 2012. Vol. 8. No. 4. P. 429–435. DOI: 10.5829/idosi.wjas.2012.8.4.1658.
59. Mahesha H. S., Ravichandra N. G., Rao M. S., Narasegowda N. C., Sonyal S., Hotkar S. Bio-efficacy of different strains of *Bacillus* spp. against *Meloidogyne incognita* under *in vitro* // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017. Vol. 6. No. 11. P. 2511–2517. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.6.11.295.
60. Seo D. J., Kim K. Y., Park R. D., Kim D. H., Han Y. S., Kim T. H., Jung W. J. Nematicidal activity of 3, 4-dihydroxybenzoic acid purified from *Terminalia nigrovenulosa* bark against *Meloidogyne incognita* // Microbial Pathogenesis. 2013. Vol. 59. P. 52–59. DOI: 10.1016/j.micpath.2013.04.005.
61. Débia P. J. G., Bolanho B. C., Puerari H. H., Dias-Arieira C. R. *Meloidogyne javanica* parasitism and its impacts on the vegetative parameters, physicochemical composition, and antioxidant potential of beet // Pesquisa agropecuária Brasileira. 2019. Vol. 54. Art. No. e00695. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00695.
62. Wesemael W., Viaene N., Moens M. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Europe // Nematology. 2011. Vol. 13. No. 1. P. 3–16. DOI: 10.1163/138855410X526831.
63. Wu X., Zhu X., Wang Y., Liu X., Chen L., Duan Y. The cold tolerance of the northern root-knot nematode, *Meloidogyne hapla* // PLoS ONE. 2018. Vol. 13. No. 1. Art. No. e0190531. DOI: 10.1371/journal.pone.0190531.
64. Ostasheva N. A. *Meloidogyne hapla* Chitwood – a dangerous parasite for medicinal and subtropical crops on the Black Sea coast of Russia and measures of reducing it // Subtropical and ornamental horticulture. 2011. No. 44. P. 236–240.
65. Grabau Z. J., Mauldin M. D., Habteweld A., Carter E. T. Nematicide efficacy at managing *Meloidogyne arenaria* and non-target effects on free-living nematodes in peanut production // Journal of Nematology. 2020. Vol. 52. P. 1–10. DOI: 10.21307/jofnem-2020-028.
66. Schmitt J., Bellé C., Jacques R. J. S., Cares J. E., Antonioli Z. I. Detection of *Meloidogyne arenaria* in cucumber in Rio Grande do Sul state, Brazil // Australasian Plant Disease Notes. 2018. No. 13. P. 8. DOI: 10.1007/s13314-018-0293-6.
67. Zhang S., Gan Y., Ji W., Xu B., Hou B., Liu J. Mechanisms and characterization of *Trichoderma longibrachiatum* T6 in suppressing nematodes (*Heterodera avenae*) in wheat // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8. P. 1491. DOI: 10.3389/fpls.2017.01491.
68. Giannakou I. O., Panopoulou S. The use of fluensulfone for the control of root-knot nematodes in greenhouse cultivated crops: efficacy and phytotoxicity effects // Cogent Food & Agriculture. 2019. Vol. 5. No. 1. Art. No. 1643819. DOI: 10.1080/23311932.2019.1643819.
69. Zinovieva S. V., Vasyukova N. I., Udalova Zh. V., Gerasimova N. G. The participation of salicylic and jasmonic acids in genetic and induced resistance of tomato to *Meloidogyne incognita* (Kofoid, White, 1919) // Biology Bulletin. 2013. No. 3. P. 297–303. DOI: 10.1134/S1062359013030126.
70. Marrone P. G. Status and potential of bioprotection products for crop protection // In book: Recent Highlights in the Discovery and Optimization of Crop Protection Products. USA: Academic Press, 2021. P. 25–38. DOI:10.1016/B978-0-12-816328-3.00015-5.
71. Stirling G. R. Biological control of plant-parasitic nematodes // In book: Diseases of Nematodes // Ed. by Poinar G. O. USA: CRC Press, 2018. P. 103–150. DOI: 10.1201/9781351071468.

72. Poveda J., Abril-Urias P., Escobar C. Biological control of plant-parasitic nematodes by filamentous fungi inducers of resistance: *Trichoderma, mycorrhizal* and endophytic fungi // *Frontiers in Microbiology*. 2020. Vol. 11. P. 992. DOI:10.3389/fmicb.2020.00992.
73. Li J., Zou C., Xu J., Ji X., Niu X., Yang J., Huang X., Zhang K. Q. Molecular mechanisms of nematode-nematophagous microbe interactions: Basis for biological control of plant-parasitic nematodes // *Annual Review of Phytopathology*. 2015. Vol. 53. No. 1. P. 67–95. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080614-120336.
74. Jiang X., Xiang M., Liu X. Nematode-trapping fungi // *Microbiology Spectrum*. 2017. Vol. 5. No. 1. P. 5–1. DOI: 10.1128/microbiolspec.FUNK-0022-2016.
75. Liang L. M., Zou C. G., Xu J., Zhang K. Q. Signal pathways involved in microbe-nematode interactions provide new insights into the biocontrol of plant-parasitic nematodes // *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*. 2019. Vol. 374. No. 1767. Art. No. 20180317. DOI: 10.1098/rstb.2018.0317.
76. Zhang Y., Zhang K.-Q., Hyde K. The ecology of nematophagous fungi in natural environments // In book: *Nematode-Trapping Fungi* // Ed. by Zhang K.-Q., Hyde K. D. The Netherlands: Springer, 2014. P. 211–229. DOI: 10.1007/978-94-017-8730-7\_4.
77. De Freitas Soares F. E., Sufiate B. L., de Queiroz J. H. Nematophagous fungi: far beyond the endoparasite, predator and ovicidal groups // *Agriculture and Natural Resources*. 2018. Vol. 52. No. 1. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.anres.2018.05.010.
78. Su H., Zhao Y., Zhou J., Feng H., Jiang D., Zhang K. Q., Yang J. Trapping devices of nematode-trapping fungi: formation, evolution, and genomic perspectives // *Biological Reviews*. 2017. Vol. 92. No. 1. P. 357–368. DOI: 10.1111/brv.12233.
79. Ji X., Yu Z., Yang J., Xu J., Zhang Y., Liu S., Zou C., Li J., Liang L., Zhang K. Q. Expansion of adhesion genes drives pathogenic adaptation of nematode-trapping fungi // *iScience*. 2020. Vol. 23. Art. No. 101057. DOI: 10.1016/j.isci.2020.101057.
80. Cui R., Fan C., Sun X. Isolation and characterisation of *Aspergillus awamori* BS05, a root-knot-nematode-trapping fungus // *Biocontrol Science and Technology*. 2015. Vol. 25. No. 11. P. 1233–1240. DOI: 10.1080/09583157.2015.1040373.
81. De Souza Gouveia A., de Freitas Soares F. E., Morgan T., Sufiate B. L., Tavares G. P., Braga F. R., de Queiroz J. H. Enhanced production of *Monacrosporium thaumasium* protease and destruction action on root-knot nematode *Meloidogyne javanica* eggs // *Rhizosphere*. 2017. Vol. 3. P. 13–15. DOI: 10.1016/j.rhisph.2016.12.001.
82. Hussain M., Zouhar M., Rysanek P. Effect of some nematophagous fungi on reproduction of a nematode pest, *Heterodera schachtii*, and growth of sugar beet // *Pakistan Journal of Zoology*. 2017. Vol. 49. No. 1. DOI: 10.17582/journal.pjz/2017.49.1.189.196.
83. Hiep N. V., Ha N. T., Thuy T. T. T., Van Toan P. Isolation and selection of *Arthrobotrys nematophagous* fungi to control the nematodes on coffee and black pepper plants in Vietnam // *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 2019. Vol. 52. No. 7–8. P. 825–843. DOI: 10.1080/03235408.2019.1647694.
84. Soliman M. S., El-Deriny M. M., Ibrahim D. S., Zakaria H., Ahmed Y. The nematode trapping fungus *Arthrobotrys oligospora* Fresenius, a potential bio-control agent suppressing the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomato plants // *Journal of Applied Microbiology*. 2021. DOI: 10.1111/JAM.15101.
85. Karakaş M. Nematode-Destroying Fungi: infection structures, interaction mechanisms and biocontrol // *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series C – Biology*. 2020. Vol. 29. No. 1. P. 176–201.
86. Kumar K. K. Fungi: A Bio-resource for the Control of Plant Parasitic Nematodes // In book: *Agriculturally Important Fungi for Sustainable Agriculture. Fungal Biology* // Ed. by Yadav A. N., Mishra S. S., Kour D., Yadav N., Kumar A. Switzerland: Springer, 2020. P. 285–311. DOI: 10.1007/978-3-030-48474-3\_10.
87. Saxena G. Biological control of root-knot and cyst nematodes using Nematophagous fungi // In book: *Root Biology. Soil Biology* // Ed. by Giri B., Prasad R., Varma A. Switzerland: Springer, 2018. P. 221–237. DOI: 10.1007/978-3-319-75910-4\_8.
88. Devi G. Utilization of nematode destroying fungi for management of plant-parasitic nematodes – a Review // *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 2018. Vol. 15. No. 2. P. 377–396. DOI: 10.13005/bbra/2642.
89. Zhang Y., Li S., Li H., Wang R., Zhang K. Q., Xu J. Fungi–nematode interactions: diversity, ecology, and biocontrol prospects in agriculture // *Journal of Fungi*. 2020. Vol. 6. No. 4. P. 206. DOI:10.3390/jof6040206 w.
90. Manzanilla-López R. H., Esteves I., Finetti-Sialer M. M., Hirsch P. R., Ward E., Devonshire J., Hidalgo-Díaz L. *Pochonia chlamydosporia*: advances and challenges to improve its performance as a biological control agent of sedentary endo-parasitic nematodes // *Journal of Nematology*. 2013. Vol. 45. No. 1. P. 1–7.

91. Dahlin P., Eder R., Consoli E., Krauss J., Kiewnick S. Integrated control of *Meloidogyne incognita* in tomatoes using fluopyram and *Purpureocillium lilacinum* strain 251 // Crop Protection. 2019. Vol. 124. P. 104874. DOI: 10.1016/j.cropro.2019.104874.
92. Haarith D., Kim D. G., Chen S., Bushley K. E. Growth chamber and greenhouse screening of promising *in vitro* fungal biological control candidates for the soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) // Biological Control. 2021. Vol. 160. P. 104635. DOI:10.1016/j.biocontrol.2021.104635.
93. Hore J., Roy K., Maiti A. K. Evaluation of Bio-Nematon (*Purpureocillium lilacinum* 1.15 % WP) against root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in tomato // Journal of Entomology and Zoology Studies. 2018. Vol. 6. No. 4. P. 1700–1704.
94. Li G. H., Zhang K. Q. Nematode-toxic fungi and their nematocidal metabolites // In book: Nematode-trapping fungi. Fungal diversity research series. Vol. 23. The Netherlands: Eds. Springer, 2014. P. 313–375. DOI: 10.1007/978-94-017-8730-7\_7.
95. Zhao D., Liu B., Wang Y., Zhu X., Duan Y., Chen L. Screening for nematocidal activities of *Beauveria bassiana* and associated fungus using culture filtrate // African Journal of Microbiology Research. 2013. Vol. 7. No. 11. P. 974–978. DOI: 10.5897/AJMR12.2340.
96. Sharma M., Jasrotia S., Ohri P. Nematocidal potential of *Streptomyces antibioticus* strain M7 against *Meloidogyne incognita* // AMB Express. 2019. Vol. 9. P. 168. DOI: 10.1186/s13568-019-0894-2.
97. State catalog of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation. Part I. Moscow: Ministry of Agriculture of the Russian Federation, 2021. P. 136.
98. Guo J.-P., Zhu C.-Y., Zhang C.-P., Chu Y.-S., Wang Y.-L., Zhang J.-X., Wu D.-K., Zhang K.-Q., Niu X.-M. Thermolides, potent nematocidal PKS-NRPS hybrid metabolites from thermophilic fungus *Talaromyces thermophilus* // Journal of the American Chemical Society. 2012. Vol. 134. No. 50. P. 20306–20309. DOI: 10.1021/ja3104044.
99. Degenkolb T., Vilcinskis A. Metabolites from nematophagous fungi and nematocidal natural products from fungi as alternatives for biological control. Part II: metabolites from nematophagous basidiomycetes and non-nematophagous fungi // Applied Microbiology and Biotechnology. 2016. Vol. 100. No. 9. P. 3813–3824. DOI: 10.1007/s00253-015-7234-5.
100. Kumar G. Maharshi A., Patel J., Mukherjee A., Singh H. B., Sarma B. K. Trichoderma: a potential fungal antagonist to control plant diseases // SATSA Mukhapatra – Annual Technical Issue. 2017. Vol. 21. P. 206–218.
101. Waweru B., Turoop L., Kahangi E., Coyne D., Dubois T., Non-pathogenic *Fusarium oxysporum* endophytes provide field control of nematodes, improving yield of banana (*Musa sp.*) // Biological Control. 2014. Vol. 74. P. 82–88 DOI: 10.1016/j.biocontrol.2014.04.002.
102. Gómez-Tenorio M. A., Tello J. C., Zanón M. J., de Cara M. Soil disinfestation with dimethyl disulfide (DMDS) to control *Meloidogyne* and *Fusarium oxysporum* f. sp. radicis-lycopersici in a tomato greenhouse // Crop Protection. 2018. Vol. 112. P. 133–140 DOI: 10.1016/j.cropro.2018.05.023.
103. Westerdahl B. B. Evaluation of trap cropping for management of root-knot nematode on annual crops // Acta Horticulturae. 2018. P. 141–146. DOI: 10.17660/ActaHortic.2020.1270.15.
104. Spence K. O., Lewis E. E. Biopesticides with complex modes of action: direct and indirect effects of DiTera® on *Meloidogyne incognita* // Nematology. 2010. Vol. 12. No. 6. P. 835–846. DOI: 10.1163/138855410X494251.
105. Gao H., Qi G., Yin R., Zhang H., Li C., Zhao X. *Bacillus cereus* strain S2 shows high nematocidal activity against *Meloidogyne incognita* by producing sphingosine // Scientific Reports. 2016. Vol. 06. No. 24. Art. No. 28756. DOI: 10.1038/srep28756.
106. Raymaekers K., Ponet L., Holtappels D., Berckmans B., Cammue B.P.A. Screening for novel biocontrol agents applicable in plant disease management – a review // Biological Control. 2020. Vol. 144. Art. No. 104240. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2020.104240.
107. Aballay E., Ordenes P., Mårtensson A., Persson P. Effects of rhizobacteria on parasitism by *Meloidogyne ethiopica* on grapevines // European Journal of Plant Pathology. 2013. Vol. 135. P. 137–145. DOI: 10.1007/s10658-012-0073-7.
108. Li X., Hu H.J., Li J.Y., Wang C., Chen S.L., Yan S.Z. Effects of the endophytic bacteria *Bacillus cereus* BCM2 on tomato root exudates and *Meloidogyne incognita* infection // Plant Disease. 2019. Vol. 103. P. 1551–1558. DOI: 10.1094/PDIS-11-18-2016-RE.
109. Tran T. P. H., Wang S.-L., Nguyen V. B., Tran D. M., Nguyen D. S., Nguyen A. D. Study of novel endophytic bacteria for biocontrol of black pepper root-knot nematodes in the central highlands of Vietnam // Agronomy. 2019. Vol. 9. No. 11. P. 714. DOI: 10.3390/agronomy9110714.
110. Lubis K. S. I., Tantawi A. R., Murthi S. Isolation and characterization of rhizobacteria for biological control of root-knot nematodes in Indonesia // Journal of ISSAAS. 2018. Vol. 24. P. 67–81.
111. Soliman G. M., Ameen H. H., Abdel-Aziz S. M., El-Sayed G. M. *In vitro* evaluation of some isolated bacteria against the plant parasite nematode *Meloidogyne incognita* // Bulletin of the National Research Centre. 2019. Vol. 43. P. 171. DOI: 10.1186/s42269-019-0200-0.

112. Gamalero E., Glick B. R. The use of plant growth-promoting bacteria to prevent nematode damage to plants // *Biology*. 2020. Vol. 9. No. 11. P. 381. DOI: 10.3390/biology9110381.
113. Kang W., Zhu X., Chen W. L., Duan Y. Transcriptomic and metabolomic analyses reveal that bacteria promote plant defense during infection of soybean cyst nematode in soybean // *BMC Plant Biology*. 2018. Vol. 18. P. 86. DOI: 10.1186/s12870-018-1302-9.
114. Sahebani N., Gholamrezaee N., The biocontrol potential of *Pseudomonas fluorescens* CHA0 against root knot nematode (*Meloidogyne javanica*) is dependent on the plant species // *Biological Control*. 2021. Vol. 152. Art. No. 104445. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2020.104445.
115. Mota M. S., Gomes C. B., Souza J., Moura A. B. Bacterial selection for biological control of plant disease: criterion determination and validation // *Brazilian Journal of Microbiology*. 2017. Vol. 48. No. 1. P. 62–70. DOI: 10.1016 / j.bjm.2016.09.003.
116. Wani A. H. Plant growth-promoting rhizobacteria as biocontrol agents of phytonematodes // In book: *Biocontrol agents of phytonematodes* // Ed. by Askary T. H., Martinelli P. R. P. UK: CABI, 2015. 339 p.
117. Köhl J., Kolnaar R., Ravensberg W. J. Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy // *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. P. 845. DOI: 10.3389/fpls.2019.00845.
118. Phani V., Rao U. Revisiting the life-cycle of *Pasteuria penetrans* infecting *Meloidogyne incognita* under soil-less medium, and effect of streptomycin sulfate on its development // *Journal of Nematology*. 2018. Vol. 50. P. 91–98. DOI: 10.21307/jofnem-2018-022.
119. Zhang C., Zhao N., Chen Y., Zhang D., Yan J., Zou W., Zhang K., Huang X. The signaling pathway of *C. elegans* mediates chemotaxis response to the attractant 2-heptanone in a «Trojan horse»-like pathogenesis // *Journal of Biological Chemistry*. 2016. Vol. 291. No. 45. P. 23618–23627. DOI: 10.1074/jbc.M116.741132.
120. Abd-Elgawad M. M. M., Askary T. H. Fungal and bacterial nematicides in integrated nematode management strategies // *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 2018. Vol. 28. No. 1. P. 1–24. DOI: 10.1186/s41938-018-0080-x.
121. Subedi S., Thapa B., Shrestha J. Overview of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) and control management // *Journal of agriculture and natural resources*. 2020. Vol. 3. No. 2. P. 21–31. DOI: 10.3126/janr.v3i2.32298.
122. Hammam M. M. A., Wafaa M., Abd-Elgawad M. M. M. Biological and chemical control of the citrus nematode, *Tylenchulus semipenetrans* (Cobb, 1913) on mandarin in Egypt // *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 2016. Vol. 26. No. 2. P. 345–349.
123. Abd-El-Khair H., Wafaa M. Field application of bio-control agents for controlling fungal root rot and root-knot nematode in potato // *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 2014. Vol. 47. No. 10. P. 1218–1230. DOI: 10.1080/03235408.2013.837632.
124. Sidhu H. S. Potential of plant growth-promoting rhizobacteria in the management of nematodes: a review // *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2018. Vol. 6. No. 3. P. 1536–1545.
125. Bekal S., Domier L. L., Niblack T. L., Lambert K. N. Discovery and initial analysis of novel viral genomes in the soybean cyst nematode // *Journal of General Virology*. 2011. Vol. 92. P. 1870–1879. DOI: 10.1099/vir.0.030585-0.
126. Kuhn J. H., Bekal S., Cai Y., Clawson A. N., Domier L. L., Herrel M., Jahrling P. B., Kondo H., Lambert K. N., Mihindukulasuriya K.A., Nowotny N., Radoshitzky S.R., Schneider U., Staeheli P., Suzuki N., Tesh R.B., Wang D., Wang L.F., Dietzgen R.G. Nyamiviridae: proposal for a new family in the order Mononegavirales // *Archives of Virology*. 2013. Vol. 158. P. 2209–2226. DOI: 10.1007/s00705-013-1674-y.
127. Bekal S., Domier L. L., Gonfa B., McCoppin N. K., Lambert K. N., Bhalerao K. A novel flavivirus in the soybean cyst nematode // *Journal of General Virology*. 2014. Vol. 95. No. 6. P. 1272–1280. DOI: 10.1099/vir.0.060889-0.
128. Ruark C. L., Koenning S. R., Davis E. L., Opperman C. H., Lommel S. A., Mitchum M. G., Sit T. L. Soybean cyst nematode culture collections and field populations from North Carolina and Missouri reveal high incidences of infection by viruses // *PLoS One*. 2017. Vol. 12. No. 1. Art. No. e0171514. DOI: 10.1371/journal.pone.0171514.
129. Lin J., Ye R., Thekke-Veetil T., Staton M. E., Arelli P. R., Bernard E. C., Bernard E.C., Hewezi T., Domier L.L., Hajimorad M. R. A novel picornavirus-like genome from transcriptome sequencing of sugar beet cyst nematode represents a new putative genus // *Journal of General Virology*. 2018. Vol. 99. No. 10. P. 1418–1424. DOI: 10.1099/jgv.0.001139.
130. Guo Y. R., Hryc C. F., Jakana J., Jiang H., Wang D., Chiu W., Zhong W., Tao Y.J. Crystal structure of a nematode-infecting virus // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014. Vol. 111. No. 35. P. 12781–12786. DOI: 10.1073/pnas.1407122111.
131. Vieira P., Peetz A., Mimeo B., Saikai K., Mollov D., MacGuidwin A., Zasada I., Nemchinov L.G. Prevalence of the root lesion nematode virus (RLNV1) in populations of *Pratylenchus penetrans* from North America // *Journal of Nematology*. 2020. Vol. 52. P. 1–10. DOI: 10.21307/jofnem-2020-045.

UDC 579.6: 591.5: 632

Homyak A. I., Asaturova A. M., Sidorov N. M., Dubyaga V. M.

## BIOLOGICAL CONTROL OF PHYTOPARASITIC NEMATODES BASED ON MICROORGANISMS (REVIEW)

**Summary.** *Phytoparasitic nematodes are dangerous pests of agricultural crops. Annually, yield losses due to damage by phytonematodes are up to 15%, which is estimated at billions of dollars. The aim of the research is to summarize and analyze scientific publications concerning the harmfulness of phytoparasitic nematodes and microorganisms that have an antagonistic effect against them for the further development of biopreparations of nematicidal action based on antagonist bacteria. The study objectives are to identify the most common groups of nematodes, review the information concerning microorganisms that have a nematicidal effect and biological products based on them. The review considers the main representatives of nematodes – plant parasites and notes their habitat, harmfulness, affected crops and symptoms of infection. Brief descriptions of life cycles and systematic affiliation are given. Analysis of scientific publications on the studied topic shows that numerous microorganisms are capable of exhibiting nematicidal activity, directly or indirectly affecting nematodes in the soil. In the course of the analysis of literary sources, it was found that both fungi and bacteria can exhibit an antagonistic effect against phytoparasitic nematodes. It is noted that for both groups of microorganisms, there are several mechanisms of action: predation, parasitism, competition, etc. It has been found that fungi and bacteria synthesize metabolites of various natures with a nematicidal effect: toxins, lytic enzymes, antibiotics, siderophores. It should be noted that microorganisms-antagonist are capable of exhibiting nematicidal activity to nematodes of different stages of the life cycle: eggs, juveniles and adults. Nowadays, some commercial preparations based on antagonist microorganisms are successfully used in agriculture in different countries. During the analysis, it was discovered that to date, few viruses are capable of infecting nematodes; their systematic affiliation has also been established. It is noted that, if compared to bionematicides based on fungi and bacteria, not a single bionematicide based on viruses has been developed. The development of bionematicides based on antagonist microorganisms is a promising area but requires further studies of interactions in the plant-nematode-microorganism system.*

**Keywords:** *phytoparasitic nematodes, bionematicides, antagonist microorganisms, viruses, fungi.*

Хомяк Анна Игоревна, научный сотрудник лаборатории создания микробиологических средств защиты растений и коллекции микроорганизмов, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Россия, г. Краснодар, ФНЦБЗР, п/о 39; e-mail: HomyakAI87@mail.ru.

Асатурова Анжела Михайловна, кандидат биологических наук, директор ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Россия, г. Краснодар, ФНЦБЗР, п/о 39; e-mail: biocontrol-vniibzr@yandex.ru.

Сидоров Никита Михайлович, младший научный сотрудник лаборатории создания микробиологических средств защиты растений и коллекции микроорганизмов, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Россия, г. Краснодар, ФНЦБЗР, п/о 39; e-mail: elisitor@mail.ru.

Дубяга Валентина Михайловна, младший научный сотрудник лаборатории создания микробиологических средств защиты растений и коллекции микроорганизмов, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Россия, г. Краснодар, ФНЦБЗР, п/о 39; e-mail: dubyaga608@mail.ru.

Homyak Anna Igorevna, researcher at the Laboratory for the development of microbiological plant protection agents and formation of microorganism collection of the FSBSI “Federal Research Center of Biological Plant Protection”; Federal Research Center of Biological Plant Protection (FNCBZR) (post office No. 39), Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: HomyakAI87@mail.ru.

Asaturova Anzhela Michailovna, Cand. Sc. (Biol.), Director of FSBSI “Federal Research Center of Biological Plant Protection”; Federal Research Center of Biological Plant Protection (FNCBZR) (post office No. 39), Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: biocontrol-vniibzr@yandex.ru.

Sidorov Nikita Mikhailovich, junior researcher at the Laboratory for the development of microbiological plant protection agents and formation of microorganism collection of FSBSI “Federal Research Center of Biological Plant Protection”; Federal Research Center of Biological Plant Protection (FNCBZR) (post office No. 39), Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: elisitor@mail.ru.

Dubyaga Valentina Mikhailovna, junior researcher at the Laboratory for the development of microbiological plant protection agents and formation of microorganism collection of the FSBSI “Federal Research Center of Biological Plant Protection”; Federal Research Center of Biological Plant Protection (FNCBZR) (post office No. 39), Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: dubyaga608@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 10.08.2021.*

*Дата принятия к печати – 05.09.2021.*

