



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА КРЫМА

# ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

*научный журнал*

ISSN 2542-0720



№4 (36)  
2023





ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА КРЫМА»

# ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

TAURIDA HERALD  
OF THE AGRARIAN SCIENCES

№4 (36)

2023

ФГБУН «НИИСХ Крыма»

# ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

научный журнал

ISSN 2542-0720

Главный редактор - Паштецкий В.С.  
Зам. главного редактора - Дидович С.В.

Зам. главного редактора - Радченко Л.А.  
Ответственный редактор - Мягких Е.Ф.  
Выпускающий редактор - Овчаренко Н.С.  
Технический редактор - Козак И.Е.  
Ответственный секретарь - Дунаева Е.А.

#### А Адрес редакции:

295493, Республика Крым,  
г. Симферополь, ул. Киевская 150,  
т/ ф. (3652)560-390,  
e-mail: tavestnik@niishk.site

#### И Издатели:

ФГБУН «НИИСХ Крыма», 295493,  
Республика Крым, г. Симферополь,  
ул. Киевская, 150,  
т/ ф. (3652)560-007,  
email: priemnaya@niishk.site

ФГБУН «АНЦ "Донской"», 347740,  
Ростовская обл., Зерноградский р-н,  
г. Зерноград, ул. Научный городок, 3,  
т/ф. (863-59) 41-4-68,  
e-mail: vniizk30@mail.ru

Формат 60x84/8, усл. печ. л. 10.00  
Заказ № 12А/18

Тираж 500 экз.

Подписано к печати 28.11.2023.  
Отпечатано с оригинал-макета

Дата выхода: 25.12.2023

Дизайн и верстка - Н.С. Овчаренко,  
Е.А. Дунаева

© ФГБУН «НИИСХ Крыма», 2023.

© Авторы статей, 2023.

© Авторы иллюстраций, 2023.

№ 4 (36), 2023

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Аблова И.Б., д.с.-х.н., член-корреспондент РАН, ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко»; Аллахвердиев С.Р. оглы, д.б.н., профессор, академик РАЕ, академик АНИРР, ФГБОУ ВО «МГПУ»; Алексеева К.Л., к.с.-х.н., ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»; Архипов М.В., д.б.н., профессор ФГБНУ АФИ, зам. директора СЗЦППО; Ахмедов А.Д., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ»; Бабина Р.Д., к.с.-х.н., ФГБНУ «НБС-ННЦ»; Бабицкий Л.Ф., д.т.н., профессор АБИП ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»; Баденко В.Л., д.т.н., профессор СПбПУ; Барталев С.А., д.т.н., проф., ИКИ РАН; Бастаубаева Ш.О., к.с.-х.н. Казахский НИИ земледелия и растениеводства, Боровой Е.П., д.с.-х.н., профессор, ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ»; Гербер Ю.Б., д.т.н., профессор АБИП ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского»; Егорова Н.А., д.б.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Калмыкова Е.В., д.с.-х.н., доцент, ФГБНУ «НЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»; Козырев А.Х., д.с.-х.н., профессор ФГБОУ ВО «Горский ГАУ»; Кудзаев А.Б., д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «Горский ГАУ»; Ларина Г.Е., д.б.н., проф., ФГБНУ «ВНИИФ»; Лупян Е.А., д.т.н., ФГБНУ «ИКИ РАН»; Митрофанова И.В., член-корреспондент РАН, д.б.н., начальник отдела научно-инновационной и международной деятельности, ФГБНУ Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН; Мишнёв А.В., к.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Моисеев К.Г., к.т.н., ФГБНУ АФИ; Надыкта В.Д., д.т.н., профессор, академик РАН, вице-президент ВПРС МОББ, чл.-корр. Академии технологических наук, директор ФГБНУ ВНИИБЗР; Невкрытая Н.В., к.б.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Немтинов В.И., д.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Остапчук П.С., к.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Паштецкий В.С., д.с.-х.н., директор ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Плугатарь Ю.В., д.с.-х.н., директор ФГБНУ «НБС-ННЦ»; Просянкина И.Б., к.б.н., Таврическая академия ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»; Серая Л.Г., к.б.н., ФГБНУ «ВНИИФ»; Сидякин А.И. к.б.н., доцент, ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского»; Скипор О.Б., к.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Song J., Ph.D (candidate), King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang; Soyong K., Dr.Ph., president of Association of Agricultural Technology in Southeast Asia, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang; Соболевский И.В., к.т.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Соколенко О.Н., к.т.н., ФГБОУ ВО «КубГАУ им. И.Т. Трубилина»; Тарасенко В.С., д.г.-м.н., профессор, ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Терлеев В.В., д.с.-х.н., профессор СПбПУ; Тимашёва Л.А., к.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Тихонович И.А., д.б.н., академик РАН, директор ФГБНУ «ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии»; Ткаченко О.Б., д.б.н., ФГБНУ «ГБС РАН»; Топунов А.Ф., д.б.н., профессор ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН; Ходяков Е.А., д.с.-х.н., профессор ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ»; Цаценко Л.В., д.б.н., профессор ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ; Чайковская Л.А., д.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Чеходариди Ф.Н., д.в.н., профессор ФГБОУ ВО «Горский ГАУ»; Шейн Е.В., д.б.н., профессор ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова»; Шагапсов С.Х., д.б.н., профессор «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова».

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Бабанина С.С., к.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Дидович С.В., к.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Донник И.М., д.б.н., профессор, академик РАСХН, вице-президент РАН; Дунаева Е.А., к.т.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Мягких Е.Ф., к.б.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Овчаренко Н.С., к.б.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Паштецкий В.С., д.с.-х.н., директор ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Радченко Л.А., к.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма».

Научный журнал «Таврический вестник аграрной науки» (“Taurida Herald of the Agrarian Sciences”) основан в 2013 г. Официальный сайт журнала - <http://tvan.niishk.ru/>  
Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: ПИ № ФС 77-67084 от 15.09.2016 г.

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (ФГБУН «НИИСХ Крыма»).

Founder – Federal State Budget Scientific Institution “Research Institute of Agriculture of Crimea”, 295493, Republic of Crimea, Smferopol, Kievskaya Str., 150.

E-mail: [priemnaya@niishk.site](mailto:priemnaya@niishk.site)

Периодичность выхода научного журнала «Таврический вестник аграрной науки» - четыре раза в год. Подписной индекс - 65981

В журнале печатаются ранее не опубликованные работы проблемного, экспериментального и методического характера по важнейшим фундаментальным и прикладным направлениям биологической, сельскохозяйственной и технической науки.

С 22 марта 2018 г. журнал включен в утвержденный ВАК Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук. С 5 апреля 2020 г. журнал «Таврический вестник аграрной науки» включен в ядро РИНЦ и в Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science (№674).

#### Тематические направления журнала:

- 01.05.00 – Биологические науки
  - 01.05.11 – Микробиология
  - 01.05.20 – Биологические ресурсы
- 04.01.00 – Агрономия, лесное и водное хозяйство
  - 04.01.01 – Общее земледелие и растениеводство
  - 04.01.05 – Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика
  - 04.01.02 – Селекция, семеноводство и биотехнология растений
- 04.03.00 – Агроинженерия и пищевые технологии
  - 04.03.01 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Согласно договору с Научной электронной библиотекой eLIBRARY.RU №708-11/2015 от 09.11.2015 г. журнал включён в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Научный журнал «Таврический вестник аграрной науки» включен в международную базу данных Ulrich’s Periodicals Directory.

Каждой статье, опубликованной в журнале, редакция издания присваивает идентификатор цифрового объекта EDN (eLIBRARY Document Number) и DOI (сервис Zenodo) через Open Science

Материалы издания выборочно включаются в Международную систему научно-технической информации по сельскому хозяйству (AGRIS).

Russian Science  
Citation Index



РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС  
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

Science Index



AGRIS



zenodo  
ULRICHSWEB™  
GLOBAL SERIALS DIRECTORY



Google  
Академия

АНТИПЛАГИАТ

СОДЕРЖАНИЕ

Архипов М. В., Рутковская Т. С., Пасынкова Е. Н., Конончук П. Ю., Кочерина Н. В., Гусакова Л. П., Тюкалов Ю. А., Прияткин Н. С., Данилова Т. А. <b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ЗЕРНОВОК ПШЕНИЦЫ СО ВСХОЖЕСТЬЮ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПРОРОСТКОВ ДЛЯ ОТБОРА ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПАРТИЙ СЕМЯН</b>	8
Ахтямова А. А., Еремин Д. И. <b>РЕАКЦИЯ ОВСА НА ВОЗРАСТАЮЩИЙ УРОВЕНЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ АЛЮМИНИЯ В ЮВЕНИЛЬНЫЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ</b>	18
Богдан В. З., Богдан Т. М., Литарная М. А., Анохина Т. А. <b>АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ В ПЕРВИЧНОМ СЕМЕНОВОДСТВЕ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА ДЛЯ УСКОРЕНИЯ РАЗМНОЖЕНИЯ НОВЫХ СОРТОВ</b>	28
Ветрова С. А., Козарь Е. Г., Енгальчева И. А., Мухина К. С. <b>СКРИНИНГ СЕЛЕКЦИОННЫХ ЛИНИЙ СВЕКЛЫ СТОЛОВОЙ ПО УСТОЙЧИВОСТИ К ФОМОЗУ</b>	38
Гулянов Ю. А. <b>РОЛЬ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МЕЛИОРАТИВНЫХ АГРАРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ В УЛУЧШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В БАССЕЙНЕ РЕКИ УРАЛ</b>	51
Дидович С. В., Пась А. Н., Горгулько Т. В., Алексеенко О. П., Бараташвили З. А. <b>ФИТОТОКСИЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ШТАММОВ-ФИТОИНГИБИТОРОВ НА <i>AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA</i> L. И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУРАХ</b>	76
Дунаева Е. А., Бойко Н. Г. <b>СРАВНЕНИЕ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ОЦЕНОК ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И НАЗЕМНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ</b>	90
Жолобова О. О., Терещенко Т. В. <b>ОПТИМИЗАЦИЯ УГЛЕВОДНОГО СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ПРИ МИКРОКЛОНАЛЬНОМ РАЗМНОЖЕНИИ <i>COTINUS COGGYGRIA</i> SCOP.</b>	102
Лукьянов В. А., Нитченко Л. Б. <b>ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТА РЕЛЬЕФА, СЕВООБОРОТОВ И ДОЗ УДОБРЕНИЙ НА СТРУКТУРУ УРОЖАЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И ЕЁ КАЧЕСТВО В ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЁМНОМ РЕГИОНЕ</b>	113
Моисеев К. Г., Данилова Т. Н., Терлеев В. В. <b>ФИЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПОЧВЕННЫХ СОЛЕВЫХ КОРОК</b>	124
Николаев П. Н., Юсова О. А., Васюкевич С. В. <b>АДАПТИВНЫЙ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ СОРТ ЯРОВОГО ОВСА ИРТЫШ 33</b>	135

Плаксин И. Е., Трифанов А. В. <b>ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ КРОЛИКОВ</b>	143
Тихонова Т. О., Козарь Е. Г., Енгальчева И. А., Степанов В. А. <b>СКРИНИНГ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ МОРКОВИ СТОЛОВОЙ И ПОИСК ИСТОЧНИКОВ УСТОЙЧИВОСТИ К БЕЛОЙ ГНИЛИ</b>	159
Якимова О. В., Егорова Н. А. <b>АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ, ГЕНОТИПА И УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ НА СОХРАНЕНИЕ <i>IN VITRO</i> СОРТОВ И ОБРАЗЦОВ ДУШИЦЫ</b>	174
Chaikovskaya L. A., Nemtinov V. I., Baranskaya M. I., Pashtetsky V. S., Pekhova O. A., Timasheva L. A., Radchenko L. A., Yakusheva N. N., Belova I. V. <b>EFFECT OF MICROBIAL PREPARATIONS ON THE CONTENT OF CHLOROPHYLLS, BIOCHEMICAL INDICATORS AND PRODUCTIVITY OF <i>NIGELLA DAMASCENA</i> L.</b>	190

CONTENTS

Arkhipov M. V., Rutkovskaya T. S., Pasyukova E. N., Kononchuk P. Yu., Kocherina N. V., Gusakova L. P., Tyukalov Yu. A., Priyatkin N. S., Danilova T. A. <b>STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN TECHNOLOGICAL QUALITIES OF WHEAT GRAINS AND GERMINATION, AS WELL AS MORPHOMETRIC PARAMETERS OF SEEDLINGS, FOR ECONOMICALLY VALUABLE SEED LOTS SELECTION</b>	8
Akhtyamova A. A., Eremin D. I. <b>RESPONSE OF OATS TO AN INCREASING LEVEL OF ALUMINUM ION CONCENTRATION DURING THE JUVENILE PERIOD OF DEVELOPMENT</b>	18
Bogdan V. Z., Bogdan T. M., Litarnaya M. A., Anohina T. A. <b>AGROTECHNICAL METHODS IN PRIMARY SEED PRODUCTION OF <i>LINUM USITATISSIMUM</i> TO ACCELERATE THE PROPAGATION OF NEW VARIETIES</b>	28
Vetrova S. A., Kozar E. G., Engalycheva I. A., Muhina K. S. <b>SCREENING OF BEETROOT BREEDING LINES FOR RESISTANCE TO PHOMOSIS</b>	38
Gulyanov Yu. A. <b>ROLE OF NATURE-LIKE TECHNOLOGIES AND RECLAMATION AGRICULTURAL-TECHNICAL MEASURES IN IMPROVING THE ECOLOGICAL SITUATION IN THE URAL RIVER BASIN</b>	51
Didovich S. V., Pas' A. N., Gorgulko T. V., Alekseenko O. P., Baratashvili Z. A. <b>PHYTOTOXICITY AND EFFICACY OF PHYTO-INHIBITOR STRAINS ON <i>AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA</i> L. AND AGRICULTURAL CROPS</b>	76
Dunaieva Ie. A., Boiko N. G. <b>COMPARISON OF AVERAGE MONTHLY ESTIMATES OF AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION OBTAINED FROM REMOTE SENSING DATA AND GROUND-BASED OBSERVATIONS</b>	90
Zholobova O. O., Tereschenko T. V. <b>OPTIMIZATION OF THE CARBOHYDRATE COMPOSITION OF THE NUTRIENT MEDIUM FOR MICROCLONAL PROPAGATION OF <i>COTINUS COGGUGRIA</i> SCOP.</b>	102
Lukyanov V. A., Nitchenko L. B. <b>INFLUENCE OF RELIEF ELEMENTS, CROP ROTATIONS AND FERTILIZER DOSES ON WINTER WHEAT YIELD STRUCTURE AND QUALITY UNDER CONDITIONS OF CENTRAL CHERNOZEM REGION</b>	113
Moiseev K. G., Danilova T. N., Terleev V. V. <b>PHYSICAL SUPPORT FOR MODELLING SOIL SALT CRUST FORMATION</b>	124
Nikolaev P. N., Yusova O. A., Vasyukevich S. V. <b>'IRTYSH 33' – NEW HIGH-QUALITY ADAPTIVE VARIETY OF SPRING OAT</b>	135
Plaksin I. E., Trifanov A. V. <b>TECHNOLOGICAL MODULE FOR GROWING RABBITS: PILOT TESTING</b>	143
Tikhonova T. O., Kozar E. G., Engalycheva I. A., Stepanov V. A. <b>SCREENING OF CARROT COLLECTION SAMPLES AND SEARCH FOR SOURCES OF WHITE ROT RESISTANCE</b>	159



Yakimova O. V., Yegorova N. A.

**IN VITRO PRESERVATION OF OREGANO CULTIVARS AND SAMPLES:  
ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CULTURE MEDIUM, GENOTYPE AND  
CULTIVATION CONDITIONS**

174

Chaikovskaya L. A., Nemtinov V. I., Baranskaya M. I., Pashtetsky V. S., Pekhova O. A.,  
Timasheva L. A., Radchenko L. A., Yakusheva N. N., Belova I. V.

**EFFECT OF MICROBIAL PREPARATIONS ON THE CONTENT OF  
CHLOROPHYLLS, BIOCHEMICAL INDICATORS AND PRODUCTIVITY OF  
NIGELLA DAMASCENA L.**

190

DOI 10.5281/zenodo.10258886

EDN AVZWN1

УДК: 633.1:621.386.8

Архипов М. В.<sup>1,2</sup>, Рутковская Т. С.<sup>2</sup>, Пасынкова Е. Н.<sup>3</sup>, Конончук П. Ю.<sup>2</sup>, Кочерина Н. В.<sup>2</sup>,  
Гусакова Л. П.<sup>2</sup>, Тюкалов Ю. А.<sup>1</sup>, Прияткин Н. С.<sup>2</sup>, Данилова Т. А.<sup>1</sup>

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ  
ЗЕРНОВОК ПШЕНИЦЫ СО ВСХОЖЕСТЬЮ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИМИ  
ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПРОРОСТКОВ ДЛЯ ОТБОРА ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ  
ПАРТИЙ СЕМЯН**

<sup>1</sup> ФГБНУ Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр РАН»;

<sup>2</sup> ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»;

<sup>3</sup> Ленинградский научно-исследовательский институт «Белогорка» – филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха»

**Реферат.** В целом, во всех зернопроизводящих странах количество произведенного зерна, предназначенного для продовольственных и фуражных целей, на порядок превосходит долю произведенного семенного материала. Показатели всхожести, определяемые согласно ГОСТ 12038-84, могут быть одинаковыми, а морфометрические показатели проростков – длина корня и проростка при этом могут значительно варьировать. Анализ ростовых характеристик не заменяет оценки семян по всхожести, а дает важную дополнительную информацию не только о количестве взойшедших семян, но и об их качестве. Цель исследования – выявить взаимосвязь между технологическими характеристиками зерновок пшеницы с показателями всхожести и морфометрическими показателями проростков. Работу проводили в 2023 г. в отделе светофизиологии растений и биопродуктивности агроэкосистем ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт». Предмет исследования – зерно яровой пшеницы сорта Дарья, полученное в Меньковском филиале ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» в 2013–2015 гг. Исследовали биохимический состав, технологические, морфометрические, рентгенографические и посевные характеристики. В результате исследований установлена положительная зависимость между натурой зерна и морфометрическими показателями проростков: средняя – с длиной корня ( $r = 0,67$ ) и высокая – с длиной проростка ( $r = 0,77$ ). Отрицательная зависимость обнаружена между содержанием сырой золы, длиной корня (средняя –  $r = -0,64$ ) и проростка (высокая –  $r = -0,73$ ); содержанием серы, длиной корня (средняя –  $r = -0,48$ ) и проростка (средняя –  $r = -0,55$ ); содержанием фосфора и длиной корня (средняя –  $r = -0,67$ ) и проростка (высокая –  $r = -0,75$ ). Установлена положительная зависимость формы зерна пшеницы по показателю «округлость» с содержанием сырой золы (средняя –  $r = 0,54$ ) и длиной проростка (средняя –  $r = -0,47$ ). Выявленные технологические характеристики (натура) и химические показатели (содержание сырой золы, серы и фосфора в зерне), имеющие тесную связь с морфометрическими показателями проростков, могут быть использованы для отбора партий зерна, наиболее пригодных для семенных целей.

**Ключевые слова:** яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.), технологические характеристики зерна, всхожесть семян, длина корня и проростка, рентгенография.

**Для цитирования:** Архипов М. В., Рутковская Т. С., Пасынкова Е. Н., Конончук П. Ю., Кочерина Н. В., Гусакова Л. П., Тюкалов Ю. А., Прияткин Н. С., Данилова Т. А. Исследование взаимосвязи технологических качеств зерновки пшеницы с показателями всхожести и ростового потенциала для отбора хозяйственно

ценных партий семян // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4 (36). С. 8–17. EDN: AVZWNI. DOI: 10.5281/zenodo.10258886.

**For citation:** Arkhipov M. V., Rutkovskaya T. S., Pasyukova E. N., Kononchuk P. Yu., Kocherina N. V., Guskova L. P., Tyukalov Yu. A., Priyatkin N. S., Danilova T. A. Study of the relationship between technological qualities of wheat grains and germination, as well as morphometric parameters of seedlings, for economically valuable seed lots selection // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4(36). P. 8–17. EDN: AVZWNI. DOI: 10.5281/zenodo.10258886.

### Введение

Проанализированные статистические данные за последние 10 лет свидетельствуют о том, что доля производимых в стране семян составляет 10–12 % от объема полученного зерна. При этом технологии получения хозяйственно пригодных семян в силу объективных причин не всегда соблюдают [1].

В целом, во всех зернопроизводящих странах количество произведенного зерна, предназначенного для продовольственных и фуражных целей, на порядок превосходит долю произведенного семенного материала [2]. Научно-методические подходы и приемы по экспресс-оценке и отбору из имеющихся партий зерна, наиболее пригодных для семенных целей, в настоящее время находятся в стадии разработки [3–6]. Данных, полученных при проведении комплексного анализа технологических, химических, рентгенографических, морфометрических показателей качества зерна и их связи с посевными качествами семян в отечественных и зарубежных работах по зерновому и семенному контролю в доступной литературе, кроме публикаций авторов данной статьи, не обнаружено [5, 7].

Имеющиеся публикации по данному вопросу связаны в основном с определением или посевных качеств семян [8, 9], или технологических характеристик зерна [10–12].

Показатели всхожести, определяемые согласно ГОСТ 12038-84, могут быть одинаковыми, а ростовые характеристики корня и проростка при этом могут значительно варьировать. Анализ ростовых характеристик не заменяет оценки семян по всхожести, а дает важную дополнительную информацию не только о количестве взошедших семян, но и об их качестве [5].

Поэтому исследование взаимосвязи технологических характеристик зерна с показателями всхожести и ростового потенциала зерновки пшеницы для возможного отбора хозяйственно ценных партий семян с различными технологическими характеристиками является важной задачей, имеющей как теоретическое, так и прикладное значение для современного зернопроизводства и семеноводства.

Следует учитывать и тот факт, что в настоящее время доля семян отечественной селекции в посевах РФ составляет пшеницы озимой – 90,6 %, яровой – 82,2 %. При этом сорта иностранной селекции не имеют существенных преимуществ, более того, они часто уступают по показателям качества, продуктивности, устойчивости к стрессовым факторам, содержанию белка, срокам созревания и уборки. Снижение доли российских сортов в целом на рынке во многом было обусловлено и существенной разницей в технологиях производства семян. Согласно Указу Президента РФ от 21 января 2020 г., доля семян основных сельскохозяйственных культур отечественной селекции должна составлять 75 % [1]. Не вызывает сомнения, что эти семена должны быть качественными и хозяйственно пригодными для семенных посевов.

**Цель исследований** – выявить взаимосвязь между технологическими характеристиками зерновки пшеницы с показателями всхожести и морфометрическими показателями проростков.

### Материалы и методы исследования

Исследования проводили в 2023 г. в отделе светофизиологии растений и биопродуктивности агроэкосистем ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт». Предмет исследования – зерно яровой пшеницы сорта Дарья, полученное в Меньковском филиале АФИ в 2013–2015 гг. [13, 14]. Для проведения лабораторных исследований отбирали средние образцы массой 100 г [16, 17]. Определение исследуемых показателей проводили по следующим стандартам: всхожести – ГОСТ 12038-84, массы 1000 зерен – ГОСТ 10842-91, натуры – ГОСТ 10840-2017, содержания белка – ГОСТ 10846-91, количества и качества клейковины – ГОСТ Р 54478-2011, сырой золы – ГОСТ 10847-2019; определение элементов: фосфора (P) – по ГОСТ 26657-97, серы (S) – в соответствии с Методическими указаниями по определению серы в растениях и кормах растительного происхождения [17]; рентгенографические показатели – ГОСТ Р 59603-2021. Дополнительно проведены измерения длины корня и проростка у семян, проросших на седьмые сутки (по ГОСТ 12038-84 – день определения всхожести).

Исследуемые показатели характеристик зерна и семян были разделены на группы: технологические, химический состав, морфометрические, рентгенографические и показатели всхожести с дополнительным измерением размеров корней и проростков. Достоверность различий между вариантами экспериментов оценивали по Б. А. Доспехову на уровне значимости  $p \leq 0,05$  [16].

Рентгенографию зерна проводили на рентгенодиагностической установке ПРДУ-02 производства ЗАО «ЭЛТЕХ-Мед» [4, 5].

Расшифровку полученных цифровых рентгеновских изображений осуществляли как визуально, так и с помощью автоматического анализа с использованием программного обеспечения «ВидеоТест-Морфология» («Аргус-БИО») [18].

### Результаты и их обсуждение

Проведена оценка зависимости технологических характеристик зерна с биохимическим составом, морфометрическими, рентгенографическими показателями и всхожестью с дополнительными значениями длины корней и проростка. При этом была обнаружена высокая положительная корреляция между такими важнейшими технологическими показателями, как содержание клейковины и ее качество (по ИДК) ( $r = 0,76$ ), а также между показателями качества и количества клейковины и содержанием белка в зерне (соответственно,  $r = 0,75$  и  $r = 0,86$ ) (таблица 1).

**Таблица 1 – Результаты корреляционного анализа технологических характеристик яровой пшеницы**

		Технологические характеристики				
		масса 1000 зерен, г	натура, г/л	содержание белка, %, а.с.в.	содержание клейковины, %	ИДК
Технологические характеристики	масса 1000 зерен, г	-	0,53	0,38	0,10	0,25
	натура, г/л	0,53	-	0,22	0,31	0,36
	содержание белка, %, а.с.в.	0,38	0,22	-	0,86	0,75
	содержание клейковины, %	0,10	0,31	0,86	-	0,76
	ИДК	0,25	0,36	0,75	0,76	-

Корреляционный анализ технологических показателей и химического состава, полученных при проведении исследований, представлен в таблице 2.

Выявлена сильная отрицательная зависимость между натурой зерна, содержанием фосфора ( $r = -0,88$ ) и сырой золой ( $r = -0,80$ ). Кроме этого, установлена средняя отрицательная корреляция между содержанием фосфора и массой 1000 зёрен ( $r$

= -0,56) (таблица 2). Вероятно, отрицательная корреляция между натурой зерна и содержанием фосфора обусловлена влиянием этого элемента на формирование размера и формы зерна, что подтверждается обнаруженными взаимосвязями. Находясь главным образом в зародыше, фосфор оказывает существенное влияние на жизнеспособность, урожайность и устойчивость растений к неблагоприятным факторам, а также ускоряет развитие корневой системы, формирование и созревание семян [15].

**Таблица 2 – Корреляционная зависимость технологических показателей и элементного состава зерна яровой пшеницы**

Элемент, %	Технологический показатель				
	масса 1000 зерен, г	натура, г/л	содержание белка, %, а.с.в.	содержание клейковины, %	ИДК
P	-0,56	-0,88	-0,13	-0,20	-0,27
S	0,21	-0,41	0,26	0,03	0,11
Сырая зола	-0,36	-0,80	-0,03	-0,18	-0,17

Наиболее сильная положительная зависимость выявлена между натурой зерна и величиной длины корня и проростка ( $r = 0,67$  и  $r = 0,77$ ), тогда как зависимость натуре от всхожести не является достоверной ( $r = 0,32$ ) (таблица 3). Таким образом, установлено отсутствие корреляции между исследуемыми технологическими показателями и таким традиционным показателем посевных качеств семян, как всхожесть семян на седьмые сутки для семян пшеницы. В то же время обнаружена достоверная связь между натурой зерна и дополнительными показателями длины корня и проростка семян в этот же период. По другим технологическим показателям выявленная зависимость оказалась незначительной, так, например, слабая положительная корреляция ( $r = 0,34$ ) была установлена между количеством клейковины и длиной проростка.

**Таблица 3 – Корреляционный анализ технологических показателей и всхожести, длины корня и проростка зерновки яровой пшеницы (на седьмые сутки проращивания)**

Параметр	Технологический показатель				
	масса 1000 зерен, г	натура, г/л	содержание белка, %, а.с.в.	содержание клейковины, %	ИДК
Всхожесть, %	0,11	0,32	0,01	0,02	-0,11
Длина корня, мм	0,31	0,67	0,20	0,25	0,15
Длина проростка, мм	0,30	0,77	0,24	0,34	0,23

Для наглядности полученные данные о взаимосвязи натуре и длины проростка представлены в виде диаграммы рассеяния, отражающей зависимости исследованных показателей. Так, например, на рисунке 1 показано, что с увеличением натуре пропорционально возрастает и длина проростка.

Корреляционный анализ связи химического состава и показателей длины корня и проростка семян показал, что кроме корреляций с содержанием калия и кальция, выявленные зависимости оказались отрицательными (таблица 4). Так, была выявлена отрицательная зависимость между содержанием фосфора, серы и зольности с показателями посевных качеств семян. Также установлена средняя отрицательная зависимость между содержанием магния и длиной корня и проростка.

Проведенные исследования позволили выявить зависимость между показателем формы зерна (округлости), определяемой на основе анализа рентгеновских проекций зерновок, и длиной проростка. При этом установлено, что длина проростка снижается с увеличением округлости зерен ( $r = -0,47$ ) (рисунок 2).

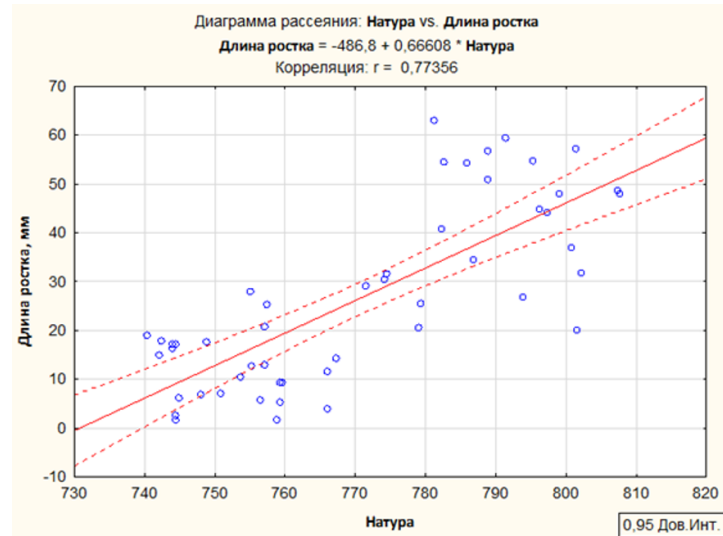


Рисунок 1 – Связь показателя натурности с длиной проростка ( $r = 0,77$  при  $p < 0,05$ )

Таблица 4 – Результаты корреляционного анализа химического состава и всхожести семян, длины корня и проростка яровой пшеницы (на 7-е сутки проращивания)

Параметр	Содержание элементов, %					
	фосфор	калий	кальций	магний	сера	сырая зола
Длина проростка, мм	-0,75	0,15	0,30	-0,44	-0,55	-0,73
Длина корня, мм	-0,67	0,13	0,20	-0,40	-0,48	-0,64
Всхожесть, %	-0,34	0,02	0,06	-0,14	-0,34	-0,37

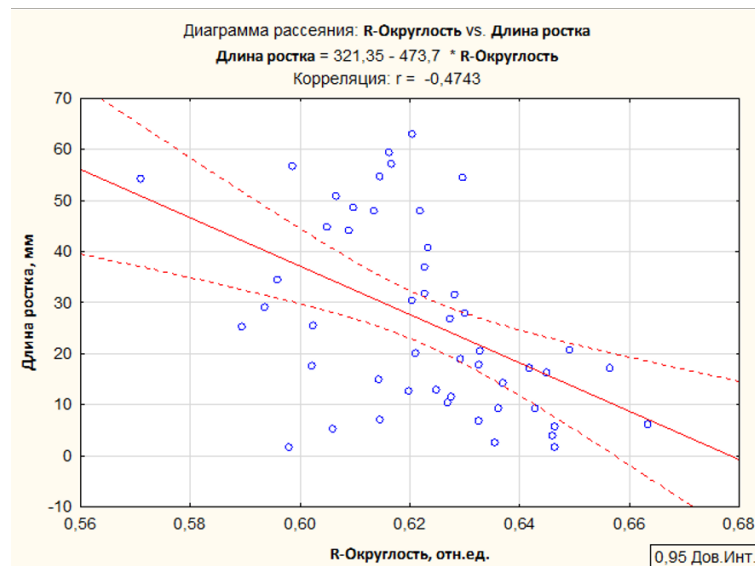


Рисунок 2 – Взаимосвязь формы семян, полученной по рентгеновским снимкам, с длиной проростка ( $r = -0,47$  при  $p < 0,05$ )

В заключение, обсуждая полученные результаты, хотелось бы отметить ранее опубликованные данные, в которых показано отсутствие корреляции между технологическими показателями зерна пшеницы Дарья и основными рентгенографическими показателями дефектности семян, такими, как ЭМИС (энзимомикозное истощение семян), скрытое прораствание и трещиноватость [5, 7]. Этот факт может быть объяснен тем, что доля разных типов скрытых повреждений в образцах зерна, полученных в условиях данного мелкоделяночного полевого опыта, крайне мала

по причине более щадящих особенностей выращивания и уборки, чем в производственных посевах. В то же время в работах Архипова М. В. и соавторов показано, что суммарная доля скрытых повреждений, обусловленных экогенными и антропогенными факторами в промышленном производстве, достаточно велика (более 100 %) и приводит к снижению показателя всхожести на 34 %, длины корня – на 16 % и длины проростка – на 30 % [4, 5].

Таким образом, полученные данные исследованных взаимосвязей между технологическими характеристиками зерна, химическим составом зерна и показателями всхожести, длины корней и ростков семян могут служить основой для разработки методики отбора партий семян, наиболее пригодных для семенных целей.

В дальнейших исследованиях для практического использования выявленных корреляций необходимо проведение дополнительных экспериментов на различных сортах и репродукциях в различных почвенно-климатических зонах.

### Выводы

Результаты проведенных исследований показали отсутствие корреляции между технологическими характеристиками зерна и показателем всхожести. Выявлено наличие взаимосвязи между технологическими характеристиками зерновки и показателями длины корня и проростка семян пшеницы на день определения всхожести, которая может быть использована при разработке методики отбора наиболее пригодных образцов для семенных целей.

Установлена положительная корреляция между показателями природы с длиной корня (средняя –  $r = 0,67$ ) и длиной проростка (высокая –  $r = 0,77$ ).

Установлена отрицательная корреляция между содержанием сырой золы и длиной корня (средняя –  $r = -0,64$ ) и проростка (высокая –  $r = -0,73$ ), содержанием серы и длиной корня (средняя –  $r = -0,48$ ) и проростка (средняя –  $r = -0,55$ ), содержанием фосфора и длиной корня (средняя –  $r = -0,67$ ) и проростка (высокая –  $r = -0,75$ ).

Показано наличие корреляции показателя округлости зерна пшеницы: положительной – с содержанием сырой золы (средняя –  $r = 0,54$ ) и фосфора (средняя –  $r = 0,41$ ) и отрицательной – с натурой (средняя –  $r = -0,40$ ), длиной корня (средняя –  $r = -0,39$ ) и проростка (средняя –  $r = -0,47$ ).

Полученные данные можно рекомендовать для разработки методики отбора партий семян, наиболее пригодных для семенных целей.

### Литература

1. Малько А. М., Андросова О. В. Хорошие семена – успешный старт нового сельскохозяйственного сезона // Защита и карантин растений. 2020. № 6. С. 3–5.
2. Жученко А. А. Настоящее и будущее адаптивной системы селекции и семеноводства растений на основе идентификации и систематизации их генетических ресурсов // Сельскохозяйственная биология. 2012. Т. 47. № 5. С. 3–19. DOI: 10.15389/agrobology.2012.5.3rus.
3. Леонова С. А. Развитие системы оценки и формирования технологических свойств пшеницы от селекции до товарного производства и переработки. Дисс. ... д. т. н. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки, 2011. 328 с.
4. Архипов М. В. Повышение эффективности оперативного контроля при экспертной оценке качества зерна // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2 (26). С. 19–27. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-19-27.
5. Архипов М. В., Потрахов Н. Н., Прияткин Н. С., Гусакова Л. П., Щукина П. А., Рутковская Т. С., Тюкалов Ю. А. Возможности рентгенографического мониторинга зерна разного целевого назначения для решения задач семеноводства, семеноводства и зернопроизводства // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 8–19. EDN: EVBKZX.
6. Иванисова А. С., Марченко Д. М., Иличкина Н. П., Самофалова Н. Е., Олдырева И. М. Источники высокого качества зерна озимой твердой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 4(32). С. 71–81. EDN: BNZXOM.

7. Рутковская Т. С., Архипов М. В., Пасынкова Е. Н., Прияткин Н. С., Конончук П. Ю., Кочерина Н. В., Симон К. В. О связи посевных качеств семян и биохимических показателей качества зерна яровой мягкой пшеницы // *Агрофизика*. 2022. № 1. С. 42–48. DOI: 10.25695/AGRPH.2022.01.07.
8. Марченкова Л. А., Павлова О. В., Чавдарь Р. Ф., Орлова Т. Г., Чебаненко С. И. Характеристика посевных качеств, фитосанитарного состояния семян и стрессоустойчивости сортов яровой и озимой пшеницы селекции ФИЦ «Немчиновка» // *Владимирский земледелец*. 2021. № 4. С. 51–56. DOI:10.24412/2225-2584-2021-4-51-56.
9. Павлова О. В., Марченкова Л. А., Чавдарь Р. Ф., Орлова Т. Г., Гармаш Н. Ю., Чебаненко С. И., Савоськина О. А. Посевные качества семян и ростовые процессы на ранних этапах органогенеза озимой пшеницы в зависимости от обработки их биопрепаратами // *Известия ТСХА*. 2023. Вып. 1. С. 36–43. DOI: 10.26897/0021-342X-2023-1-36-43.
10. Белецкий С. Л., Потрахов Н. Н., Гурьева К. Б., Хаба Н. А. Методология микрофокусной рентгенографии продовольственного зерна круп при хранении. 2-е изд., доп. М.: ДеЛи, 2023. 124 с.
11. Chu J., Guo X., Zheng F., Zhang X., Dai X., He M. Effect of delayed sowing on grain number, grain weight, and protein concentration of wheat grains at specific positions within spikes // *Journal of Integrative Agriculture*. 2023. Vol. 22. Iss.8. P. 2359–2369. DOI: 10.1016/j.jia.2023.02.002.
12. Mitura K., Cacak-Pietrzak G., Feledyn-Szewczyk B., Szablewski T., Studnicki M. Yield and grain quality of common wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the different farming systems (organic vs. integrated vs. conventional) // *Plants*. 2023. No. 12(5). Art. No. 1022. DOI: 10.3390/plants12051022.
13. Пасынкова Е. Н., Завалин А. А., Пасынков А. В. Фракционирование зерна пшеницы как физический способ повышения его качества // *Материалы международной конференции «Тенденции развития агрофизики в условиях изменяющегося климата» (к 80-летию АФИ)*. Санкт-Петербург: Любавич, 2012. С. 122–126.
14. Лекомцев П. В., Рутковская Т. С., Пасынков А. В., Хомяков Ю. В. Эффективность азотных удобрений при возделывании яровой пшеницы на супесчаных почвах // *Плодородие*. 2022. № 1. С. 9–13. DOI: 10.25680/S19948603.2022.124.03.
15. Макрушин Н. М., Плугатарь Ю. В., Малько А. М., Макрушина Е. М., Шабанов Р. Ю. Инновационные аспекты учения об онтогенезе, формировании, отборе и оценке качества семян. Симферополь: Полипринт, 2018. 248 с.
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
17. Методические указания по определению серы в растениях и кормах растительного происхождения. Минсельхоз РФ. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. 8 с.
18. Щукина П. А., Архипов М. В., Гусакова Л. П., Прияткин Н. С. Методика подготовки цифровых рентгеновских изображений семян к визуальному дешифрированию // *Агрофизика*. 2020. № 3. С. 36–44. DOI: 10.25695/AGRPH.2020.03.06.

## References

1. Malko A. M., Androsova O. V. Good seeds – a successful start to the new growing season // *Plant Protection and Quarantine*. 2020. No. 6. P. 3–5.
2. Zhuchenko A. A. Present and future of adaptive selection and seed breeding based on identification and systematization of plant genetic resources // *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2012. Vol. 47. No. 5. P. 3–19. DOI: 10.15389/agrobiology.2012.5.3eng.
3. Leonova S. A. Development of the system of evaluation and formation of technological properties of wheat from breeding to commodity production and processing. Diss. ... Dr. Sc. (Techn.). Moscow: All-Russian Research Institute of Grain and Products of Its Processing (VNIIZ), 2011. 328 p.
4. Arkhipov M. V. Improving efficiency of operational control in the expert evaluation of grain quality // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021. No. 2(26). P. 19–27. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-19-27.
5. Arkhipov M. V., Potrakhov N. N., Priyatkin N. S., Gusakova L. P., Shchukina P. A., Rutkovskaya T. S., Tyukalov Yu. A. Possibilities of X-ray monitoring of different-purpose grain to meet the challenges of seed breeding, seed production and grain production // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2022. No. 3(31). P. 8–19. EDN: EVBKZX.
6. Ivanisova A. S., Marchenko D. M., Ilichkina N. P., Samofalova N. E., Oldyreva I. M. Sources of high quality of winter durum wheat grain // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2022. No. 4(32). P. 71–81. EDN: BNZXOM.
7. Rutkovskaya T. S., Arkhipov M. V., Pasyunkova E. N., Priyatkin N. S., Kononchuk P. Yu., Kocherina N. V., Simon K. V. On the relationship between the sowing qualities of seeds and biochemical indicators of the quality of spring wheat grain // *Agrophysica*. 2022. No. 1. P. 42–48. DOI: 10.25695/AGRPH.2022.01.07.



8. Marchenkova L. A., Pavlova O. V., Chavdar R. F., Orlova T. G., Chebanenko S. I. Characteristics of seeding qualities, phytosanitary condition of seeds and stress resistance of spring and winter wheat varieties of the “Nemchinovka” breeding // Vladimir agricologist. 2021. No. 4. P. 51–56. DOI: 10.24412/2225-2584-2021-4-51-56.
9. Pavlova O. V. Marchenkova L. A., Chavdar R. F., Orlova T. G., Garmash N. Yu., Chebanenko S. I., Savos’kina O. A. Seed quality and growth processes at early stages of winter wheat organogenesis depending on their biological treatment // Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2023. Iss. 1. P. 36–43. DOI: 10.26897/0021-342X-2023-1-36-43.
10. Beletsky S. L., Potrakhov N. N., Guryeva K. B., Khaba N. A. Methodology of microfocuss radiography of food grain cereals during storage 2<sup>nd</sup> ed., add. Moscow: DeLi, 2023. 124 p.
11. Chu J., Guo X., Zheng F., Zhang X., Dai X., He M. Effect of delayed sowing on grain number, grain weight, and protein concentration of wheat grains at specific positions within spikes // Journal of Integrative Agriculture. 2023. Vol. 22. Iss. 8. P. 2359–2369. DOI: 10.1016/j.jia.2023.02.002.
12. Mitura K., Cacak-Pietrzak G., Feledyn-Szewczyk B., Szablewski T., Studnicki M. Yield and grain quality of common wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the different farming systems (organic vs. integrated vs. conventional) // Plants. 2023. No. 12(5). Art. No. 1022. DOI: 10.3390/plants12051022.
13. Pasynkova E. N., Zavalin A. A., Pasynkov A. V. Fractionation of wheat grain as a physical way to improve its quality // Materials of the international conference “Trends in the development of agrophysics in a changing climate” (dedicated to the 80<sup>th</sup> anniversary of the Agrophysical Research Institute). Saint-Petersburg: Lyubavich, 2012. P. 122–126.
14. Lekomtsev P. V., Rutkovskaya T. S., Pasynkov A. V., Khomyakov Yu. V. The efficiency of nitrogen fertilizers in the cultivation of spring wheat on sandy loam soils // Plodorodie. 2022. No. 1. P. 9–13. DOI: 10.25680/S19948603.2022.124.03.
15. Makrushin N. M., Plugatar Yu. V., Malko A. M., Makrushina E. M., Shabanov R. Yu. Innovative aspects of the doctrine of ontogenesis, formation, selection and evaluation of seed quality. Simferopol: Poliprint, 2018. 248 p.
16. Dospekhov B. A. Methods of field research: with the basics of statistical processing of research results. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
17. Guidelines for the determination of sulfur in plants and feed of plant origin. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Moscow: Rosinformagrotekh, 2004. 8 p.
18. Shchukina P. A., Arkhipov M. V., Gusakova L. P., Priyatkin N. S. Technique of digital X-ray images preparation for visual image interpretation // Agrophysica. 2020. No. 3. P. 36–44. DOI: 10.25695/AGRPH.2020.03.06.

UDC 633.1:621.386.8

Arkhipov M. V., Rutkovskaya T. S., Pasynkova E. N., Kononchuk P. Yu., Kocherina N. V.,  
Gusakova L. P., Tyukalov Yu. A., Priyatkin N. S., Danilova T. A.

### **STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN TECHNOLOGICAL QUALITIES OF WHEAT GRAINS AND GERMINATION, AS WELL AS MORPHOMETRIC PARAMETERS OF SEEDLINGS, FOR ECONOMICALLY VALUABLE SEED LOTS SELECTION**

*Summary. In general, in all grain-producing countries, the amount of grain produced for food and feed purposes significantly exceeds the share of produced seeds. Germination indices determined according to GOST 12038-84 may be the same, while morphometric indices of seedlings – root and seedling length – may vary considerably. Analysis of growth characteristics does not replace the evaluation of seeds by germination rates, but provides important additional information not only about the number of seeds that have germinated, but also about their quality. The aim of the study was to determine the relationship between technological characteristics of wheat grains and both germination rates and morphometric indices of seedlings. The research work was carried out at the Department of Plant Lightphysiology and Agroecosystem Bioproductivity – structural unit of the Agrophysical Research Institute (ARI). The subject of the study – grain of spring wheat (variety ‘Darya’) that was received in 2013–2015 in Menkovo – branch of the Agrophysical Research Institute. In the course of our research, we studied biochemical composition, technological, morphometric, radiographic characteristics and sowing qualities of seeds. As a result, positive dependence between grain unit and morphometric indices of seedlings was established:*

average – with root length ( $r = 0.67$ ), high – with seedling length ( $r = 0.77$ ). Negative correlation was found between crude ash content and root length (average –  $r = -0.64$ ), crude ash content and seedling length (high –  $r = -0.73$ ); sulfur content and root length (average –  $r = -0.48$ ), sulfur content and seedling length (average –  $r = -0.55$ ); phosphorus content and root length (average –  $r = -0.67$ ), phosphorus content and seedling length (high –  $r = -0.75$ ). Positive correlation between wheat grain shape, in particular such indicator as “roundness”, and crude ash content (medium –  $r = 0.54$ ), as well as seedling length (medium –  $r = -0.47$ ), was established. Studied technological characteristics (grain unit) and chemical parameters (content of crude ash, sulfur and phosphorus in grain) have close relationship with morphometric parameters of seedlings and can be used to select the best grain batches for seed purposes.

**Keywords:** spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.), technological characteristics of grain, seed germination, root and seedling length, radiography.

Архипов Михаил Вадимович, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела земледелия и растениеводства, ФГБНУ «Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения – обособленное структурное подразделение ФГБНУ «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр РАН», отдела светофизиологии растений и биопродуктивности агроэкосистем, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; e-mail: agrorentgen@mail.ru.

Рутковская Татьяна Сергеевна, соискатель отдела светофизиологии растений и биопродуктивности агроэкосистем, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; e-mail: tatiana-ekan@yandex.ru.

Пасынкова Елена Николаевна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, директор, Ленинградский научно-исследовательский институт «Белогорка» – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха»; 188338, Россия, Ленинградская область, Гатчинский район, п. Белогорка, ул. Институтская 1; e-mail: lenniish@mail.ru.

Конончук Павел Юрьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии почвенно-растительных систем, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; e-mail: 79117717774@yandex.ru.

Кочерина Наталья Викторовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела светофизиологии растений и биопродуктивности агроэкосистем, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; e-mail: alle007@mail.ru.

Гусакова Людмила Петровна, кандидат биологических наук, ведущий инженер отдела светофизиологии растений и биопродуктивности агроэкосистем, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; e-mail: l-gusakova@mail.ru.

Тюкалов Юрий Алексеевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, директор, ФГБНУ Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения – обособленное структурное подразделение ФГБНУ «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр РАН»; 196608, Россия, г. Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, д.7, e-mail: yuat@mail.ru.

Прияткин Николай Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий сектором биофизики растений, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14, e-mail: prini@mail.ru.

Данилова Татьяна Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и растениеводства, ФГБНУ «Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения – обособленное структурное подразделение ФГБНУ «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр РАН»; 196608, Россия, г. Санкт-Петербург – Пушкин, шоссе Подбельского, 7А, e-mail: szcentr@bk.ru.

Arkhipov Mikhail Vadimovich, Dr. Sc. (Biol.), professor, chief researcher of the Department of agriculture and crop production, North-West Centre of Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance – separate division of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of

Sciences; of the Department of plant lightphysiology and agroecosystem bioproductivity, Agrophysical Research Institute (ARI); 14, Grazhdanskiy ave., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: agrorentgen@mail.ru.

Rutkovskaya Tatyana Sergeevna, applicant for a degree, Department of plant lightphysiology and agroecosystem bioproductivity, Agrophysical Research Institute (ARI); 14, Grazhdanskiy ave., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: tatiana-ekan@yandex.ru.

Pasynkova Elena Nikolaevna, Dr. Sc. (Biol.), chief researcher, director of the Leningrad Research Institute “Belogorka” – branch of the “Russian Potato Research Centre named after A.G. Lorkh”; 1, Institutskaya str., Belogorka village, Gatchina district, Leningrad region, 188338, Russia; e-mail: pasynkova.elena@gmail.com.

Kononchuk Pavel Yuryevich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory of soil and plant systems biochemistry, Agrophysical Research Institute (ARI); 14, Grazhdanskiy ave., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: 79117717774@yandex.ru.

Kocherina NatalyaVictorovna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher of the Department of plant lightphysiology and agroecosystem bioproductivity, Agrophysical Research Institute (ARI); 14, Grazhdanskiy ave., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: alle007@mail.ru.

Gusakova Lyudmila Petrovna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher of the Department of plant lightphysiology and agroecosystem bioproductivity, Agrophysical Research Institute (ARI); 14, Grazhdanskiy ave., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: l-gusakova@mail.ru.

Tyukalov Yuriy Alekseevich, Cand. Sc. (Techn.), leading researcher, director of the North-West Centre of Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance – separate division of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 7, Podbelskogo road, Pushkin, Saint-Petersburg, 196608, Russia; e-mail: yuat@mail.ru.

Priyatkin Nikolay Sergeevich, Cand. Sc. (Techn.), senior researcher, head of the Sector of plant biophysics, Agrophysical Research Institute; 14, Grazhdanskiy ave., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: prini@mail.ru.

Danilova Tatyana Alekseevna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Department of agriculture and crop production, North-West Centre of Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance – separate division of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 7, Podbelskogo road, Pushkin, Saint-Petersburg, 196608, Russia; e-mail: szcentr@bk.ru.

*Дата поступления в редакцию – 12.09.2023.*

*Дата принятия к печати – 27.10.2023.*

DOI 10.5281/zenodo.10259000  
EDN GIPGBQ  
УДК 633.112.1

Ахтямова А. А., Еремин Д. И.

## РЕАКЦИЯ ОВСА НА ВОЗРАСТАЮЩИЙ УРОВЕНЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ АЛЮМИНИЯ В ЮВЕНИЛЬНЫЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Тюменский научный центр сибирского отделения РАН»»

**Реферат.** Овёс является третьей по значимости зерновой культурой в России, которая используется в продовольственных и кормовых целях. Овёс, пригодный для Сибирских и Северо-Западных регионов, должен обладать высокой степенью алюмоустойчивости, что возможно только при направленной селекции. Цель исследований – оценка влияния различной концентрации ионов алюминия на проростки овса посевного (*Avena sativa* L.) и определение порога ее токсичности для использования в направленной селекции. Исследования выполнены на базе лаборатории геномных исследований в растениеводстве ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Тюменский научный центр сибирского отделения РАН»» в 2023 г. Для работы был выбран ряд концентраций сульфата алюминия (0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 и 7,0 г/л) при которых проводили проращивание овса сорта Отрада. Изучали энергию прорастания и лабораторную всхожесть. Определение порога алюмоустойчивости овса проводили по индексу длины первичных корней (ИДК) и биомассе проростков на седьмой день. Установлено, что средняя длина корней опытных образцов овса не отличается от контроля при концентрации сульфата алюминия до 0,5 г/л при индексе длины корней более 95 %. В диапазоне концентраций от 0,75 до 1,00 г/л длина корней уменьшается в 2,0–2,3 раза относительно контроля, а ИДК снижается до 45 %. При дальнейшем повышении концентрации ионов алюминия отмечается сильный токсический эффект, при котором длина корней уменьшается до 8 мм при ИДК 5,4 %. Установлен эффект положительного влияния ионов алюминия при концентрации 0,5–1,0 г/л – лабораторная всхожесть возростала с 75 до 95 %. При последующем повышении концентрации посевные показатели овса снижаются. Фитотоксичность ионов алюминия ( $y$ ) представлена в виде регрессионного уравнения  $y = -1,0224x^2 + 23,098x - 33,842$ , где  $x$  – концентрация ионов алюминия, г/л. Для выявления алюмоустойчивых генотипов овса рекомендуется метод лабораторной оценки всхожести и сопутствующих показателей при использовании раствора сульфата алюминия с концентрацией 1,0 г/л, обеспечивающей pH 4,1 ед.

**Ключевые слова:** овёс посевной (*Avena sativa* L.), ионы алюминия, всхожесть, энергия прорастания, индекс длины корней, фитотоксичность, корреляционный анализ.

**Для цитирования:** Ахтямова А. А., Еремин Д. И. Реакция овса на возрастающий уровень концентрации ионов алюминия в ювенильный период развития // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4 (36). С. 18–27. EDN: GIPGBQ. DOI: 10.5281/zenodo.10259000.

**For citation:** Akhtyamova A. A., Eremin D. I. Response of oats to an increasing level of aluminum ion concentration during the juvenile period of development // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4(36). P. 18–27. EDN: GIPGBQ. DOI: 10.5281/zenodo.10259000.

### Введение

Природу высокой кислотности различных типов почв установил еще К. К. Гедройц. По его мнению, которое неоднократно подтвердили современные ученые, почвенный раствор подкисляют преимущественно ионы алюминия и водорода [1, 2]. Несмотря на одинаковый подкисляющий эффект,  $Al^{3+}$  обладает токсическим эффектом

для многих растений. По данным исследований А. С. Моторина, овёс на кислых осушенных торфяниках, где кислотность обусловлена ионами водорода, не имеет признаков угнетения вплоть до  $pH = 4,5$  ед. [3]. Это подтверждают и другие исследователи [4, 5]. При аналогичном уровне кислотности на серых лесных и подзолистых почвах, овёс и другие культуры испытывают серьезный стресс, который приводит к снижению урожайности [6, 7]. Таким образом, значительная часть сортов овса способна расти при высокой кислотности, обусловленной ионами водорода. Однако в почвах такой вид кислотности встречается редко – в основном это болотно-торфяные почвы и подзолы. В почвенно-поглощительном комплексе кислых почв доминирует алюминий, который способен подкислять почвенный раствор, особенно при внесении физиологически кислых удобрений [8].

Наибольшее негативное влияние оказывает алюминий, который, проникая внутрь растительных клеток, нарушает естественный физиологический процесс их роста. Также происходит нарушение биохимических реакций, что негативно сказывается на качестве получаемой продукции. Установлено, что у растений, произрастающих на кислых почвах, нарушен углеводный обмен, который отвечает за накопление сахаров и крахмала, тем самым ухудшается качество получаемой продукции [9]. Совместные исследования польских и американских ученых показали, что при стрессе ячменя, вызванном высокой концентрацией алюминия, происходят значительные изменения в профиле транскриптома – активизируются более 4000 генов с одновременным подавлением 2000 генов [10].

Проблему кислых почв можно решить несколькими путями. Традиционно, агрохимики рекомендуют проведение известкования. Однако это крайне затратное мероприятие для многих сельскохозяйственных предприятий. В Российской Федерации более чем 35 млн гектар пашни являются изначально кислыми – подзолистые, серые лесные. Еще столько же являются потенциально кислыми [11]. Вопрос о расширении площади пахотных угодий в России остается актуальным и неразрешенным. Наиболее плодородные земли уже распаханы и используются длительный срок, поэтому расширение площади пашни возможно только за счет потенциально кислых серых лесных почв [12].

Еще одним способом решения проблемы почвенной кислотности может быть создание специальных сортов сельскохозяйственных культур, в которых алюмотолерантность закреплена на генетическом уровне. Наиболее подходящей культурой является овес, который известен высокой устойчивостью к кислотности и низкому плодородию почвы [13].

Для оценки алюмотолерантности сортов овса необходимы лабораторные методы скрининга, определяющие перспективные родительские формы для последующей внутривидовой гибридизации. Как отмечают исследователи, еще на стадии ранних этапов онтогенеза овёс (*Avena sativa* L.) показывает наличие генетической устойчивости к ионам алюминия [14]. Это делает метод проращивания семян в питательных растворах с токсичными концентрациями алюминия перспективным при селекции алюмоустойчивых сортов овса.

Одним из нерешенных вопросов является выбор солей алюминия и его концентрация. В водной вытяжке из кислых почв наиболее часто алюминий встречается в форме сульфатов, реже – хлоридов. Поэтому, наиболее правильным будет использование в опытах сульфата алюминия [15]. Однако вопрос о токсической концентрации  $Al_2(SO_4)_3$  остается открытым. Поэтому при проведении исследований изучали токсическое воздействие алюминия в разных концентрациях.

**Цель исследований** – оценка влияния различной концентрации ионов алюминия на проростки овса посевного (*Avena sativa* L.) и определение порога ее токсичности для использования в направленной селекции.

#### Материалы и методы исследований

Исследования выполнены на базе лаборатории геномных исследований в растениеводстве ФГБУН «Федеральный исследовательский центр “Тюменский научный центр сибирского отделения РАН”» в 2023 г. Метод исследования основан на способности семян овса адекватно реагировать на ионы алюминия путем изменения роста корней в первые семь дней жизни. Объектом исследований был овёс посевной сорта Отрада, который является достижением Тюменской селекции [16, 17]. В настоящее время сорт допущен к выращиванию в трех регионах: Уральский, Западно-Сибирский и Дальневосточный. В Тюменской области Отрада занимает 80 % от засеваемой овсом площади.

Оценку устойчивости к  $Al^{3+}$  проводили в лабораторных условиях. Водные растворы сульфат алюминия готовили в концентрации 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 и 7,0 г/л с сопутствующим замером значений pH. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Образцы на всхожесть закладывали рулонным методом по 25 зерен в четырехкратном повторении (ГОСТ 12038-84). Семена проращивали в термостате при температуре 21 °С. По истечении трех дней подсчитывали долю проросших семян (энергия прорастания), а у семидневных проростков фиксировали всхожесть и поражение плесневыми грибами. Измеряли длину наибольшего корня, массу корней и ростков опытных и контрольных образцов в соответствии вышеуказанному ГОСТ. Индекс длины корней (ИДК) определяли по соотношению средней длины корней контрольных и опытных растений. Фитотоксичность оценивали по биологическому действию водного экстракта сернокислого алюминия на растения, согласно методической рекомендации МР 2.1.7.2297-07 [18]. Математическую обработку данных и дисперсионный анализ проводили с использованием надстройки AgCStat для программного продукта Microsoft Excel, на графиках указана ошибка опыта.

#### Результаты и их обсуждение

В ходе лабораторных исследований на алюмоустойчивость овса были выявлены существенные различия. Длина корней у семидневных проростков в контроле составляла  $149 \pm 1,3$  мм, при этом кислотность раствора была 6,0 pH (таблица 1). Овёс, который прорастал при концентрации  $Al^{3+}$  0,25 и 0,5 г/л, оказался наиболее устойчивым к стрессовому воздействию – индекс длины корня составил 95,3 и 96,6 % соответственно.

**Таблица 1 – Влияние концентрации сульфата алюминия на длину первичных корешков при прорастании зерна овса**

Вариант (концентрация $Al^{3+}$ , г/л)	pH раствора	Средняя длина корня, мм ( $X_{cp} \pm SE$ )	Индекс длины корня (ИДК), %
Контроль	6,0	$149 \pm 1,3$	–
0,25	4,3	$142 \pm 1,8$	95,3
0,5	4,2	$144 \pm 0,9$	96,6
0,75	4,1	$74 \pm 1,6$	49,7
1,0	4,1	$67 \pm 1,1$	45,0
1,5	3,9	$37 \pm 1,0$	24,8
2,0	3,9	$33 \pm 1,8$	22,1
3,0	3,8	$16 \pm 0,2$	10,7
4,0	3,8	$12 \pm 0,1$	8,1
5,0	3,7	$11 \pm 0,2$	7,4
7,0	3,7	$8 \pm 0,1$	5,4

*Примечание.* Хср. – средняя длина, мм; SE – стандартная ошибка, мм.

С увеличением концентрации сульфата алюминия в исследуемых растворах фиксировали закономерное повышение кислотности – рН снижался с 6,0 (контроль) до 3,7 ед. Корреляционный анализ позволил установить, что средняя длина корней проростков овса достоверно зависела от концентрации ионов алюминия в растворе –  $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$  при  $p = 0,05$ . Коэффициент парной корреляции (концентрация  $Al^{3+}$ /длина корней) был равен -0,8, что соответствовало умеренной степени обратной связи. Необходимо отметить, что корреляция (рН/длина корней) была ниже –  $r = -0,7$ .

**Таблица 2 – Взаимосвязь между показателями всхожести семян овса сорта Отрада и концентрацией ионов алюминия**

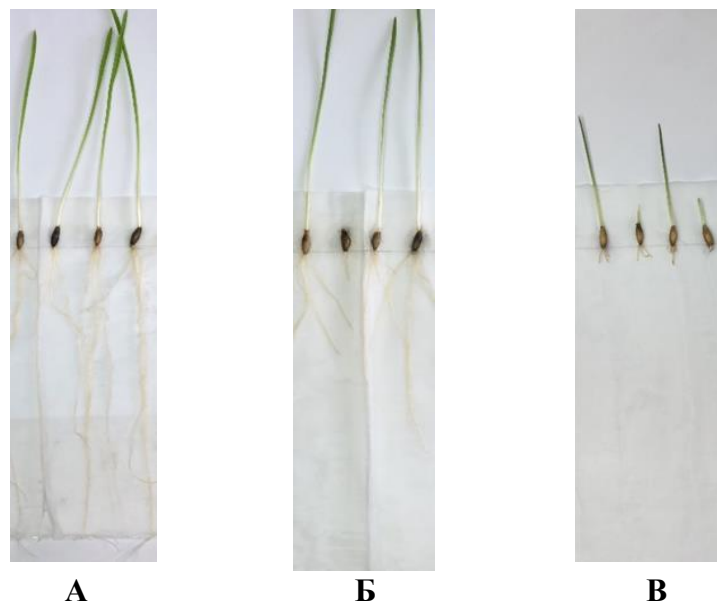
Показатель	Концентрация $Al^{3+}$	Всхожесть, %	Энергия прорастания, %	Поражение плесневыми грибами, %	рН раствора	Масса корней, г	Масса ростков, г	Фитозэффект, %
Концентрация $Al^{3+}$	1							
Всхожесть, %	-0,57	1						
Энергия прорастания, %	0,00*	0,13*	1					
Поражение плесневыми грибами, %	-0,78	0,65	-0,04*	1				
рН раствора	-0,57	0,11*	-0,55	0,25*	1			
Масса корней, г	-0,89	0,74	-0,12*	0,89	0,53	1		
Масса ростков, г	-0,87	0,82	0,26*	0,79	0,31*	0,89	1	
Фитозэффект, %	0,80	-0,48	0,53	-0,73	-0,73	-0,87	-0,61	1

**Примечание.** \* – значения корреляционной связи недостоверны. Шкала Е.П. Голубкова для коэффициента корреляции Пирсона (по модулю): 0,00–0,20 – отсутствует; 0,21–0,40 – очень слабая; 0,41–0,60 – слабая; 0,61–0,80 – умеренная; >0,80 – сильная.

Угнетение овса на начальном этапе онтогенеза произошло в вариантах с концентрацией ионов алюминия 0,75 и 1,0 г/л – индекс длины корней уменьшился до 49,7 и 45,0 % соответственно, а длина корней сократилась более чем в два раза относительно контроля. Таким образом, установлено, что сорт Отрада не обладает высокой устойчивостью к токсическому действию ионов алюминия.

Дальнейшее повышение концентрации  $Al^{3+}$  в субстратах от 1,5 до 7,0 г/л привело к угнетению корневой системы овса (рисунок 1) – средняя длина корней уменьшилась с 37 до  $8 \pm 0,1$  мм. Индекс длины корней при концентрации сульфата алюминия 1,5 г/л составил 24,8 %, а при 7 мг/л – достиг минимальных значений в 5,4 %. Аналогичные данные получили Л. В. Волкова и ее коллеги из Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого в опытах с яровой пшеницей [19]. Ступенчатое снижение длины первичных корешков овса обусловлено тем, что корневые волоски не успевают выделять достаточное количество яблочной и лимонной кислоты, необходимое для связывания ионов алюминия и предотвращения их попадания внутрь клеток корня [20].

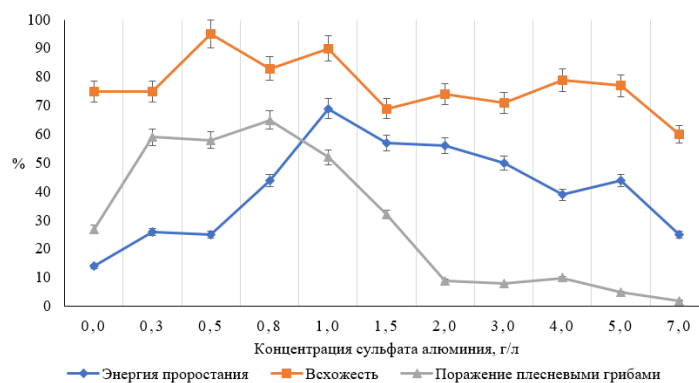
Также одним из методов оценки реакции растений на стресс, вызванный абиотическими факторами, является определение показателей энергии прорастания, всхожести и поражения семян плесневыми грибами. Значение энергии прорастания семян характеризуется дружностью всходов на третий день. В контроле данный показатель составлял 14 %. Отмечена положительная динамика (до 69 %) энергии прорастания семян овса относительно контроля на субстратах с концентрацией ионов алюминия до 1,0 г/л (рисунок 2).



**Рисунок 1 – Влияние ионов алюминия на развитие корневой системы семидневных проростков овса сорта Отрада**

*Примечание. А – Контроль, Б –  $Al^{3+}$  0,75 г/л, В –  $Al^{3+}$  7,0 г/л.*

Механизм увеличения энергии прорастания и всхожести овса под действием незначительных концентраций иона алюминия был детально описан в 1990 г. учеными из Мичигана Н. J. Schaeffer и J. D. Walton [21]. Они отмечали резкий выброс внеклеточных полисахаридов из группы  $\beta$ -глюканов, которые обладали стимулирующим эффектом. При сублетальных концентрациях ионов алюминия эти полисахариды ингибировали биохимические реакции вплоть до полной гибели растений. В 2018 г. О. В. Яковлева подтвердила механизм снижения токсического эффекта алюминия благодаря синтезу углеводов и органических кислот путем хелатирования [22]. В ходе исследований установлено, что дальнейшее повышение концентрации  $Al^{3+}$  в водном растворе оказало негативное влияние на энергию прорастания, которая уменьшилась до 25 %.



**Рисунок 2 – Влияние концентрации сульфата алюминия на прорастание овса при 5 % уровне погрешности**

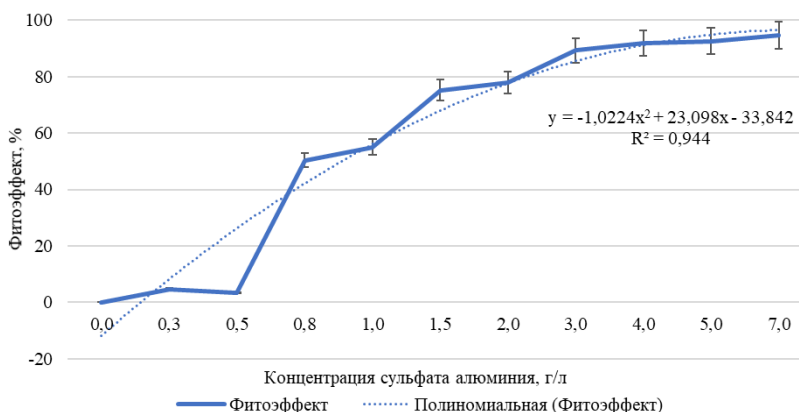
Лабораторная всхожесть в контроле составила 75 %, но при этом отмечали сильное разрастание грибной биоты – поражённость зерновок составляла 27 % (см.



рисунок 1А). Проращивание овса на субстрате с концентрацией ионов алюминия 0,25 г/л не оказало влияния на всхожесть, тогда как поражение проростков плесневыми грибами увеличилось в два раза относительно контроля и составило 59 %, что указывает на явное положительное влияние  $Al^{3+}$ . Сильное плесневение растений сохранялось и в вариантах с субстратами до 1,5 г/л.

В вариантах с концентрацией сульфата алюминия 0,5–1,0 г/л был отмечен стимулирующий эффект всхожести семян, которая составила 83–95 %. Дальнейшее повышение концентрации ионов алюминия в субстратах вело к постепенному угнетению ростовых процессов – лабораторная всхожесть овса снизилась до 60 %. Также выявлено резкое снижение (до 2–10 %) пораженности зерновок плесневыми грибами, что соответствует слабой и средней степени поражения.

При воздействии на семена овса раствором сульфата алюминия наблюдали возрастающее влияние эффекта ингибирования развития растений на начальном этапе развития (рисунок 3). В вариантах с концентрацией ионов алюминия до 0,5 г/л фитозэффект составлял 3–5 % относительно контроля, что входит в пределы нормы. С увеличением концентрации  $Al^{3+}$  в субстратах до 0,75 г/л наблюдали резкий скачок угнетения проростков (50 %). Дальнейшее повышение концентрации сернокислого алюминия привело к усилению фитозэффекта, достигнув 95 %. Это указывало на высокую корреляционную связь между концентрацией ионов алюминия и фитозэффектом сорта Отрада. Регрессионное уравнение, достоверное в диапазоне содержания ионов алюминия в субстрате до 7,0 г/л, соответствует следующему типу:  $y = -1,0224x^2 + 23,098x - 33,842$ , где:  $y$  – фитозэффект, %;  $x$  – концентрация ионов алюминия, г/л. Коэффициент аппроксимации ( $R^2$ ) составил 0,944.

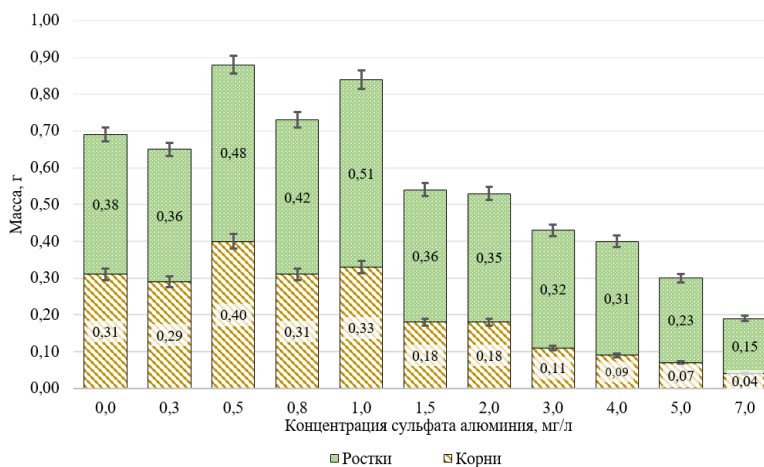


**Рисунок 3 – Динамика фитозэффекта овса в зависимости от концентрации сульфата алюминия при 5 % уровне погрешности**

Сухая масса корней и ростков у овса на контроле составляла 0,31 и 0,38 г соответственно (рисунок 4). Низкое содержание ионов алюминия в водном растворе не оказало влияния на биомассу относительно контроля. В вариантах с концентрацией  $Al^{3+}$  от 0,5 и 1,0 г/л наблюдали увеличение массы ростков на 10–26 % (0,04–0,13 г) в сравнении с контролем. Дальнейшее увеличение содержания ионов алюминия в субстратах негативно сказалось на ростовых процессах овса, что привело к значительному снижению массы корней и ростков – 0,04 и 0,15 г соответственно.

Наши расчеты показали, что лабораторная всхожесть семян овса сорта Отрада находилась в обратной пропорциональной сопряженности относительно концентрации водных растворов ионов алюминия –  $r = -0,57$ , что по шкале Е. П. Голубкова соответствует слабой степени зависимости. Также отмечается влияние субстратов на поражение плесневыми грибами семян – корреляционный анализ соответствует

умеренной зависимости ( $r = -0,78$ ). Сильная обратная корреляционная сопряженность выявлена для массы корней ( $r = -0,89$ ) и ростков ( $r = -0,87$ ) овса. Фитозэффект относительно концентрации  $Al^{3+}$  находился в сильной прямой зависимости –  $r = 0,80$ .



**Рисунок 4 – Сухая масса корней и ростков овса в зависимости от концентрации сульфата алюминия при 5 % уровне погрешности**

Сильная корреляционная сопряженность выявлена у массы ростков овса относительно всхожести и массы корней –  $r = 0,82$  и  $r = 0,89$  соответственно. Установлено, что показатель «фитозэффект» имеет сильную обратную пропорциональную зависимость с массой корней овса и составляет  $r = -0,87$ . Также установлена сильная корреляционная зависимость массы корней относительно поражения семян плесневыми грибами –  $r = 0,89$ .

#### Выводы

В ходе модельных опытов установлено, что характер реакции овса на ионы алюминия зависит от его содержания в растворе. При концентрации сульфата алюминия 0,5–0,75 г/л проявляется эффект стимулирования ростовых процессов овса: лабораторная всхожесть повышается с 75 (контроль) до 85–93 %, а биомасса – с 0,69 до 0,88 %. Аналогичный стимулирующий эффект данные концентрации оказали на развитие плесневых грибов – степень поражения зерновок овса составила 52–65 % при 27 % в контроле. Ионы алюминия при концентрации более 1 г/л раствора обеспечивали устойчивое ингибирование ростовых процессов, которое выражалось в энергии прорастания, лабораторной всхожести и фитозэффекте. Наиболее чувствительными к ионам алюминия оказались первичные корешки, масса которых уменьшилась в шесть–восемь раз относительно контроля, а фитозэффект составил 95 %.

На основании проведенных исследований рекомендуется для выявления алюмоустойчивых генотипов овса использовать метод проращивания в растворе с концентрацией сульфата алюминия 1,5 г/л при рН равном 3,9–4,0 ед.

*Работа выполнена по госзаданию №122011300103-0 и при поддержке Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня.*

#### Литература

1. Шкуркин С. И., Носиков В. В., Торшин С. П. Основоположник коллоидной химии почв // Плодородие. 2022. № 2(125). С. 71–73. DOI: 10.25680/S19948603.2022.125.17. EDN: TPZPJT.
2. Tolpeshta I. I., Sokolova T. A. Mobile aluminum compounds in soils of the southern taiga (soils of the central forest reserve as an example) // Eurasian Soil Science. 2010. Vol. 43. No. 8. P. 893–904. DOI: 10.1134/S1064229310080065. EDN: MXQATT.

3. Моторин А. С. Торфяные почвы Западной Сибири и их плодородие. Новосибирск: Наука, 2019. 336 с. ISBN 978-5-02-038851-2. EDN TTLGHM.
4. Анисимова Т. Ю., Раскатов В. А. Эффективное использование осушенных торфяников в России // Плодородие. 2020. № 5(116). С. 18–20. DOI: 10.25680/S19948603.2020.116.05. EDN: JXDCZY.
5. Semenov V. M., Zinyakova N. B., Lebedeva T. N., Tulina A. S., Kogut B. M., Masyutenko N. P., Maluykova L. S. Biologically active organic matter in soils of European Russia // Eurasian Soil Science. 2018. Vol. 51. No. 4. P. 434–447. DOI: 10.1134/S1064229318040117. EDN: XXMDTN.
6. Гриб С. И., Богдан В. З. Оптимизация методологии и результаты селекции льна-долгунца в Беларуси // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 6–18. DOI: 10.5281/zenodo.7896477. EDN: QMWGIE.
7. Loskutov I. G., Butris V., Kosareva I. A., Blinova E. V., Novikova L. Yu. Aluminum tolerance and micronutrient content in the grain of oat cultivars with different levels of breeding improvement from the VIR collection // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022. Vol. 183. No. 3. P. 96–110. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-96-110. EDN: WCLSXA.
8. Hue N. Soil acidity: development, impacts, and management // In book: Structure and Functions of Pedosphere. Springer Nature. 2022. DOI: 10.1007/978-981-16-8770-9\_5.
9. Ryan P. R., Tyerman S. D., Sasaki T., Furuichi T., Yamamoto Y., Zhang W. H., Delhaize E. The identification of aluminium-resistance genes provides opportunities for enhancing crop production on acid soils // Journal of Experimental Botany. 2011. No. 62(1) P. 9–20. DOI: 10.1093/jxb/erq272.
10. Szurman-Zubrzycka M., Chwiałkowska K., Niemira M., Kwaśniewski M., Nawrot M., Gajeka M., Larsen P. B., Szarejko I. Aluminum or low pH – which is the bigger enemy of barley? Transcriptome analysis of barley root meristem under Al and low pH stress // Frontiers in Genetics. 2021. Vol. 12. Art. No. 675260. P. 1–23. DOI: 10.3389/fgene.2021.675260.
11. Иванов А. Л., Столбовой В. С., Гребенников А. М., Оглезнев А. К., Петросян Р. Д., Шилов П. М. Ранжирование кислых почв по приоритетности проведения известкования в Российской Федерации // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2020. № 103. С. 168–187. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-103-168-187. EDN: MNFJYA.
12. Каюгина С. М., Еремин Д. И. Физико-химические свойства серых лесных почв восточной окраины Зауральского Плато // Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Биология». 2022. Т. 15. № 4. С. 471–490. DOI: 10.17516/1997-1389-0399. EDN: YOCLPO.
13. Любимова А. В., Иваненко А. С. Овёс в Тюменской области. Тюмень: ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 2021. 172 с. EDN ARNENM.
14. Косарева И. А., Блинова Е. В., Лоскутов И. Г. Овес: Характеристика образцов по устойчивости к алюмотоксичности кислых почв. Санкт-Петербург: ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», 2021. 44 с. DOI: 10.30901/978-5-907145-77-1. EDN: XHGBTR.
15. Volkova L., Amunova O., Lisitsyn E. Morpho-physiological parameters of wheat cultivar for cultivation on aluminum-acid soils // E3S Web of Conferences. 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. 01038. DOI: 10.1051/e3sconf/202125401038. EDN: VJXEQV.
16. Фомина М. Н., Брагин Н. А., Белоусов С. А. Влияние агротехнических приемов на формирование качества зерна у сортов овса в условиях Северного Зауралья // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 11. С. 31–36. DOI: 10.53859/02352451\_2021\_35\_11\_31. EDN: EZYUAO.
17. Любимова А. В., Еремин Д. И., Кочнева Д. А. Изменение показателей генетической структуры популяции сортов овса, возделываемых в Тюменской области, за 90-летний период // Вестник КрасГАУ. 2022. № 12(189). С. 32–41. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-12-32-41. EDN: JVDCDC.
18. Русаков Н. В., Крятов И. А., Пиртахия Н. В., Тонкопий Н. И., Карцева Н. Ю., Стародубов А. Г. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности: методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. 15 с.
19. Волкова Л. В., Амунова О. С., Тиунова Л. Н. Использование морфофизиологических параметров проростков яровой пшеницы в селекции на алюмоустойчивость // Аграрный вестник Урала. 2021. № 4(207). С. 24–33. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-24-33. EDN: EMYMVY.
20. Schneider A. B., Nava I. C., Hervé C. B., Islamovic E., Limberberger E., Jackson E. W., Delatorre C. A. Chromosome-anchored QTL conferring aluminum tolerance in hexaploid oat // Molecular Breeding. 2015. Vol. 35. Art. No. 121. DOI: 10.1007/s11032-015-0315-4.
21. Schaeffer H. J., Walton J. D. Aluminum ions induce oat protoplasts to produce an extracellular (1→3)β-D-Glucan // Plant Physiol. 1990. Vol. 94. P. 13–19. DOI: 10.1104/pp.94.1.13.
22. Яковлева О. В. Фитотоксичность ионов алюминия // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. № 179(3). С. 315–331. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-315-331. EDN: VRVUCP.

## References

1. Shkurkin S. I., Nosikov V. V., Torshin S. P. Founder of colloid soil chemistry // *Plodorodie*. 2022. No. 2(125). P. 71–73. DOI: 10.25680/S19948603.2022.125.17. EDN: TPZPJT.
2. Tolpeshta I. I., Sokolova T. A. Mobile aluminum compounds in soils of the southern taiga (soils of the central forest reserve as an example) // *Eurasian Soil Science*. 2010. Vol. 43. No. 8. P. 893–904. DOI: 10.1134/S1064229310080065. EDN: MXQATT.
3. Motorin A. S. Peat soils of Western Siberia and their fertility. Novosibirsk: Nauka, 2019. 336 p. EDN: TTLGHM.
4. Anisimova T. Yu., Raskatov V. A. To the question of effective use of drained peatlands in Russia // *Plodorodie*. 2020. No. 5(116). P. 18–20. DOI: 10.25680/S19948603.2020.116.05. EDN: JXDCZY.
5. Semenov V. M., Zinyakova N. B., Lebedeva T. N., Tulina A. S., Kogut B. M., Masyutenko N. P., Maluykova L. S. Biologically active organic matter in soils of European Russia // *Eurasian Soil Science*. 2018. Vol. 51. No. 4. P. 434–447. DOI: 10.1134/S1064229318040117. EDN: XXMDTN.
6. Grib S. I., Bogdan V. Z. Optimization of methodology and results of flax breeding in Belarus // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2023. No. 1(33). P. 6–18. DOI: 10.5281/zenodo.7896477. EDN: QMWGIE.
7. Loskutov I. G., Butris V., Kosareva I. A., Blinova E. V., Novikova L. Yu. Aluminum tolerance and micronutrient content in the grain of oat cultivars with different levels of breeding improvement from the VIR collection // *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2022. Vol. 183. No. 3. P. 96–110. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-96-110. EDN: WCLSXA.
8. Hue N. Soil acidity: development, impacts, and management // In book: *Structure and Functions of Pedosphere*. Springer Nature, 2022. DOI: 10.1007/978-981-16-8770-9\_5.
9. Ryan P. R., Tyerman S. D., Sasaki T., Furuichi T., Yamamoto Y., Zhang W. H., Delhaize E. The identification of aluminium-resistance genes provides opportunities for enhancing crop production on acid soils // *Journal of Experimental Botany*. 2011. No. 62(1) P. 9–20. DOI: 10.1093/jxb/erq272.
10. Szurman-Zubrzycka M., Chwiałkowska K., Niemira M., Kwaśniewski M., Nawrot M., Gajecka M., Larsen P. B., Szarejko I. Aluminum or low pH – which is the bigger enemy of barley? Transcriptome analysis of barley root meristem under Al and low pH stress // *Frontiers in Genetics*. 2021. Vol. 12. Art. No. 675260. DOI: 10.3389/fgene.2021.675260.
11. Ivanov A. L., Stolbovoy V. S., Grebennikov A. M., Ogleznev A. K., Petrosyan R. D., Shilov P. M. Ranking of acidic soils by priority of liming in the Russian Federation // *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2020. No. 103. P. 168–187. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-103-168-187. EDN: MNFJYA.
12. Kayugina S. M., Eremin D. I. Physicochemical properties of gray forest soils of the eastern outskirts of the Trans-Ural Plateau // *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2022. Vol. 15. No. 4. P. 471–490. DOI: 10.17516/1997-1389-0399. EDN: YOCLPO.
13. Lyubimova A. V., Ivanenko A. S. Oats in the Tyumen region. Tyumen: Federal Research Center Tyumen Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2021. 172 p. EDN: ARNENM.
14. Kosareva I. A., Blinova E. V., Loskutov I. G. Oats: description of accessions according to their resistance to aluminum. Saint Petersburg: FSBSI “Federal Research Center N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources” (VIR), 2021. 44 p. DOI: 10.30901/978-5-907145-77-1. EDN: XHGBTR.
15. Volkova L., Amunova O., Lisitsyn E. Morpho-physiological parameters of wheat cultivar for cultivation on aluminum-acid soils // *E3S Web of Conferences. 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. 01038. DOI: 10.1051/e3sconf/202125401038. EDN: BJXEQV.
16. Fomina M. N., Bragin N. A., Belousov S. A. Influence of agrotechnical methods on the formation of grain quality in oat varieties under conditions of the Northern Trans-Urals // *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2021. Vol. 35. No. 11. P. 31–36. DOI: 10.53859/02352451\_2021\_35\_11\_31. EDN: EZYAYO.
17. Lyubimova A. V., Eremin D. I., Kochneva D. A. Changes in indicators of the oat varieties population genetic structure in the Tyumen region over a 90-year period // *Bulletin of KSAU*. 2022. No. 12(189). P. 32–41. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-12-32-41. EDN: JVDCCD.
18. Rusakov N. V., Kryatov I. A., Pirtakhiya N. V., Tonkopiya N. I., Kartseva N. Yu., Starodubov A. G. Justification of the phytotoxicity hazard class of industrial and consumer waste: methodological recommendations. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2008. 15 p.
19. Volkova L. V., Amunova O. S., Tiunova L. N. The use of morphophysiological parameters of spring wheat seedlings in the selection for aluminum resistance // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021. No. 4(207). P. 24–33. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-24-33. EDN: EMYMVY.
20. Schneider A. B., Nava I. C., Hervé C. B., Islamovic E., Limberberger E., Jackson E. W., Delatorre C. A. Chromosome-anchored QTL conferring aluminum tolerance in hexaploid oat // *Molecular Breeding*. 2015. Vol. 35. P. Art. No. 121. DOI: 10.1007/s11032-015-0315-4.
21. Schaeffer H. J., Walton J. D. Aluminum ions induce oat protoplasts to produce an extracellular (1→3)β-D-glucan // *Plant Physiol*. 1990. Vol. 94. P. 13–19. DOI: 10.1104/pp.94.1.13.
22. Yakovleva O. V. Phytotoxicity of aluminum ions // *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2018. No. 179(3). P. 315–331. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-315-331. EDN: VRVUCP.

UDC 633.112.1

Akhtyamova A. A., Eremin D. I.

**RESPONSE OF OATS TO AN INCREASING LEVEL OF ALUMINUM ION CONCENTRATION DURING THE JUVENILE PERIOD OF DEVELOPMENT**

**Summary.** Oats (*Avena sativa* L.) rank third in importance among cereal crops in Russia and serve as a food source for humans and livestock. Achieving high aluminum resistance is crucial for oat cultivation in Siberian and North-Western regions, which can only be gained through controlled breeding. The aim of the work was to evaluate the effect of different concentrations of aluminum ions on *A. sativa* seedlings and to determine the threshold of its toxicity for further use in controlled breeding. The studies were carried out in 2023 at the Laboratory of Genomic Research in Plant Breeding – structural unit of Tyumen Scientific Center SB RAS. In the course of the research, oats seeds (cv. 'Otrada') were germinated at different aluminum sulfate concentrations (0.25; 0.50; 0.75; 1.0; 1.5; 2.0; 3.0; 4.0; 5.0 and 7.0 g/l). Particular attention was paid to such indicators as germination energy and laboratory germination. Determination of the threshold of oats resistance to the effects of Al was carried out by the primary root length index (RLI) and biomass of seedlings on the 7<sup>th</sup> day. In laboratory experiments, it was found that the average root length of oats did not vary from that of the control group at concentrations of up to 0.5 g/liter (RLI > 95 %). At concentrations from 0.75 to 1.0 g/l, root length decreased by 2.0–2.3 times compared to control values; RLI = 45 %. Further increase in the concentration of aluminum ions caused strong toxic effect; root length decreased to 8 mm, RLI dropped to 5.4 %. The effect of the positive influence of aluminum ions at concentrations from 0.5 to 1.0 g/l was observed: laboratory germination increased from 75 to 95%. Subsequent increase in concentration led to a decrease in the sowing quality of oats. The phytotoxicity of aluminum ions (y) was represented as a regression equation  $y = -1.0224x^2 + 23.098x - 33.842$ , where x is the concentration of aluminum ions, g/l. To identify Al resistant genotypes of oats, it is recommended to use the method of laboratory evaluation of germination and related indicators under the following conditions: aluminum sulfate concentration – 1.0 g/l, pH equal to 4.1.

**Keywords:** *Avena sativa* L., aluminum ions, germination, germination energy, root length index, phytotoxicity, correlation analysis.

Ахтямова Анастасия Андреевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Тюменский научный центр сибирского отделения РАН»»; Россия, 625501, Тюменская область, п. Московский, ул. Бурлаки, 2; e-mail: gen.i72@mail.ru.

Ерёмин Дмитрий Иванович, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Тюменский научный центр сибирского отделения РАН»»; Россия, 625501, Тюменская область, п. Московский, ул. Бурлаки, 2; e-mail: soil-tyumen@yandex.ru.

Akhtyamova Anastasia Andreevna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, Laboratory of genomic research in plant breeding, Tyumen Scientific Center SB RAS; 2, Burlaki str., Moskovsky village, Tyumen region, 625501, Russia; e-mail: gen.i72@mail.ru.

Eremin Dmitry Ivanovich, Dr. Sc. (Biol.), associate professor, leading researcher at the Laboratory of genomic research in plant breeding, Tyumen Scientific Center SB RAS; 2, Burlaki str., Moskovsky village, Tyumen region, 625501, Russia; e-mail: soil-tyumen@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 18.10.2023

Дата принятия к печати – 20.11.2023

DOI 10.5281/zenodo.10259933

EDN EUFCHL

УДК 633.52:631.53

Богдан В. З., Богдан Т. М., Литарная М. А., Анохина Т. А.

## АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ В ПЕРВИЧНОМ СЕМЕНОВОДСТВЕ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА ДЛЯ УСКОРЕНИЯ РАЗМНОЖЕНИЯ НОВЫХ СОРТОВ

Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт льна»

**Реферат.** Развитие льноводства в значительной мере сдерживается неудовлетворительным состоянием семеноводства. Недостаточный объём производства семян из-за низкой урожайности и качества не позволяет осуществлять гарантированное обеспечение сельхозпредприятий посевным материалом. Цель исследований – усовершенствовать агротехнические приемы возделывания льна-долгунца в питомниках первичного семеноводства для достижения максимального коэффициента размножения семян новых сортов. В 2021–2023 гг. в условиях северо-восточной части Беларуси проведены исследования по выявлению влияния нормы высева и дозы азота на семенную продуктивность, коэффициент размножения и крупность семян льна-долгунца. Объектом исследования являлся районированный по Республике Беларусь среднеспелый сорт Лада. Схема опыта включала изучение четырёх норм высева семян – 6; 8; 10 и 12 млн всх. семян/га и три дозы азотного удобрения – 20; 30 и 40 кг д.в./га. Благоприятные условия для формирования семенной продуктивности сложились в 2022 и 2023 гг. (индекс среды  $I_j = 1,42$  и  $1,75$  соответственно) со средней урожайностью семян по опыту 6,9 и 7,2 ц/га; неблагоприятные – в 2021 г. ( $I_j = -3,17$ ) с продуктивностью семян 2,3 ц/га. За годы исследования установлено достоверное (при  $p = 0,01$ ) положительное влияние нормы высева на урожайность семян ( $r = 0,91 \pm 0,14$ ). Не доказано влияние дозы азота на урожайность семян ( $r = 0,17$ ). Максимальные коэффициенты размножения семян по всем годам исследования получены в вариантах опыта с нормой высева 6 млн всх. семян/га. Так, в 2021 г. величина этого показателя достигала 11,9, в 2022 г. – 12,5 и в 2023 г. – 11,7. Максимальный коэффициент размножения семян (14,8) был в 2023 г. в варианте с нормой высева 6 млн шт./га и дозой азота 30 кг д.в./га. Установлена достоверная (при  $p = 0,01$ ) сильная отрицательная связь ( $r = -0,97 \pm 0,14$ ) между нормой высева и коэффициентом размножения семян. Не выявлено зависимости между дозой азота и коэффициентом размножения семян ( $r = -0,08$ ). Благоприятные условия для формирования высокой массы 1000 семян сложились в 2022 и 2023 гг. ( $I_j = 0,26$  и  $0,31$  соответственно). Средняя масса 1000 семян составила в 2022 г. по опыту 5,32 г, в 2023 г. – 5,37 г. В 2021 г. были неблагоприятные условия для формирования семян ( $I_j = -0,57$ ), масса 1000 семян – 4,49 г. Установлено достоверное ( $p = 0,05$ ) отрицательное влияние дозы азотного удобрения на крупность семени льна-долгунца ( $r = -0,68 \pm 0,23$ ). Влияние нормы высева на этот показатель не выявлено ( $r = 0,02$ ). Для ускорения размножения новых сортов в первичном семеноводстве льна-долгунца рекомендуется норма высева 6 млн всх. семян/га и доза азотного удобрения 30 кг д.в./га. Данный вариант по результатам расчёта экономической эффективности производства льнопродукции обеспечил прибыль 250,0 долл. США/га и рентабельность 36,3 %.

**Ключевые слова:** лен-долгунец (*Linum usitatissimum* L.), норма высева, доза азота, урожайность семян, коэффициент размножения, корреляционная зависимость.

*Для цитирования:* Богдан В. З., Богдан Т. М., Литарная М. А., Анохина Т. А. Агротехнические приемы в первичном семеноводстве льна-долгунца для ускорения размножения новых сортов // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4(36). С. 28–37. EDN: EUFCHL. DOI: 10.5281/zenodo.10259933.

*For citation:* Bogdan V. Z., Bogdan T. M., Litarnaya M. A., Anohina T. A. Agrotechnical method in primary seed production of *Linum usitatissimum* to accelerate the propagation of new varieties // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4 (36). P. 28–37. EDN: EUFCHL. DOI: 10.5281/zenodo.10259933.

### Введение

Эффективность семеноводческой работы в большой степени зависит от первичного семеноводства, призванного обеспечивать производство необходимого объема оригинальных семян с высокими сортовыми и посевными качествами. Вместе с тем, высокая трудоемкость, затратность отбора и оценки растений, низкий коэффициент размножения льна-долгунца не позволяют добиться высокого выхода оригинального материала. В результате не производится необходимое количество репродукционных семян льна и эффективное внедрение новых сортов. По этой причине доля новых сортов в посевах льна-долгунца составляет около 30 %, а их биологический потенциал используется в условиях производства не более чем на 45 % [1].

Единственной альтернативой является ускоренный перевод производства льняной продукции на инновационную основу, создание новых сортов, высокоэффективных технологий первичного и товарного семеноводства, их внедрение в производство. Это главный и надежный инструмент в достижении цели, определяющей развитие отрасли по инновационному пути. В настоящее время новый сорт и его технологии первичного семеноводства по-прежнему остаются и надежным средством повышения урожайности и качества льнопродукции. Ежегодно до 20 % посевных семян завозится по импорту из сопредельных стран, при этом часто попадают семена сортов, не допущенных к возделыванию. Приобретение льнопроизводителями посевных семян резко снижает прибыльность производства льнопродукции за счет увеличения затрат. Как показывают экономические исследования, повышение издержек может достигать 21,8 % [2].

В комплексе мер, обеспечивающих высокий урожай льна, большое значение имеет совершенствование агрохимических приемов, позволяющих создать оптимальные условия для питания, роста и развития растений, формирования ими высокого урожая требуемого качества [3, 4]. Многочисленные исследования учёных доказывают зависимость семенной продуктивности полевых культур от многих факторов: сортовых особенностей [5–7], чередования культур в севообороте [8, 9, 10], приёмов посева [11], доз минеральных удобрений [12, 13] и способов их внесения [14], площади питания [15, 16], применения регуляторов роста в период вегетации растений [17] и многих других.

Одними из основных факторов в технологии возделывания семенных и товарных посевов льна являются нормы внесения азотных удобрений. В семенных посевах льна-долгунца нормы внесения азотных удобрений ниже в сравнении с товарными, и составляют в зависимости от уровня плодородия от  $N_0$  до  $N_{25}$  [18–20].

В продукционном процессе, направленном на получение высокого урожая льнопродукции хорошего качества, среди агротехнических мероприятий большое значение принадлежит созданию оптимальной густоты стеблестоя, что связано с биологическими особенностями растений льна-долгунца. При оптимизации густоты стеблестоя меняется площадь питания растений, обеспеченность влагой и освещенность, фотосинтетическая деятельность растений, что позволяет повысить продуктивность растений и добиться хорошего качества [20].

Дальнейшее совершенствование технологий возделывания льна-долгунца на семенные цели должно осуществляться в направлении повышения выхода кондиционных семян, снижения затрат труда и средств при осуществлении их

производства. Выполнение данных рекомендаций позволит добиться стабильных высоких урожаев семян льна-долгунца и существенно повысить экономические показатели функционирования льносеющих организаций республики.

**Цель исследований** – усовершенствовать агротехнические приемы возделывания льна-долгунца в питомниках первичного семеноводства для достижения максимального коэффициента размножения семян новых сортов.

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

Исследования проведены в северо-восточной части Республики Беларусь в 2021–2023 гг. на дерново-подзолистой почве, развивающейся на среднем лессовидном суглинке, подстилаемой с глубины около 1 м моренным суглинком. Предшественник – зерновые и горчица белая. Средние агрохимические показатели почвенных участков для закладки опытов находились в следующих пределах: кислотность почвы ( $pH_{KCL}$ ) (по Тюрину) – 5,60; повышенное содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) – 197,4 мг/кг почвы, среднее содержание обменного калия (по Масловой) – 173,8 мг/кг почвы.

Объектом исследования являлся районированный по Республике Беларусь среднеспелый сорт Лада. За две недели до посева были проинкрустированы семена. Разработана схема опыта, включающая изучение двух факторов: норму высева семян и дозы азота. Варианты включали нормы высева – 6, 8, 10, 12 млн всх. семян/га и дозы азота – 20, 30, 40 кг д.в./га, которые вносили в виде раствора карбамида-аммиачной селитры в почву перед посевом опрыскивателем.

Посев опыта проведен в оптимальные сроки (первая декада мая). Закладка опыта проведена аналогично контрольному питомнику согласно методическим указаниям по селекции льна-долгунца [21]. Общая площадь делянки 6,2 м<sup>2</sup>, учётная – 5 м<sup>2</sup>. Повторность трёхкратная. Посев и уход осуществляли согласно отраслевому регламенту по возделыванию льна-долгунца [22].

Метеорологические условия периода исследований отличались по температурному режиму и интенсивности выпадения осадков (данные метеостанции г. Орши Витебской области).

Вегетационный период льна-долгунца 2021 г. был отмечен неблагоприятными погодными условиями для формирования семян. В первую декаду июля (формирование генеративных органов растения) температурный режим был выше оптимального, наблюдали недостаток почвенной влаги, что ухудшило условия для формирования льнопродукции. Так, гидротермический коэффициент по Селянинову (ГТК) в период вегетационного периода льна-долгунца в 2021 г. составил 0,69, что характеризует год как очень засушливый.

Вегетационный период 2022 г. (ГТК = 1,4) характеризовался как влажный, а период формирования семенной продуктивности льна-долгунца проходил в условиях избыточного увлажнения (ГТК = 3,0).

Особенным выдался 2023 г., когда первая половина вегетационного периода всходы–цветение характеризовалась как сухая (ГТК = 0,27), а вторая (цветение–жёлтая спелость) – как избыточно влажная (ГТК = 2,58). После сухих погодных условий наступило избыточное увлажнение (ГТК = 2,33).

Полученные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа (Б.А. Доспехов) [23] при помощи пакета анализа, входящего в состав Microsoft Excel.

Расчет экономической эффективности осуществляли по ценам 2023 г.

#### **Результаты и их обсуждение**

Продолжительность вегетационного периода (всходы–жёлтая спелость) зависела от агрометеорологических условий года. Так, в засушливый 2021 г. продолжительность



вегетационного периода в зависимости от варианта опыта варьировала от 65 до 68 дней, в оптимально влажный 2022 г. – от 82 до 84 дней и в 2023 г. – 88–89 дней.

Наиболее благоприятными для формирования семенной продуктивности были 2023 и 2022 гг: (индекс среды  $I_j = +1,75$ ), средняя урожайность семян по опыту составила 7,2 ц/га ( $I_j = +1,42$ ), средняя урожайность семян – 6,9 ц/га соответственно. В 2021 г. из-за засушливых погодных условий ( $I_j = -3,17$ ) получена низкая урожайность семян – 2,3 ц/га (таблица 1).

Наибольшие показатели урожайности семян по всем годам исследования отмечены при норме высева 12 млн всх. семян/га и дозе азота 30 кг д.в./га. В 2022 и 2023 гг. в данном варианте опыта наблюдали максимальную урожайность семян – 8,1 ц/га. Средняя урожайность семян в вариантах с нормой высева 10 и 12 млн всх. семян/га и дозой азота 30 кг д.в./га и нормой высева 12 млн семян/га и дозой азота 40 кг д.в./га существенно превышала среднюю по опыту и составила 5,8; 6,2 и 6,1 ц/га соответственно.

**Таблица 1 – Семенная продуктивность льна-долгунца в зависимости от нормы высева и дозы азотного удобрения**

Норма высева, млн всхожих семян/га	Доза азота, кг д.в./га	Семенная продуктивность, ц/га			
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее
6	20	2,2	5,7	6,6	4,8
8		2,3	6,4	6,8	5,1
10		2,1	7,0	7,0	5,4
12		2,4	7,4	7,2	5,7
6	30	2,3	6,3	6,8	5,1
8		2,4	6,7	7,3	5,5
10		2,3	7,5	7,7	5,8
12		2,5	8,1	8,1	6,2
6	40	2,1	5,8	6,7	4,9
8		2,1	6,5	7,0	5,2
10		1,9	7,2	7,4	5,5
12		2,6	8,0	7,7	6,1
Среднее		2,3	6,9	7,2	5,4
HCP <sub>05</sub>		0,39	0,10	0,42	0,4*
lim		1,9–2,6	5,7–8,1	6,6–8,1	
$I_j$		-3,17	+1,42	+1,75	

*Примечание.* \* – достоверно при  $p = 0,05$ .

По результатам трехлетнего изучения установлено достоверное (при  $p = 0,001$ ) положительное действие нормы высева на урожайность семян ( $r = 0,91 \pm 0,14$ ). При этом влияние дозы азота на урожайность семян не доказано ( $r = 0,17$ ) (таблица 2).

**Таблица 2 – Действие нормы высева и дозы азота на элементы семенной продуктивности льна-долгунца (2021–2023 гг.)**

Признак	Урожайность семян, ц/га	Коэффициент размножения	Масса 1000 семян, г
Норма высева, млн всх. семян/га	0,91***	-0,97***	0,02
Доза азота, кг д.в. /га	0,17	-0,08	-0,68**

*Примечание.* \*\*\* – достоверно при  $p = 0,001$ ; \*\* – достоверно при  $p = 0,01$ .

За три года исследований максимальные коэффициенты размножения семян получены в вариантах опыта с нормой высева 6 млн всх. сем./га – 11,9; 12,5; 11,7. Максимальный коэффициент размножения семян (14,8) был в 2023 г. в варианте с нормой высева 6 млн всх. семян/га и дозой азота 30 кг д.в./га (таблица 3).

**Таблица 3 – Показатели коэффициента размножения семян льна-долгунца при различных нормах высева и дозах азотного удобрения**

Норма высева, млн всхожих семян/га	Доза азота, кг д.в./га	Коэффициент размножения			
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее
6	20	9,0	12,3	14,3	11,9
8		8,3	10,4	11,1	9,9
10		6,8	9,1	9,1	8,3
12		5,9	8,0	7,8	7,3
6	30	8,9	13,7	14,8	12,5
8		8,3	11,0	11,9	10,4
10		6,6	9,8	10,1	8,8
12	30	5,1	8,7	8,8	7,6
6	40	7,9	12,6	14,6	11,7
8		7,0	10,6	11,4	9,7
10		3,6	9,3	9,7	7,5
12		4,1	8,6	8,4	7,0
Среднее		6,8	10,3	11,0	9,4
НСР <sub>05</sub>		2,22*	2,56*	0,6	1,56
lim		3,6–9,0	8,0–12,6	7,8–14,8	7,0–12,5

*Примечание.* \* – достоверно при  $p = 0,05$ .

Установлена достоверная (при  $p = 0,001$ ) сильная отрицательная связь ( $r = -0,97 \pm 0,14$ ) между нормой высева и коэффициентом размножения семян. Не выявлено зависимости между дозой азота и коэффициентом размножения семян (см. таблицу 2).

Показатель «масса 1000 семян» является одним из важнейших качественных признаков, который учитывается при отборе растений многих сельскохозяйственных культур, в том числе и льна-долгунца, и зависит от особенностей сорта и условий семяобразования. Выполненные крупные семена содержат значительное количество как органических веществ, так и минеральных элементов, что в последующем создаёт благоприятные условия для обеспечения энергетических процессов роста на начальных этапах развития растений и в итоге ведет к формированию высокой продуктивности [2].

Благоприятные условия для формирования массы семян льна-долгунца сложились в 2022 и 2023 гг. ( $I_j = 0,26$  и  $0,31$  соответственно). Средняя масса 1000 семян составила в 2022 г. по опыту  $5,32$  г, в 2023 г. –  $5,37$  г., в неблагоприятном 2021 г. ( $I_j = -0,57$ ) –  $4,49$  г. Максимальные показатели по массе 1000 семян во все годы исследований отмечены в вариантах при дозе азота  $30$  кг д.в./га (таблица 4).

Установлено достоверное (при  $p = 0,05$ ) отрицательное влияние дозы азотного удобрения на крупность семени льна-долгунца ( $r = -0,68 \pm 0,23$ ). Влияние нормы высева на массу 1000 семян не выявлено (см. таблицу 2).

При возделывании льна-долгунца получают два основных вида продукции: семена и льнотресту. В первичном семеноводстве основным видом продукции являются высококачественные семена. Льнотреста является дополнительной продукцией и существенным фактором, положительно влияющим на показатели экономической эффективности производства льнопродукции в целом.

Расчет экономической эффективности производства льнопродукции в первичном семеноводстве проводили для этапа получения суперэлиты на фоне изучаемых агротехнических приемов (нормы высева семян:  $6, 8, 10, 12$  млн всх. семян/га; дозы азотного удобрения  $N_{20}, N_{30}, N_{40}$ ).

Анализ данных показывает, что увеличение нормы высева семян с  $6$  до  $12$  млн всх. семян/га на фоне азотного удобрения  $N_{20}$  за счет повышения урожайности семян на  $0,9$  ц/га ( $18,8\%$ ) и тресты на  $9,6$  ц/га ( $41,6\%$ ) повысило уровень рентабельности на  $16\%$ .

**Таблица 4 – Влияние нормы высева и дозы азотного удобрения на массу 1000 семян льна-долгунца**

Норма высева, млн всхожих семян/га	Доза азота, кг д.в./га	Масса 1000 семян, г			
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее
6	20	4,50	5,38	5,40	5,09
8		4,48	5,35	5,38	5,07
10		4,41	5,34	5,38	5,04
12		4,57	5,32	5,35	5,08
6	30	4,41	5,39	5,42	5,07
8		4,47	5,37	5,38	5,07
10		4,53	5,37	5,33	5,08
12		4,61	5,34	5,35	5,10
6	40	4,44	5,23	5,37	5,01
8		4,39	5,36	5,38	5,04
10		4,45	5,17	5,35	4,99
12		4,58	5,17	5,30	5,02
Среднее		4,49	5,32	5,37	5,06
НСР <sub>05</sub>		0,22	0,27	0,27	0,10
lim		4,39–4,61	5,17–5,39	5,30–5,42	4,99–5,10
I <sub>1</sub>		-0,57	+0,26	+0,31	

Аналогичная закономерность прослеживается и по двум другим блокам вариантов опыта. На фоне азотного удобрения N<sub>30</sub> при увеличении нормы высева семян от 6 до 12 млн всх. семян/га рентабельность производства льнопродукции увеличилась с 36,2 до 56,8 % или более чем в 1,5 раза.

Увеличение дозы азотного удобрения до N<sub>40</sub>, по сравнению с N<sub>30</sub>, при различных нормах высева снижало урожайность семян при увеличении урожайности льнотресты. При этом отмечено снижение экономических показателей при нормах высева 6, 8 и 10 млн всх. семян/га.

Наибольшая рентабельность получена в варианте опыта с нормой высева семян 12 млн всх. семян/га при дозе азотного удобрения N<sub>40</sub> – 58,5 %.

#### **Выводы**

За 2021–2023 гг. исследований в северо-восточной части Беларуси при соблюдении агротехнических требований культуры льна-долгунца:

– выделен вариант с нормой высева 12 млн всх. сем./га и дозой азота 30 кг д.в. /га, у которого получены максимальные показатели по семенной продуктивности (2,5; 8,1; и 8,1 ц/га по годам изучения соответственно) и крупности семян (средняя масса 1000 семян 5,10 г);

– выделены варианты с нормой высева 6 млн всх. сем./га с дозами азота 20, 30 и 40 кг д.в./га, которые характеризуются наиболее высокими коэффициентами размножения (11,9; 12,5; 11,7 соответственно);

Результаты расчета экономической эффективности возделывания льна-долгунца в первичном семеноводстве показывают, что производство льнопродукции является эффективным при ее комплексном использовании (реализации). Лучшие результаты достигнуты в вариантах:

– норма высева 12 млн всх. семян/га при дозе азотного удобрения N<sub>40</sub> – урожайность семян – 6,1 ц/га, урожайность тресты – 35,7 ц/га, прибыль – 452,8 долл. США/га, рентабельность – 58,5 %;

– норма высева 12 млн всх. семян/га при дозе азотного удобрения N<sub>30</sub> – урожайность семян – 6,2 ц/га, урожайность тресты – 33,6 ц/га, прибыль – 435,3 долл. США/га, рентабельность – 56,8 %.

С целью ускорения размножения новых сортов в первичном семеноводстве льна-долгунца рекомендуется посев культуры с нормой высева 6 млн всх. сем./га на фоне азотного питания 30 кг д.в. /га. Данный вариант обеспечил рентабельность 36,3 %.

### Литература

1. Рожмина Т. А., Понажев В. П., Поздняков Б. А. Современное состояние льняного комплекса и перспективы его инновационного развития // Машинно-технологическая модернизация льняного агропромышленного комплекса на инновационной основе. Тверь: ТвГУ, 2014. С. 14–21.
2. Понажев В. П., Виноградова Е.Г. Развитие селекции и семеноводства льна-долгунца – важнейший ресурс повышения эффективности льноводства России // Технические культуры. 2022. №1. С. 30–39. DOI: 10.54016/SVITOK.2022.71.55.004.
3. Тихомирова В. Я., Сорокина О. Ю., Кузьменко Н. Н. Новые аспекты в вопросах биологии и питания льна-долгунца (научное издание): монография. Тверь: ТвГУ, 2012. 108 с.
4. Heller K., Baraniecki P., Praczyk M. Fiber flax cultivation in sustainable agriculture // In book: Handbook of natural fibers: types, properties and factors affecting breeding and cultivation. Vol. 1. Poznan: Woodhead Publishing Ltd., 2012. P. 508–532. DOI:10.1533/9780857095503.2.508.
5. Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С. Кормовая и семенная продуктивность люцерны изменчивой в условиях Удмуртской Республики // Кормопроизводство. 2014. № 8. С. 29–32.
6. Исламова Ч. М., Корепанова Е. В., Фатыхов И. Ш. Сравнительная урожайность семян гибридов подсолнечника в АО «Путь Ильича» Завьяловского района Удмуртской Республики // Материалы Международной научной конференции, посвященной 30-летию Татарского общественного центра Удмуртии «Интеллектуальный вклад тюркоязычных учёных в современную науку». Ижевск: Дом дружбы народов, 2021. С. 206–210.
7. Леконцева Т. А., Лыбенко Е. С. Семенная продуктивность сортов люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) в условиях Кировской области // Вестник Вятской ГСХА. 2021. № 2(8). С. 4.
8. Korepanova E., Fatykhov I., Islamova C., Goreeva V. Effect of tillage and crop rotation on cereal crops yield in the Urals of the Nonblack Earth Zone of Russia // International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. 2021. Vol. 11. No. 6. P. 2214–2219. DOI: 10.18517/ijaseit.11.6.14731.
9. Гущина В. А., Тимошкин О. А., Володькина Г. Н., Четвериков Ф. П. Семенная продуктивность люцерны изменчивой при различных способах выращивания // Аграрный научный журнал. 2021. № 9. С. 23–26. DOI: 10.28983/asj.y2021i9pp23-26.
10. Varvel G. E. Crop rotation and nitrogen effects on normalized grain yields in a long-term study // Agronomy Journal. 2000. Vol. 92. P. 938–941.
11. Кшникаткина А. Н., Аленин П. Г. Семенная продуктивность нетрадиционных кормовых культур в зависимости от приемов возделывания // Нива Поволжья. 2012. № 1(22). С. 32–38.
12. Мокрушина А. В., Богатырева А. С., Акманаев Э. Д. Семенная продуктивность сортов ярового рапса в зависимости от доз минеральных удобрений в условиях Среднего Предуралья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 1(52). С. 46–52. DOI: 10.12737/article\_5ccedbad613de0.29214441.
13. Эжяринскене Н.-Я. Э. Влияние азотных удобрений на зерновые культуры в условиях западной части Литовской ССР. Дисс. ... канд. с./х. н. Вежайчай, 1985. 225 с.
14. Сорокина О. Ю., Кузьменко Н. Н., Сухопалова Т. П., Ильина В. И. Технологические приемы возделывания льна-долгунца // Сборник трудов «Научные основы устойчивого развития сельскохозяйственного производства в современных условиях». Калуга: Калужский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха», 2021. С. 16–20.
15. Носевич М. А., Айиссотоде Й. З. Семенная продуктивность различных сортов льна масличного в зависимости от площади питания // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 45. С. 40–44.
16. Amany A., Bahr H. Effect of plant density and urea foliar application on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum*) // Res. J. Agriculture and Biological Sci. 2007. No. 3 (4). С. 220–223.
17. Белопухов С. Л., Усова К. А., Зейслер Н. А. Семенная продуктивность льна масличного при применении регуляторов роста в условиях Вологодской области // Материалы 55-й Всероссийской с международным участием конференции молодых учёных, специалистов-агрохимиков и экологов, приуроченной к 90-летию Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии имени Д.Н. Прянишникова (ВНИИА) «Основные направления и современные подходы в агрохимической науке». М.: ВНИИА, 2022. С. 54–62.
18. Голуб И. А., Прудников В. А., Снопов А. Н., Ивашко Л. В., Евсеев П. А., Степанова Н. В., Сорока С. В., Лапковская Т. Н., Портянкин Д. Е. Лён-долгунец (рекомендации по возделыванию). Устье, РУП «Институт льна», 2007. 20 с.
19. Кузьменко Н. Н., Ильина В. И. Управление продукционным процессом с помощью агротехнических приемов с учетом биологических особенностей новых сортов льна-долгунца // Вестник АПК Верхневолжья. Серия «Агрономия». 2016. №1 (33). С. 32–37.

20. Рекомендации по особенностям возделывания семенных посевов льна-долгунца [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mshp.gov.by/print/information/materials/zem/linen-insitute/> (дата обращения 01.02.2023).

21. Павлова Л. Н., Александрова Т. А., Марченков А. Н., Рожмина Т. А., Лошакова Н. И., Кудрявцева Л. П., Крылова Т. В., Герасимова Е. Г. Методические указания по селекции льна-долгунца, М.: Россельхозакадемия, 2004. 43 с.

22. Отраслевой регламент. Возделывание и уборка льна-долгунца. Типовые технологические процессы // Под ред. Бельская А.П. Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2019. 15 с.

23. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.

## References

1. Rozhmina T. A., Ponazhev V. P., Pozdnyakov B. A. Current state of the flax complex and prospects for its innovative development // Machine-technological modernization of the flax agro-industrial complex on an innovative basis. Tver: Tver State University (TSU), 2014. P. 14–21.

2. Ponazhev V. P., Vinogradova E. G. The development of selection and seed production of flax is the most important resource for improving the efficiency of flax growing in Russia // Technical Crops. Scientific Agricultural Journal. 2022. No. 1. P. 30–39. DOI: 10.54016/SVITOK.2022.71.55.004.

3. Tikhomirova V. Ya., Sorokina O. Yu., Kuzmenko N. N. New aspects in the biology and nutrition of fiber flax (scientific publication): monograph. Tver: Tver State University (TSU), 2012. 108 p.

4. Heller K., Baraniecki P., Praczyk M. Fiber flax cultivation in sustainable agriculture // In book: Handbook of natural fibers: types, properties and factors affecting breeding and cultivation. Vol. 1. Poznan: Woodhead Publishing Ltd., 2012. P. 508–532. DOI:10.1533/9780857095503.2.508.

5. Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S. Forage and seed productivity of bastard alfalfa in the conditions of the Udmurtian Republic // Kormoproizvodstvo (Fodder Production). 2014. No. 8. P. 29–32.

6. Islamova Ch. M., Korepanova E. V., Fatykhov I. Sh. Comparative yield of sunflower hybrid achenes in JSC “Ilyich’s Path” of the Zavyalovsky district of the Udmurt Republic // Materials of the International scientific conference dedicated to the 30<sup>th</sup> anniversary of the Tatar public center of Udmurtia “Intellectual contribution of Turkic-speaking scientists to modern science”. Izhevsk: Dom družby narodov, 2021. P. 206–210.

7. Lekontseva T. A., Lybenko E. S. Seed productivity of narrow-leaved lupine (*Lupinus angustifolius* L.) varieties in the conditions of Kirov region // Bulletin of the Vyatka State Agricultural Academy. 2021. No. 2(8). P. 4.

8. Korepanova E., Fatykhov I., Islamova C., Goreeva V. Effect of tillage and crop rotation on cereal crops yield in the Urals of the Nonblack Earth Zone of Russia // International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. 2021. Vol. 11. No. 6. P. 2214–2219. DOI: 10.18517/ijaseit.11.6.14731.

9. Gushchina V. A., Timoshkin O. A., Volodkina G. N., Chetverikov F. P. Seed productivity of variegated alfalfa at different growing methods // The Agrarian Scientific Journal. 2021. No. 9. P. 23–26. DOI:10.28983/asj.y2021i9pp23-26.

10. Varvel G. E. Crop rotation and nitrogen effects on normalized grain yields in a long-term study // Agronomy Journal. 2000. Vol. 92. P. 938–941.

11. Kshnikatkina A. N., Alenin P. G. Seed productivity of non-traditional forage crops depending on cultivation methods // Niva Povolzhya. 2012. No. 1(22). P. 32–38.

12. Mokrushina A. V., Bogatyreva A. S., Akmanaev E. D. Seed productivity of varieties of spring rape depending on the doses of mineral fertilizers in the conditions of the Middle Urals // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2019. Vol. 14. No. 1(52). P. 46–52. DOI: 10.12737/article\_5ccedbad613de0.29214441.

13. Ezharinskene N.-Ya. E. The influence of nitrogen fertilizers on grain crops in the conditions of the western part of the Lithuanian SSR. Diss. ... Cand. Sc. (Agr.). Vezhaichyai, 1985. 225 p.

14. Sorokina O. Yu., Kuzmenko N. N., Sukhopalova T. P., Ilyina V. I. Technological methods of cultivating fiber flax // Collection of scientific papers on the materials of XIV scientific-practical conference with international participation “Scientific foundations of sustainable development of agricultural production in modern conditions”. Kaluga: Kaluga Research Institute of Agriculture – branch of the Russian Potato Research Centre, 2021. P. 16–20.

15. Nosevich M. A., Ayissotode Y. Z. Seed productivity of different varieties of oil flax depending on the feeding area // News of the St. Petersburg State Agrarian University. 2016. No. 45. P. 40–44.

16. Amany A., Bahr H. Effect of plant density and urea foliar application on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum*) // Res. J. Agriculture and Biological Sci. 2007. No. 3 (4). P. 220–223.

17. Belopukhov S. L., Usova K. A., Zeisler N. A. Seed productivity of oilseed flax when using growth regulators in the conditions of the Vologda region // Materials of the 55th All-Russian conference of young scientists, agrochemists and ecologists with international participation, dedicated to the 90<sup>th</sup> anniversary of the

Pryanishnikov Institute of Agrochemistry (VNIIA) “Main directions and modern approaches in agrochemical science.” Moscow: Pryanishnikov Institute of Agrochemistry (VNIIA), 2022. P. 54–62.

18. Golub I. A., Prudnikov V. A., Snopov A. N., Ivashko L. V., Evseev P. A., Stepanova N. V., Soroka S. V., Lapkovskaya T.N., Portyankin D.E. Flax (recommendations for cultivation). Ustyje: RUE “Flax Institute”, 2007. 20 p.

19. Kuzmenko N. N., Ilyina V. I. Production process management by means of agrotechnical methods taking into account biological features of new breeds of long-stalked flax // Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga region. 2016. No. 1 (33). P. 32–37.

20. Recommendations on the peculiarities of cultivating fiber flax seed crops [Electronic resource]. Access point: <https://mshp.gov.by/print/information/materials/zem/linen-insitute/> (reference’s date 02.01.2023).

21. Pavlova L. N., Aleksandrova T. A., Marchenkov A. N., Rozhmina T. A., Loshakova N. I., Kudryavtseva L. P., Krylova T. V., Gerasimova E. G. Methodological guidelines for the selection of flax, Moscow: Russian Agricultural Academy, 2004. 43 p.

22. Industry regulations. Cultivation and harvesting of flax. Typical technological processes // Ed. by Belskaya A.P. Minsk: Institute of System Research in the Agriculture of the National Academy of Sciences of Belarus, 2019. 15 p.

23. Dospekhov B.A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Kolos, 1979. 416 p.

UDC 633.52:631.53

Bogdan V. Z., Bogdan T. M., Litarnaya M. A., Anohina T. A.

#### **AGROTECHNICAL METHODS IN PRIMARY SEED PRODUCTION OF *LINUM USITATISSIMUM* TO ACCELERATE THE PROPAGATION OF NEW VARIETIES**

**Summary.** *The unsatisfactory state of seed production is a major obstacle to the development of flax cultivation. Insufficient seed production, caused by low yields and poor seed quality, is one of the main reasons why agricultural enterprises are undersupplied with seed material. The purpose of the research was to improve the agrotechnical methods of flax cultivation in primary seed production nurseries to achieve the maximum multiplication coefficient of seeds of new varieties. In 2021–2023, we conducted studies in the north-eastern part of Belarus to determine the influence of the seeding rate and nitrogen dose on seed productivity, multiplication coefficient and flax seed size. Mid-ripening variety ‘Lada’ zoned in the Republic of Belarus was the object of the study. The experimental design included the following options: four seeding rates – 6; 8; 10 and 12 million viable seeds/ha; three nitrogen fertilizer doses – 20; 30 and 40 kg of active ingredient (a.i.)/ha. Favourable weather conditions for the formation of seed productivity were in 2022 and 2023 (environment index  $I_j = 1.42$  and  $1.75$ , respectively) when the average seed yield reached 6.9 and 7.2 cwt/ha; unfavourable – in 2021 ( $I_j = -3.17$ ) when average seed yield was at the level of 2.3 cwt/ha. Over the years of research, a reliable ( $p = 0.01$ ) positive effect of the seeding rate on seed yield ( $r = 0.91 \pm 0.14$ ) was established. There was no proven effect of nitrogen dose on seed yield ( $r = 0.17$ ). The maximum seed multiplication coefficients for all years of the study were obtained in experimental variants with seeding rate of 6 million viable seeds/ha: in 2021, this indicator was 11.9, in 2022 – 12.5 and in 2023 – 11.7. The maximum seed multiplication coefficient (14.8) was obtained in 2023 in the variant with a seeding rate of 6 million seeds/ha and a nitrogen dose of 30 kg a.i./ha. A significant ( $p = 0.01$ ) strong negative relationship was established ( $r = -0.97 \pm 0.14$ ) between seeding rate and seed multiplication coefficient. There was no relationship between nitrogen dose and seed multiplication coefficient ( $r = -0.08$ ). Favourable conditions for the formation of a high 1000-seed weight were in 2022 and 2023 ( $I_j=0.26$  and  $0.31$ , respectively): in 2022 this indicator reached 5.32 g, in 2023 – 5.37 g. 2021 was unfavourable for seed formation ( $I_j = -0.57$ ); the weight of 1000 seeds was only 4.49 g. A significant ( $p = 0.05$ ) negative effect of the dose of nitrogen fertilizer on the size of the flax seed was found ( $r = -0.68 \pm 0.23$ ). No effect of seeding rate on this indicator was detected ( $r = 0.02$ ). To accelerate the reproduction of new varieties in the primary seed production of flax, the recommended seeding rate and dose of*

nitrogen fertilizer are 6 million viable seeds/ha and 30 kg a.i./ha, respectively. This option, according to the results of calculating the economic efficiency of flax production, was one of the best: profit – 435.3 USD/ha, profitability – 56.8 %.

**Keywords:** fiber flax (*Linum usitatissimum L.*), seeding rate, nitrogen dose, seed yield, seed multiplication coefficient, correlation dependence.

Богдан Виктор Зигмундович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий лабораторией селекции льна-долгунца, Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт льна»; 211003, Республика Беларусь, Витебская область, Оршанский район, аг. Устье, ул. Центральная, 27; e-mail: bogdan\_v@tut.by.

Богдан Татьяна Михайловна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции льна-долгунца. Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт льна»; 211003, Республика Беларусь, Витебская область, Оршанский район, аг. Устье, ул. Центральная, 27; e-mail: tatiana-bogdan2016@yandex.by.

Литарная Марина Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции льна-долгунца. Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт льна»; 211003, Республика Беларусь, Витебская область, Оршанский район, аг. Устье, ул. Центральная, 27; e-mail: malarittaml@mail.ru.

Анохина Татьяна Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции льна-долгунца. Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт льна»; 211003, Республика Беларусь, Витебская область, Оршанский район, аг. Устье, ул. Центральная, 27.

Bogdan Viktor Zygmundovich, Cand. Sc. (Agr.), assistant professor, head of the Laboratory of fiber flax breeding, Republican Scientific Subsidiary Unitary Enterprise “Institute of Flax”; 27, Tsentralnaya str., agro-town of Uste, Orsha district, Vitebsk region, 211003, Republic of Belarus; e-mail: bogdan\_v@tut.by.

Bogdan Tatyana Mikhailovna, Cand. Sc. (Agr.), assistant professor, leading researcher at the Laboratory of fiber flax breeding, Republican Scientific Subsidiary Unitary Enterprise “Institute of Flax”; 27, Tsentralnaya str., agro-town of Uste, Orsha district, Vitebsk region, 211003, Republic of Belarus; e-mail: tatiana-bogdan2016@yandex.by.

Litarnaya Marina Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher at the Laboratory of fiber flax breeding, Republican Scientific Subsidiary Unitary Enterprise “Institute of Flax”; 27, Tsentralnaya str., agro-town of Uste, Orsha district, Vitebsk region, 211003, Republic of Belarus; e-mail: malarittaml@mail.ru.

Anohina Tatyana Alexandrovna, Dr. of Sc. (Agr.), Professor, Leading Researcher at the Fiber Flax Breeding Laboratory, Republican Scientific Subsidiary Unitary Enterprise “Institute of Flax”; 27, Centralnaya str., ag. Uste, Orsha district, Vitebsk region, 211003, Republic of Belarus.

*Дата поступления в редакцию – 20.10.2023*

*Дата принятия к печати – 10.11.2023*

DOI 10.5281/zenodo.10276686

EDN FIBQXB

УДК 632.4:635.112

Ветрова С. А., Козарь Е. Г., Енгальчева И. А., Мухина К. С.

## СКРИНИНГ СЕЛЕКЦИОННЫХ ЛИНИЙ СВЕКЛЫ СТОЛОВОЙ ПО УСТОЙЧИВОСТИ К ФОМОЗУ

ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»

**Реферат.** Одной из наиболее распространенных и экономически значимых болезней на культуре свеклы столовой является фомоз, возбудитель которого поражает растения на разных стадиях онтогенеза, приводя к значительным потерям урожая. Исследования проводили с целью изучения распространения и уровня вредоносности возбудителя фомоза (*Phoma betae* Frank) в современных условиях Московской области и оценки устойчивости к данной болезни линейного материала свеклы столовой в условиях *in vivo* и *in vitro*. Работу выполняли в ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (Московская область, Одинцовский район) в 2017–2022 гг. В результате проведенного фитомониторинга развития болезней хранения отмечено нарастание распространенности и агрессивности фомоза, особенно в период с 2020 по 2022 гг., на 30 и 20 % соответственно по сравнению с предыдущими годами исследований (2017–2019). В результате отбора на устойчивость к фомозу в условиях различающейся инфекционной нагрузки *in vivo* в различные годы исследований удалось снизить число восприимчивых линий с 14 до 4 %. Иммунологическая оценка устойчивости *in vitro* индивидуальных генотипов отобранных линий к наиболее агрессивным изолятам возбудителя *Ph. betae* показала их достаточно высокую устойчивость относительно стандарта восприимчивости сорта Бордо односемянная; объем зоны поражения дисков в среднем 73 и 165 мм<sup>3</sup> соответственно. В потомствах устойчивых генотипов, отобранных после иммунологической оценки, отмечено снижение распространенности фомоза (не более 10 %) и изменение в структуре популяций со смещением основного пика кривых распределения корнеплодов по интенсивности поражения дисков агрессивным изолятом *Ph. betae* в сторону устойчивых генотипов. В результате комплексного подхода получены три изогенных пары *ms*- и *mf*- линий (А и В) и восемь отцовских линий-опылителей (С) свеклы столовой со стабильно высокой устойчивостью к фомозу. Они будут использованы для создания новых гибридов на основе ЦМС.

**Ключевые слова:** свёкла столовая (*Beta vulgaris* L.), фомоз, *Phoma betae* Frank, отбор, линия, инфекционный фон, устойчивость.

**Для цитирования:** Ветрова С. А., Козарь Е. Г., Енгальчева И. А., Мухина К. С. Скрининг селекционных линий свеклы столовой по устойчивости к фомозу // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4 (36). С. 38–50. EDN: FIBQXB. DOI: 10.5281/zenodo.10276686.

**For citation:** Vetrova S. A., Kozar E. G., Engalycheva I. A., Muhina K. S. Screening of beetroot breeding lines for resistance to phomosis // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4(36). P. 38–50. EDN: FIBQXB. DOI: 10.5281/zenodo.10276686.

### Введение

Свекла столовая является основной овощной корнеплодной культурой, возделываемой практически во всех регионах нашей страны. Лидерами по объему выращивания товарной продукции являются Московская, Самарская, Ростовская, Омская и Волгоградская области, где суммарная доля производства составляет около 50 % от общего валового сбора. Несмотря на внедрение в производство сортов и гибридов свеклы столовой для интенсивных технологий выращивания, потребности



населения в данной овощной культуре удовлетворяются не в полной мере [1]. Одним из главных лимитирующих факторов сохранения высоких товарных качеств корнеплодов являются болезни в период вегетации и хранения. В зависимости от этиологии возбудителей, климатических условий того или иного региона, уровня устойчивости выращиваемых сортов этой экономически важной культуры, потери урожая от болезней могут составлять 10–30 % [2].

Пораженные даже в незначительной степени корнеплоды теряют товарный вид и не могут быть использованы для свежего потребления и переработки. На производственных предприятиях это требует дополнительной сортировки, которая не исключает попадания в товарную группу корнеплодов со скрытой внутренней инфекцией. Все это приводит к увеличению прямых затрат и снижению хозяйственной эффективности выращивания сортов и гибридов [3, 4].

Одной из наиболее распространенных и экономически значимых болезней на культуре свеклы столовой является фомоз. Возбудители инфекции – грибы рода *Phoma* spp. встречаются повсеместно в регионах выращивания свеклы и мангольда во всем мире [5–7]. Размножаются грибы пикнидиальным спороношением и распространяются при высокой влажности, когда пикниды набухают и выделяют большое количество одноклеточных, бесцветных, мелких, выходящих в виде ленточки спор, длительное время сохраняющих жизнеспособность на растительных остатках и в почве [8, 9].

Гриб поражает культуру на разных стадиях онтогенеза: на всходах вызывает развитие корнееда, приводящее к изреженности посевов; на листьях – зональную пятнистость; на корнеплодах – сухую сердцевинную гниль (рисунок 1) [10, 11]. У взрослых растений свеклы заболевание проявляется ближе к концу вегетации. В этот период гриб с черешков листьев через головку проникает в корнеплод, вызывая развитие сердцевинной гнили в период хранения, чем и обусловлена его высокая вредоносность [12, 13]. Первые симптомы заболевания начинают проявляться через один–два месяца после закладки корнеплодов на зимнее хранение, с массовым развитием весной. Пораженные внутренние части корнеплода становятся твердыми, приобретают интенсивно чёрную окраску с четкой границей, часто с образованием пустот с белым налетом. Вторая форма – поверхностное поражение корнеплодов в виде темно-серых, сухих вдавленных пятен, на поверхности которых к концу хранения можно обнаружить черные точечные пикниды с бесцветными одноклеточными спорами. На семенных растениях *Ph. betae*, наряду с листьями поражает семенные клубочки. Посев таких семян приводит к массовому поражению всходов свёклы корнеедом, что обеспечивает цикличность его распространения [14, 15].

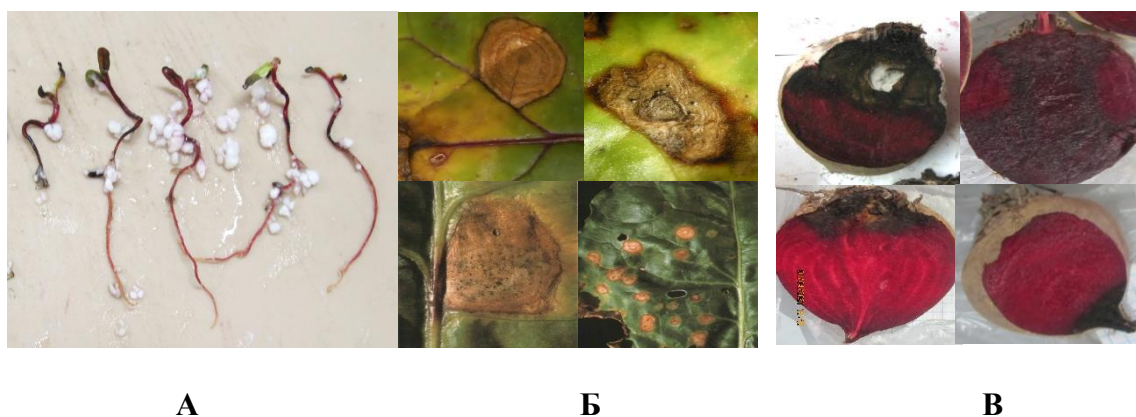


Рисунок 1 – Поражение растений свёклы столовой фомозом (*Phoma betae* Frank) на разных стадиях онтогенеза: А – проросток; Б – лист; В – корнеплод

**Цель исследований** – анализ распространенности и вредоносности возбудителя фомоза в современных условиях Московской области и оценка устойчивости к фомозу коллекции линий свеклы столовой ФГБНУ ФНЦО для создания трехлинейных гибридов на основе цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС).

**Материалы и методы исследований**

Фитомониторинг осуществляли с 1979 г., анализируя четыре десятилетних периода. Проведен анализ данных лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (ФНЦО), ежегодно осуществляли учет распространения болезней корнеплодов свеклы столовой (в среднем анализировали по 100 образцов в год).

Экспериментальную часть работы выполняли в 2017–2022 гг. на базе лабораторий молекулярно-иммунологических исследований (МИИ), селекции и семеноводства столовых корнеплодов ФНЦО в Одинцовском районе Московской области. Объект исследований – свекла столовая (*Beta vulgaris L.*). Материал исследований – стерильные ms- (A×B) и фертильные mf-линии (B, C) свеклы столовой отечественного и иностранного происхождения.

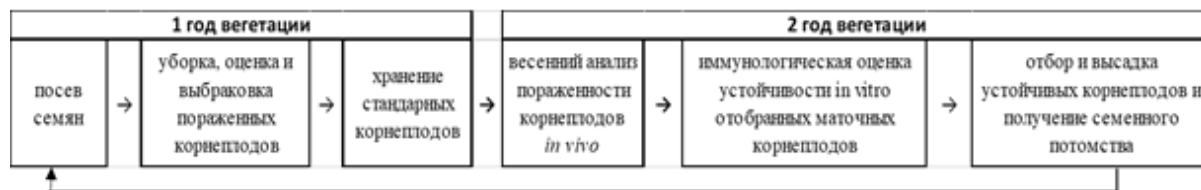
Опыты закладывали на полях основного севооборота производственного отдела ФНЦО. Предшествующими культурами в зависимости от года выращивания являлись капуста, огурец, лук, томаты. Почва опытного участка дерново-подзолистая тяжелосуглинистая с мощностью пахотного горизонта 20–23 см. Основные агрохимические показатели почвы и методики их определения [16] представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Агрохимическая характеристика почвы на полях основного севооборота ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»**

Показатель	Значение	Методика определения
pH <sub>KCl</sub>	5,6–6,1	потенциометрический
Содержание гумуса, %	1,8–2,0	по Тюрину
Подвижный фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ), мг/кг	420–480	по Кирсанову
Обменный калий (K <sub>2</sub> O), мг/кг	165	по Кирсанову
Сумма обменных оснований (S), мг-экв./100 г	18,9	трилонометрический метод по Каппену-Гильковицу

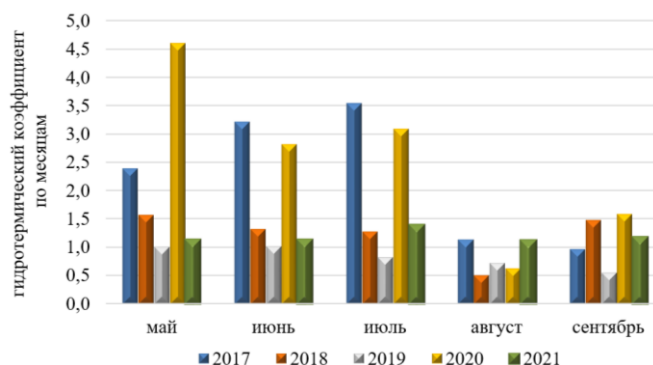
Погодные условия вегетации в 2017 и 2020 гг. складывались идентично и характеризовались прохладным и влажным летом (ГТК = 2,3 и 2,6 соответственно). Температура воздуха в среднем за вегетацию составляла 15,1 °С и 13,3 °С соответственно, что на 1,4–3,2 °С ниже среднеголетних значений. Вегетационные периоды в 2018, 2019, 2021 гг. характеризовались как теплые и засушливые (ГТК = 0,8–1,2). Средняя температура воздуха была выше среднеголетних значений на 0,6–0,9 °С (таблица 2, рисунок 2).

Исследования проводили в соответствии с общепринятыми методиками [17, 18] по классической схеме селекционного процесса:



**Таблица 2 – Погодные условия в период проведения исследований**

Месяц	Год					Средняя многолетняя
	2017	2018	2019	2020	2021	
среднесуточная температура воздуха, °С						
Май	10,9	16	17,2	11	14	14
Июнь	14,5	17,7	19,8	14,9	20,2	16,8
Июль	17,9	19,9	17,3	14,5	22,2	19,6
Август	18,9	18,8	17,4	13,3	19,4	19,1
Сентябрь	13,1	14,2	15,4	13	9,7	12,9
Среднее за вегетацию	15,1	17,4	17,4	13,3	17,1	16,5
сумма осадков, мм						
Май	81	78	55	124	105	74
Июнь	140	70	66,5	100	62	90,3
Июль	197	79	57	110	40	132,7
Август	67	30	60	46	73	88
Сентябрь	38	63	33	25	96	53,3
Сумма за вегетацию	523	320	284	405	376	438,3



**Рисунок 2 – Гидротермический коэффициент по месяцам вегетации в годы исследований (2017–2021 гг.)**

Всего за годы исследований изучено 414 селекционных линий (таблица 3).

**Таблица 3 – Число изученных селекционных линий свеклы столовой в годы исследований**

Селекционный питомник	Проанализировано в годы исследований, шт.									
	2017*		2018**		2019*		2020**		2021*	
	уборка	заложено на хранение	уборка	заложено на хранение	уборка	заложено на хранение	уборка	заложено на хранение	уборка	заложено на хранение
Линии	80	65	110	88	90	76	58	51	76	62
Корнеплоды	1544	1172	1620	1135	1969	1088	1183	737	2856	2052

**Примечание.** \* – первая выборка линий и их последующие поколения; \*\* – вторая выборка линий и их последующие поколения.

В селекционном питомнике площадь опытной делянки составляла от 0,5 до 10 м<sup>2</sup> (в однократной повторности) исходя из наличия семян, при норме высева 1 г/м<sup>2</sup>. Посев проводили с 25 мая по пятое июня в зависимости от условий года на грядках по схеме

70+30+70, глубина заделки семян 3–4 см. Уборку маточных корнеплодов осуществляли во второй декаде сентября с качественным и количественным учетом урожая, выделяя большие корнеплоды в отдельную группу для фитоэкспертизы. Товарные корнеплоды каждого образца без признаков поражения болезнями помещали в овощные сетки и закладывали в контейнеры с полиэтиленовыми вкладышами на хранение в овощехранилище при температуре 1–2 °С и влажности 90–92 % в течение семи месяцев (до II декады апреля).

Фитосанитарное обследование в период хранения *in vivo*, выбраковку пораженных корнеплодов при весеннем анализе с идентификацией видового состава патогенов, степень поражения фомозом и уровень устойчивости селекционного материала определяли по соответствующим методикам и определителям [19, 20]. Дифференциацию селекционного материала по группам устойчивости (ГУ) осуществляли в зависимости от показателя распространенности (Р, %) болезни в образце по следующей градации: I – устойчивые (Р = 0 %), II – относительно устойчивые (Р = 1–20 %), III – средневосприимчивые (Р = 21–50 %) и IV – восприимчивые (Р = 51–85 %).

Иммунологическую оценку устойчивости последовательных поколений селекционных линий свеклы столовой *in vitro*, отобранных по комплексу хозяйственно значимых признаков, проводили в лабораторных условиях после хранения: в 2020 г. – 15 линий (урожай 2019 г.), в 2022 г. – 21 линия (урожай 2021 г.). В качестве стандарта восприимчивости использовали сорт Бордо односемянная. Для заражения использовали наиболее вирулентные изоляты *Ph. betae* из коллекции фитопатогенных микроорганизмов лаборатории иммунитета и защиты растений ФНЦО. Заражение осуществляли путем нанесения агаровых блоков десятисуточной культуры возбудителя на среде Чапека (в контроле – стерильный агаровый блок) на высеченные из корнеплодов диски в десятикратной повторности. Для изучения полиморфизма по устойчивости индивидуальных генотипов в пределах выделенных линий отбирали наиболее типичные маточные корнеплоды без внешних признаков поражения, у которых срезали  $\frac{1}{3}$  боковой части (щёчку), делили на диски и проводили инфицирование вышеуказанным способом. Учет степени поражения делали на седьмые сутки после заражения с измерением диаметра, глубины и расчетом объема зоны поражения ( $V_p$ , см<sup>3</sup>), который является наиболее информативным критерием оценки уровня устойчивости как популяции в целом, так и внутривидового полиморфизма. Обработку данных проводили по соответствующим методам статистического анализа [21] с использованием программы MS Excel 2010.

### Результаты и их обсуждение

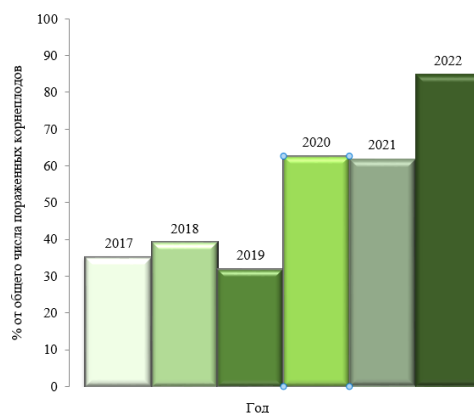
Фитомониторинг развития болезней в период хранения показал, что в условиях Московской области наибольший ущерб корнеплодным культурам наносит кагатная гниль, вызываемая комплексом фитопатогенов. Данные за последние 40 лет свидетельствуют об изменении структуры патогенного комплекса, смене доминирующих видов, повышении вирулентности и агрессивности ранее малопатогенных групп микроорганизмов. С начала 2000-х гг. на свекле столовой отмечено снижение вредоносности серой и белой гнилей и нарастание распространенности и агрессивности фузариоза, альтернариоза и бактериоза. Причины таких популяционных сдвигов разнообразны и во многом связаны с экологическими факторами, которые определяют взаимоотношения в системе патоген-растение. Однако доминирующим видом возбудителей кагатной гнили в течение всех проанализированных десятилетних периодов (диапазоны указаны на графике) является фомоз, распространенность которого резко увеличилась начиная с 2020 г. (рисунок 3 А). Напряженность инфекционного фона в этот год возросла на 30 % относительно предыдущих трёх лет, а в 2022 г. – еще на 20 % (рисунок 3 Б).

В результате изучения взаимоотношений возбудителя фомоза и растений свеклы столовой на разных стадиях онтогенеза показано, что при благоприятных условиях развития растений и низкой напряженности инфекционного фона в период вегетации патогены находятся в определенном равновесии с растением-хозяином и являются практически безвредными для корнеплодов. В случае ухудшения условий выращивания или хранения, это равновесие нарушается, патоген начинает усиленно развиваться и создает очаги поражения корнеплодов свеклы в хранилище [22].

При оценке устойчивости линейного материала в 2017 г. с низким уровнем распространения фомоза в период вегетации, пораженные корнеплоды во время уборки были обнаружены только в двух линиях, что составило около 3 % от числа изученных (рисунок 4 А). После хранения в группе устойчивых вошли 70 % образцов.



А



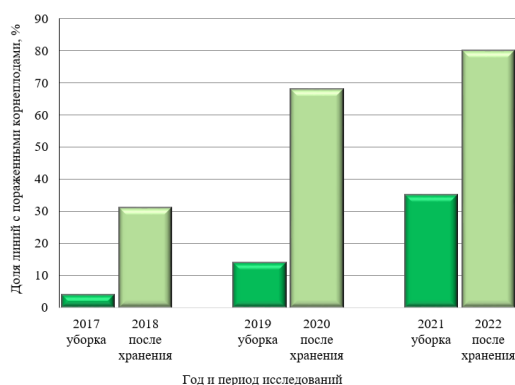
Б

**Рисунок 3 –Динамика распространения: А – болезней хранения разной этиологии в Московской области (среднее за десятилетия периоды XX и XXI вв.); Б – фомоза в годы исследований**

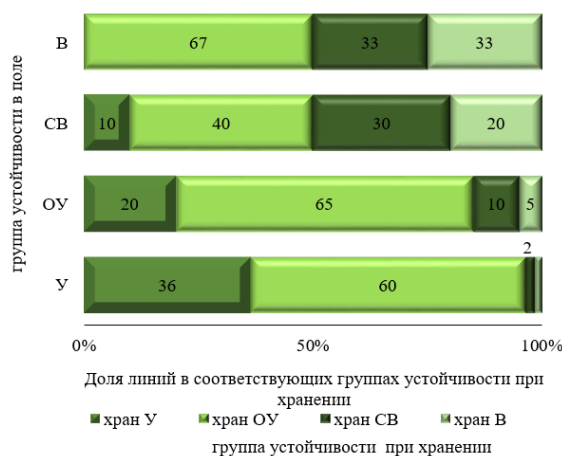
Во время уборки 2019 г. доля линий с признаками поражения корнеплодов составила 14 %, что привело к более массовому развитию патогена в период хранения. Высокую устойчивость проявили корнеплоды только у 30 % образцов. В условиях вегетационного периода 2021 г. отмечено значительное поражение листовой розетки и корнеплодов фомозом уже перед уборкой, что и стало причиной высокой напряженности фона и снижения доли образцов с отсутствием симптомов поражения корнеплодов фомозом после хранения до 20 %.

При этом следует отметить, что распределение образцов по отдельным группам устойчивости при оценке в поле и после хранения отобранных внешне здоровых

корнеплодов не всегда совпадает. Так, среди устойчивых полевой оценке образцов, только около 40 % не имели признаков поражения корнеплодов после хранения (рисунок 4 Б). В группах относительно устойчивых и средневосприимчивых в поле присутствовали как устойчивые, так и восприимчивые образцы по степени поражения корнеплодов при хранении, а в группе восприимчивых 67 % образцов по результатам весенней оценки вошли в группу относительно устойчивых. Поэтому, при селекции на устойчивость на естественном фоне необходимо учитывать суммарный показатель доли пораженных корнеплодов в период вегетации в поле и после хранения, а также стабильность проявления признака в последующих поколениях.



А



Б

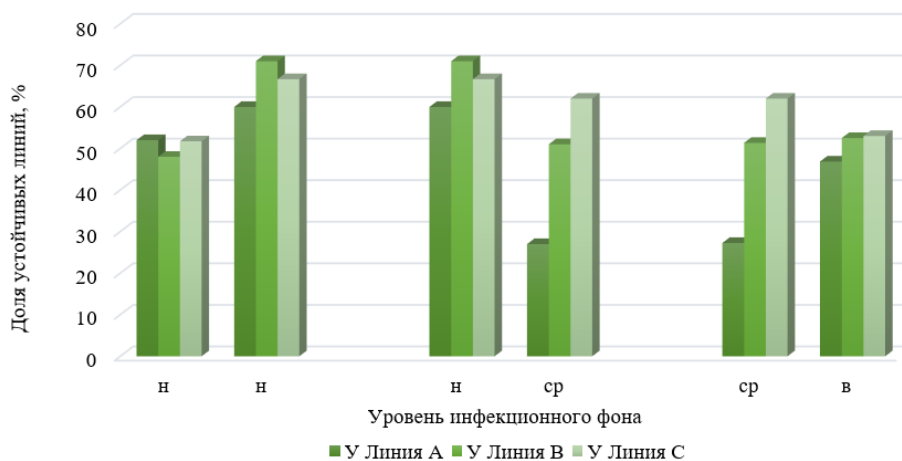
**Рисунок 4 – Доля пораженных фомозом (А) и соответствие распределения линий по группам устойчивости до и после хранения (Б) (2021–2022 гг.)**

*Примечание.* *хран У – группа устойчивых после хранения; хран ОУ – группа относительно устойчивых после хранения; хран СВ – группа средневосприимчивых после хранения; хран В – группа восприимчивых после хранения.*

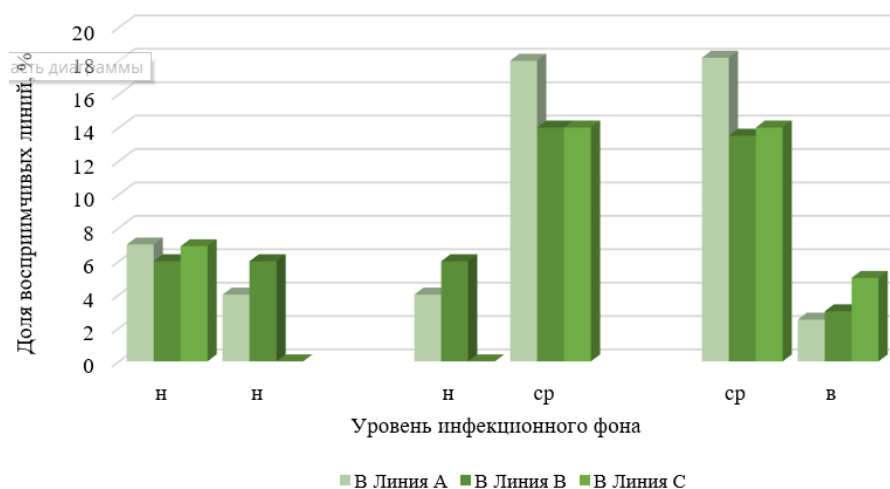
Сложившиеся контрастные условия в годы исследований дали возможность сравнить результативность отбора на устойчивость к фомозу в зависимости от изменения степени инфекционной нагрузки естественного фона (низкий (н.) –  $P < 40\%$ , средний (ср.) –  $P = 40\text{--}60\%$ , высокий (в.)  $P = 70\text{--}80\%$ ) при отборе (исходная популяция – исх.) и последующем анализе полученного потомства (п.) в следующих сочетаниях:  $H_{исх} \rightarrow H_{п}$ ;  $H_{исх} \rightarrow C_{п}$ ;  $C_{исх} \rightarrow B_{п}$ .

На основе оценки исходного и выделенного линейного материала свёклы столовой в следующем поколении на низких фонах выявили увеличение доли

устойчивых и снижение восприимчивых, как стерильных, так и фертильных линий-закрепителей и опылителей. В общей совокупности изученных линий доля устойчивых в среднем увеличилась на 16 % (рисунок 5 А). Анализ потомств устойчивых образцов, выделенных на низком фоне, показал, что при увеличении распространенности фомоза до среднего уровня происходит их перераспределение: существенное снижение устойчивых и увеличение процента восприимчивых генотипов. Особенно это выражено в группе фертильных линий-опылителей С, в которой на низком фоне восприимчивых образцов не было, а на среднем их доля составила 14 % (рисунок 5 Б).



А



Б

**Рисунок 5 – Доля устойчивых (А) и восприимчивых (Б) селекционных линий свеклы столовой к *Ph. betae* в зависимости от напряженности инфекционного фона (учет во время весеннего анализа корнеплодов после хранения в 2017–2022 гг.)**

В результате отбора устойчивых линий и индивидуальных генотипов среди относительно устойчивых и средневосприимчивых образцов при среднем уровне напряженности инфекционного фона, как и ожидалось, произошло снижение доли восприимчивых линий до 2–7 % при оценке на высоком фоне распространения патогена. При этом по всей совокупности изученных линий доля пораженных болезнями корнеплодов в данном случае составила менее 10 % от общего числа проанализированных, что свидетельствует о высокой эффективности отбора и устойчивости созданного селекционного линейного материала свеклы столовой в целом.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при оценке селекционного материала на устойчивость к фомозу в условиях естественного инфекционного фона проблематично получать ежегодно сопоставимые данные по причине различающейся инфекционной нагрузки и присутствия смешанной инфекции на пораженных корнеплодах. При низкой инфекционной нагрузке даже многолетние испытания не обеспечивают объективную оценку устойчивости образцов к фомозу. Это значительно снижает эффективность селекции на иммунитет, особенно при работе с инбредными потомствами двулетних перекрестно опыляемых культур.

Существенно ускорить процесс получения и отбора ценных генотипов позволяет иммунологическая оценка индивидуальных маточных корнеплодов на устойчивость к наиболее агрессивным изолятам возбудителя *Ph. betae* в условиях *in vitro*.

На примере трех перспективных ms- и mf-линий (А, В и С), отобранных ранее по комплексу хозяйственно ценных признаков, представлены результаты иммунологической оценки индивидуальных корнеплодов исходных популяций этих линий (таблица 4 и рисунок 6). Относительно стандарта восприимчивости сорта Бордо односемянная, данные линии показали достаточно высокую устойчивость как на естественном фоне, так и при искусственном заражении. После хранения доля корнеплодов с внешним проявлением признаков фомоза у них не превышала 15 %, а объем зоны поражения дисков *Ph. betae* в среднем составил 22–105 мм<sup>3</sup>, тогда как у сорта Бордо односемянная соответственно – 25 % и 165 мм<sup>3</sup>.

**Таблица 4 – Распространенность фомоза *in vivo* и степень поражения *Ph. betae* маточных корнеплодов селекционных линий свеклы столовой *in vitro***

Линия	Распространённость фомоза <i>in vivo</i> , %				Средний объем (диапазон) зоны поражения диска корнеплода <i>in vitro</i>			
	исходная популяция		потомство отбора		исходная популяция		потомство отбора	
	хранение	ГУ	хранение	ГУ	мм <sup>3</sup>	ГУ	мм <sup>3</sup>	ГУ
ms-А №503	9	ОУ	0	У	22	У	22	У
					6–45		11–49	
mf-В №532	15	СВ	10	ОУ	91	ОУ	44	У
					42–126		21–70	
mf-С №541	5	ОУ	2	ОУ	105	СВ	100	О
					26–220		13–250	
Бордо односемянная (St.)	25	В	28	В	165	В	185	В
					75–283		41–326	
НСР <sub>05</sub>	2,42		3,39		17,36		19,79	

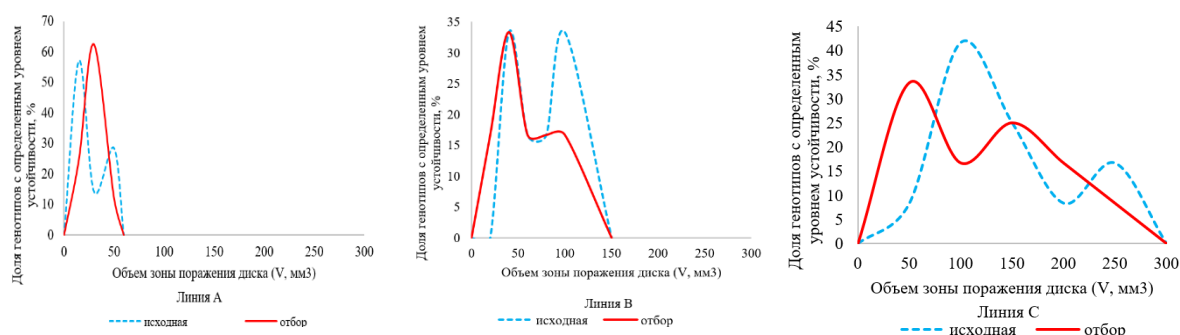
Результаты оценки на естественном и искусственном фонах у изогенной пары ms-А №503 и mf-В №532 совпали и выявили более высокую устойчивость корнеплодов стерильной линии, чем фертильной линии-закрепителя. При этом в пределах обеих линий отмечено присутствие двух субпопуляций с разным уровнем устойчивости, о чем свидетельствуют два пика на кривых распределения (рисунок 6).

В то же время у линии опылителя mf-С № 541 выявлено несоответствие между данными оценки на двух фонах, а именно, наибольший средний размер зоны поражения с широким диапазоном варьирования показателя при искусственной инокуляции *in vitro* и низкий процент пораженных фомозом корнеплодов после хранения *in vivo*. Это свидетельствует о наличии скрытой инфекции, которая проявилась позже, после высадки маточных корнеплодов (выпады составили около 35 %). Популяция этой линии, как видно на кривой распределения, в основном представлена группой корнеплодов со средним уровнем устойчивости, но присутствует небольшой процент восприимчивых генотипов.



По итогам иммунологической оценки в пределах каждой линии были отобраны корнеплоды с наименьшим объемом зоны поражения и высажены в групповые изоляторы, получено семенное потомство и выращены корнеплоды отобранных популяций. После хранения в материнской линии ms-A №503 пораженных фомозом корнеплодов не обнаружили. В фертильных линиях распространенность фомоза относительно стандарта была невысокой и составила не более 10 % (таблица 4).

При иммунологической оценке индивидуальных корнеплодов существенное снижение средних показателей объема зоны поражения дисков отмечено только у линии mf-B №532. Тем не менее, в структуре потомств изученных линий отмечены явные изменения в распределении корнеплодов по интенсивности поражения дисков агрессивным изолятом *Ph. betae*. В потомстве всех отборов четко виден сдвиг основного пика кривых распределения в сторону устойчивых генотипов и практически отсутствуют восприимчивые генотипы (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Кривые распределения генотипов по интенсивности поражения дисков маточных корнеплодов свеклы столовой фомозом в исходных линиях и полученных потомствах от индивидуального отбора относительно устойчивых генотипов (2019–2022 гг.)**

Таким образом, отбор на основе результатов комплексной оценки устойчивости индивидуальных маточных корнеплодов *in vivo* и *in vitro* является весьма результативным для получения исходного и линейного материала для селекции на гетерозис. В потомстве отборов можно выделить уникальные генотипы с сочетанием более высоких уровней устойчивости и хозяйственно ценных признаков.

#### Выводы

Фитомониторинг развития болезней в период хранения показал, что доминирующим видом возбудителей кагатной гнили на культуре свёклы столовой, является фомоз, распространенность которого с 2019 по 2022 гг. увеличилась с 60 до 85 %.

В условиях различающейся инфекционной нагрузки естественного фона методом рекуррентного отбора удалось снизить долю восприимчивых линий до 2–7 %. При этом доля пораженных болезнями корнеплодов свёклы столовой составляла менее 10 % от общего числа проанализированных.

В результате многолетней работы из разных инбредных потомств свеклы столовой был выделен перспективный селекционный материал с высокой устойчивостью корнеплодов к фомозу (распространённость болезни не более 10 % в пределах линии), среди которого наибольшую ценность с точки зрения стабильности проявления признака по годам, представляют три изогенных пары mf- и ms-линий (A×B) с округлой и с цилиндрической формой корнеплода, а также восемь линий-опылителей С, три из которых созданы на основе сортопопуляций отечественного происхождения.

## Литература

1. Солдатенко А. В., Разин А. Ф., Шатилов М. В., Иванова М. И., Разин О. А., Россинская О. В., Башкиров О. В. Межрегиональный обмен в контексте выравнивания потребления овощей в субъектах федерации // Овощи России. 2018. № 6. С. 41–46. DOI: 10.18619/2072-9146-2018-6-41-46.
2. Борисов В. А., Романова А. В., Янченко Е. В., Масловский С. А., Андрианов С. А., Янченко А. В., Гренадеров Н. В., Скрипник А. В. Технология хранения и сроки реализации столовых корнеплодов. Москва: ВНИИО, 2010. 80 с.
3. Ветрова С. А., Козарь Е. Г., Енгальчева И. А., Мухина К. С. Оценка устойчивости селекционного материала свёклы столовой к болезням хранения // Биосфера. 2022. Т. 14. № 4. С. 282–287. DOI: 10.24855/biosfera.v14i4.696.
4. Захаренко В. А. Экономика оценки проявления микозов и упреждение эпифитотий стратегических культур // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 12. С. 95–98. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11216.
5. Hanson L., Ting M., Goodwill T. Variability in *Phoma* species affecting sugar beet // Phytopathology Supplement; APSnet (Plant Pathology Online). 2012. P. 50.
6. Pethybridge S., Kikkert J., Hanson L., Nelson S. Challenges and prospects for building resilient disease management strategies and tactics for the New York table beet industry // Agronomy. 2018. Vol. 8. No. 7. P. 112–167. DOI: 10.3390/agronomy8070112.
7. Vaghefi N., Silva A., Koenick L., Pethybridge S. Genome resource for *Neocamarosporium betae* (syn. *Pleospora betae*), the cause of *Phoma* leaf spot and root rot on *Beta vulgaris* // Molecular Plant-Microbe Interactions. 2019. Vol. 85. No. 32. P. 245–254. DOI: 10.1094/MPMI-12-18-0334-A.
8. Koenick L. B., Vaghefi N., Knight N. L., Du Toit L. J., Pethybridge S. J. Genetic diversity and differentiation in *Phoma betae* populations on table beet in New York and Washington states // Plant Disease. 2018. Vol. 10. No. 103. P. 9–18. DOI: 10.1094/PDIS-09-18-1675-RE.
9. Гомжина М. М., Ганнибал Ф. Б. Современная систематика грибов рода *Phoma sensu lato* // Микология и фитопатология. 2017. Т. 51. № 5. С. 268–275.
10. Zachow Ch., Tilcher R., Berg G. Sugar beet - associated bacterial and fungal communities show a high indigenous antagonistic potential against plant pathogens // Microbial Ecology. 2008. Vol. 55. No. 1. P. 119–129. DOI: 10.1007/s00248-007-9257-7
11. Дьяков Ю. Т., Дементьева М. И., Семенкова И. Г., Успенская Г. Д., Яковлева Н. П. Общая и сельскохозяйственная фитопатология. Москва: Колос, 1984. 495 с.
12. Nitesh Ch, Eirian J., Seona C. Pathogenicity of *Phoma betae* isolates from red beet (*Beta vulgaris*) at seed farms in Canterbury, New Zealand // New Zealand Plant Protection. 2019. No. 72. P. 21–26. DOI: 10.30843/nzpp.2019.72.272.
13. Стогниенко О. И. Особенности формирования патоконлекса в ризосфере сахарной свёклы // Аграрная наука. 2019. № S2. С. 65–68. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-2-65-68.
14. Корганова Н. Н. Болезни семенников овощных культур // Картофель и овощи. 1968. № 5. С. 40–43.
15. Edson H. A. Seedling diseases of sugar beets and their relation to root-rot and crown-rot // Journal of Agricultural Research. 1915. Vol. IV. No. 2. P. 135–168. DOI: 10.5962/bhl.title.37213.
16. Кидин В. В., Дерюгин И. П., Кобзаренко В. И., Кулюкин А. Н., Ладонин Д. В. Практикум по агрохимии. М.: Колос, 2008. 599 с.
17. Буренин В. И., Пивоварова Н. С., Власова Э. А. Методические указания по изучению и поддержанию мировой коллекции корнеплодов. Л.: б\и, 1989. 88 с.
18. Методы селекции и семеноводства овощных корнеплодных растений (морковь, свёкла, редис, дайкон, редька, репа, брюква, пастернак) // Под ред. Пивоварова В. Ф., Бунина М. С. М.: РАСХН, 2003. 284 с.
19. Левитин М. М. Современные видовые названия фитопатогенных грибов // Защита и карантин растений. 2018. № 8. С. 8–11.
20. Билай В. И., Элланская И. А. Основные микологические методы в фитопатологии. Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1982. 552 с.
21. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
22. Шевченко В. Н., Топаровская Ю. С. Устойчивость сахарной свёклы к кагатной гнили в начальной фазе роста корнеплодов // Селекция и семеноводство. 1975. № 37. С. 80–86.

## References

1. Soldatenko A. V., Razin A. F., Shatilov M. V., Ivanova M. I., Razin O. A., Rossinskaya O. V., Bashkirov O. V. Interregional exchange in the context of the alignment of the consumption of vegetables in subjects of the Russian Federation // Vegetable crops of Russia. 2018. No. 6. P. 41–46. DOI: 10.18619/2072-9146-2018-6-41-46.

2. Borisov V. A., Romanova A. V., Yanchenko E. V., Maslovsky S. A., Andrianov S. A., Yanchenko A. V., Grenaderov N. V., Skripnik A. V. Technology of storage and terms of realization of table root crops. Moscow: All-Russian Research Institute of Vegetable Crops (VNIIO), 2010. 80 p.
3. Vetrova S. A., Kozar E. G., Engalycheva I. A., Mukhina K. S. Assessment of the resistance of the breeding material of table beet to storage diseases // *Biosfera*. 2022. Vol. 14. No. 4. P. 282–287. DOI: 10.24855/biosfera.v14i4.696.
4. Zakharenko V. A. Economics of assessing the manifestation of mycosis and anticipating epiphytotics of strategic crops // *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2020. Vol. 34. No. 12. P. 95–98. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11216.
5. Hanson L., Ting M., Goodwill T. Variability in *Phoma* species affecting sugar beet // *Phytopathology Supplement; APSnet (Plant Pathology Online)*. 2012. P. 50.
6. Pethybridge S., Kikkert J., Hanson L., Nelson S. Challenges and prospects for building resilient disease management strategies and tactics for the New York table beet industry // *Agronomy*. 2018. Vol. 8. No. 7. P. 112–167. DOI: 10.3390/agronomy8070112.
7. Vaghefi N., Silva A., Koenick L., Pethybridge S. Genome resource for *Neocamarosporium betae* (syn. *Pleospora betae*), the cause of *Phoma* leaf spot and root rot on *Beta vulgaris* // *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2019. Vol. 85. No. 32. P. 245–254. DOI: 10.1094/MPMI-12-18-0334-A.
8. Koenick L. B., Vaghefi N., Knight N. L., Du Toit L. J., Pethybridge S. J. Genetic diversity and differentiation in *Phoma betae* populations on table beet in New York and Washington states // *Plant Disease*. 2018. Vol. 10. No. 103. P. 9–18. DOI: 10.1094/PDIS-09-18-1675-RE.
9. Gomzhina M. M., Hannibal F. B. Modern systematics of fungi of the genus *Phoma* sensu lato // *Mikologiya i Fitopatologiya – Mycology and Phytopathology*. 2017. Vol. 51. No. 5. P. 268–275.
10. Zachow Ch., Tilcher R., Berg G. Sugar beet – associated bacterial and fungal communities show a high indigenous antagonistic potential against plant pathogens // *Microbial Ecology*. 2008. Vol. 55. No. 1. P. 119–129. DOI: 10.1007/s00248-007-9257-7.
11. Dyakov Yu. T., Dementieva M. I., Semenkova I. G., Uspenskaya G. D., Yakovleva N. P. General and agricultural phytopathology. Moscow: Kolos, 1984. 495 p.
12. Nitesh Ch, Eirian J., Seona C. Pathogenicity of *Phoma betae* isolates from red beet (*Beta vulgaris*) at seed farms in Canterbury, New Zealand // *New Zealand Plant Protection*. 2019. No. 72. P. 21–26. DOI: 10.30843/nzpp.2019.72.272.
13. Stognienko O. I. Peculiarities of pathogenic complex formation in sugar beet rhizosphere // *Agrarian science*. 2019. No. S2. P. 65–68. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-2-65-68.
14. Korganova N. N. Diseases of the testes of vegetable crops // *Potato and vegetables*. 1968. No. 5. P. 40–43.
15. Edson H. A. Seedling diseases of sugar beets and their relation to root-rot and crown-rot // *Journal of Agricultural Research*. 1915. Vol. IV. No. 2. P. 135–168. DOI: 10.5962/bhl.title.37213.
16. Kidin V. V., Deryugin I. P., Kobzarenko V. I., Kulyukin A. N., Ladonin D. V. Practicum on agrochemistry. Moscow: Kolos, 2008. 599 p.
17. Burenin V. I., Pivovarova N. S., Vlasova E. A. Methodological guidelines for the study and maintenance of the world collection of root crops. Leningrad: w/o publisher, 1989. 88 p.
18. Methods of breeding and seed production of vegetable root crops (carrot, beetroot, radish, daikon, raphanus, turnip, rutabaga, parsnip) // Ed. by Pivovarova V. F., Bunina M. S. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences (RASKhN), 2003. 284 p.
19. Levitin M. M. Updated specific names of the plant phytopathogenic fungi // *Plant Protection and Quarantine*. 2018. No. 8. P. 8–11.
20. Bilai V. I., Ellanskaya I. A. Basic mycological methods in phytopathology. Methods of experimental mycology. Kiev: Naukova dumka, 1982. 552 p.
21. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
22. Shevchenko V. N., Toporovskaya Yu. S. Resistance of sugar beet to pit-storage (*Botrytis cinerea*) rot in the initial phase of root crop growth // *Selektsyya i semenovodstvo*. 1975. No. 37. P. 80–86.

UDC 632.4:635.112

Vetrova S. A., Kozar E. G., Engalycheva I. A., Muhina K. S.

## SCREENING OF BEETROOT BREEDING LINES FOR RESISTANCE TO PHOMOSIS

**Summary.** *One of the most widespread and damaging diseases of beet (*Beta vulgaris* L.) is phomosis (zonal spotting of beet), the causative agent of which affects plants at different stages of ontogenesis, leading to significant yield losses. The research was conducted in order to study the spread and level of harmfulness of the causative agent of phomosis in*

modern conditions of the Moscow region and to assess the resistance of linear material of beetroot to this disease *in vivo* and *in vitro*. The work was carried out in 2017–2023 in the Federal Scientific Vegetable Center (Moscow region, Odintsovo district). Phytomonitoring of the development of storage diseases has revealed an increase in the prevalence and aggressiveness of phomosis, especially in the period from 2020 to 2022, by 30 % and 20 %, respectively, compared to the previous years (2017–2019). Over the years of research, selection for resistance to phomosis under varying *in vivo* infectious loads resulted in reducing the number of susceptible lines from 14 to 4 %. Immunological assessment of *in vitro* resistance of individual genotypes of selected lines to the most aggressive isolates of *Ph. betae* showed a higher resistance compared to standard (susceptibility standard) – *Beta vulgaris* variety ‘Bordo odnosemiannaya’; the affected area of the discs averaged 73 and 165 mm<sup>3</sup>, respectively. In the offspring of resistant genotypes selected after immunological evaluation, a decrease in the prevalence of phomosis (no more than 10 %) and a change in the population structure, were observed: a shift of the main peak of the curves of distribution of root crops according to the intensity of disc damage by an aggressive isolate of *Ph. betae* towards resistant genotypes. Such integrated approach resulted in obtaining three isogenic pairs of *mf*- and *ms*-lines (A and B) and eight paternal (pollinator) lines (C) of beetroot with stable and high resistance to phomosis. These lines will be used to develop new hybrids based on cytoplasmic male sterility (CMS).

**Keywords:** beetroot (*Beta vulgaris* L.), phomosis (zonal spotting of beet), *Phoma betae* Frank, selection, line, infectious background, resistance.

Ветрова Светлана Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»; 143180, Россия, Московская область, Одинцовский район, г. Звенигород, мкр. Супонево, 15; e-mail: lana-k2201@mail.ru.

Козарь Елена Георгиевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»; 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Березовая, 7; e-mail: kozar\_eg@mail.ru.

Енгальчева Ирина Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией молекулярно-иммунологических исследований, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»; 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Дружбы, 1; e-mail: engirina1980@mail.ru.

Мухина Ксения Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»; 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, 25; e-mail: kseniyamukhina@yandex.ru.

Vetrova Svetlana Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of molecular immunological research, FSBSI “Federal Scientific Vegetable Center”; mikrorayon Suponevo 15, Zvenigorod, Odintsovo district, Moscow oblast (region), 143180, Russia; e-mail: lana-k2201@mail.ru.

Kozar Elena Georgievna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory of molecular immunological research, FSBSI “Federal Scientific Vegetable Center”; 7, Beryozovaya str., VNISSOK village, Odintsovo district, Moscow oblast (region); 143072, Russia; e-mail: kozar\_eg@mail.ru.

Engalycheva Irina Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory of molecular immunological research, FSBSI “Federal Scientific Vegetable Center”; 1, Druzhba str., VNISSOK village, Odintsovo district, Moscow oblast (region); 143072, Russia; e-mail: engirina1980@mail.ru.

Mukhina Kseniya Sergeevna, junior researcher of the Laboratory of molecular immunological research, FSBSI “Federal Scientific Vegetable Center”; 25, VNISSOK village, Odintsovo district, Moscow oblast (region), 143072, Russia; e-mail: kseniyamukhina@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 02.11.2023.

Дата принятия к печати – 23.11.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10276752

EDN EYBJVK

УДК 633.11:551.5

Гулянов Ю. А.

**РОЛЬ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МЕЛИОРАТИВНЫХ АГРАРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ В УЛУЧШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В БАССЕЙНЕ РЕКИ УРАЛ**

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)

**Реферат.** Анализ теоретических и экспериментальных данных в области сдерживания деградационных процессов почвенного покрова и оценка роли природоподобных агротехнологий и мелиоративных аграрно-технических мероприятий необходимы для дальнейшего использования в землеустроительном и сельскохозяйственном производстве при разработке и внедрении мероприятий, направленных на улучшение экологической обстановки в бассейне реки Урал. Источником сведений служили опубликованные в открытой печати теоретические наработки и экспериментальные данные учёных-аграриев, степеведов и результаты собственных полевых и экспедиционных исследований в регионах степной зоны России в 2018–2023 гг. Актуализировано отрицательное влияние на качество земель длительного сельскохозяйственного использования, выражающееся в деградации почв и сопровождающееся частичной или полной утратой почвенным покровом плодородия или иным ухудшением качества, связанным с их значительным повреждением или полным уничтожением. Отмечено негативное влияние деградационных процессов на поддержание ландшафтно-экологической устойчивости территории бассейна реки Урал и сохранение биологического разнообразия. Обоснована приемлемость реализации земледельческих технологий и мелиоративных аграрно-технических мероприятий, базирующихся на применении различных технологических приёмов и подходов, основанных на подражании естественным природным процессам (природоподобие) и направленных на уменьшение нагрузки на агроэкосистемы и водные ресурсы, сохранение их устойчивости посредством снижения интенсивности водно-эрозионных процессов и деградации почвенного покрова. Их распространение, при одновременной оптимизации структуры сельскохозяйственного землепользования, может в значительной степени способствовать экологической реабилитации реки Урал и её бассейна.

**Ключевые слова:** бассейн реки Урал, сельскохозяйственные угодья, земледелие, деградация почв, оптимизация структуры землепользования.

**Для цитирования:** Гулянов Ю. А. Роль природоподобных технологий и мелиоративных аграрно-технических мероприятий в улучшении экологической обстановки в бассейне реки Урал // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4(36). С. 51–75. EDN: EYBJVK. DOI: 10.5281/zenodo.10276752.

**For citation:** Gulyanov Yu. A. Role of nature-like technologies and reclamation agricultural-technical measures in improving the ecological situation in the Ural River Basin // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4(36). P. 51–75. EDN: EYBJVK. DOI: 10.5281/zenodo.10276752.

**Введение**

Из трёх регионов российской части бассейна реки Урал, характеризующегося высокой степенью сельскохозяйственного освоения, наибольшая площадь (более 63 %) территориально расположена в Оренбургской области. В Республике Башкортостан

находится только около 24 % его территории и немногим более 12 % – в Челябинской области.

В указанных регионах уже на протяжении длительного времени значительные площади сельскохозяйственных угодий отведены под производство растениеводческой продукции. Состояние и уровень развития земледелия здесь характеризуются высокой динамичностью, зачастую связанной с критическими вехами в развитии страны (в том числе с реформированием экономики), и выражаются в значительном варьировании структуры сельскохозяйственных угодий, площади обрабатываемых земель и валовых сборов зерна и другой продукции полей.

Более других регионов российского бассейна реки Урал эта ситуация проявляется на территории землепользования Оренбургской области, где расположены самые большие площади сельскохозяйственных угодий (около 10,0 млн га). Они покрывают почти 85,0 % всей территории региона, а их доля в землях сельскохозяйственного назначения приближается к 96,0 %. [1]. Настолько широкое сельскохозяйственное освоение земельных ресурсов здесь сопровождается неблагоприятной экологической ситуацией, связанной с низкой ландшафтно-экологической устойчивостью, особенно на землях, приуроченных к бассейну реки Урал.

В пространственном отношении бассейн реки Урал в Оренбургской области охватывает территории землепользования 28 муниципальных образований из 41, к ним приурочено более 58,0 % областных посевных площадей – около 2,5 млн га. Стратегическое значение этих земель для обеспечения продовольственной безопасности населения не вызывает сомнений. Настолько же очевидным является и поддержание ландшафтно-экологической устойчивости этих территорий, сохранение биологического разнообразия обитающих здесь животных и растительных видов, обеспечение жизнеспособности водных объектов, включая главную водную артерию региона – реку Урал.

Между тем, результаты мониторингового исследования земель, представленные в государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Оренбургской области в 2021 году», свидетельствуют о отрицательном влиянии на их качество длительного сельскохозяйственного использования и указывают на практически полное отсутствие на её территории земель, не испытавших негативного воздействия [2]. Оно проявляется в развитии деградационных почвенных процессов и дополнительно усиливается природными факторами, среди которых (особенно в последние десятилетия) заметно возросло участие климатических факторов, выражающееся в значительном росте термических ресурсов и заметном снижении количества осадков. Сюда же следует отнести высокую гетерогенность рельефа, сопровождающуюся формированием сложных и неоднородных ландшафтов, и большое разнообразие почвообразующих материнских пород, приведшее к высокой мозаичности почвенного покрова на относительно ограниченных территориях. Деградация почв приводит к снижению или полной утрате их способности в удовлетворении потребностей возделываемых растений в факторах жизни ввиду существенного падения плодородия в целом или ухудшения отдельных качественных характеристик [2].

Обрабатываемые (пахотные) угодья относятся к числу самых нестабильных элементов ландшафта, формирующих риски водно-эрозионных процессов и деградации почвенного покрова бассейна реки Урал во всех анализируемых территориях. Их доля в общей площади регионов в настоящее время варьирует от 29,5 % (3662,5 тыс. га) в Республике Башкортостан до 34,6–49,5 % (соответственно 3058,4–6114,5 тыс. га) – в Челябинской и Оренбургской областях [3].

Самой высокой подверженностью деградационным процессам характеризуются обрабатываемые (пахотные) угодья с низкой пригодностью к обработке, отличающиеся

наличием ряда предрасполагающих признаков и свойств (неустойчивые, склоновые, щебенчатые, засоленные и солонцеватые), частично введенные в оборот за счёт тотальной распашки новых и залежных земель в период освоения целины (1954–1963 гг.).

В период реформирования и переобустройства аграрного сектора экономики конца прошлого – начала текущего столетия часть поднятых в целинную компанию земель была переведена в залежь. В настоящее время вновь широко практикуется возвращение неиспользуемых сельскохозяйственных угодий в состав земель сельскохозяйственного назначения. Проведённые нами экспедиционные исследования (2018–2023 гг.) позволили выявить подобные тенденции, наиболее активно развивающиеся в сопредельных с Республикой Казахстан южных административных районах, в том числе территориально приуроченных к бассейну реки Урал. Только за 2018 г. площадь вновь востребованных обрабатываемых угодий пополнилась здесь на 125,6 тыс. га [3].

При обозначенных подходах к землепользованию в регионах российского бассейна реки Урал не снижаются угрозы сохранению продуктивного и устойчивого состояния почвенного покрова, сопровождающиеся падением эффективности сельскохозяйственного использования земель и представляющие высокую опасность для экологического баланса.

В соответствии с этим оптимизация структуры сельскохозяйственного землепользования и разработка агротехнических и мелиоративных мероприятий, направленных на снижение интенсивности деградационных процессов, могут стать одними из путей улучшения экологической обстановки в бассейне реки Урал без ущерба для продовольственной безопасности.

**Цель исследований** – анализ теоретических и экспериментальных данных в области сдерживания деградационных процессов почвенного покрова сельскохозяйственных угодий и оценка роли природоподобных агротехнологий и мелиоративных аграрно-технических мероприятий в улучшении экологической обстановки в бассейне реки Урал для дальнейшего использования в землеустроительном и сельскохозяйственном производстве.

Для выполнения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- провести анализ причин деградации почвенного покрова и актуализировать сведения о развитии эрозийных процессов на сельскохозяйственных угодьях российских регионов бассейна реки Урал;
- ознакомиться с результатами теоретических и практических разработок отечественных и зарубежных учёных в области реализации мероприятий по сдерживанию деградационных процессов почв сельскохозяйственных угодий;
- обосновать значение природоподобных технологий и мелиоративных аграрно-технических мероприятий в оптимизации рисков и снижении экологических последствий сельскохозяйственной деятельности в бассейне реки Урал.

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

Материалом для подготовки статьи послужили опубликованные в открытой печати результаты теоретических и экспериментальных изысканий отечественных и зарубежных учёных, а также результаты собственных полевых и экспедиционных исследований в регионах степной зоны России в 2018–2023 гг.

#### **Результаты и их обсуждение**

На территории землепользования Оренбургской области встречается большое число почвенных разностей. Значительные площади региона занимают чернозёмы (типичные, обыкновенные и южные), составляющие основной массив почв сельскохозяйственных угодий региона, обладающие высоким потенциалом плодородия и отличающиеся низкой устойчивостью на невыровненных элементах рельефа. На

плакорах южных и юго-восточных рубежей области распространены тёмно-каштановые почвы, характеризующиеся меньшим потенциалом плодородия и высокой склонностью к природному и антропогенному разрушению.

Анализ причин деградации почвенного покрова показывает, что наибольший вред ему наносят эрозионные процессы водной (водная эрозия) или ветровой (дефляция) природы, а также неуправляемый выпас (перевыпас) скота и антропогенное загрязнение, ставшие следствием потребительского отношения к природному наследию. Достаточно длительное время земельные ресурсы области представлялись неисчерпаемыми для многих категорий пользователей как сельскохозяйственных, так и промышленных (недроразработки) отраслей. Для их воспроизводства, защиты и сохранения адекватные действия не предпринимали [4].

В земледелии многие десятилетия, особенно на рубеже XX-XXI вв., преобладали экстенсивные технологии, ориентированные преимущественно на использование естественного почвенного плодородия, без применения удобрений и химических средств защиты от вредных объектов или с их использованием в ничтожно малых количествах, не способных к изменению ситуации в лучшую сторону (рисунок 1). Характерной чертой подобных технологических подходов, практикуемых в отдельных хозяйствах и до сегодняшнего дня, является потребительское отношение к земле и расчёт на случайные урожаи при полном отсутствии стремления к сохранению её функциональных свойств, не говоря уже об их улучшении [5].



А

Б

**Рисунок 1 – Эрозионно-неустойчивое состояние поверхности поля (А – октябрь 2020 г.) и погибшие от обезвоживания посевы яровой пшеницы (Б – июль 2021 г.) во влагорасточительных технологиях с глубокой плоскорезной и плужной обработкой почвы (Оренбургская область, Оренбургский район)**

Широкое вовлечение в обработку естественных степных угодий и залежных земель привело (особенно в Зауралье) к значительному пространственному распространению деградационных почвенных процессов в виде водной эрозии на территориях с пересечённым рельефом местности и ветровой эрозии открытых пространств с почвами лёгкого механического состава (рисунок 2) [6]. Результатом этого стало усиление процессов негативного изменения структуры почвенного покрова, его уплотнения, повышения засоленности и снижения интенсивности процессов



гумусообразования. Как следствие, практически полностью исчезли чернозёмы тучные и значительно увеличились площади маломощных разновидностей чернозёмов обыкновенных, что сопровождалось снижением мощности гумусового горизонта и плодородия в целом.

Согласно ГФДЗ «Технический отчет: анализ качественного состояния земель Оренбургской области по материалам мониторинговых исследований» по ГК № 260/08-005626.5 площадь эродированных земель на конец 2008 г. составляла около 4600,0 тыс. га, из которых около 2300,0 тыс. га уже были слабо эродированы и примерно ещё столько же эродированы в средней степени [2].



**Рисунок 2 – Визуализация низкой реализации потенциала продуктивности полевых культур на участках с проявлением водно-эрозионных (А – яровая пшеница) и дефляционных (Б – сафлор) процессов на обрабатываемых землях бассейна реки Урал, Светлинский район, Оренбургская область, август 2023 г.**

Следует признать, что изложенная ситуация далека от улучшения и до сегодняшнего дня в российских регионах бассейна реки Урал ещё активно практикуются природорасточительные приёмы на обрабатываемых сельскохозяйственных угодьях, сопровождающиеся как неприемлемыми антропогенными нагрузками, в том числе на прилегающие ландшафты, так и критическими экологическими угрозами. Среди них в первую очередь необходимо выделить вовлечение в обработку неполнопрофильных, слабогумифицированных, склоновых и прочих неустойчивых почв. Большую опасность для активизации эрозионной деградации почвенного покрова представляет глубокая вспашка с оборотом пласта на лёгких по механическому составу почвах. Чрезвычайно неприемлемым следует считать и игнорирование севооборотов, чрезмерную увлечённость монокультурами, включая маргинальные (подсолнечник, рапс и др.), отрицательный баланс элементов минерального питания в почве при полном или частичном отказе от внесения минеральных и органических удобрений [7, 8]. Высокую опасность для русел малых рек, питающих главную водную артерию региона реку Урал, представляет вовлечение в обработку их водосборных территорий, что сопровождается стремительным заилением русел.

Анализ отчётов различных министерств и ведомств, прямо или косвенно имеющих отношение к данной проблеме показывает, что из всех проявлений экзогенных

геологических процессов на территории Оренбургской области в настоящее время (с 2010 г.) наиболее тщательный контроль осуществляется за активностью овражной эрозии, проводимый специализированными пунктами наблюдения (СНП) [9]. Актуальность её отслеживания вполне очевидна, так как развитие эрозионных процессов, особенно сопровождающееся образованием «молодых» оврагов, вместе с созданием чрезвычайных или опасных ситуаций ведёт к сокращению площади сельскохозяйственных земель [2] и наносит большой вред водным объектам. Результаты работы СНП свидетельствуют об активизации эрозионных процессов преимущественно в весенний период и их незначительном проявлении в остальное время года. По их сведениям, интенсивность эрозии зависит от объёма и интенсивности весеннего поверхностного стока, рельефа и характера подстилающей поверхности почвы [9].

Анализ представленных в научных трудах различных авторов данных и результатов собственных наблюдений показывает, что поверхностный сток является многофакторной системой, с большим числом взаимосвязанных элементов, каждый из которых может выступать в роли лимитирующего или активизирующего интенсивность водно-эрозионных процессов и деградации почвенного покрова факторов.

По нашему общему убеждению, из климатических факторов главным источником поверхностного стока бассейна реки Урал является снег, составляющий в нём более 80 %, а роль дождевых и подземных вод невелика, свидетельством чему является резкое обмеление реки в летний период [10].

Обобщение большого числа причинно-следственных связей природных факторов, оказывающих влияние на характеристики поверхностного стока, показывает, что величина и интенсивность водного стока снежного происхождения зависит от характера снежного покрова на территории водосбора, величины его запасов, глубины промерзания почвы и стабильности зимних температур, влажности почвы перед снеготаянием. Большое влияние на сток оказывают запасы влаги в десятисантиметровом слое почвы, определяемые интенсивностью осенних осадков [11–17].

По мнению учёных Республики Башкортостан [14] и многих других исследователей [12, 18], одним из факторов, наиболее участвующих в формировании поверхностного стока, является глубина промерзания почвы. Это подтверждают результаты, полученные водно-балансовой станцией управления по мониторингу мелиорируемых земель ФГУ «Башмелиоводхоз», расположенной в Уфимском районе Республики, когда при глубине промерзания почвы 30–38 см было зафиксировано полное отсутствие стока в период снеготаяния [14]. Близкие данные получены и коллективом авторов во главе с А. Т. Барабановым. Они указывают об отсутствии стока на юге Центральных районов Нечернозёмной зоны, в Центрально-чернозёмном районе и Поволжье при незамёрзшей почве или её промерзании только до полуметровой глубины, какими бы ни были степень её увлажнения и запасы снега [14].

В исследованиях, проведённых в Западной Сибири А. А. Танасиенко и А. С. Чумбаевым [20], выявлено препятствующее миграции талых вод вглубь профиля чернозёмов влияние льдистого экрана, образующегося при наличии свободной влаги, больше наименьшей влагоёмкости (НВ) в почве в осенний период. По их мнению, на величину поверхностного стока также оказывает влияние соотношение площадей лесных массивов и пахотных угодий, что необходимо учитывать при прогнозировании объёмов весеннего стока.

На основе систематизации результатов аналогичных наблюдений, полученных в различных регионах России, А. Т. Барабановым выделены наиболее значимые факторы, определяющие поверхностный водный сток и сформулирован так называемый «закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод». Исходя из его содержания, при ограниченном значении величины снеготаяния или глубины промерзания и

влажности почвы независимо от величины других факторов перед установлением снежного покрова формирования стока не отмечается [19].

В формировании величины снегозапасов и снижении интенсивности поверхностного стока большую роль играют лесополосы [21–23], задерживающие снег в межполосном пространстве и способствующие его постепенному стаиванию без развития эрозионных процессов (при лучшем впитывании и меньшем стоке). По сведениям М. А. Комиссарова и И. М. Габбасова, снег в лесных насаждениях всегда отличается большей водообеспеченностью, нежели на открытых участках, с максимальными значениями, приходящимися на начало периода снеготаяния. Они отмечают в 2,0–2,2 раза меньшую глубину мёрзлого слоя почвы под пологом деревьев в сравнении с открытым полем, а также более позднее промерзание и более раннее оттаивание почвы [14].

По нашим наблюдениям, в водосборных бассейнах реки Урал водный сток дополнительно определяется континентальностью климата и связанной с ней быстрой сменой холодного периода года на тёплый (иногда в течение декады) в совокупности с открытостью ландшафтов, определяющей характер половодья. Он связан с географическими контрастами между различными частями бассейна р. Урал и особенностями фенологических сезонов – более коротких в Зауралье (восточных) с поздним временем их наступления по сравнению с западными, более продолжительными и ранними. Водный сток также определяет водопроницаемость покрывающего почву войлока естественных ландшафтов (или полное отсутствие на «голой» пашне) и водоудерживающую способность разных ландшафтов. К примеру, в лесных насаждениях сток начинается на два-три дня позднее, чем на открытых ландшафтах, и является более скоротечным. Это, как правило, связано с впитыванием в почву большей части запасённой в снеге воды ещё под его покровом ввиду большей водопроницаемости лесной почвы, более рыхлой и промерзающей на меньшую глубину [10, 17].

Процесс впитывания талой воды на сельскохозяйственных угодьях также характеризуется определёнными особенностями. Так, на стерневых фонах и дернине многолетних трав он отличается замедленностью по сравнению с пашней (зяблевой глубокой обработкой). Учёные ФГБУН «Институт биологии Уфимского научного центра РАН» объясняют это тем, что в условиях практически одинаковой глубины промерзания и осенних запасов влаги на зяблевой пахоте и стерне (дернине многолетних трав) решающее значение имеет плотность сложения почвы, которая в профиле пашни ( $1,17\text{--}1,26\text{ г/см}^3$ ) ниже, чем на стерневом участке ( $1,22\text{--}1,44\text{ г/см}^3$ ) [14].

Не менее значимыми факторами, определяющими поверхностный водный сток в бассейне реки Урал, по нашему убеждению, являются ещё и полнота сельскохозяйственного освоения земель, структура сельскохозяйственных угодий, технологическая специфика аграрного землепользования и технологическая направленность земледелия, касающаяся приёмов обработки почвы. Именно их интенсивность, в отличие от более инертных физических и химических свойств почвы, её гранулометрического состава и многих других характеристик, способна активно менять величину и интенсивность поверхностного стока.

На величину поверхностного стока влияют как соотношение площадей относительно молодых и возрастных залежей, характеризующихся различной степенью уплотнения почвы, структурой и видоразнообразием травостоя, так и сельскохозяйственная деятельность в водосборных зонах. Учёными Института степи УрО РАН выявлено отрицательное воздействие на сток полулегального размещения бахчевых полей на водосборных территориях левых притоков реки Урал, связанных с предшествующей распашкой целинных земельных участков, составляющих их бассейн

[24], и несанкционированного забора поливной воды из реки Урал, наносящего вполне ощутимый вред устойчивости земельных ресурсов и водным биосистемам [25]. При этом техническое состояние легальных мелиоративных (оросительных) систем в бассейне реки Урал характеризуется высоким износом гидротехнических сооружений, они нуждаются в ремонте и техническом переоснащении [26]. По этой же причине в сельскохозяйственных организациях поливов полевых культур (зерновые) практически не проводится [2].

Нестеренко Ю. М. [27] и группа учёных под руководством Левыкина С. В. [24], при изучении динамики поверхностного стока талых вод с водосборных территорий притоков р. Урал в различных агроклиматических зонах Оренбургской области выявили зависимость коэффициента стока от доли пашни. Они указывают, что, после завершения распашки целинных и залежных земель в Оренбургской области при стабилизации доли зяби на уровне 52–56 % от площади водосбора (1966–1985 гг.) коэффициент стока уменьшился вдвое – с 0,53 до 0,25–0,26. И напротив, в 1991–2000 гг., в период массового вывода пашни из обработки и уменьшения доли зяби до 26 % он увеличился до 0,48, то есть почти вдвое по сравнению с предшествующим периодом. В начале нового тысячелетия (2001–2010 гг.), при постепенном возвращении в обработку выведенных ранее земель, но с малой долей зяби, коэффициент стока талых вод незначительно снизился и составил 0,46 [28].

Проведённый нами статистическими методами анализ данных, опубликованных Ю. М. Нестеренко, подтверждает его предположения о влиянии на величину поверхностного стока распаханности площади водосбора и доли зяби от площади водосбора. Между указанными параметрами и коэффициентом стока выявлена сильная обратная связь ( $r$ ): -0,83 с распаханностью площади водосбора и -0,87 – с долей зяби от площади водосбора.

Подводя итог анализу современного противозерозионного состояния сельскохозяйственных земель бассейна реки Урал, следует особо подчеркнуть, что практикуемое сегодня хозяйственное освоение водосборных территорий и увеличение сельскохозяйственной нагрузки безусловно будут способствовать дальнейшему ухудшению достаточно напряжённой экологической ситуации.

Таким образом, при сохраняющихся рисках экологической безопасности, приуроченных к бассейну реки Урал земель, связанных преимущественно с нерадивым хозяйствованием и нарастающими климатическими изменениями, обуславливающими повышение засушливости обширных территорий, остро назрела необходимость реализации новационных подходов по адаптации землепользования к современным условиям.

Проведённый нами анализ гидротермических условий 32-летнего периода в трёх районах Заволжской степной провинции подтвердил устойчивый рост термических ресурсов, следствием которого стало увеличение суммы активных температур за период весенне-летней вегетации на 185 °С (14,3 %) в Центральной почвенно-климатической зоне (Оренбургский район) и на 138 °С (11,1%) – 90 °С (7,3 %) в Западной (Сорочинский и Бузулукский районы соответственно). При одновременном снижении количества атмосферных осадков это сопровождалось самым ощутимым снижением ГТК Селянинова в Центральной почвенно-климатической зоне, которое составило 0,23 единицы или 37,1 %. На основании полученных результатов отмечена целесообразность преимущественной концентрацией посевов озимых культур в северо-западной части области, где повышение засушливости климата пока не настолько очевидно [29].

В связи с этим при разработке мероприятий, способствующих снижению интенсивности водно-эрозионных процессов и деградации почвенного покрова в бассейне реки Урал, необходимо учитывать все вышеперечисленные обстоятельства.

Одной из основополагающих научных стратегий, направленных на решение указанных проблем и нивелирование экологических рисков бассейна реки Урал, может рассматриваться стратегия природосберегающего степного землепользования, разрабатываемая Институтом степи УрО РАН. Её основной концепцией является установление оптимального соотношения различных ландшафтов в структуре земельного фонда, переход на интенсивные наукоёмкие технологии в растениеводстве на землях высокоплодородного фонда и вывод из обработки нарушенных и неустойчивых низкопродуктивных земель, в том числе в бассейне реки Урал [30]. Указанные положения данной стратегии не содержат рисков продовольственной безопасности, так как сохранение стабильных валовых сборов растительного сырья продовольственного и технического назначения предполагается посредством компенсации недополученных урожаев более высокими сборами с остающихся в обработке высокоплодородных полей [31].

Состоятельность данного предположения вполне согласуется с результатами наших исследований (1995–2015 гг.) на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья, подтвердивших возможность более высокой реализации ресурсного потенциала возделываемых сортов озимой пшеницы при внедрении соответствующих современным экологическим стандартам моделей агротехнологий. При их добросовестной реализации вполне достижимо использование энергии солнечного света с коэффициентом полезного действия (КПД ФАР) на уровне 1,22–1,23 % и повышение урожайности высококачественного зерна на 100–120 % до экономически и экологически целесообразного уровня в 3,0–3,5 т/га [32].

Мировым научным сообществом прорабатываются пути решения обозначенной проблемы, активизировались подобные научные изыскания и в отдельных зернопроизводящих регионах России, чего нельзя с полной уверенностью утверждать в отношении регионов российского бассейна реки Урал. Здесь пока не просматривается стройной и хорошо выверенной стратегии адекватного технологического ответа на природные и антропогенные вызовы, способной повысить экологическую устойчивость территории при одновременном обеспечении продовольственной безопасности.

Среди перспективных мероприятий, направленных на оптимизацию отмеченных рисков и снижение экологических последствий сельскохозяйственной деятельности, следует выделить реализацию природоподобных влагосберегающих приёмов в земледелии. Их внедрение предполагает сближение почвенных условий и условий существования растений в агроценозах и естественных растительных сообществах, прежде всего посредством накопления и сохранения дополнительных ресурсов влаги. При этом их реализация должна сопровождаться встраиванием в логически цельную систему земледелия, насыщенную адаптивными агроприёмами, в том числе с использованием информационных технологий и данных ДЗЗ.

Следует отметить, что использование информационных ресурсов и инструментальных методов оценки состояния растительного покрова полей и выявления соответствия уровня их развития высокопродуктивным агроценозам, активно развивается в российской науке и широко верифицируется в производстве. Практикуются приёмы оценки развития фитомассы посредством различных вегетационных индексов, выявляющих гетерогенность растительного покрова и характеризующих урожайные перспективы. Их значения используют для корректировки технологических решений в процессе вегетации и прогнозирования урожайности.

Подобные исследования проводились нами в 2017–2018 гг. на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья. Их результатом стало выявление значений разностного вегетационного индекса (NDVI), определённых посредством портативного оптического устройства Green Seeker Handheld и соответствующих определённым величинам урожайности зерна. Было установлено, что максимальной урожайности зерна озимой пшеницы Пионерская 32 (на уровне 3,0 т/га) из всей выборки измерений в фазу колошения соответствует индекс NDVI равный 0,77 единиц, который может быть использован в прогнозных расчётах [33].

В дополнение к этому, полученные нами данные убедительно свидетельствуют о целесообразности для оперативного управления продукционным процессом полевых агроценозов комплексирования имеющего высокую сходимость ( $r = 0,90$ ) результатов ДЗЗ, наземного сканирования и определения фитометрических параметров линейными методами [34].

В условиях отрицательного баланса водного режима почв, характерного для всего бассейна реки Урал, обеспечение устойчивости растениеводства, по нашему убеждению, предполагает проведение комплекса мероприятий влагосбережения и влагонакопления. В этом отношении следует особо подчеркнуть влагосберегающий характер почвозащитных систем обработки почвы с полным отказом от вспашки и включением только нулевой или неглубокой безотвальной обработки в системах ландшафтно-адаптивного земледелия. Приоритетность того или иного выбора земледелия определяется зональными почвенными условиями, а также зависит от экономических возможностей хозяйствующих субъектов и экологической напряжённости в ландшафтах [35–37]. Эффект влагосбережения при внедрении подобных технологических решений достигается посредством формирования на поверхности поля покрова из растительных и пожнивных остатков, сокращающего непродуктивные потери влаги на испарение.

К другим преимуществам почвозащитных систем обработки почвы исследователи относят также саморазрыхление почвы и возвращение её структуры к характерным для данного типа почвы параметрам, увеличение численности почвенных микроорганизмов, повышение её устойчивости к деградационным проявлениям природного и антропогенного характера. В их научных публикациях сообщается ещё и об уменьшении эмиссии углекислого газа и снижении интенсивности минерализации гумуса, а также подавляющем влиянии почвозащитных систем на распространение сорных растений [38].

Целесообразность внедрения поэтапной минимизации обработки почвы признаётся во многих зерносеющих регионах РФ. К примеру, её очевидные перспективы для большей части земледельческих угодий Западной Сибири отмечает академик А. Н. Власенко, указывающий на отсутствие рисков существенных потерь урожая при полном или частичном отказе от обработки почвы [39].

С утверждениями о целесообразности влагосберегающих приёмов обработки почвы вполне согласуются и результаты наших исследований, позволившие установить, что в условиях повышающейся засушливости климата и смещения акцентов увлажнения на холодные сезоны года, в короткоротационных зернопаровых севооборотах степной зоны Оренбургского Предуралья достаточно высоки перспективы реализации мульчированных технологий с минимальной обработкой почвы парового поля и прямым посевом яровых зерновых культур. Это обеспечивает более высокую реализацию урожайного потенциала озимой пшеницы (до 3,0 т/га) за счёт более плотного продуктивного стеблестоя и более тяжеловесных колосьев. Разница в урожайности с традиционной (пахотной) обработкой почвы может достигать 1,0 т/га [40].

В то же время, как свидетельствуют результаты наших экспедиционных исследований, активного расширения площадей под минимальной или нулевой обработкой почвы на землях российского бассейна реки Урал исходя из приведённых выше экологических соображений пока не наблюдается. Чаще всего преобладают экономические факторы, и, в первую очередь, финансовые ресурсы. При наличии средств или в надежде на их быстрое получение вспашка возвращается на поля, особенно под маргинальные культуры (подсолнечник), а при их отсутствии – поля остаются без обработки. Среди других причин следует отметить низкую технологическую дисциплину, упрощенческие технологические подходы, которые в условиях жесточайшего дефицита влаги не позволяют создать достаточную глубину устойчивого мульчирующего слоя, для которого требуется урожайность зерновых не ниже 3–4 т/га или кукурузы 6–7 т/га, чего при таком отношении добиться практически невозможно. В результате на несколько лет затягивается период ожидания положительного эффекта и интерес к их внедрению постепенно ослабевает [41].

Следует отметить и более объективные препятствия с минимизацией обработки почвы. К примеру, на первых порах зачастую отмечаются сложности с подбором сортов, способных с наименьшими потерями обеспечить приемлемый уровень урожайности [42]. Внесение органических удобрений, требующее безусловной заделки, предполагает сохранение в севообороте хотя бы одного поля с глубокой основной обработкой почвы с оборотом пласта. К проведению глубокой обработки подталкивает и возрастающая засоренность полей в первые годы отказа от вспашки [43–45].

В то же время, экспедиционные исследования позволили выявить множество положительных примеров хозяйствования, когда уже в достаточной мере освоенные тонкости минимизации обработки почвы сопровождаются вполне обнадеживающими результатами, как в плане урожайных перспектив, так и в отношении экологического эффекта [46, 47]. В частности, это касается достаточно успешного освоения мульчирующих технологий минимальной и нулевой обработки почвы расположенными в бассейне реки Урал прогрессивными хозяйственниками различных форм собственности (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Высокопродуктивный агроценоз ячменя (А – Челябинская область, Агаповский район, август 2021 г.) и влагосберегающее сложение поверхности поля после уборки яровой пшеницы (Б – Оренбургский район, Оренбургская область, октябрь 2020 г.) в агротехнологиях с минимальной обработкой почвы и мульчированием поверхности незерновой частью урожая**

Опыт научно-исследовательских учреждений Оренбургской области показывает, что в кормовых или севооборотах под культуры, формирующих хозяйственно ценную часть урожая в почве и требующих её оптимальной плотности, с целью предотвращения водно-эрозионных проявлений проведение основной обработки почвы допустимо только поперёк склона. Это обеспечивает надёжную защиту почвы от эрозии, а также способствует увеличению запасов влаги. Для сохранения влаги на таких полях целесообразно раннее весеннее боронование (при физической спелости почвы) [48].

В условиях нарастающих термических ресурсов и сокращения количества атмосферных осадков, особенно заметно проявившихся с начала последнего десятилетия прошлого века, для ощутимого повышения эффективности богарного земледелия перспективны приёмы, способные обеспечить сохранение жизнеспособности растений и почвенных влагозапасов. В этом отношении следует выделить посев засухоустойчивых сортов и защиту от непродуктивных потерь осадков холодного периода года посредством проведения «оросительных снежных мелиораций». Они рассматриваются в качестве альтернативы орошения и предусматривают проведение мероприятий по регулированию снегонакопления (снегозадержание) и снеготаяния.

Осадки зимнего периода в земледелии интересны с позиций пополнения влагозапасов сельскохозяйственных земель. Снегозадержание обеспечивает накопление большего количества снега на полях и предотвращает его одновременное таяние в весенний паводок, что исключает быстрый равномерный сход снега, интенсивный сток воды по уклонам и сопровождается лучшим увлажнением почвы [49]. В дополнение к этому «усиленный» снежный покров является гарантом хорошей перезимовки озимых культур, площадь посева которых в Оренбургском Предуралье приближается к 1,0 млн га [8, 50].

Для земледельческих угодий Оренбургского бассейна реки Урал мероприятия по регулированию снегонакопления и снеготаяния имеют чрезвычайную актуальность, так как здесь от 30 до 45 % годового количества осадков выпадает в виде снега. Управление его накоплением и таянием, по свидетельству учёных Государственного научного учреждения «Оренбургский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Россельхозакадемии», позволяет дополнительно накопить до 30 мм продуктивной влаги в почве [48].

Этот дополнительный ресурс влаги можно рассматривать в качестве весомого подспорья к ограниченным почвенным влагозапасам, используемым на формирование урожая в богарном земледелии, без привлечения ресурсов поверхностных вод открытых источников и подрусловых вод. В дополнение к этому, более полное поглощение талых вод снижает риски эрозионных проявлений ввиду снижения интенсивности стока. По этой же причине уменьшается смыв применяемых в земледелии агрохимикатов и средств защиты растений, что в совокупности будет способствовать улучшению эколого-гидрологического режима реки Урал [29].

Для защиты от антропогенной деградации почвенного покрова обрабатываемых угодий бассейна реки Урал, связанной с убылью почвенного плодородия, обусловленного ежегодным выносом питательных веществ урожаями, высокую целесообразность могут иметь технологические подходы, имеющие экологоориентированную основу [51–53].

Речь идёт прежде всего о биологизации в ландшафтно-адаптивных системах земледелия. В их основе лежит переход на биологическую основу взаимодействия в системе «растение-среда-человек» и технологические приоритеты, выстроенные исходя из принципа наибольшей благоприятности для каждого из элементов этой системы [54]. К примеру, широко известная «Белгородская модель» биологизации земледелия



основывается на увеличении до четверти доли однолетних и многолетних трав в структуре посевов [55]. Она исключает проведение глубоких обработок почвы с оборотом пласта. Её приоритетом является освоение минимальной обработки почвы, мульчирование поверхности пожнивными остатками, внесение органических удобрений, использование смешанных посевов разных сортов одной культуры, а также разновидовых посевов [56–58]. При добросовестном и квалифицированном исполнении перечисленных технологических мероприятий может быть достигнуто воспроизводство почвенного плодородия, что и является одной из главных целей биологизации [59, 60].

Весомым подспорьем биологизации земледелия является развитие животноводства, оптимизирующего набор культур в севооборотах, включение в них кормовых культур, в первую очередь многолетних бобовых трав, улучшающих как питательный режим посредством обогащения почвы симбиотическим азотом атмосферы, так и в целом фитосанитарное состояние почвы [38, 61]. При современном диспаритете цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию, дешевизне зерна и дороговизне топлива, средств защиты и удобрений, только в хозяйствах со смешанной специализацией возможно полноценное решение проблемы удобрения полевых культур и повышения биологической активности почвы [60].

Стоит отметить, что проводимые в настоящее время преобразования в экономике РФ, серьёзным образом коснувшиеся и сельскохозяйственного сектора, сопровождаются снижением численности сельскохозяйственных животных, в частности крупного рогатого скота (КРС) как основного потребителя растительных кормов и поставщика богатого минеральными элементами навоза. Это приводит к сокращению площадей, занятых агротехнически ценными кормовыми культурами, и, на фоне чрезвычайно ограниченного применения минеральных удобрений, создает высокие угрозы почвенному плодородию [31].

Проведённый анализ статистических данных об использовании минеральных удобрений в земледелии постцелинных регионов Урала и Западной Сибири подтвердил небольшие объёмы их применения, составляющие только 15,3–41,2 % от среднероссийского уровня (56,2 кг/га д. в.). Исключительной направленностью на почвенные ресурсы отличаются технологические подходы в земледелии Оренбургской области. Здесь минеральные удобрения в реализуемых технологиях вносятся только в количествах, составляющих не более 5,0–6,0 % общероссийского уровня (1,8–4,4 кг д.в. на 1 га). Аналогичная ситуация складывается и с применением органических удобрений, норма внесения которых в среднем составила только 0,1–0,3 т/га [62].

Анализ численности КРС в регионах российского бассейна реки Урал показывает, что ее динамика совпадает с общей тенденцией в стране, выражающейся в снижении численности КРС, особенно молочного направления [31].

Следует констатировать, что при подобном положении вещей с сокращающимся поголовьем КРС и насыщенностью севооборотов почвозатратными коммерческими культурами добиться заметного повышения устойчивости полевых агроландшафтов крайне проблематично.

По нашему убеждению, улучшению почвенных и гидрологических условий на обрабатываемых землях бассейна реки Урал для получения высоких и устойчивых урожаев полевых культур при безусловной их защите и прилегающих ландшафтов от водно-эрозионных процессов и деградации почвенного покрова может способствовать мелиорация земель, включающая комплекс взаимосвязанных аграрно-технических и организационно-хозяйственных мероприятий. Её проведение обеспечит как создание оптимальных температурных, воздушных и пищевых условий для полевой культуры, так и защиту вмещающих ландшафтов от эрозионных проявлений антропогенного и природного характера.

Прежде всего, стоит упомянуть противоэрозионную, полезную и пастбищезащитную агролесомелиорацию, направленные на контролирование поверхностно стекающих вод и фортификацию нестабильных оврагов и сыпучих песков.

Лесные насаждения в противоэрозионной агролесомелиорации служат защитой пахотных земель, оврагов, балок и размываемых водной эрозией малопродуктивных склонов, а также опустыненных песчаных территорий и пастбищ аридной зоны [63]. Они включают систему разнобиологических и разновидовых полосных и массивных ландшафтных насаждений, приуроченных к рельефу местности с учётом направления преобладающих ветров и особенностей почвенного покрова [64].

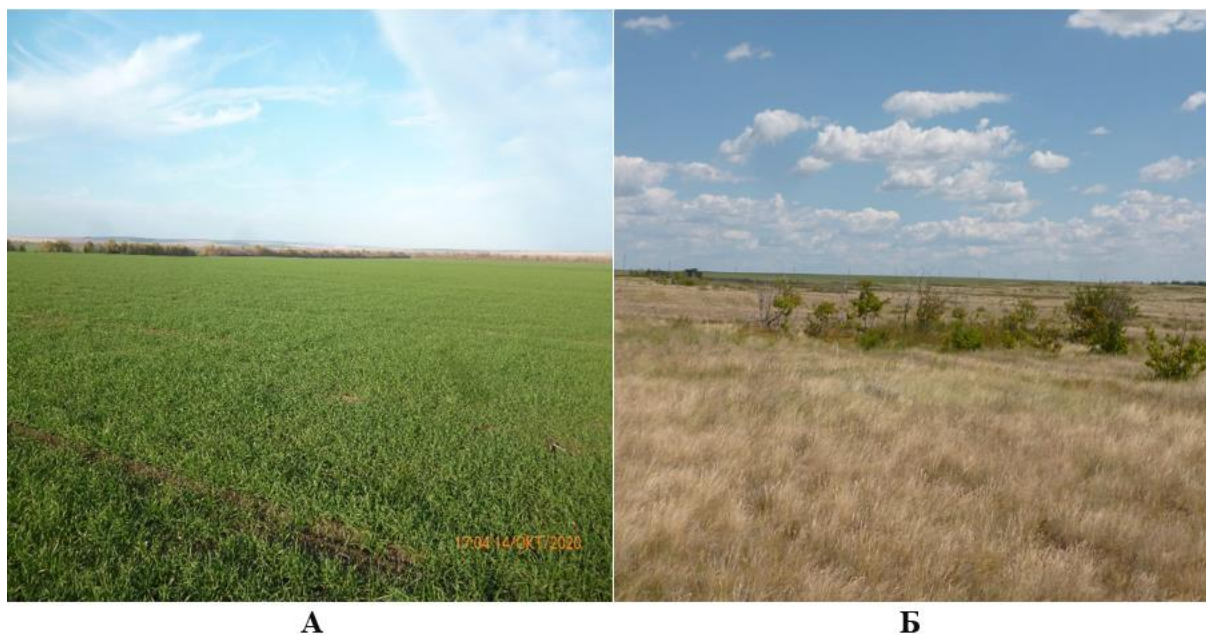
Полезная агролесомелиорация основывается на защите земель от воздействия неблагоприятных явлений природного и антропогенного происхождения путём создания защитных лесных насаждений по границам полей. Совсем недавно они достаточно плотной сетью покрывали обширные обрабатываемые пространства степных регионов России, включая и регионы российского бассейна реки Урал.

Положительное влияние полезных лесных полос на формирование высокопродуктивных агроценозов озимой пшеницы подтверждено нашими исследованиями (2017–2019 гг.). Их эффект проявляется в повышении сбалансированности и более благоприятном сочетании факторов внешней среды, улучшении фитометрических и структурных показателей посевов, и как следствие, увеличении урожайности зерна. Наибольший эффект отмечен на достаточно широкой полосе поля, вплоть до удаления от лесополосы на расстояние в 200–240 м. Здесь сформировались агроценозы озимой пшеницы с фотосинтетическим потенциалом более 1200 тыс.м<sup>2</sup>×дней/га, максимальной площадью листьев до 18,0 тыс. м<sup>2</sup>/га и урожайностью зерна около 2,5 т/га. Нами отмечен положительный эффект от лесополосы и при удалении до 320–360 м, хотя приведённые выше показатели заметно снижались [65].

Высоким влагосберегающим и влагорегулирующим эффектом характеризуются и другие виды водной и лесной мелиорации степных ландшафтов. В качестве одного из них можно рекомендовать возделывание в полосах поля шириной до 100 м сельскохозяйственных культур, разделяемых буферными полосами. В соответствии с организационной структурой буферных полос их основу составляют многолетние травы с размещёнными по центру водорегулирующими лесными полосами. Такая организация буферных полос положительно сказывается на организации весенне-полевых работ, так как исключает временное оставление под более поздний посев переувлажнённых приполосных участков. При этом многолетние травы максимально используют эту повышенную влагообеспеченность почвы для формирования высокого урожая [66].

С сожалением приходится констатировать, что к настоящему времени в условиях повысившейся засушливости климата и антропогенной нагрузки, а также при отсутствии надлежащего ухода (омоложение, прореживание, уборка сухостоя и т.д.), площади полезных лесных насаждений в Оренбургской области значительно сократились, а многие из пока сохранившихся лесополос находятся в маложизнеспособном состоянии (рисунок 4).

Наделённые природой почвозащитными и водорегулирующими свойствами леса являются основой его использования в качестве средства мелиорации [67]. Однако следует помнить, что процесс создания лесных насаждений очень долгий, трудо- и финансово затратный, что не совсем приемлемо в настоящее время. Получение близкого полевого влагорегулирующего эффекта в данной ситуации может обеспечить выращивание кулис из высокостебельных растений. Они задерживают снег, более равномерно распределяют его по поверхности поля, обеспечивают равномерное таяние и поглощение почвой без интенсивного стока и эрозионного разрушения почвы (рисунок 5).



**Рисунок 4 – Сохранившийся функциональный участок противодефляционного влагорегулирующего полеззащитного агролесобустройства (А) и погибающая лесная полоса (Б) в Центральной зоне Оренбургской области (Саракташский район)**



**Рисунок 5 – Общий вид поля с сорговыми кулисами (А) и их снегозадерживающий эффект (Б) на полях озимой пшеницы в Центральной зоне Оренбургской области (фото из архива профессора Каракулева В.В.)**

Таким образом, происходит основное пополнение запасов почвенных вод, обеспечивающее функционирование агроценозов в летний период [68].

Как отмечал В.В.Каракулев, в условиях степной зоны Оренбургского Предуралья кулисы обеспечивают повышение урожайности до 2,5–3,0 т/га, против 1,5–1,6 т/га на безкулисных участках [69].

С целью сохранения и рационального расходования ограниченных ресурсов влаги высокую целесообразность имеет использование очёсывающих жаток при уборке зерновых культур. Их применение позволяет сохранять на поле практически

неповреждённый стеблестой, выполняющий экологические функции, аналогичные естественным травяным сообществам [29].

Защиту от ветровой эрозии и повышение влагообеспеченности почвы может обеспечить устройство стерневых кулис, формируемых через 7–18 м в период уборки урожая специальными устройствами, срезающими только колосья. Они препятствуют свободному воздействию ветра на почву и способствуют снегозадержанию [70]. Их устройство обеспечивается чередующимися проходами по полю жатки прямого комбайнирования и очёсывающей жатки. Как указывает В. Л. Астафьев с коллегами (2016) без привлечения дополнительных затрат стерневые кулисы могут увеличить запасы зимней влаги до 3,5 раз [71].

Следует констатировать, что далеко не везде на сельскохозяйственных угодьях бассейна реки Урал практикуются приведённые здесь приёмы и мероприятия, целью которых является снижение водно-эрозионных процессов и деградации почвенного покрова.

Обширные экспедиционные исследования 2018–2023 гг. позволили нам наблюдать достаточно широкую пространственную картину негативных экологических процессов в агроэкосистемах, как природного, так и антропогенного характера. Особую тревогу вызывает повсеместное использование полей защитных лесных насаждений в качестве мест складирования строительного мусора и бытовых отходов, снижающее их живучесть и без этого в достаточно напряжённых климатических условиях. В агротехническом отношении достаточно распространённым явлением негативного характера является зарастание паровых полей бурьянистой растительностью, дополнительно усиливающей непродуктивные потери влаги (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Примеры складирования в полей защитных лесных полос строительного мусора и бытовых отходов (А) и буйный рост на паровом поле сорно-полевого подсолнечника (Б) в окрестностях г. Оренбурга**

Учитывая, что главным назначением обрабатываемых угодий в бассейне реки Урал в настоящее время и на далёкую перспективу останется производство пищевого растительного сырья, обеспечение продовольственной безопасности наиболее оптимальным для реки и прилегающих ландшафтов способом представляется по пути внедрения интеллектуальных природоподобных технологий и реализации аграрно-технических мероприятий, способствующих снижению интенсивности водно-эрозионных процессов и деградации почвенного покрова.

Они должны предусматривать применение современной компьютеризированной сельскохозяйственной техники, машин и оборудования (интеллектуальное земледелие), отзывчивых на улучшение агротехнического фона сортов с заданными экологическими параметрами (приоритет селекции и семеноводства), высокоэффективных и экологически безопасных удобрений и средств защиты растений, прогрессивных приёмов при их использовании (дифференцированное внесение, внутривидовая инъекция, ультрамалообъёмное опрыскивание и др.). Успешная реализация природоподобных технологий, предполагающая кратное увеличение урожайности на участках с высоким природным плодородием и его расширенное воспроизводство, при условии высокой квалификации специалистов и постоянной генерации новых знаний, может стать основанием для вывода из обработки неустойчивых, непригодных для обработки, расположенных в бассейне реки Урал земель, в том числе ложбин стока, что значительно понизит интенсивность водно-эрозионных процессов. Их распространение может в значительной степени способствовать экологической реабилитации реки Урал и её бассейна [31].

В обобщённом виде они должны включать:

- организацию и проведение противоэрозионной, полевозащитной и пастбищезащитной агролесомелиораций, предполагающих контролируемое поверхностно стекающих вод и укрепление нестабильных оврагов и подвижных песков;
- реализацию мероприятий, направленных на минимизацию смыва почвы с полей вместе с содержащимися в ней агрохимикатами и пестицидами, предотвращение поступления в водоёмы, питающие реку Урал, потоков воды, насыщенных взвесью с загрязняющими веществами, путём их регламентированного применения и соблюдения природоохранных норм, исключающих передозировку, в том числе несанкционированный забор и сброс поливной воды полулегальными овощеводческими и бахчеводческими бригадами, расположившимися в пойме;
- освоение влагосберегающих почвозащитных систем земледелия, основанных на минимизации обработки почвы с мульчированием поверхности, её преимущественном проведении поперёк преобладающих направлений поверхностного водного стока или её полном исключении, посев засухоустойчивых сортов, снижение засорённости полей, ландшафтно-экологическое пространственное планирование полей в естественном природном ландшафте (фитоподобие);
- задержание снега на полях, способствование его постепенному стаиванию без развития эрозионных процессов при лучшем впитывании и меньшем стоке посредством обустройства полевозащитных лесных полос, снегозадержание (создание снежных валов поперёк склона) механическими средствами, посев кулис из высокостебельных растений (горчица, рапс), уборка зерновых культур методом очёсывания (степеподобие) и формирование стерневых кулис;
- внедрение экологоориентированных (биологизированных) адаптивно-ландшафтных систем земледелия, предполагающих повышение в севооборотах доли многолетних трав и создание травяных экосистем, обеспечивающих благоприятные условия для почвообразования и развития почвенной биоты (*почвоподобие*); включение в севообороты смешанных разновидовых (*степеподобие*) и практикование разноразновидных посевов;
- обеспечение сбалансированности отраслей растениеводства и животноводства, предполагающее расширение представительства в севооборотах разнобиологических кормовых культур, включая ценные в агротехническом и почвовосстанавливающем отношении однолетние и многолетние травы, особенно бобовые, и увеличение выхода ценных органических удобрений (навоза).

### Выводы

Анализ современных сведений об экологическом состоянии земель на водосборных территориях бассейна реки Урал выявил значительную деградацию почвенного покрова при длительном сельскохозяйственном использовании в результате проявления эрозионных процессов водной и ветровой природы. Это подтверждается результатами наших исследований, показавшими, что наиболее разрушительными для почвы последствиями сопровождается вовлечение в обработку неполнопрофильных, слабогумифицированных, склоновых и других неустойчивых почв. Большую опасность для активизации эрозионной деградации представляет интенсивная обработка почвы, в частности глубокая вспашка с оборотом пласта на лёгких по механическому составу почвах. Проявление разрушительных эрозионных процессов оказывает негативное влияние и на поддержание ландшафтно-экологической устойчивости этих территорий, сохранение биологического разнообразия, сопровождается стремительным заилением русел малых рек, питающих главную водную артерию региона реку Урал.

Для экологической реабилитации реки Урал и её бассейна целесообразна реализация мероприятий, направленных на снижение нагрузки на агроэкосистемы и водные ресурсы, сохранение их устойчивости посредством снижения интенсивности водно-эрозионных процессов и деградации почвенного покрова. Решающее значение для этого будет иметь оптимизация степного землепользования посредством сочетания экологически обоснованных площадей различных видов угодий (по В. В. Докучаеву), внедрение природоподобных земледельческих технологий и мелиоративных аграрно-технических мероприятий, обеспечивающих высокую устойчивость агроландшафтов и прилегающих территорий.

*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. Сведения о распределении земель Российской Федерации по категориям на 01.01.2020 года (в разрезе субъектов РФ). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosreestr.gov.ru/site/activity/sostoyamezemerrossii/gosudarstvennyu-natsionalnyu-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-vrossiyskoy-federatsii> (дата обращения 08.10.2023 г.).
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Оренбургской области в 2021 году». [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://56.rosпотребнадзор.ru/docs/documents/gosdoklad-/gosdoklad\\_epid\\_2022.pdf](https://56.rosпотребнадзор.ru/docs/documents/gosdoklad-/gosdoklad_epid_2022.pdf) (дата обращения 08.10.2023 г.).
3. Чибилёв А. А. (мл.), Гулянов Ю. А., Мелешкин Д. С., Григоревский Д. В. Оценка ландшафтно-экологической устойчивости земледельческих регионов Урала и Западной Сибири // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. № 1. С. 109–118. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-109-118.
4. Гулянов Ю. А., Казачков Г. В., Левыкин С. В. Аграрно-природоохранная реабилитация степей // Наука молодая. Биологические системы и агротехнологии: материалы I молодежной научно-практической конференции. Оренбург: Издательство ООО «Типография «Агентство пресса»», 2022. С. 35–38.
5. Кирюшин В. И., Бельков Г. И. Научные основы адаптивно-ландшафтных систем земледелия // В кн.: Система устойчивого земледелия Оренбургской области. Оренбург: Оренбургское книжное издательство, 1999. С. 10–11.
6. Климентьев А. И. Почвенное разнообразие и почвенный фонд Оренбургской области // Вопросы степеведения. 1999. Т. 1. С. 20–28.
7. Гулянов Ю. А. Урожай озимой пшеницы и его структура // Земледелие. 2003. № 5. С. 10.
8. Гулянов Ю. А. Пути повышения зимостойкости и сохранности к уборке озимой пшеницы в степи Южного Урала // Земледелие. 2005. № 6. С. 24–25.
9. О территориальной системе наблюдения за состоянием окружающей среды на территории Оренбургской области. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/410805182> (дата обращения 10.10.2023)
10. Чибилёв А. А., Сивохип Ж. Т. Анализ ландшафтно-гидрологических последствий колебания речного стока в бассейне реки Урал // Материалы международной научно-практической конференции

«Геоэкологические проблемы трансграничного бассейна реки Урал». Оренбург: Печатный дом «Димур», 2008. С. 129–134.

11. Литвин Л. Ф., Голосов В. Н., Добровольская Н. Г., Иванова Н. Н., Кирюхина З. П., Краснов С. Ф. Стационарные исследования эрозии почв при снеготаянии в центральном Нечерноземье // Эрозия почв и русловые процессы. 1997. Вып. 11. С. 53–72.

12. Ollesch G., Kistner I., Meissner R., Lindenschmidt K. E. Modelling of snowmelt erosion and sediment yield in a small low-mountain catchment in Germany // Catena. 2006. Vol. 68(2-3). P. 161–176. DOI: 10.1016/j.catena.2006.04.005.

13. Шаббаев А. И., Жолинский Н. М., Демьянова Т. В., Цветков М. С. Развитие адаптивных систем земледелия и почво-влагосберегающих технологий в агроландшафтах Поволжья // Научно-агрономический журн. 2011. № 2(89). С. 35–44.

14. Комиссаров М. А., Габбасова И. М. Эрозия почв при снеготаянии на пологих склонах в Южном Предуралье // Почвоведение. 2014. № 6. С. 734–743. DOI: 10.7868/S0032180X14060057.

15. Шерстюков А. Б., Анисимов О. А. Оценка влияния снежного покрова на температуру поверхности почвы по данным наблюдений // Метеорология и гидрология. 2018. Vol. 43. No. 2. P. 72–78. DOI: 10.3103/S1068373918020024.

16. Starkloff T., Stolte J., Hessel R., Ritsema C., Jetten V. Integrated, spatial distributed modeling of surface runoff and soil erosion during winter and spring // Catena. 2018. Vol. 166. P. 147–157. DOI: 10.1016/j.catena.2018.04.001.

17. Кулик А. В., Гордиенко О. А. Условия формирования поверхностного стока талых вод на склоновых землях юга Приволжской Возвышенности // Почвоведение. 2022. № 1. С. 44–54. DOI: 10.31857/S0032180X22010099.

18. Niu G.-Y., Yang Z.-L. Effects of frozen soil on snowmelt runoff and soil water storage at a continental scale // J. of Hydrometeorology. 2006. No. 5. Vol. 7. P. 937–952. DOI: 10.1175/JHM538.1.

19. Барабанов А. Т., Балычев Р. Д., Смирнов Р. Е., Кочкар М. М. Регулирование стока талых вод путем воздействия на снегоотложение и характер промерзания почв // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 1. С. 10–13.

20. Танасиенко А. А., Чумбаев А. С. Условия формирования льдистого экрана в эродированных черноземах Западной Сибири // Почвоведение. 2010. № 4. С. 450–460.

21. Kremsa J., Křeček J., Kubin E. Comparing the impacts of mature spruce forests and grasslands on snow melt, water resource recharge, and run-off in the northern boreal environment // International Soil and Water Conservation Research. 2015. Vol. 3. P. 50–56. DOI: 10.1016/j.iswcr.2015.03.005.

22. Barabanov A. T., Dolgov S. V., Koronkevich N. I., Panov V. I., Petelko A. I. Surface runoff and snowmelt infiltration into the soil on plowlands in the forest-steppe and steppe zones of the east European plain // Eurasian Soil Science. 2018. Vol. 51. No. 1. P. 66–72. DOI: 10.1134/S1064229318010039.

23. Baulch H. M., Elliott J. A., Cordeiro M. R. C., Flaten D. N., Lobb D. A., Wilson H. F. Soil and water management: opportunities to mitigate nutrient losses to surface waters in the Northern Great Plains // Environmental Reviews. 2019. Vol. 27(4). P. 447–477. DOI:10.1139/er-2018-0101.

24. Левыкин С. В., Нестеренко Ю. М., Яковлев И. Г., Падалко Ю. А. К разработке российско-казахстанской стратегии охраны и использования водных ресурсов бассейна р. Урал // IV международная практическая конференция «Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации». Курск: Курский государственный университет, 2017. С. 418–427.

25. Полянин В. О. Экологическая оценка последствий регулирования стока в трансграничном бассейне трансграничной реки Урал (Жайык) и разработка научно-обоснованных предложений по экологической реабилитации, сохранению и восстановлению трансграничной реки Урал (Жайык) // Материалы международной конференции «Трансграничные геоэкологические проблемы и вопросы природопользования в бассейнах рек внутренней Евразии в условиях современных изменений климата». Оренбург: ООО «Типография «Южный Урал», 2022. С. 18–20.

26. Соболин Г. В., Сатункин И. В., Гулянов Ю. А., Коровин Ю. И. Эколого-экономические проблемы орошаемого земледелия // Экономика сельского хозяйства России. 2003. № 4. С. 37.

27. Нестеренко Ю. М., Нестеренко М. Ю. Природные воды Южного Урала: формирование и использование. Екатеринбург: Издательство УрО РАН, 2016. 244 с.

28. Нестеренко Ю. М. Водный сток на Южном Урале в антропогенно меняющихся условиях // Материалы всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы гидрологии и геоэкологии». Пермь: Издательство Пермского государственного национального исследовательского университета, 2016. С. 99–104.

29. Гулянов Ю. А., Чибилёв А. А. Богарное земледелие в степной и лесостепной зоне бассейна Урала и адаптация агротехнологий к изменяющейся влагообеспеченности, как способ сохранения ресурсов поверхностных вод // Юг России: экология, развитие. 2023. Том. 18. № 1(66). С. 117–125. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-1-117-125.

30. Чибилёв А. А. Возобновляемые стратегические природные ресурсы устойчивого развития регионов степной зоны РФ // Успехи современного естествознания. 2016. № 3. С. 214–219.

31. Гулянов Ю. А., Чибилёв (мл.) А. А., Чибилёв А. А., Левыкин С. В. Проблемы адаптации степного землепользования к антропогенным и климатическим изменениям (на примере Оренбургской области) // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 1. С. 28–40. DOI: 10.31857/S258755662201006X.
32. Гулянов Ю. А., Чибилёв А. А. Перспективы интеграции «цифрового землепользования» в ландшафтно-адаптивное земледелие степной зоны // Проблемы региональной экологии. 2019. № 2. С. 32–37. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-12032.
33. Гулянов Ю. А. Возможности интеллектуальных цифровых технологий в экологизации ландшафтно-адаптивного земледелия степной зоны // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 4 (78). С. 8–11.
34. Гулянов Ю. А. Перспективы использования информационных ресурсов ДЗЗ для управления продукционным процессом полевых агроценозов // Земледелие. 2022. № 2. С. 26–31. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-2-26-31.
35. Rainbow R., Derpsch R. Advances in No-Till Farming Technologies and soil Compaction Management in Rainfed Farming Systems // In book: Rainfed Farming Systems. Springer, Dordrecht, 2011. P. 991–1014. DOI: 10.1007/978-1-4020-9132-2\_39.
36. Власенко А. Н., Власенко Н. Г., Коротких Н. А. Разработка технологии No-till на черноземе, выщелоченном лесостепи западной Сибири // Земледелие. 2011. № 5. С. 20–22.
37. Кононов В. М., Кононова Н. Д. Земледелие и экологизация землепользования на Южном Урале – поиски компромисса // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 2 (46). С. 17–21.
38. Кирюшин В.И. Проблема экологизации земледелия в России (Белгородская модель) // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 12. С. 3–9.
39. Власенко А. Н., Власенко Н. Г., Коротких Н. А. Проблемы и перспективы разработки и освоения технологии No-till на черноземах лесостепи Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 9. С. 16–19.
40. Гулянов Ю. А. Предпосылки и перспективы реализации природоподобных приёмов обработки почвы в агротехнологиях степной зоны Оренбургского Предуралья // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 2 (22). С. 37–49. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-37-49.
41. Бакиров Ф. Г., Петрова Г. В., Долматов А. П., Нестеренко Ю. М., Халин А. В., Поляков Д. Г. Эффективность использования влаги ресурсосберегающими технологиями в растениеводстве Оренбуржья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 6(62). С. 198–201.
42. Ярцев Г. Ф., Гулянов Ю. А., Байкасанов Р. К. Сорты и гибриды полевых культур Оренбуржья (краткие описания): справочное пособие. Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2011. 86 с.
43. Максютлов Н. А. Когда эффективна минимальная обработка почвы? // Земледелие. 1998. № 1. С. 24–25.
44. Крючков А. Г., Бесалиев И. Н., Панфилов А. Л., Полкунова Л. Ф. Параметры пластичности сортов яровой мягкой пшеницы в связи с приёмами основной обработки почвы // Достижения науки и техники АПК. 2017. Том 31. № 4. С. 40–42.
45. Бакиров Ф. Г., Поляков Д. Г., Халин А. В., Баландина А. А. Прямой посев и No-till в Оренбуржье // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 5(73). С. 50–54.
46. Аношкин П. А., Васильев И. В., Скороходов В. Ю. Эффективность применения ресурсосберегающих технологий возделывания яровой мягкой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 3(59). С. 15–16.
47. Неверов А. А., Зоров А. А. Роль селекции и первичного семеноводства ФНЦ БСТ РАН в повышении эффективности растениеводства Оренбургской области в условиях изменения климата // Животноводство и кормопроизводство. 2020. № 103. С. 147–156. DOI: 10.33284/2658-3135-103-2-147.
48. Максютлов Н. А., Жданов В. М., Скороходов В. Ю., Кафтан Ю. В., Митрофанов Д. В., Зенкова Н. А., Жижин В. Н. Влагосберегающие приёмы и технологии в земледелии Оренбуржья // Зерновое хозяйство России. 2015. № 6. С. 67–72.
49. Шитиков Н. В., Пигорев И. Я. Снегозадержание и формирование водного режима сельскохозяйственных земель Центрального Черноземья России // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3. С. 39–47.
50. Гулянов Ю. А. Совершенствование приёмов формирования высокопродуктивных агроценозов озимой пшеницы в степной зоне Южного Урала. Дисс. ... д. с.-х. н. Оренбург: ФГОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет», 2007. 434 с.
51. Фролова Л. Д., Новиков М. Н. Биологизация земледелия как фактор повышения плодородия почв и продуктивности кормовых севооборотов // Агропромышленные технологии Центральной России. 2018. Вып. 2. № 8. С. 71–76. DOI: 10.24888/2541-7835-2018-8-71-77.
52. Беляков А. М., Назарова М. В. Агрорландшафты и технологии засушливого земледелия // Научно-агрономический журнал. 2018. № 1 (102). С. 35–39.



53. Зеленев А. В., Семинченко Е. В. Биологизация земледелия – основа повышения содержания элементов питания в почве и урожайности зерновых культур // Научно-агрономический журнал. 2019. № 1 (104). С. 10–14.
54. Соколов М. С. Оздоровление почвы и биологизация земледелия – важнейшие факторы оптимизации экологического статуса агрорегиона (Белгородский опыт) // Агрехимия. 2019. № 11. С. 3–16. DOI: 10.1134/S0002188119110127.
55. Ерофеев С. А. Биологизация земледелия – основа эколого-ландшафтного земледелия // Евразийский союз ученых. 2018. № 8-4 (53). С. 8–11.
56. Мудрых Н. М. Биологизация земледелия – основа сохранения плодородия почв Нечерноземной зоны // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 9 (155). С. 28–34.
57. Лукин С. В. Биологизация земледелия в Белгородской области: итоги и перспективы // Достижения науки и техники АПК. 2016. № 7. С. 20–23.
58. Алейник С. Н. Опыт Белгородской области в биологизации земледелия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://agricommission.com/base/opyt-belgorodskoi-oblasti-v-biologizacii-zemledeliya> (дата обращения: 23.05.2023).
59. Жученко А. А. Биологизация, экологизация, энергосбережение, экономика современных систем земледелия // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 2. С. 9–13.
60. Савченко Е. С. Губернатор Белгородской области Евгений Савченко: «Дело столыпинского масштаба». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://abireg.ru/newsitem/29498> (дата обращения: 23.05.2023).
61. Трофимова Л. С., Трофимов И. А., Яковлева Е. П. Оценка агроландшафтов, вызовы их мониторинга и управления в России // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири: монография. В 5 томах // Под редакцией В.Г. Сычева, Л. Мюллера. Т. I. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2018. С. 114 – 118. DOI: 10.25680/1411.2018.94.13.018.
62. Гулянов Ю. А. Современный уровень природосбережения и пути воспроизводства почвенных ресурсов в зональных агротехнологиях постцелинных регионов Урала и Западной Сибири // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1 (25). С. 73–84. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-73-84
63. Ивонин В. М., Воскобойникова И. В. Ландшафтная агролесомелиорация // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11. № 3. С. 54–77.
64. Чеканышкин А. С. Агролесомелиорация в системе агроландшафтов // Земледелие. 2003. № 1. С. 8–9.
65. Гулянов Ю. А. Приёмы рационального использования водных ресурсов в ландшафтно-адаптивных технологиях степной зоны Оренбургского Предуралья // Материалы международных научных чтений «Теоретические проблемы экологии и эволюции. Качество воды и водные биоресурсы (VII Любимцевские чтения)». Тольятти: Издательство: «Анна», 2020. С. 238–244. DOI: 10.24411/9999-039A-2020-10055.
66. Гулянов Ю. А. Стратегии новационного землепользования и роль природоподобных агротехнологий в экологической оптимизации степных ландшафтов // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2019. Т. 148. С. 50–59. DOI: 10.25684/NBG.scbook.148.2019.05.
67. Шорина Т. С. Мелиорация почв: учебное пособие. Оренбург: Издательство: Оренбургского государственного университета, 2012. 190 с.
68. Ясинский С. В., Гусев Е. М., Кашутин Е. А. Эффективность агроприемов в управлении гидрологическими процессами на малых водосборах в период весеннего снеготаяния // Почвоведение. 2008. № 3. С. 321–329.
69. Филиппова А. В., Каракулев В. В. Оптимизация агробиоценозов для стабильного производства зерна на чернозёмах южных Оренбургской области // Сборник статей VI Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых учёных, аспирантов и студентов «Инновационные процессы в АПК». М.: Издательство Российского университета дружбы народов (РУДН), 2014. С. 256–258.
70. Константинов М. М., Глушков И. Н., Пашинин С. С. Обеспечение процесса снегозадержания с использованием валковой порционной жатки с устройством образования стерневых кулис // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 6(38). С. 81–83.
71. Астафьев В. Л., Иванченко П. Г., Малыгин С. Л. Эффективный способ накопления влаги зимних осадков и технические средства для его осуществления // АПК России. 2016. Т. 75. № 1. С. 59–64.

## References

1. Information on the distribution of the lands of the Russian Federation by categories as of 01.01.2020 (in the context of the subjects of the Russian Federation) // [Electronic resource]. Access point: <https://rosreestr>.

gov.ru/site/activity/sostoyamezemerrossii/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-vrossiyskoy-federatsii (reference's date 08.10.2023).

2. State Report "On the state and environmental protection of the Orenburg Region in 2021" // [Electronic resource]. Access point: [https://56.rospotrebnadzor.-ru/docs/documents/gosdoklad-gosdoklad\\_epid\\_2022.pdf](https://56.rospotrebnadzor.-ru/docs/documents/gosdoklad-gosdoklad_epid_2022.pdf) (reference's date 08.10.2023).
3. Chibilev A. A. (Jr.), Gulyanov Yu. A., Meleshkin D. S., Grigorevsky D. V. An assessment of landscape-ecological stability in agricultural regions of Ural and West Siberia // South of Russia: ecology, development. 2022. Vol. 17. No. 1. P. 109–118. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-109-118.
4. Gulyanov Yu. A., Kazachkov G. V., Levykin S. V. Agrarian and environmental rehabilitation of steppes // Materials of the I Youth Scientific and Practical Conference "Nauka molodaya. Biological systems and agrotechnologies". Orenburg: "Tipografiya "Agentstvo Pressa" OOO" (Limited Liability Company), 2022. P. 35–38.
5. Kiryushin V. I., Belkov G. I. Scientific foundations of adaptive landscape farming systems // In book: The system of sustainable agriculture of the Orenburg region. Orenburg: Orenburgskoe knizhnoe izdatelstvo, 1999. P. 10–11.
6. Klimentyev A. I. Soil diversity and soil fund of Orenburg region // Steppe Science. 1999. Vol. 1. P. 20–28.
7. Gulyanov Yu. A. Winter wheat yield and its structure // Zemledelie. 2003. No. 5. P. 10.
8. Gulyanov Yu. A. Ways to increase winter hardiness and safety for harvesting winter wheat in the steppe of the Southern Urals // Zemledelie. 2005. No. 6. P. 24–25.
9. On the territorial system of monitoring the state of the environment on the territory of the Orenburg region. [Electronic resource]. Access point: <https://docs.cntd.ru/document/410805182> (reference's date 10.10.2023).
10. Chibilev A. A., Sivokhip Zh. T. Analysis of landscape-hydrological consequences of fluctuations in river flow in the Ural River basin // Materials of the International scientific and practical conference "Geoecological problems of the trans-boundary basin of the Ural River". Orenburg: Printing House "Dimur", 2008. P. 129–134.
11. Litvin L. F., Golosov V. N., Dobrovolskaya N. G., Ivanova N. N., Kiryukhina Z. P., Krasnov S. F. Stationary studies of soil erosion during snowmelt in the central Non-Chernozem region // Soil erosion and riverbed processes. 1997. Iss. 11. P. 53–72.
12. Ollesch G., Kistner I., Meissner R., Lindenschmidt K. E. Modelling of snowmelt erosion and sediment yield in a small low-mountain catchment in Germany // Catena. 2006. Vol. 68(2-3). P. 161–176. DOI: 10.1016/j.catena.2006.04.005.
13. Shabaev A. I., Zholinsky N. M., Demyanova T. V., Tsvetkov M. S. Development of adaptive farming systems and soil-moisture-saving technologies in agro-landscapes of the Volga region // Scientific Agronomy Journal. 2011. No. 2(89). P. 35–44.
14. Komissarov M. A., Gabbasova I. M. Snowmelt-induced soil erosion on gentle slopes in the southern Cis-Ural region // Eurasian Soil Science. 2014. No. 6. P. 598–607. DOI: 10.1134/S1064229314060039.
15. Sherstyukov A. B., Anisimov O. A. Assessment of the snow cover effect on soil surface temperature from observation data // Russian Meteorology and Hydrology. 2018. Vol. 43. No. 2. P. 72–78. DOI: 10.3103/S1068373918020024.
16. Starkloff T., Stolte J., Hessel R., Ritsema C., Jetten V. Integrated, spatial distributed modeling of surface runoff and soil erosion during winter and spring // Catena. 2018. Vol. 166. P. 147–157. DOI: 10.1016/j.catena.2018.04.001.
17. Kulik A. V., Gordienko O. A. Conditions of snowmelt runoff formation on slopes in the south of the Volga Upland // Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55. No. 1. P. 36–44. DOI: 10.1134/S1064229322010094.
18. Niu G.-Y., Yang Z.-L. Effects of frozen soil on snowmelt runoff and soil water storage at a continental scale // J. of Hydrometeorology. 2006. No. 5. Vol. 7. P. 937–952. DOI: 10.1175/JHM538.1.
19. Barabanov A. T., Balychev R. D., Smirnov R. E., Kochkar M.M. Regulation of meltwater runoff by influencing snow deposition and the nature of soil freezing // Proceedings of Lower Volga Agro-University complex: Science and Higher Education. 2012. No. 1. P. 10–13.
20. Tanasienko A. A., Chumbaev A. S. Conditions of the formation of ice barriers in eroded chernozems of Western Siberia // Eurasian Soil Science. 2010. Vol. 43. No. 4. P. 417–426. DOI: 10.1134/S1064229310040071.
21. Kremsa J., Křeček J., Kubin E. Comparing the impacts of mature spruce forests and grasslands on snow melt, water resource recharge, and run-off in the northern boreal environment // International Soil and Water Conservation Research. 2015. Vol. 3. P. 50–56. DOI: 10.1016/j.iswcr.2015.03.005.
22. Barabanov A. T., Dolgov S. V., Koronkevich N. I., Panov V. I., Petelko A. I. Surface runoff and snowmelt infiltration into the soil on plowlands in the forest-steppe and steppe zones of the east European plain // Eurasian Soil Science. 2018. Vol. 51. No. 1. P. 66–72. DOI: 10.1134/S1064229318010039.
23. Baulch H. M., Elliott J. A., Cordeiro M. R. C., Flaten D. N., Lobb D. A., Wilson H. F. Soil and water management: opportunities to mitigate nutrient losses to surface waters in the Northern Great Plains // Environmental Reviews. 2019. Vol. 27(4). P. 447–477. DOI: 10.1139/er-2018-0101.

24. Levykin S. V., Nesterenko Yu. M., Yakovlev I. G., Padalko Yu. A. Towards the development of a Russian-Kazakh strategy for the protection and use of water resources in the Ural River basin // In book: Strategy for the Development of Border Territories: Traditions and Innovations. Kursk: Kursk State University, 2017. P. 418–427.
25. Polyagin V. O. The ecological assessment of the consequences of flow regulation in the transboundary basin of the Ural River (Zhayk) and development of scientifically-based proposals for environmental rehabilitation, conservation and restoration of the trans-boundary Ural River (Zhayk) // Materials of the international conference “Transboundary geocological problems and nature management issues in the river basin of Inner Eurasia in the context of modern climate change”. Orenburg: “Tipografiya “Yuzhny Ural” OOO” (Limited Liability Company), 2022. P. 18–20.
26. Sobolin G. V., Satunkin I. V., Gulyanov Yu. A., Korovin Yu. I. Ecological and economic problems of irrigated agriculture // Economics of Agriculture of Russia. 2003. No. 4. P. 37.
27. Nesterenko Yu. M., Nesterenko M. Yu. Natural waters of the Southern Urals: formation and use. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2016. 244 p.
28. Nesterenko Yu. M. Water runoff in the Southern Urals in anthropogenic changing conditions // Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference “Topical issues of hydrology and geocology”. Perm: Perm State University Publ., 2016. P. 99–104.
29. Gulyanov Yu. A., Chibilev A. A. Rain-fed agriculture in the steppe and forest-steppe zone of the Ural River basin and the adaptation of agricultural technologies to changing moisture availability as a way to preserve surface water resources // South of Russia: ecology, development. 2023. Vol. 18. No. 1(66). P. 117–125. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-1-117-125.
30. Chibilev A. A. Renewable strategic natural resources of sustainable development of regions of the steppe zone of the Russian Federation // Advances in Current Natural Sciences. 2016. No. 3. P. 214–219.
31. Gulyanov Yu. A., Chibilev (Jr.) A. A., Chibilev A. A., Levykin S. V. Problems of steppe land use adaptation to anthropogenic and climatic changes (the case of Orenburg oblast) // Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya. 2022. Vol. 86. No. 1. P. 28–40. DOI: 10.31857/S258755662201006X.
32. Gulyanov Yu. A., Chibilev A. A. Prospects for the integration of “digital land use” in the landscape-adaptive farming of the steppe zone // Regional Environmental Issues. 2019. No. 2. P. 32–37. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-12032.
33. 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.
34. Gulyanov Yu. A. Prospects of using remote sensing information resources for managing the production process of field agrocenoses // Zemledelie. 2022. No. 2. P. 26–31. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-2-26-31.
35. Rainbow R., Derpsch R. Advances in no-till farming technologies and soil compaction management in rainfed farming systems // In book: Rainfed Farming Systems. Springer, Dordrecht, 2011. P. 991–1014. DOI: 10.1007/978-1-4020-9132-2\_39.
36. Vlasenko A. N., Vlasenko N. G., Korotkov N. A. No-till technology elaboration for leached chernozem soil in forest-steppe zone of Western Siberia // Zemledelie. 2011. No. 5. P. 20–22.
37. Kononov V. M., Kononova N. D. Crop farming and land use ecologization in the South Urals – search for a compromise // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2014. No. 2 (46). P. 17–21.
38. Kiryushin V. I. Problem of agriculture ecologization in Russia (Belgorod model) // Achievements of Science and Technology of AIC. 2012. No. 12. P. 3–9.
39. Vlasenko A. N., Vlasenko N. G., Korotkov N. A. Problems and prospects of development and exploitation of No-till technology on chernozems of forest-steppe of Western Siberia // Achievements of Science and Technology of AIC. 2013. No. 9. P. 16–19.
40. Gulyanov Yu. A. Background and prospects for the implementation of nature-like cultivation techniques in the agrotechnologies of the steppe zone of Orenburg Urals // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 2 (22). P. 37–49. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-37-49.
41. Bakirov F. G., Petrova G. V., Dolmatov A. P., Nesterenko Yu. M., Khalin A.V., Polyakov D. G. Effectiveness of moisture resource-saving technologies in crop production of Orenburzhye // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2016. No. 6(62). P. 198–201.
42. Yartsev G. F., Gulyanov Yu. A., Baykasenov R. K. Varieties and hybrids of Orenburg field crops (brief descriptions): reference manual. Orenburg: Orenburg State Agrarian University Publ., 2011. 86 p.
43. Maksyutov N. A. When is minimal tillage effective? // Zemledelie. 1998. No. 1. P. 24–25.
44. Kryuchkov A. G., Besaliev I. N., Panfilov A. L., Polkunova L. F. Parameters of plasticity of soft wheat varieties in connection with tillage methods // Achievements of Science and Technology of AIC. 2017. Vol. 31. No. 4. P. 40–42.
45. Bakirov F. G., Polyakov D. G., Khalin A.V., Balandina A. A. Direct seeding and No-till in Orenburzhye // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018. No. 5(73). P. 50–54.
46. Anoshkin P. A., Vasiliev I. V., Skorokhodov V. Yu. Effectiveness of using resource-saving technologies of spring soft wheat cultivation under the conditions of Orenburg Preduralye // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2016. No. 3(59). P. 15–16.

47. Neverov A. A., Zorov A. A. The role of selection and primary seed production of the Federal Scientific Center of the BST RAS in increasing the efficiency of crop production in Orenburg region in changing climate // *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020. No. 103. P. 147–156. DOI: 10.33284/2658-3135-103-2-147.
48. Maksyutov N. A., Zhdanov V. M., Skorokhodov V. Yu., Kaftan Yu. V., Mitrofanov D. V., Zenkova N. A., Zhizhin V. N. Moisture saving methods and technologies in Orenburg agriculture // *Grain Economy of Russia*. 2015. No. 6. P. 67–72.
49. Shitikov N. V., Pigorev I. Ya. Snow retention and formation of water regime of agricultural land in the Central Chernozemia of Russia // *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2022. No. 3. P. 39–47.
50. Gulyanov Yu. A. Improvement of methods of formation of highly productive agrocenoses of winter wheat in the steppe zone of the Southern Urals. Thesis ... Dr. Sc. (Agr.). Orenburg: Orenburg State Agrarian University, 2007. 434 p.
51. Frolova L. D., Novikov M. N. Biologization of agriculture, as a factor of increasing the fertility of soils and productivity of fodder seeds // *Agro-industrial technologies of Central Russia*. 2018. Iss. 2. No. 8. P. 71–76. DOI: 10.24888/2541-7835-2018-8-71-77.
52. Belyakov A. M., Nazarova M. V. Agrolandscapes and technologies of arid agriculture // *Scientific Agronomy Journal*. 2018. No. 1 (102). P. 35–39.
53. Zelenev A. V., Semnichenko E. V. The biologization of agriculture as the basis for increasing the content of nutrients in the soil and yield of crops // *Scientific Agronomy Journal*. 2019. No. 1 (104). P. 10–14.
54. Sokolov M. S. Soil rehabilitation and biologization of agriculture – important factors optimizing the ecological status of the region (Belgorod experience) // *Agrohimia*. 2019. No. 11. P. 3–16. DOI: 10.1134/S0002188119110127.
55. Erofeev S. A. Biologization of agriculture – the basis of ecological and landscape agriculture // *Eurasian Union of Scientists*. 2018. No. 8–4 (53). P. 8–11.
56. Mudrykh N. M. Biologization of agriculture as the basis of soil fertility preservation in the Non-Chernozem zone // *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2017. No. 9 (155). P. 28–34.
57. Lukin S. V. Biologization of agriculture in Belgorod region: results and prospects // *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2016. No. 7. P. 20–23.
58. Aleynik S. N. Experience of the Belgorod region in the biologization of agriculture [Electronic resource]. Access point: <https://agriecommission.com/base/opyt-belgorodskoi-oblasti-v-biologizacii-zemledeliya> (reference's date 23.05.2023).
59. Zhuchenko A. A. Biologization, ecologization, energy conservation, economics of modern farming systems // *Agricultural Bulletin Stavropol Region*. 2015. No. 2. P. 9–13.
60. Savchenko E. S. Governor of the Belgorod region Evgeny Savchenko: “The Stolypin scale case” [Electronic resource]. Access point: <https://abireg.ru/newsitem/29498> (reference's date: 23.05.2023).
61. Trofimova L. S., Trofimov I. A., Yakovleva E. P. Evaluation of agro-landscapes, challenges of their monitoring and management in Russia // In book: *New Methods and Results of Landscape Research in Europe, Central Asia and Siberia* / Ed. by Sychev V.G., Muller L. Vol. I Moscow: Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, 2018. P. 114–118. DOI: 10.25680/1411.2018.94.13.018.
62. Gulyanov Yu. A. Modern level of nature conservation and ways of soil resources reproduction in zonal agrotechnologies of the post-virgin regions of the Urals and Western Siberia // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021. No. 1 (25). P. 73–84. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-73-84.
63. Ivonin V. M., Voskoboinikova I. V. Landscape agroforestry reclamation // *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2021. Vol. 11. No. 3. P. 54–77. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-54-77.
64. Chekanyshkin A. S. Agroforestry reclamation in the system of agricultural landscapes // *Zemledelie*. 2003. No. 1. P. 8–9.
65. Gulyanov Yu. A. Methods of rational use of water resources in landscape-adaptive technologies of the steppe zone of the Orenburg Pre-Urals // *Materials of international scientific readings “Theoretical problems of ecology and evolution. Water quality and aquatic bioresources (VII Lyubishchev readings)”*. Togliatti: Anna, 2020. P. 238–244. DOI: 10.24411/9999-039A-2020-10055.
66. Gulyanov Yu. A. Strategies of innovative land-use and the role of natural-like agro-technologies in the ecological optimization of steppe landscapes // *Works of the State Nikit. Botan. Gard*. 2019. Vol. 148. P. 50–59. DOI: 10.25684/NBG.scbook.148.2019.05.
67. Shorina T. S. Soil reclamation: textbook. Orenburg: Orenburg State University Publ., 2012. 190 p.
68. Yasinsky S. V., Gusev E. M., Kashutina E. A. The efficiency of agrotechnical practices for the control of hydrological processes on small catchment areas during spring snow melting // *Eurasian Soil Science*. 2008. Vol. 41. No. 3. P. 286–293. DOI: 10.1007/s11475-008-3006-x.
69. Filippova A. V., Karakulev V. V. Agrobiocenoses optimization for stable grain production on chernozems southern Orenburg region // *Collection of articles of the VI International Scientific and Practical Conference of teachers, young scientists, graduate students and students “Innovative processes in AIC”*. Moscow: Peoples Friendship University of Russia (RUDN) Publ., 2014. P. 256–258.

70. Konstantinov M. M., Glushkov I. N., Pashinin S. S. The use of window portion reaper with a device for stubble coulisse formation in the snow retention process // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2012. No. 6(38). P. 81–83.

71. Astafyev V. L., Ivanchenko P. G., Malygin S. L. An effective way of accumulating winter precipitation moisture and technical equipment for its implementation // Agro-Industrial Complex of Russia. 2016. Vol. 75. No. 1. P. 59–64.

UDC 633.11:551.5

Gulyanov Yu. A.

**ROLE OF NATURE-LIKE TECHNOLOGIES AND RECLAMATION  
AGRICULTURAL-TECHNICAL MEASURES IN IMPROVING THE ECOLOGICAL  
SITUATION IN THE URAL RIVER BASIN**

*Summary.* The analysis of theoretical and experimental data in the field of containment of degradation processes of soil cover and assessment of the role of nature-like agrotechnologies, as well as reclamation agricultural and technical measures, are necessary for further land management and agricultural production in the development and implementation of measures aimed at improving the environmental situation in the Ural River basin. Sources of information: theoretical developments and experimental data of agricultural scientists and steppe scientists, as well as the results of our own field and expedition research in the steppe zone of Russia in 2018–2023 published in the open press. The negative impact of long-term agricultural use on the quality of lands, expressed in soil degradation and accompanied by partial or total loss of fertility or other quality deterioration associated with significant damage or complete destruction, was updated. The negative impact of degradation processes on the maintenance of landscape and ecological stability of the Ural River basin territory and the preservation of biodiversity was noted. The acceptability of the implementation of agricultural technologies and reclamation agricultural and technical measures based on the use of various technological methods and approaches based on imitation of natural processes (nature likeness) and aimed at reducing the load on agro-ecosystems and water resources, preserving their stability by reducing the intensity of water erosion processes and soil degradation, was substantiated. These technologies and methods, together with the optimization of the structure of agricultural land use, can significantly contribute to the ecological rehabilitation of the Ural River and its basin.

**Keywords:** Ural River basin, agricultural lands, agriculture, soil degradation, optimization of land use structure.

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; 460000, Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11; e-mail: iury.gulyanov@yandex.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, Pionerskaya str., Orenburg, 460000, Russia; e-mail: iury.gulyanov@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 24.10.2023.

Дата принятия к печати – 10.11.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10276740

EDN ETOJBI

УДК 579.64:632.51

Дидович С. В., Пась А. Н., Горгулько Т. В., Алексеенко О. П., Бараташвили З. А.

**ФИТОТОКСИЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ШТАММОВ-  
ФИТОИНГИБИТОРОВ НА *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L. И  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУРАХ**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** Разработка методов контроля расширения заселяемых амброзией площадей с помощью биологических методов имеет высокую актуальность в контексте обеспечения экологической безопасности страны. Цель исследований – анализ фитотоксичности штаммов-фитоингибиторов на сельскохозяйственных культурах и оценка эффективности их биорациональных гербицидных форм на *Ambrosia artemisiifolia* L. Исследования проводили в 2021–2022 гг. в отделе сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». В опытах использовали штаммы-фитоингибиторы *A. artemisiifolia* из крымской коллекции микроорганизмов НИИСХ Крыма и альгологической коллекции ИФХиБПП РАН. Исследование фитоингибирующей активности штаммов по отношению к 29 видам из 12 семейств сельскохозяйственных культур показало, что 16 протестированных видов растений (55,1 %) имели степень поражения 25–50 % при бактеризации штаммом *Fusarium* sp. 200Г, 17 видов (58,6 %) – 25–75 % при бактеризации штаммом *Fusarium* sp. 200ГР. Оценка гербицидной эффективности на *A. artemisiifolia* L. перспективных оригинальных препаративных форм на основе штаммов-фитоингибиторов: *Penicillium* sp. MSK3Г, *Fusarium* sp. 200ГР, *Fusarium* sp. 200ГР2 показала, что из девяти разработанных гербицидных форм выявлено семь со средним индексом токсичности (ИТФ = 0,5–0,7), из которых три – на основе штаммов *Penicillium* sp. MSK 3Г, *Fusarium* sp. 200ГР2 с ПФАК, *Fusarium* sp. 200ГР со степенью поражения до 7 % и две (*Fusarium* sp. 200ГР с ПФАК, *Penicillium* sp. MSK 3Г) – 15–23 %. Установлена высокая эффективность гербицидной формы *Penicillium* sp. MSK3Г с ПФАК, которая обеспечила снижение высоты на 6,2 см (44,2 %), фитомассы – на 0,17 г (60,7 %) и на 11 % – поражение растений амброзии полыннолистной. Данная форма характеризовалась сверхвысокой степенью ингибирующего воздействия (ИТФ = 0,47) ( $p < 0,5$ ). Препаративная форма на основе штамма фототрофной цианобактерии *Nostoc calcicola* 82 при низкой степени фитотоксичности (ИТФ = 0,71) обеспечила степень поражения амброзии полыннолистной на 15 %.

**Ключевые слова:** микроорганизмы-фитоингибиторы, биотоксичность, биогербициды, ингибирование роста, амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia* L.), сельскохозяйственные культуры.

**Для цитирования:** Дидович С. В., Пась А. Н., Горгулько Т. В., Алексеенко О. П., Бараташвили З. А. Фитотоксичность и эффективность штаммов-фитоингибиторов на *Ambrosia artemisiifolia* L. и сельскохозяйственных культурах // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4(36). С. 76–89. EDN: ETOJBI. DOI: 10.5281/zenodo.10276740.

**For citation:** Didovich S. V., Pas' A. N., Gorgul'ko T. P., Alekseenko O. P., Baratashvili Z. A. Phytotoxicity and efficacy of phyto-inhibitor strains on *Ambrosia artemisiifolia* L. and agricultural crops // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4(36). P. 76–89. EDN: ETOJBI. DOI: 10.5281/zenodo.10276740.

### Введение

*Ambrosia artemisiifolia* L. – карантинное сорное растение, распространенное в 56 субъектах России с площадью фитосанитарной зоны 12,7 млн га, причиняющее

биологический и технологический ущерб окружающей среде и земледелию, вызывающее массовое аллергическое заболевание – амброзийный поллиноз. Разработка методов контроля расширения заселяемых ею площадей и продуктивности растений с помощью биологических методов имеет высокую актуальность для обеспечения экологической безопасности страны.

Современные отечественные и зарубежные технологии выращивания сельскохозяйственных культур предусматривают использование гербицидов для защиты агроценозов от сорняков, что обуславливает огромный спрос на использование химических средств защиты растений (ХСЗР) в сельскохозяйственной практике [1–4]. При высокой засоренности посевов многие элементы технологий растениеводства (удобрения, продуктивные сорта, стимуляторы роста и так далее) без применения химических гербицидов (ХГ) оказываются практически напрасными из-за высоких потерь урожая. Однако все большее число сведений о токсическом действии ХГ на живые организмы [5–7], накоплении их остатков в окружающей среде и в посевах [8, 9], и появление резистентных к ХГ популяций сорных растений [10, 11] приводит к повсеместному снижению эффективности использования таких препаратов. Пятьдесят один вид сорных растений в мировой сельскохозяйственной практике приобрел устойчивость к «Глифосату» [12], демонстрируя большое разнообразие механизмов, определяющих эту устойчивость [13].

В рамках стратегии производства органической продукции растениеводства ведется поиск биологических путей защиты растений как альтернативы использования синтетических ксенобиотиков, разрабатываются биологические и биорациональные гербициды от сорных растений [14, 15]. В мировой индустрии биологических средств защиты растений (БСЗР) известны коммерциализированные биогербициды на основе следующих микроорганизмов: *Cylindrobasidium leave* (Fr.) Read («Stumpout», ЮАР) для контроля акаций в древесных питомниках, *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *malvae* («Mallet WP», США, Канада) против мальвы круглолистной *Malva pusilla* L. в посевах пшеницы, льна и чечевицы, *Xanthomonas campestris* pv. *roae* («Camperico», Япония) против мятлика однолетнего *Poa annua* L. на площадках для гольфа [16]. Известны биорациональные гербициды на основе растительных и синтетических компонентов – эфирных масел, кукурузного глютена, уксусной кислоты, смесей жирных кислот и прочее [15, 17, 18]. По последним аналитическим данным (2021 г.), в Соединенных Штатах Америки, Канаде, Китае и Южной Африке на рынке средств борьбы с сорной растительностью внедряются биологические и биорациональные гербициды (БГБ), в Российской Федерации к настоящему моменту не зарегистрировано ни одного подобного препарата [19]. Непостоянство эффективности биогербицидов зависит от многих сложно контролируемых факторов, среди которых: содержание биологически активных соединений, спектр сорняков, рецептуры и способ применения, что усложняет и ограничивает возможность их широкого применения [20].

**Цель исследований** – анализ фитотоксичности штаммов-фитоингибиторов на сельскохозяйственных культурах и оценка эффективности их биорациональных гербицидных форм на *Ambrosia artemisiifolia* L.

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

Исследования проводили в 2021–2022 гг. в отделе сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». Объектами исследования выступали штаммы гетеротрофных и фототрофных микроорганизмов из коллекций ФГБУН «НИИСХ Крыма» (<http://www.ckr-rg.ru/usu/507484/>) и альгологической коллекции ИФХиБПП РАН (<http://acssi.org>) с фитотоксичными свойствами для амброзии полыннолистной.

В лабораторных опытах для выявления гербицидной эффективности и фитотоксичности штаммов-фитоингибиторов использовали растения 29 видов сельскохозяйственных культур из 12 семейств, выращенных в пластиковых контейнерах объемом 200 мл на черноземе южном в условиях климатокamеры с контролируемым освещением, фотопериод составлял 10 ч. Почвенный субстрат увлажняли водой [21]. Обработку растений проводили через две недели после появления всходов опрыскиванием из расчета 2 мл рабочего раствора на растение. Рабочий раствор готовили из скошенного агарового блока с 14-суточной культурой штамма-ингибитора в 100 мл воды с массой мицелия 10–13 мг абсолютно сухой массы/мл. Степень поражения оценивали в %, измеряли высоту и биомассу 10 сельскохозяйственных растений в 10-кратной повторности. Контролем служила дистиллированная вода.

В лабораторном опыте оценивали эффективность действия на растениях *Ambrosia artemisiifolia* L. перспективных оригинальных препаративных форм на основе штаммов-фитоингибиторов: *Penicillium sp.* MSK3Г, *Fusarium sp.* 200ГР, *Fusarium sp.* 200ГР2, учитывая срок их хранения. Штаммы микромицетов культивировали на бобовой среде с сахарозой с добавлением (и без) поверхностно- и физиологически активных компонентов (ПФАК). Препаративные формы на основе штаммов микромицетов готовили на рекомендованных питательных средах [22], в которых масса мицелия составляла 10–13 мг а.с.м./мл суспензии и/или препаративной формы. Все биогербицидные препаративные формы перед обработкой растений гомогенизировали 60 с при 20000 об./мин [23]. Накопительную культуру штамма фототрофной цианобактерии получали на среде Громова в климатокamере при температурах 23–25 °С и контролируемом освещении с фотопериодом 12 ч [24].

Препаративные гомогенизированные цианобактериальные формы готовили из цианобактериальных накопительных культур путем перемешивания на механическом гомогенизаторе 60 сек. при 20000 об./мин. Биомассу штаммов цианобактерий определяли по абсолютно сухой массе (а.с.м.) мг/мл среды гравиметрическим методом. Биомасса штаммов цианобактерий в гербицидной форме составляла  $0,1 \times 10^3$  мг а.с.м./мл суспензии и/или препаративной формы.

Растения *A. artemisiifolia* выращивали из предварительно скарифицированных семян в сосудах с перфорированным дном объемом 200 мл на почвосмеси универсальной в условиях климатокamеры. Вариантами опыта были биогербицидные препаративные формы на основе штаммов микромицетов *Penicillium sp.* MSK 3Г, *Fusarium sp.* 200ГР, *Fusarium sp.* 200ГР2 разного срока хранения (две недели, месяц, три месяца) с ПФАК, и штаммы фототрофных микроорганизмов *Nostoc sphaeroides* 4, *N. calcicola* 82, *N. linckia* 144.

Растения обрабатывали рабочими растворами (доза 200 мкл/растение) в фазе 4–6 листьев методом опрыскивания. Через три недели оценивали продуктивность (высоту и фитомассу надземной части) амброзии полыннолистной и вычисляли индекс фитотоксичности и степень поражения в %.

В лабораторном опыте по определению фитотоксичных препаративных форм для амброзии полыннолистной оценивали эффективность их действия по показателям продуктивности растений – высоте и массе надземной части. Индекс фитотоксичности (ИТФ) определяли по итогам тестирования каждой растительной тест-культуры по формуле [25, 26]:

$$\text{ИТФ} = \text{ТФ}_0 / \text{ТФ}_к,$$

где  $\text{ТФ}_0$  – среднее значение показателя в опыте,  $\text{ТФ}_к$  – среднее значение этого же регистрируемого показателя в контроле.

Среднее значение индекса токсичности для каждого растения рассчитывали по формуле:  $\text{ИТФ СР} = (\text{ИТФ}_1 + \text{ИТФ}_2 \dots) / n$ , где  $\text{ИТФ}_1$ ,  $\text{ИТФ}_2$ , и т.д. – индексы



токсичности, рассчитанные для каждого показателя продуктивности растений,  $n$  – количество показателей. Для оценки фитотоксичности использовали шкалу токсичности почв в модификации Багдасаряна А. С. [27]. Шкала включает шесть классов токсичности – I (сверхвысокая, вызывающая гибель тест-объекта), II (высокая, ИТФ < 0,50), III (средняя, ИТФ 0,50–0,70), IV (низкая, ИТФ 0,71–0,90), V (норма, ИТФ 0,91–1,10), VI (стимуляция, ИТФ > 1,1).

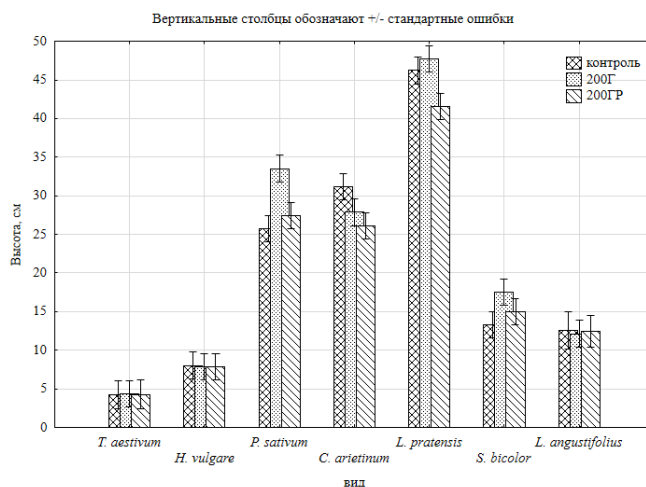
Статистическую обработку данных проводили с использованием компьютерной программы Statistica 10.

### Результаты и их обсуждение

В предыдущих многолетних лабораторных и вегетационных опытах по изучению влияния штаммов-фитоингибиторов и их биорациональных гербицидных форм на растения амброзии полыннолистной нами установлено, что штаммы *Fusarium sp.* 200Г и его реактивированная через растение амброзии форма *Fusarium sp.* 200ГР, *Penicillium sp.* MSK3Г проявляли высокую гербицидную активность [28].

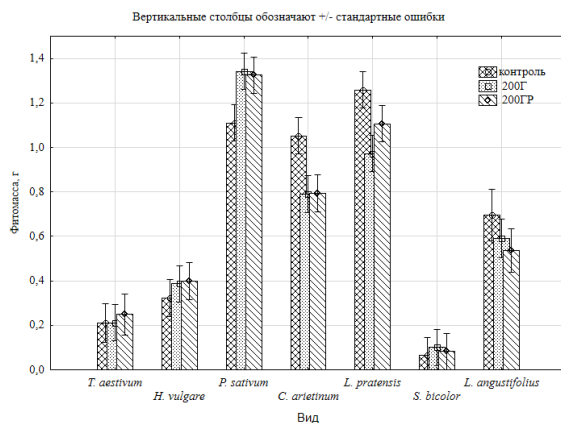
На данном этапе исследования в условиях лабораторного опыта проведена оценка фитотоксичности активных гербицидных штаммов и специфичности их влияния на сельскохозяйственных растениях 29 видов из 12 семейств (зерновых, зернобобовых, масличных, овощных и эфиромасличных культур).

Установлено, что высота ( $h$ ) и фитомасса ( $m$ ) у обработанных штаммами 200Г и 200ГР растений из двух семейств: Poaceae – *Triticum aestivum* (пшеница мягкая), *Hordeum vulgare* (ячмень обыкновенный), *Sorghum bicolor* (сорго зерновое) и Fabaceae – *Lupinus angustifolius* (люпин узколистный) были на уровне контрольных в пределах ошибки опыта ( $p < 0,05$ ) (рисунки 1, 2).



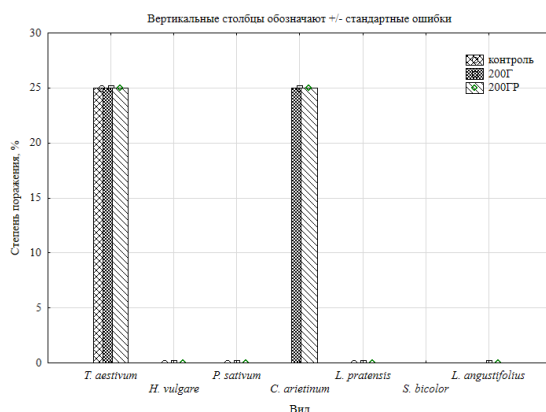
**Рисунок 1 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на высоту растений зерновых и зернобобовых культур**

Бактеризация штаммом 200Г обеспечила существенное повышение высоты и массы растений *Pisum sativum* (горох посевной) на 7,8 см (30,3 %) и 0,24г (20,7 %), штаммом 200 ГР – на 0,21 г (18,9 %) в сравнении с контролем (25,7 см, 1,11 г) ( $p < 0,05$ ). Обработка штаммом 200Г растений *Cicer arietinum* (нут бараний) достоверно снижала фитомассу на 0,26 г (24,7 %), штаммом 200ГР – высоту и фитомассу – на 5 см и 0,26 г (17,1 и 24,7 %) в сравнении с контролем (31,1 см, 1,05 г) ( $p < 0,05$ ). Обработка штаммом 200ГР растений *Lathyrus pratensis* (чина луговая) снижала высоту на 4,7 см (10,1 %) и штаммом 200Г – фитомассу на 0,28 г (22,4 %) по сравнению с контролем (46,2 см, 1,25 г) ( $p < 0,05$ ).



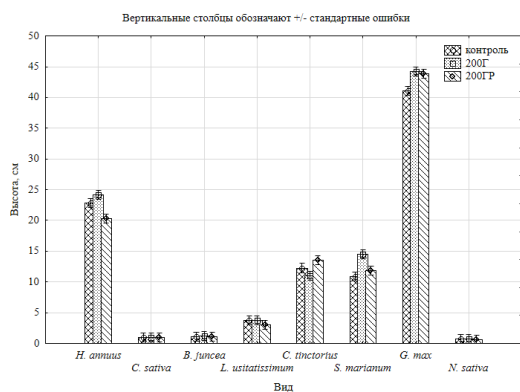
**Рисунок 2 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на фитомассу зерновых и зернобобовых культур**

Максимально восприимчивым к поражению штаммами был *C. arietinum* с поражением растений 25 % по отношению к контролю ( $p < 0,05$ ) (рисунок 3). Необходимо отметить, что контрольные растения *T. aestivum* имели поражения 25 %, и бактерицизация не увеличила данный показатель.

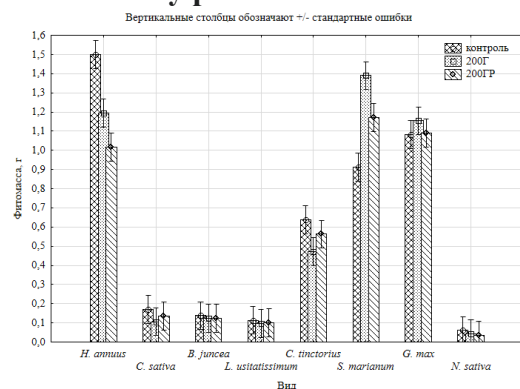


**Рисунок 3 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на степень поражения зерновых и зернобобовых культур**

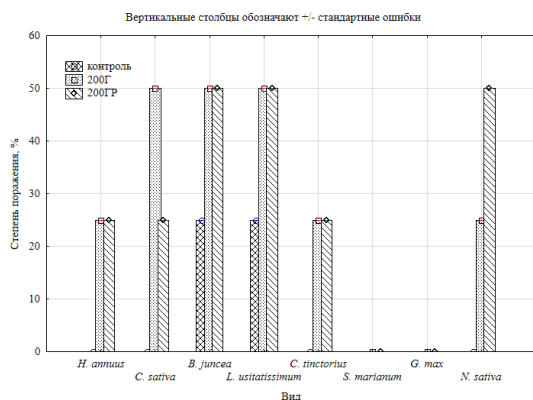
Показатели высоты и фитомассы растений *Camelina sativa* (рыжик яровой), *Brassica juncea* (горчица сарептская), *Linum usitatissimum* (лен посевной), *Nigella sativa* (тмин черный) находились на уровне контрольных в пределах ошибки опыта ( $p < 0,05$ ) (рисунки 4, 5). В опытных вариантах морфометрические показатели растений *Silybum marianum* (расторопша пятнистая) – высота и масса при обработке штаммом 200Г достоверно увеличивались на 3,5 см (32,1 %) и 0,48 г (52,7 %), в варианте с 200ГР – фитомасса увеличилась на 0,26 г (28,5 %) по сравнению с контролем (10,9 см, 0,91 г) ( $p < 0,05$ ). Существенное снижение показателей фитомассы – на 0,3 г (20,1 %) выявлено у растений *Helianthus annuus* (подсолнечник однолетний) при обработке штаммом 200Г, высоты – на 2,5 см (10,9 %) и массы – на 0,48 г (32,2 %) при обработке штаммом 200ГР по сравнению с контролем (22,8 см, 1,49 г) ( $p < 0,05$ ). Из масличных культур четырех семейств (Brassicaceae, Asteraceae, Linaceae, Fabaceae) восприимчивость к биогербицидной бактерицизации проявили шесть видов растений: *H. annuus*, *C. sativa*, *B. juncea*, *L. usitatissimum*, *C. tinctorius*, *N. sativa*, поражения которых составили 25–50 % по отношению к контролю ( $p < 0,05$ ) (рисунок 6).



**Рисунок 4 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на высоту растений масличных культур**



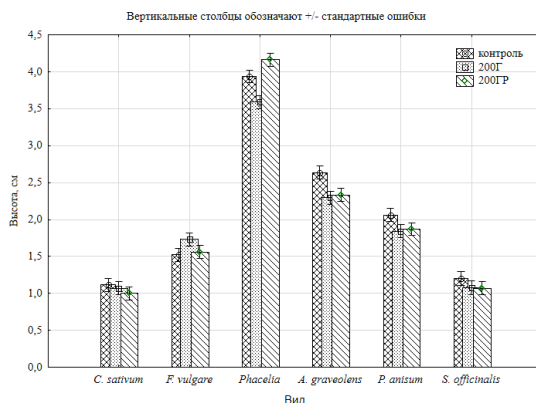
**Рисунок 5 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на фитомассу масличных культур**



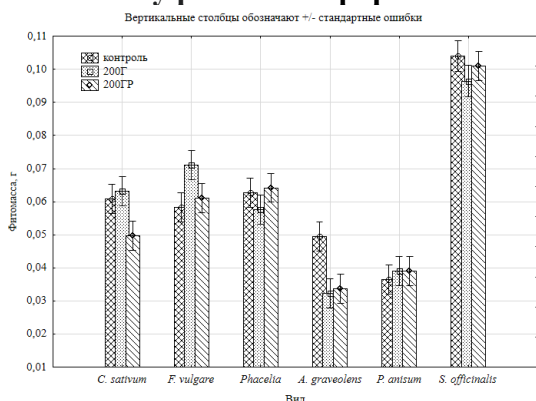
**Рисунок 6 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на степень поражения масличных культур**

Установлено, что у растений *Coriandrum sativum* и *Salvia officinalis* показатели высоты и фитомассы находились на уровне контрольных в пределах ошибки опыта ( $p < 0,05$ ) (рисунки 7, 8). Существенно возростала высота и масса у растений *Foeniculum vulgare* на 0,21 см (13,8 %) и 0,02 г (40 %) соответственно к контролю (1,52 см, 0,05 г) ( $p < 0,05$ ). Высота растений *Pimpinella anisum* снижалась на 0,22 см (10,6 %) и 0,19 см (9,2 %) при обработке штаммами 200Г и 200ГР соответственно в сравнении с контролем (2,06 см) ( $p < 0,05$ ). Бактеризация значительно снижала высоту и фитомассу растений *Anethum graveolens* – на 0,34 см (12,9 %) и 0,01 г (25 %) при обработке штаммом 200Г, и на 0,3 см (11,4 %) и 0,01 г (25 %) – под действием штамма 200ГР по сравнению с контролем (2,63 см, 0,04 г) ( $p < 0,05$ ). У растений *Phacelia tanacetifolia* достоверно

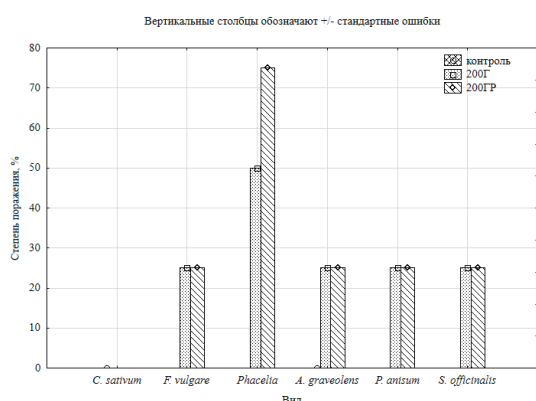
снижалась под действием штамма 200Г высота – на 0,34 см (16,6 %) и фитомасса – на 0,01 г (16,6 %) по сравнению с контролем (2,63 см, 0,04 г) ( $p < 0,05$ ). Выявлены существенные поражения (на 25–75 %) у пяти видов растений: *F. vulgare*, *Ph. tanacetifolia*, *A. graveolens*, *P. anisum*, *S. officinalis* из эфиромасличных культур семейств Hydrophyllaceae, Apiaceae, Lamiaceae ( $p < 0,05$ ) (рисунок 9).



**Рисунок 7 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на высоту растений эфиромасличные культуры**



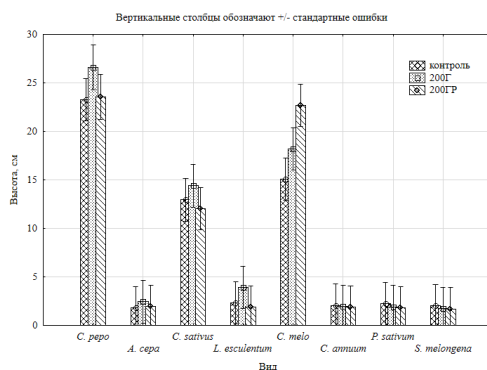
**Рисунок 8 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на фитомассу эфиромасличные культуры**



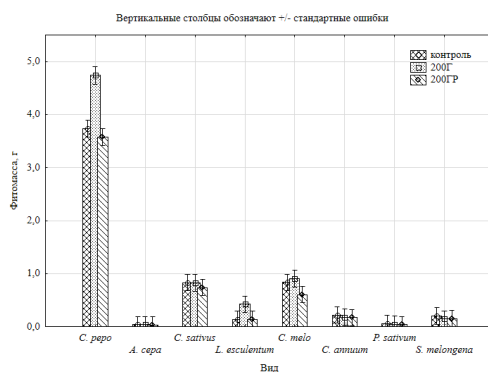
**Рисунок 9 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на степень поражения эфиромасличных культур**

Установлено, что у растений *Allium cepa*, *Capsicum annuum*, *Petroselinum sativum*, *Solanum melongena* показатели высоты и фитомассы находились на уровне контрольных в пределах ошибки опыта ( $p < 0,05$ ) (рисунки 10, 11). Бактеризация штаммом 200Г

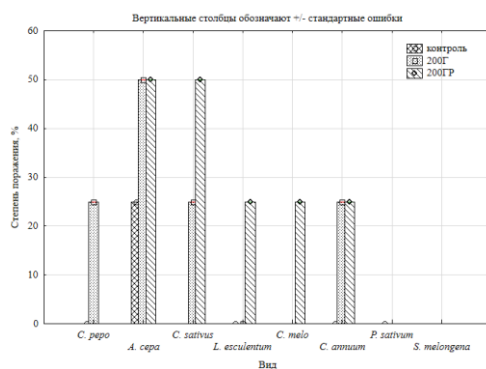
существенно повышала массу (на 1,01 г (27 %) у растений *Cucurbita pepo* по сравнению с контролем (3,73 г), штаммом 200ГР – высоту на 7,63 см (50,6 %) у растений *Cucumis melo* в сравнении с контролем (15,07 см) ( $p < 0,05$ ). Однако выявлено достоверное поражение на 25–50 % по сравнению с контролем ( $p < 0,05$ ) у шести видов растений: *C. pepo*, *A. cepa*, *Cucumis sativus*, *Lycopersicon esculentum* (томат), *C. melo*, *C. annuum* семейств *Ariaceae*, *Cucurbitaceae*, *Alliaceae*, *Solanaceae* (рисунок 12).



**Рисунок 10 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на высоту растений овощных культур**



**Рисунок 11 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на фитомассу овощных культур**



**Рисунок 12 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на степень поражения овощных культур**

Таким образом, восприимчивыми к бактериализации двумя фитотоксичными штаммами являются виды, поражения которых в виде некрозов, грибных налетов, хлорозов, гнили составляло:

- до 25 %: *C. arietinum*, *H. annuus*, *B. juncea*, *L. usitatissimum*, *C. tinctorius*, *F. vulgare*, *A. graveolens*, *P. anisum*, *S. officinalis*, *C. pepo*, *A. cepa*, *L. esculentum*, *C. melo*, *C. annuum*;
- от 26 до 50 %: *C. sativa*, *N. sativa*, *C. sativus*;
- от 51 до 75 % – *Phacelia*.

Среди устойчивых к биогербицидной обработке двумя фитотоксичными штаммами выявлены 11 видов растений: *L. pratensis*, *L. angustifolius*, *P. sativum*, *T. aestivum*, *S. bicolor*, *H. vulgare*, *G. max*, *S. marianum*, *C. sativum*, *P. sativum*, *S. melongena*.

Следующим этапом исследования была разработка биорациональных гербицидных форм на основе штаммов-фитоингибиторов. В лабораторном опыте по изучению гербицидной эффективности перспективных препаративных форм и сроков их хранения на *A. artemisiifolia* установлена степень их фитотоксичности по уровню воздействия на биометрические показатели растений. Оценка влияния биогербицидных препаративных форм по воздействию на высоту растений показала во всех вариантах достоверное снижение данного показателя от 20 до 40 % (на 2,8–5,6 см) по сравнению с контролем (14,0 см) (таблица).

**Таблица – Влияние биогербицидных микробных препаративных форм на показатели продуктивности и степень поражения растений *A. artemisiifolia* (лабораторный опыт, 2022 г)**

Вариант обработки	Высота h		Масса m		ИТФ ср.	% поражения
	см ±SE	ИТФ	г ±SE	ИТФ		
Контроль (вода)	14,0 ± 1,6	-	0,28 ± 0,03	-		0
Срок хранения препаративной формы две недели						
<i>Penicillium sp.</i> MSK 3Г	9,4 ± 0,5	0,67	0,15 ± 0,06	0,54	0,6	3
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР	8,4 ± 0,1	0,6	0,19 ± 0,04	0,69	0,64	3
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР2	11,2 ± 0,9	0,8	0,28 ± 0,08	1,0	0,9	6
Срок хранения препаративной формы месяц						
<i>Penicillium sp.</i> MSK 3Г	10,6 ± 1,3	0,76	0,17 ± 0,08	0,63	0,69	23
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР	8,5 ± 1,5	0,61	0,16 ± 0,05	0,57	0,59	7
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР2	10,8 ± 1,0	0,77	0,29 ± 0,09	1,04	0,9	1,6
Срок хранения препаративной формы с культивированием ПФАК две недели						
<i>Penicillium sp.</i> MSK 3Г	7,8 ± 0,5	0,55	0,11 ± 0,01	0,39	0,47	11
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР	9,8 ± 0,4	0,7	0,11 ± 0,02	0,39	0,54	15
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР2	10,7 ± 0,7	0,76	0,22 ± 0,06	0,8	0,78	3
Срок хранения препаративной формы две недели + ПФАК перед обработкой						
<i>Penicillium sp.</i> MSK3Г	9,0 ± 1,0	0,64	0,24 ± 0,07	0,85	0,74	3
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР	9,4 ± 1,0	0,67	0,22 ± 0,01	0,78	0,72	6
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР2	8,8 ± 0,8	0,63	0,16 ± 0,04	0,58	0,6	0
Срок хранения препаративной формы месяц + ПФАК перед обработкой						
<i>Penicillium sp.</i> MSK3Г	10,4 ± 2,4	0,74	0,26 ± 0,09	0,94	0,84	20
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР	9,8 ± 1,6	0,7	0,25 ± 0,08	0,91	0,8	1,6
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР2	10,1 ± 1,1	0,72	0,15 ± 0,04	0,55	0,63	5
Срок хранения препаративной формы три месяца + ПФАК перед обработкой						
<i>Penicillium sp.</i> MSK 3Г	10,3 ± 1,5	0,73	0,23 ± 0,02	0,83	0,78	8
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР	10,6 ± 1,2	0,75	0,20 ± 0,03	0,71	0,73	0
Препаративные формы на основе <i>Nostoc</i>						
<i>Nostoc sphaeroides</i> 4	13,1 ± 0,9	0,93	0,28 ± 0,04	1,02	0,97	0
<i>Nostoc calcicola</i> 82	10,5 ± 1,0	0,7	0,20 ± 0,02	0,73	0,71	15
<i>Nostoc linckia</i> 144	11,4 ± 0,7	0,81	0,17 ± 0,01	0,61	0,71	6,6

**Примечание.** ИТФ – индекс фитотоксичности; ПФАК – поверхностно и физиологически активные компоненты; SE – стандартная ошибка.

Существенное снижение массы растений – от 32,1 % до 60 % (на 0,09–0,17 г) обеспечила обработка препаративными биогербицидными формами на основе

*Penicillium sp.* MSK 3Г и *Fusarium sp.* 200ГР со сроком хранения две недели и месяц с совместным культивированием ПФАК по сравнению с контролем (0,28 г) ( $p < 0,05$ ). Также выявлено значительное снижение фитомассы – на 42,8–46 % (0,12–0,13 г) в сравнении с контролем (0,28 г) в вариантах *Fusarium sp.* 200ГР2 со сроком хранения две недели и месяц с добавлением ПФАК перед обработкой ( $p < 0,05$ ). Из препаративных форм на основе *Nostoc* штамм *N. linckia* 144 снижал фитомассу растений на 39,2 % (на 0,11 г) в сравнении с контролем (0,28 г) ( $p < 0,05$ ). Можно отметить, что препаративные формы со сроком хранения две недели и месяц проявили стабильность ингибирования.

Согласно шкале токсичности по модификации Багдасаряна А. С., выявлено 11 гербицидных форм с низкой степенью токсичности (ИТФ = 0,71–0,9) и степенью поражения растений от 1,6 до 8 %, две из них (*Nostoc calcicola* 82, *Penicillium sp.* MSK3Г+ПФАК) поражали растения на 15–20 %. Выявлено семь гербицидных форм со средней степенью токсичности (ИТФ = 0,5–0,7), из которых три (*Penicillium sp.* MSK 3Г со сроком хранения один месяц, *Fusarium sp.* 200ГР2 со сроком хранения месяц и добавлением ПФАК перед обработкой, *Fusarium sp.* 200ГР со сроком хранения две недели) со степенью поражения до 7 % и две (*Fusarium sp.* 200ГР с совместным культивированием ПФАК и сроком хранения две недели, *Penicillium sp.* MSK 3Г со сроком хранения один месяц) – 15–23 % ( $p < 0,05$ ).

Установлена высокая эффективность ингибирования растений гербицидной формой *Penicillium sp.* MSK 3Г (с добавлением при культивировании ПФАК при сроке хранения две недели).

### Выводы

Проведена оценка фитотоксичности штаммов-фитоингибиторов *A. artemisiifolia* L. на 29 видах сельскохозяйственных растений из 12 семейств. Установлено, что 55,1 % протестированных видов растений (16 из 29) имели степень поражения 25–50 % при бактериализации штаммом *Fusarium sp.* 200Г, 58,6 % (17 из 29) – получили степень поражения 25–75 % при бактериализации штаммом *Fusarium sp.* 200ГР. Высокая восприимчивость к поражению (50–75 %) обнаружена у видов: *C. sativa*, *N. sativa*, *C. sativus*, *Phacelia*.

Установлена высокая эффективность ингибирования *A. artemisiifolia* гербицидной формой на основе штамма-фитоингибитора *Penicillium sp.* MSK 3Г (с добавлением при культивировании ПФАК и сроке хранения две недели), которая достоверно обеспечила снижение высоты на 6,2 см (44,2 %), фитомассы – на 0,17 г (60,7 %), 11 % поражение растений и характеризовалась сверхвысокой степенью воздействия (ИТФ = 0,47).

### Литература

1. Моисеева С. А., Рябкин Е. А., Каргин В. И., Камалихин В. Е. Влияние гербицидов Фенизан и Лорнет на структурные показатели озимой пшеницы // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 79-2. С. 143–146. DOI: 10.18411/trnio-11-2021-84.
2. Бопп В. Л., Данилова М. Е. Люпин узколистный: влияние гербицидов и удобрений на продуктивность зеленой массы // Вестник КрасГАУ. 2020. № 5. С. 73–79. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-5-73-79.
3. Никифоров В. М., Силаев А. Л., Чекин Г. В., Смольский Е. В., Никифоров М. И., Нечаев М. М. Применение современных гербицидов при возделывании яровой пшеницы // Вестник Брянского ГСХА. 2018. № 1(65). С. 23–27.
4. Захарычев В. В. Химия гербицидов: учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 592 с.
5. Paganelli A., Gnazzo V., Acosta H., Lopez S. L., Carrasco A. E. Glyphosate-based herbicides produce teratogenic effects on vertebrates by impairing retinoic acid signaling // Chem Res Toxicol. 2010. No. 23(10). P. 1586–1595. DOI: 10.1021/TX1001749.
6. Свиридов А. В., Шушкова Т. В., Ермакова И. Т., Иванова Е. В., Эпиктетов Д. О., Леонтьевский А. А. Микробная деградация гербицида глифосата (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2015. Т. 51. № 2. С. 183–190. DOI: 10.7868/S0555109915020221.

7. Flach H., Lenz A., Pfeffer S., Kühl M., Kühl S. J. Impact of glyphosate-based herbicide on early embryonic development of the amphibian *Xenopus laevis* // *Aquat Toxicol.* 2022. Vol. 244. Art. No. 106081. DOI: 10.1016/J.Aquattox.2022.106081.
8. Annett R., Habibi H. R., Hontela A. Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicides on the freshwater environment // *J Appl Toxicol.* 2014. No. 34(5). P. 458–479. DOI: 10.1002/JAT.2997.
9. Kwiatkowska M., Jarosiewicz P., Bukowska B. Glyphosate and its formulations – toxicity, occupational and environmental exposure // *Med Pr.* 2013. No. 64(5). P. 717–729. DOI: 10.13075/MP.5893.2013.0059.
10. Vink J. P., Soltani N., Robinson D. E., Tardif F. J., Lawton M. B., Sikkema P. H. Glyphosate-resistant giant ragweed (*Ambrosia trifida* L.) in Ontario: dose response and control with postemergence herbicides // *American Journal of Plant Sciences.* 2012. Vol 3. No. 5. P. 608–617. DOI: 10.4236/ajps.2012.35074.
11. Domínguez-Valenzuela J. A., de la Cruz R. A., Palma-Bautista C., Vázquez-García J. G., Cruz-Hipolito H. E., De Prado R. Non-target site mechanisms endow resistance to glyphosate in saltmarsh aster (*Aster squamatus*) // *Plants.* 2021. Vol. 10. Iss. 9. Art. No. 1970. DOI: 10.3390/plants10091970.
12. Heap I., O Duke St. Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide // *Pest Manag Sci.* 2018. No. 74 (5). P. 1040–1049. DOI: 10.1002/ps.4760.
13. Gaines T. A., Patterson E. L., Neve P. Molecular mechanisms of adaptive evolution revealed by global selection for glyphosate resistance // *New Phytol.* 2019. Vol. 223. No. 4. P. 1770–1775. DOI: 10.1111/nph.15858.
14. Shaw R., Schaffner U., Marchante E. The regulation of biological control of weeds in Europe – an evolving landscape // *EPPO Bull.* Vol. 46. P. 254–258. DOI: 10.1111/epp.12308.
15. Берестецкий А. О. Перспективы разработки биологических и биорациональных гербицидов // *Вестник защиты растений.* 2017. № 1(91). С. 5-12. EDN: YRVSLN.
16. Copping L. G., Duke S. O. Natural products that have been used commercially as crop protection agents // *Pest Management Science.* 2007. Vol. 63. Is. 6. P. 524–554. DOI: 10.1002/ps.1378.
17. Дидович С. В., Пась А. Н., Алексеенко О. П. Перспективы создания биогербицидов для контроля численности амброзии // *Сборник тезисов международной научной конференции «Растения и микроорганизмы: биотехнология будущего».* Санкт-Петербург, 2022. С. 81. EDN: FUTYFF.
18. Яценко Е. С., Лейтес Е. А., Петухов В. А., Ключков Г. К., Ермакова А.В. Разработка безопасного гербицида на основе растительного сырья // *Научно-агрономический журнал.* 2022. № 4 (119). С. 19–23. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.003.19-23.
19. Голубев А. С., Берестецкий А. О. Перспективные направления использования биологических и биорациональных гербицидов в растениеводстве России (обзор) // *Сельскохозяйственная биология.* 2021. Т. 56. № 5. С. 868–884. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.5.868rus.
20. Hasan M., Ahmad-Hamdani M. S., Rosli A. M., Hamdan H. Bioherbicides: an eco-friendly tool for sustainable weed management // *Plants.* 2021. No. 10 (6). Art. No. 1212. DOI: 10.3390/plants10061212.
21. *Experimental soil microbiology: monograph* // Ed. by Volkogon V.V. Kiev: Agrarna nauka, 2010. 446 p.
22. Дудка И. А. Методы экспериментальной микологии: справочник. Киев: Наукова думка, 1982. 552 с.
23. Темралеева А. Д., Дронова С. А., Москаленко С. В., Дидович С. В. Современные методы выделения, очистки и культивирования почвенных цианобактерий // *Микробиология.* 2016. Т. 85. № 4. С. 369–380. DOI: 10.1134/S0026261716040159.
24. Завалин А. А. Потоки азота в агрофитоценозе на дерново-подзолистых почвах: (к 150-летию со дня рождения Д.Н. Прянишникова). М.: ВНИИА, 2015. 95 с.
25. Багдасарян А. С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов: Автореф. дисс... канд. биол. наук. Ставрополь: Ставропольский государственный университет, 2005. 25 с.
26. Кабиров Р. Р., Хазипова Р. Х. Альгологический метод оценки токсичности ПАВ // В кн.: *Биоиндикация и биомониторинг.* М.: Наука, 1991. С. 282–285.
27. *Практикум по агроэкологии: учебное пособие* // Под ред. Орловой Е. Е. Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2011. 148 с.
28. Дидович С. В., Данилова И. Л., Пась А. Н., Алексеенко О. П. Биорациональный способ игибирования 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.

## References

1. Moiseeva S. A., Ryabkin E. A., Kargin V. I., Kamalikhin V. E. Influence of herbicides Fenizan and Lornet on structural indicators of winter wheat // *Trends in the development of science and education.* 2021. No. 79-2. P. 143–146. DOI: 10.18411/trnio-11-2021-84.



2. Bopp V. L., Danilova M. E. Narrow-leaved lupine: the influence of herbicides and fertilizers on green mass productivity // Bulletin of KSAU. 2020. No. 5. P. 73–79. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-5-73-79.
3. Nikiforov V. M., Silaev A. L., Chekin G. V., Smolskii E. V., Nikiforov M. I., Nechaev M. M. Application of modern herbicides when cultivating spring wheat // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2018. No. 1 (65). P. 23–27.
4. Zakharychev V. V. Chemistry of herbicides: a textbook for universities. Saint Petersburg: Lan', 2021. 592 p.
5. Paganelli A., Gnazzo V., Acosta H., Lopez S. L., Carrasco A. E. Glyphosate-based herbicides produce teratogenic effects on vertebrates by impairing retinoic acid signaling // Chem Res Toxicol. 2010. No. 23(10). P. 1586–1595. DOI: 10.1021/TX1001749.
6. Sviridov A. V., Shushkova T. V., Ermakova I. T., Ivanova E. V., Epiktetov D. O., Leontievsky A. A. Microbial degradation of glyphosate herbicides (review) // Applied Biochemistry and Microbiology. 2015. Vol. 51. No. 2. P. 183–190. DOI: 10.7868/S0555109915020221.
7. Flach H., Lenz A., Pfeffer S., Kühl M., Kühl S. J. Impact of glyphosate-based herbicide on early embryonic development of the amphibian *Xenopus laevis* // Aquat Toxicol. 2022. Vol. 244. Art. No. 106081. DOI: 10.1016/J.Aquatox.2022.106081.
8. Annett R., Habibi H. R., Hontela A. Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicides on the freshwater environment // J Appl Toxicol. 2014. No. 34(5). P. 458–479. DOI: 10.1002/JAT.2997.
9. Kwiatkowska M., Jarosiewicz P., Bukowska B. Glyphosate and its formulations – toxicity, occupational and environmental exposure // Med Pr. 2013. No. 64(5). P. 717–729. DOI: 10.13075/MP.5893.2013.0059.
10. Vink J. P., Soltani N., Robinson D. E., Tardif F. J., Lawton M. B., Sikkema P. H. Glyphosate-resistant giant ragweed (*Ambrosia trifida* L.) in Ontario: dose response and control with postemergence herbicides // American Journal of Plant Sciences. 2012. Vol 3. No. 5. P. 608–617. DOI: 10.4236/ajps.2012.35074.
11. Domínguez-Valenzuela J. A., de la Cruz R. A., Palma-Bautista C., Vázquez-García J. G., Cruz-Hipolito H. E., De Prado R. Non-target site mechanisms endow resistance to glyphosate in saltmarsh aster (*Aster squamatus*) // Plants. 2021. Vol. 10. Iss. 9. Art. No. 1970. DOI: 10.3390/plants10091970.
12. Heap I., O Duke St. Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide // Pest Manag Sci. 2018. No. 74 (5). P. 1040–1049. DOI: 10.1002/ps.4760.
13. Gaines T. A., Patterson E. L., Neve P. Molecular mechanisms of adaptive evolution revealed by global selection for glyphosate resistance // New Phytol. 2019. Vol. 223. No. 4. P. 1770–1775. DOI: 10.1111/nph.15858.
14. Shaw R., Schaffner U., Marchante E. The regulation of biological control of weeds in Europe – an evolving landscape // EPPO Bull. Vol. 46. P. 254–258. DOI: 10.1111/epp.12308.
15. Berestetskiy A. O. Prospects for development of biological and biorational herbicides // Plant Protection News. 2017. No. 1(91). P. 5–12. EDN: YRVSLN.
16. Copping L. G., Duke S. O. Natural products that have been used commercially as crop protection agents // Pest Management Science. 2007. Vol. 63. Iss. 6. P. 524–554. DOI: 10.1002/ps.1378.
17. Didovich S. V., Pas' A. N., Alekseenko O. P. Prospects of creating bioherbicides to control the number of ragweed // Collection of abstracts of the international scientific conference “Plants and microorganisms: biotechnology of future”. Saint-Petersburg, 2022. P. 81. EDN: FUTYFF.
18. Yatsenko E. S., Leites E. A., Petukhov V. A., Klochkov G. K., Ermakova A. V. Safe herbicide development based on plant raw materials // Scientific Agronomy Journal. 2022. No. 4 (119). P. 19–23. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.003.19-23.
19. Golubev A. S., Berestetskiy A. O. Future directions for use of biological and biorational herbicides in Russia (review) // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2021. Vol. 56. No. 5. P. 868–884. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.5.868eng.
20. Hasan M., Ahmad-Hamdani M. S., Rosli A. M., Hamdan H. Bioherbicides: an eco-friendly tool for sustainable weed management // Plants. 2021. No. 10 (6). Art. No. 1212. DOI: 10.3390/plants10061212.
21. Experimental soil microbiology: monograph // Ed. by Volkogon V.V. Kiev: Agrarna nauka, 2010. 446 p.
22. Dudka I. A. Methods of experimental mycology: a reference book. Kiev: Naukova dumka, 1982. 552 p.
23. 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.
24. Bagdasaryan A. S. Biotesting of soils of technogenic zones of urban territories using plant organisms: Author's abstract of Diss... Cand. Sc. (Biol.). Stavropol: Stavropol State University, 2005. 25 p.
25. Kabirov R. R., Khazipova R. H. Algological method for assessing the toxicity of surfactants // In book: Bioindication and biomonitoring. Moscow: Nauka, 1991. P. 282–285.

26. Workshop on agroecology: textbook // Ed. by Orlova E.E. St. Petersburg: St. Petersburg University Publ., 2011. 148 p.

27. 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.

UDC 579.64:632.51

Didovich S. V., Pas' A. N., Gorgulko T. V., Alekseenko O. P., Baratashvili Z. A.  
**PHYTOTOXICITY AND EFFICACY OF PHYTO-INHIBITOR STRAINS ON  
AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA L. AND AGRICULTURAL CROPS**

**Summary.** *The development of biological methods to control ragweed infestation is of significant importance to our nation's environmental security. The aim of the work was to study the phytotoxicity of phyto-inhibitor strains on agricultural crops and to evaluate the effectiveness of their biorational herbicidal forms on *Ambrosia artemisiifolia* L. The studies were carried out in 2021-2022 in the Department of Agricultural Microbiology of the FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea". In the experiments, we used strains phyto-inhibitors of *A. artemisiifolia* L. from two bioresource collections: Crimean Collections of Microorganisms of Research Institute of Agriculture of Crimea"; Algal Collection of Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science of the Russian Academy of Sciences. A study of the phyto-inhibitory activity of the strains on 29 species from 12 families of agricultural crops showed that *Fusarium* sp. 200Г caused 25–50 % damage to 16 tested plant species (55.1 %), while *Fusarium* sp. 200ГР caused 25–75 % damage to 17 species (58.6 %). Evaluation of herbicidal efficiency of promising original formulations based on strains of *A. artemisiifolia* L. phyto-inhibitors, namely *Penicillium* sp. MSK3Г, *Fusarium* sp. 200ГР, *Fusarium* sp. 200ГР2 revealed that seven out of nine developed herbicide forms showed an average toxicity index (ITF = 0.5–0.7), three of which (based on strains *Penicillium* sp. MSK3Г, *Fusarium* sp. 200ГР2 with superficially and physiologically active components (SPAC), *Fusarium* sp. 200ГР) provided weed damage at the level of 7%; two (*Fusarium* sp. 200ГР with SPAC, *Penicillium* sp. MSK 3Г) – resulted in damage from 15 to 23%. High efficiency of herbicidal form of *Penicillium* sp. MSK 3Г with SPAC was established. It provided a decrease in height by 6.2 cm (44.2 %) and phytomass by 0.17 g (60.7 %), as well as ragweed plants damage by 11 %. This herbicidal form was characterized by an ultra-high inhibitory effect (ITF = 0.47) ( $p < 0.5$ ). The preparative form based on the strain of phototrophic cyanobacterial *Nostoc calcicola* 82 had a low degree of phytotoxicity (ITF = 0.71) and caused a damage of ragweed at the level of 15 %.*

**Keywords:** *microorganisms phyto-inhibitors, biotoxicity, bioherbicides, growth inhibition, *Ambrosia artemisiifolia* L., agricultural crops.*

Дидович Светлана Витальевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, лаборатории растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: sv-alex.68@mail.ru.

Пась Анна Николаевна, младший научный сотрудник, лаборатория растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: annapass@mail.ru.

Горгулько Татьяна Владимировна, научный сотрудник, лаборатории растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: t.gorgulko@gmail.com.

Алексеенко Ольга Петровна, ведущий микробиолог, лаборатория растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский

институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: olya.alekseenko1975@gmail.com.

Бараташвили Зинеп Асановна, микробиолог, лаборатория растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: zinepb@bk.ru.

Didovich Svetlana Vitalievna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: sv-alex.68@mail.ru.

Pas' Anna Nikolaevna, junior researcher, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: annapass@mail.ru.

Gorgulko Tatiana Vladimirovna, researcher, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: t.gorgulko@gmail.com.

Alekseenko Olga Petrovna, leading microbiologist, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: olya.alekseenko1975@gmail.com.

Baratashvili Zinep Asanovna, microbiologist, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: zinepb@bk.ru.

*Дата поступления в редакцию – 02.10.2023.*

*Дата принятия к печати – 20.10.2023.*

DOI 10.5281/zenodo.10348790  
EDN VOELUF  
УДК 63:55; 631.15;551.502(47)

Дунаева Е. А., Бойко Н. Г.

**СРАВНЕНИЕ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ОЦЕНОК ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И  
ОСАДКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И НАЗЕМНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** В условиях богарного земледелия в аридных регионах одними из наиболее существенных факторов, которые необходимо учитывать при принятии управленческих решений в сельском хозяйстве, являются обеспеченность осадками и температурный режим. Цель исследования – анализ возможности задействования спутниковой информации, особенно осредненных данных об осадках и температуре воздуха, для оценки их пространственного варьирования в сравнении с данными наземных наблюдений стационарных метеорологических станций. Территория исследований – зона степного Крыма и прилегающих земледельческих регионов юга РФ. Объектом анализа являются ряды агроклиматической информации сервиса раннего предупреждения о возможности наступления чрезвычайных ситуаций FLDAS, в том числе включающие осредненные данные среднемесячных значений осадков и температуры воздуха с пространственным разрешением информации  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ . В статье приведены материалы оценки сходимости данных спутниковых оценок осредненных за многолетний период (35 лет) значений сумм осадков и температуры воздуха по месяцам с данными стационарных метеорологических станций. Сравнительный анализ показал незначительные отклонения ( $\pm 2\%$ ) для осадков (метеостанции Клепинино и Симферополь) и завышение данных ДЗЗ на 8 и 5% по температурам для этих же станций, при этом уровень связи данных ДЗЗ и метеостанций по температуре воздуха близок к функциональной с коэффициентами корреляции около 0,999 (для метеостанций Краснодар и Элиста уровень связи по данному параметру также близок к функциональной, а по осадкам составляет 0,74 и 0,84 соответственно). Высокий уровень связи значений осадков, полученных по данным ДЗЗ с материалами метеостанций, а также очень высокий уровень связи для среднемесячных температур воздуха говорит о возможности задействования данных проекта FLDAS для дополнения и реанализа данных локальных станций, а также при оценке уровня отклонения текущих параметров от многолетних пространственно распределенных значений при разработке возможных прогнозных сценариев развития сельскохозяйственных культур, в том числе с учетом водообеспеченности территории.

**Ключевые слова:** температура воздуха, осадки, FLDAS, метеоданные, репрезентативность.

**Для цитирования:** Дунаева Е. А., Бойко Н. Г. Сравнение среднемесячных оценок температуры воздуха и осадков, полученных по данным дистанционного зондирования Земли и наземным наблюдениям // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4 (36). С. 90–101. EDN: VOELUF. DOI: 10.5281/zenodo.10348790.

**For citation:** Dunaieva Ie. A., Boiko N. G. Comparison of average monthly estimates of air temperature and precipitation obtained from remote sensing data and ground-based observations // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4(36). P. 90–101. EDN: VOELUF. DOI: 10.5281/zenodo.10348790,

## Введение

Уровень социально-экономического состояния степной части Крымского полуострова, как и ряда прилегающих регионов юга РФ, во многом определяется уровнем развития сельскохозяйственной отрасли. В последнее десятилетие в условиях богарного земледелия он в первую очередь зависит от обеспеченности территории осадками. При этом изменение климата также влияет на водообеспеченность и его учитывают как при определении приоритетов в стратегии развития сельских территорий, так и в расчетах уровня их поддержки [1, 2].

Вместе с тем, задачи адаптации территорий к засухе являются актуальными не только для рассматриваемого региона, но и для многих других территорий, а мониторинг данных процессов вынесен на международный уровень [3, 4].

Для мониторинга динамики развития, оценки состояния и прогноза развития посевов сельскохозяйственных культур широко используют спутниковые системы, позволяющие получать пространственно распределенные параметры состояния как растительности, так и агроэкосистемы в целом [5–7].

В рамках глобальной системы раннего предупреждения о возможности наступления чрезвычайных ситуаций, в том числе голода (The Famine Early Warning Systems Network, FEWS NET [8]), формируются глобальные и региональные потоки данных о параметрах состояния земной поверхности (Land Data Assimilation System, LDAS [9]), которые в первую очередь ориентированы на оценку агрогидрологического состояния территорий и мониторинг продовольственной безопасности. Данные находятся в открытом/бесплатном доступе (для доступа к части данных необходима регистрация) и используются для решения задач различного класса, требующих оценок водного и/или энергетического баланса.

Глобальные среднемесячные данные (GLDAS, [10]) доступны с 1982 г. по текущее время с задержкой (для последнего периода) около месяца. Данные считываются в формате NetCDF с размером грида от  $0,25^\circ$  до  $0,1^\circ$  (около 10 км). Учитывая достаточно продолжительный период накопленных данных и их постоянное дополнение, они могут быть использованы для получения среднесезонных показателей, анализа аномалий, в том числе для расчета относительных показателей доступности водных ресурсов.

В большинстве случаев при использовании данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) получаемые параметры, несмотря на их коррекцию с задействованием наземной информации, требуют региональной верификации [11–14], что позволяет получить оценки репрезентативности конкретных данных (температура и влажность воздуха, осадки, влагозапасы и ряд других параметров).

**Цель исследований** – анализ возможности задействования спутниковой информации, особенно осредненных данных об осадках и температуре воздуха, для дальнейшего использования при оценке уровня отклонения текущего состояния агрометеоусловий от многолетней нормы при формировании сценариев развития сельскохозяйственных культур и прогноза их урожайности.

Новизна исследования заключается в установлении новых и уточнении существующих региональных параметров связи, измеренных метеопараметров и данных ДЗЗ, характеризующих водный и тепловой баланс территории в богарных и водно-ограниченных условиях, для дальнейшего использования при оценке уровня отклонения текущего состояния агрометеоусловий от многолетней нормы при формировании сценариев развития сельскохозяйственных культур и прогноза их урожайности.

## Материалы и методы исследований

При проведении исследований использованы материалы суточных данных метеорологических параметров стационарных метеорологических станций Клепинино и

Симферополь (данные Украинского архива Гидрометслужбы, материалы Крымского Гидрометцентра, с 2014 г. – ФГБУ “Крымское УГМИЦ”, открытые суточные данные архива NCDC [15], данные архива погодного сервиса Rp5.ru [16]) и материалы справочных изданий по территории Крыма и юга РФ [17–20]. Для получения сопоставимых с системой FLDAS [21] среднемесячных данных температуры воздуха и осадков по метеостанциям Симферополь и Клепинино (период 35 лет (1982–2016 гг.), использованный в FLDAS для получения осредненных за многолетний период оценок) проведена обработка суточных рядов архивов метеоданных, хранимых в формате реляционной базы данных \*.DBF, и получены значения сумм температур и осадков за каждый месяц с последующим расчетом для осадков среднемесячной суммы. Для температур было получено среднесуточное значение для каждого из месяцев путем деления суммы температур на количество дней в месяце (для февраля значение получали делением средней суммы температур за месяц на 28,25).

Расположение метеостанций, использованных для проведения анализа уровня связи среднемесячных данных по осадкам и температуре, приведено на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Расположение анализируемых метеорологических станций на территории степной части Крыма и прилегающих регионов РФ**

*Примечание.* 1 – Симферополь, 2 – Клепинино, 3 – Краснодар, 4 – Элиста.

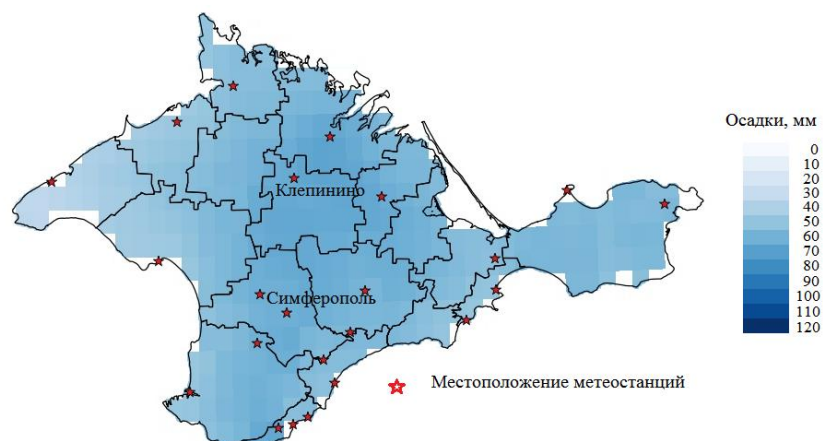
Для обработки данных, хранимых в таблицах реляционных баз данных (\*.DBF), использованы возможности Visual FoxPro (версия 7.0), а для обработки пространственно распределенной информации – открытой ГИС (QGIS, версия 3.18). Для визуализации мест расположения стационарных метеостанций применен метод картографирования с задействованием возможностей программного комплекса Google Earth (информация о координатах их расположения считывалась из архива NCDC [15]).

Растровые изображения полей распределения осадков и температур для Крымского полуострова, Краснодарского края и Республики Калмыкия, соответствующие продукту «FLDAS\_NOAH01\_C\_GL\_MC» [21] (далее в статье – FLDAS), были считаны в формате NetCDF. Затем числовые значения этих параметров были считаны из гридов, соответствующих местоположению метеостанций, и записаны в базу данных векторного слоя станций (используя point sampling плагин QGIS).

#### **Результаты и их обсуждение**

Для оценки уровня связи между значениями осадков и температуры воздуха, полученных по данным дистанционного зондирования (продукт FLDAS, маска земной поверхности NOAH, пространственное разрешение для месячных данных  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ , покрытие – глобальное) и измеренных по наземным наблюдениям сети стационарных метеорологических станций, выполнено сравнение соответствующих среднемесячных температур и сумм осадков за период с января 1982 г. по декабрь 2016 г. (при наличии соответствующих данных, находящихся в открытом доступе, или в сравнении со справочными данными по этим станциям).

Пример уровня варьирования осредненных месячных сумм осадков по данным FLDAS приведен на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Пример геопривязанных данных ДЗЗ о среднемесячных значениях сумм осадков за июнь месяц для территории Крымского полуострова (проект FLDAS)**

Обработанные данные сравнительного анализа уровня связи значений осредненных сумм осадков и средних температур по месяцам, полученных по данным ДЗЗ и измеренных на метеостанциях степной части Крыма (Симферополь и Клепинино) для 35-летнего периода (1982–2016 гг.), приведены в таблицах 1 и 2 соответственно. Кроме того, в таблицах приведено сравнение этих данных с опубликованными справочными материалами [17, 18].

**Таблица 1 – Сравнение уровня связи среднемесячных значений осадков, измеренных на метеостанциях, с данными системы FLDAS (осадки, мм/мес.)**

Месяц	Метеостанция Симферополь				Метеостанция Клепинино			
	справочник, 1959 г. [17]	справочник, 2011 г. [18]	метеостанция, 1982–2016 гг.	ДЗЗ (rs), 1982–2016 гг.	справочник, 1959 г. [17]	справочник, 2011 г. [18]	метеостанция, 1982–2016 гг.	ДЗЗ (rs), 1982–2016 гг.
Январь	41	39	41,6	44,1	24	30	32,7	45,2
Февраль	35	34	33,7	33,1	26	29	29,5	31,1
Март	32	39	36,4	36,2	19	34	32,6	30,9
Апрель	34	39	33,9	30,0	27	32	30,8	31,4
Май	41	35	36,9	38,9	38	35	43,9	42,9
Июнь	68	62	60,8	61,0	61	62	66,3	63,4
Июль	63	38	44,2	44,6	48	45	41,2	38,1
Август	35	66	47,0	41,1	39	45	37,7	34,3
Сентябрь	35	46	39,2	37,6	22	30	34,2	31,6
Октябрь	38	43	42,8	37,4	37	28	32,1	33,6
Ноябрь	43	47	43,0	47,3	30	38	34,5	39,5
Декабрь	44	48	43,0	43,0	32	40	36,4	37,3
Сумма за год, мм	509,0	536,0	502,5	494,3	403,0	448,0	451,9	459,3
Коэффициент корреляции*	0,82	0,59	0,92	-	0,73	0,75	0,89	-
Биас, $\sum Prs / \sum Pm$	0,97	0,92	0,98	-	1,14	1,03	1,02	-

*Примечание. Здесь и далее. \* – Коэффициент корреляции между данными, измеренными на метеостанциях и ДЗЗ (rs).*

В соответствии с данными таблицы 1, годовая сумма осредненных по месяцам осадков по данным ДЗЗ для метеостанции Клепинино несколько превышает данные справочников и наиболее близка к измеренным на метеостанции данным (биас равен 1,02), при этом для метеостанции Симферополь сумма осадков по данным ДЗЗ несколько ниже как многолетних измеренных (биас равен 0,98), так и данных справочников за отдельные периоды.

Для обеих крымских метеостанций наиболее высокий уровень связи с данными ДЗЗ («высокий» для Клепинино и «очень высокий» для станции Симферополь) в соответствии со значением коэффициента корреляции  $k$  отмечается для одинакового по продолжительности и годам периода сравнения (период 35 лет, с 1982 по 2016 гг.), с  $k = 0,89$  и  $0,92$  для метеостанций Клепинино и Симферополь соответственно. При этом минимальный уровень связи ( $k = 0,89$ ) отмечен для среднемесячных сумм осадков по метеостанции Симферополь по данным Справочника за период 1986–2005 гг. [18].

**Таблица 2 – Сравнение уровня связи среднемесячных значений температуры воздуха, измеренной на метеостанциях, с данными системы FLDAS (температура воздуха, °C)**

Месяц	Метеостанция Симферополь				Метеостанция Клепинино			
	справочник, 1959 г. [17]	справочник, 2011 г. [18]	метеостанция, 1982–2016 гг.	ДЗЗ (rs), 1982–2016 гг.	справочник, 1959 г. [17]	справочник, 2011 г. [18]	метеостанция, 1982–2016 гг.	ДЗЗ (rs), 1982–2016 гг.
Январь	-2,4	0,0	0,3	1,2	-2,1	0,0	-0,1	0,8
Февраль	-2,4	0,4	0,5	1,1	-2,4	0,4	0,0	1,0
Март	2,2	3,7	4,1	4,0	2,2	3,7	3,9	4,3
Апрель	9,1	10,0	10,1	9,8	9,1	10,0	10,2	10,4
Май	14,4	15,5	15,4	15,6	15,8	15,5	16,0	16,7
Июнь	20,2	20,1	19,6	20,0	20,2	20,1	20,4	21,2
Июль	23,4	23,3	22,6	23,1	23,4	23,3	23,3	24,2
Август	22,4	22,3	22,3	23,0	22,4	22,3	22,7	23,9
Сентябрь	16,7	16,8	17,1	18,0	16,7	16,8	17,2	18,5
Октябрь	10,7	10,9	11,2	12,1	10,7	10,9	11,0	12,3
Ноябрь	5,7	5,2	5,9	6,8	5,7	5,2	5,6	6,5
Декабрь	0,5	1,1	1,9	2,7	0,5	1,1	1,5	2,3
Среднее, (Trs, Tm) °C	10,1	10,6	10,9	11,4	10,2	10,8	11,0	11,8
Коэффициент корреляции*	0,997	0,998	0,999	-	0,998	0,999	0,999	-
Биас, $\sum Prs / \sum Pm$	1,14	1,08	1,05	-	1,16	1,10	1,08	-

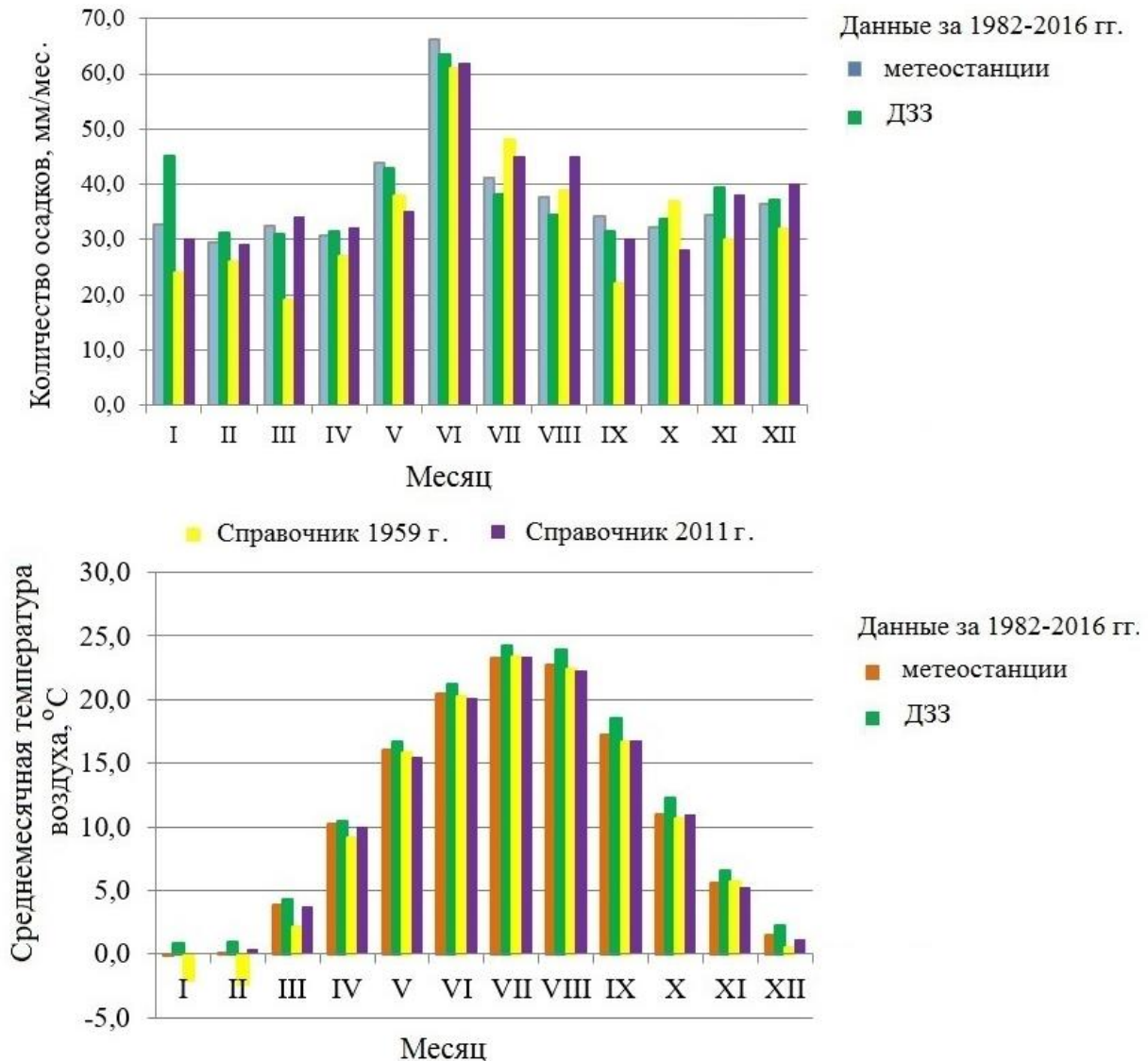
Уровень связи среднемесячных значений температуры воздуха, полученный по данным FLDAS, с наземными данными очень высокий (связь близка к функциональной,  $k = 0,999$ ) для данных обеих метеостанций, при этом для метеостанции Симферополь это касается не только уровня связи для сопоставимых временных периодов с данными ДЗЗ, но и для справочных данных, полученных за различные временные отрезки – для Симферополя это периоды 1901–1912 и 1916–1955 гг., а также 1986–2005 гг. соответственно, а для Клепинино – 1925–1941 и 1943–1955 гг., а также 1986–2005 гг.

Как видно из таблицы 2, многолетнее значение среднемесячной температуры воздуха по данным ДЗЗ завышено по сравнению с измеряемой на обеих метеостанциях



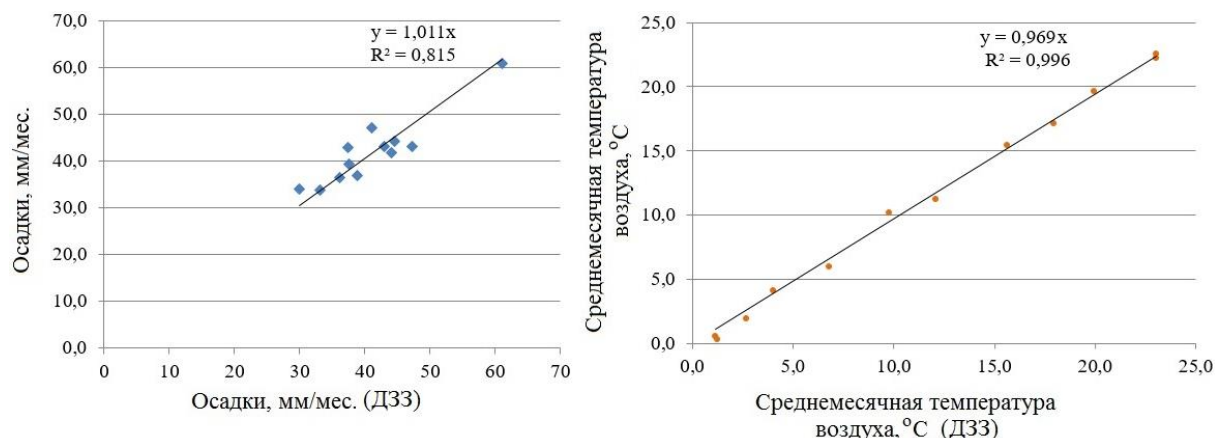
– для метеостанции Симферополь на 5 % (биас равен 1,05), а для Клепинино – на 8 % (биас равен 1,08).

Графическое сравнение динамики среднемесячных сумм осадков по данным метеостанций и их спутниковых оценок по сведениям проекта FLDAS приведено на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Пример варьирования сумм среднемесячных осадков (А) и температуры воздуха (Б) по данным Д33 и метеостанции Клепинино**

Высокий и очень высокий уровень связи осредненных по месяцам сумм осадков, полученных по данным проекта FLDAS, с данными наземной информации стационарных метеорологических станций позволяют использовать линейные уравнения связи между данными Д33 и измеренными значениями. То же касается связи многолетних осредненных данных температур воздуха, при этом коэффициент детерминации для связи данных Д33 и измеренных для осадков по метеостанции Симферополь составляет 0,82, а для температур – 0,99 (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Пример уровня связи осредненных месячных сумм осадков (А) и температуры воздуха (Б) по данным ДЗЗ и данным метеостанции Симферополь для сопоставимого периода (1982–2016 гг.)**

Обработанные материалы анализа уровня связи значений осредненных сумм осадков и средних температур по месяцам по метеорологической станции Краснодар, полученные по данным ДЗЗ и измеренные на станции, приведены в таблицах 3 и 4 соответственно. Кроме того, в таблицах приведено сравнение этих данных с опубликованными материалами [19, 20]. По метеорологической станции Элиста (Республика Калмыкия) использованы только данные справочников (так как открытые данные по этой станции в архиве NCDC [15] очень изрежены для всего периода наблюдений (1959–2023 гг.)).

**Таблица 3 – Сравнение уровня связи среднемесячных значений осадков, измеренных на метеостанциях Краснодар и Элиста, с данными системы FLDAS (осадки, мм/мес.)**

Месяц	Метеостанция Краснодар			Метеостанция Элиста	
	справочник, 1990 г. [19]	метеостанция, 1982–1999 гг.	ДЗЗ (rs), 1982–2016 гг.	справочник, 1990 г. [19]	ДЗЗ (rs), 1982–2016 гг.
Январь	53	65,7	61,7	29	22,4
Февраль	50	38,9	44,7	19	17,8
Март	54	37,1	51,3	22	19,3
Апрель	53	50,2	57,2	24	23,4
Май	61	102,4	65,1	35	44,5
Июнь	71	88,4	86,5	45	53,3
Июль	61	68,3	50,5	39	36,3
Август	52	56,6	50,9	32	26,6
Сентябрь	40	43,5	38,4	26	35,0
Октябрь	55	53,4	54,9	28	28,0
Ноябрь	64	60,7	64,3	28	30,3
Декабрь	72	73,9	63,2	34	28,4
Сумма за год, мм	686	739,0	688,7	361	365,3
Коэффициент корреляции*	0,81	0,74	-	0,84	-
Биас, $\sum Prs / \sum Pm$	1,00	0,93	-	1,01	-

При проведении анализа сходимости данных по осадкам, приведенным в таблице 3 для метеостанции Краснодар, необходимо учитывать, что ряд непрерывных архивных

данных по станции ([15]) почти в два раза короче (18 лет), чем использованный при получении осредненных данных в проекте FLDAS (35 лет). Вместе с тем, значения коэффициентов связи данных метеостанций и данных ДЗЗ показывают высокий уровень связи  $k = 0,74$  и выше, как для метеостанции Краснодар, так и для метеостанции Элиста. При этом, отношение осредненных годовых сумм осадков для данных ДЗЗ и справочных значений [19] (биас) практически равно единице (1,00 и 0,99 для Краснодара и Элисты соответственно).

**Таблица 4 – Сравнение уровня связи среднемесячных значений температуры воздуха, измеренной на метеостанциях Краснодар и Элиста, с данными системы FLDAS (°C)**

Месяц	Метеостанция Краснодар				Метеостанция Элиста		
	справочник, 1990 г. [19]	СП [20], 2020 г.	метеостанция, 1982–1999 гг.	ДЗЗ (rs), 1982–2016 гг.	справочник, 1990 г. [19]	СП [20], 2020 г.	ДЗЗ (rs), 1982–2016 гг.
Январь	-1,6	0,0	-0,2	0,6	-6,8	-5,0	-4,4
Февраль	-0,6	1,1	-0,5	0,9	-6,2	-4,5	-4,2
Март	4,3	5,6	4,6	4,7	-0,3	1,4	1,3
Апрель	11,3	12,3	11,9	11,2	9,5	10,4	9,6
Май	17,0	17,6	16,8	16,7	16,9	17,1	16,4
Июнь	20,7	21,4	20,7	21,2	21,5	21,9	21,6
Июль	23,3	24,1	23,3	24,5	24,4	24,9	24,7
Август	22,7	23,7	22,7	24,6	23,2	23,8	23,9
Сентябрь	17,6	18,6	17,6	19,2	16,8	17,3	17,4
Октябрь	11,4	12,0	11,3	12,6	8,9	9,5	9,6
Ноябрь	5,6	6,4	4,7	6,3	2,1	2,6	2,0
Декабрь	1,1	2,3	0,8	2,0	-2,9	-2,3	-2,7
Среднее, (Trs, Tm) °C	11,1	12,1	11,1	12,0	8,9	9,8	9,6
Коэффициент корреляции*	0,996	0,997	0,996	-	0,998	0,999	-
Биас, Trs/Tm	1,08	1,00	1,08	-	1,08	0,99	-

Также как и для метеостанций степного Крыма, уровень связи среднемесячных значений температуры воздуха, полученный по данным FLDAS, с наземными данными станций Краснодар и Элиста очень высокий. При этом, для Элисты связь близка к функциональной,  $k = 0,999$  (для связи данных по Своду Правил [20]) и данных ДЗЗ, а для станции Краснодар несколько ниже,  $k = 0,997$  (для данных этого же документа).

Значения параметра биас для отношения данных оценок температуры воздуха по материалам ДЗЗ к измеренным и осредненным среднемесячным справочным данным [20] очень близки и составляют 1,00 и 0,99 для станций Краснодар и Элиста, что говорит о возможности дополнения имеющихся рядов открытых метеорологических данных по данным проекта FLDAS.

### Выводы

На основе сравнительного анализа осредненных месячных сумм осадков и среднемесячных температур воздуха, полученных по данным спутниковых оценок проекта FLDAS (продукт FLDAS\_NOAH01\_C\_GL\_MC) для периода 1982–2016 гг., с данными наземных наблюдений метеостанций степной части Крыма и прилегающих регионов РФ сделаны следующие выводы.

Осредненные за многолетний период данные ДЗЗ показали в среднем близкие, но разнонаправленные отклонения годовых сумм осадков от измеренных на метеостанциях

– для степной зоны Крыма завышение на 8,4 мм по сравнению с данными метеостанции Клепинино и небольшое занижение на 8,2 мм по метеостанции Симферополь или на 2 % в обоих случаях. При этом, несмотря на более существенное отклонение осредненных по году среднемесячных температур воздуха (завышение по сравнению с данными метеостанций на 5 и 8 % для станций Симферополь и Клепинино соответственно), уровень связи данных ДЗЗ и измеренных очень высокий (близкий к функциональной) с коэффициентами корреляции равными 0,999 для обеих станций.

Уровень связи данных ДЗЗ и измеренных на метеостанциях данных для метеостанций Краснодар и Элиста для среднемесячных температур также очень высокий (0,996 и 0,999), при этом для осадков уровень связи несколько ниже, чем для станций степного Крыма, и составляет 0,74 и 0,84 соответственно, что может быть связано с отсутствием для этих станций доступности (в открытом доступе) к сопоставимым по продолжительности рядов метеонаблюдений.

Высокий и очень высокий уровень связи среднемесячных величин осадков, полученных по данным ДЗЗ и стационарных метеостанций, а также очень высокий (близкий к функциональной) уровень связи среднемесячных температур воздуха позволяет сделать вывод о возможности использования данных проекта FLDAS для дополнения и реанализа данных локальных метеорологических станций, в том числе для оценки уровня отклонения текущей погоды от многолетних пространственно распределенных значений данных параметров при разработке возможных прогнозных сценариев развития сельскохозяйственных культур с учетом оценки водообеспеченности территории.

*Работа выполнена в рамках научно-исследовательской тематики ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (госзадание № 122101300031-4), а также при поддержке Фонда содействия инноваций (конкурс «Умник»).*

### Литература

1. Катцов В. М., Порфирьев Б. Н. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу (резюме доклада) // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. 2011. № 563. С. 7–59.
2. Svetlov N. M., Siptits S. O., Romanenko I. A., Evdokimova N. E. The effect of climate change on the location of branches of agriculture in Russia // Studies on Russian Economic Development. 2019. Vol. 30. No. 4. P. 406–418. DOI: 10.1134/S1075700719040154.
3. Мамедов А. С., Гасанова Н. И., Алиева Н. Б., Бабаева Г. Т. Оценка доли риска засухи, влияющая на урожайность // Sciences of Europe. 2019. No. 45 (3). С. 46–50.
4. Alaimo L. S., Maggino F. Sustainable development goals indicators at territorial level: conceptual and methodological issues – the Italian perspective // Social Indicators Research. 2020. Vol. 147. P. 383–419. DOI: 10.1007/s11205-019-02162-4.
5. Трошко К. А., Денисов П. В., Дунаева Е. А., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Толпин В. А. Особенности развития озимых сельскохозяйственных культур на юге европейской части России весной 2022 г. по данным дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 2. С. 261–267. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-261-267.
6. Bojanowski J. S., Sikora S., Musiał J. P., Woźniak E., Dąbrowska-Zielińska K., Slesiński P., Milewski T., Łaczyński A. Integration of Sentinel-3 and MODIS vegetation indices with ERA-5 agro-meteorological indicators for operational crop yield forecasting // Remote Sensing. 2022. No. 14(5). Art. No. 1238. DOI: 10.3390/rs14051238.
7. Loupian E., Burtsev M., Proshin A., Kashnitskii A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I. Usage experience and capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. No. 1. Art. No. 77. DOI: 10.3390/rs14010077.
8. Funk C., Shukla S., Thiaw W. M. [et al.]. Recognizing the famine early warning systems network: over 30 years of drought early warning science advances and partnerships promoting global food security // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2019. No. 100. P. 1011–1027. DOI: 10.1175/BAMS-D-17-0233.1.

9. McNally A., Arsenault K., Kumar S., Shukla S., Peterson P., Wang S., Funk C., Peters-Lidard C., Verdin J. P. A land data assimilation system for sub-Saharan Africa food and water security applications // *Sci. Data*. 2017. Vol. 4. Art. No. 170012. DOI: 10.1038/sdata.2017.12.
10. Rodell M., Houser P. R., Jambor U. [et al.]. The global land data assimilation system // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2004. No. 85(3). P. 381–394. DOI: 10.1175/BAMS-85-3-381.
11. Popovych V. F., Dunaieva I. A. Assessment of the GPM IMERG and CHIRPS precipitation estimations for the steppe part of the Crimea // *Meteorology Hydrology and Water Management*. 2021. Vol. 9. P. 1–13. DOI: 10.26491/mhwm/133088.
12. Головинов Е. Э., Васильева Н. А. Сравнение многолетних метеорологических характеристик по данным реанализа и наземных наблюдений на территории Московской области // *Мелиорация и гидротехника*. 2022. Т. 12. № 3. С. 92–105. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-92-105.
13. Alghamdi A. S. Evaluation of four reanalysis datasets against radiosonde over Southwest Asia // *Atmosphere*. 2020. No. 11(4). Art. No. 402. DOI: 10.3390/atmos11040402.
14. Дунаева Е. А., Максимов С. А., Попович В. Ф. Оценка точности глобальных данных метеорологических параметров Европейского проекта ERA5 с данными локальных станций (на примере метеостанции Клепичино) // *Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки. Сборник материалов VIII международной научно-практической конференции*. Симферополь: Ариал, 2023. С. 222. DOI: 10.5281/zenodo.8268016.
15. Архив национального центра данных о климате NCDC. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/gso/d/> (дата обращения: 04.09.2023).
16. Архив сервиса ООО «Расписание Погоды», Rp5.ru. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rp5.ru/> (дата обращения: 04.09.2023).
17. Агроклиматический справочник по Крымской области. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1959. 133 с.
18. Агрокліматичний довідник по Автономній республіці Крим (1986–2005 рр.) // За ред. Прудко О. І., Адаменко Т. І. Симферополь: ЦГМ в АРК., Таврида, 2011. 344 с.
19. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Выпуск 13. Волгоградская, Ростовская, Астраханская области, Краснодарский, Ставропольский края, Калмыцкая, Кабардино-Балкарская, Чечено-Ингушская, СевероОсетинская АССР. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 725 с.
20. Свод правил СП 131.13330.2020 «СНИП 23-01-99. Строительная климатология» (утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 24.12.2020 № 859/пр). 145 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://sniprf.ru/sp131-13330-2020> (дата обращения 18.09.2023)
21. McNally A. FLDAS Noah Land Surface Model L4 global monthly 0.1 × 0.1 degree (MERRA-2 and CHIRPS) // *Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC)*. 2018. USA: NASA/GSFC/HSL. DOI: 10.5067/5NHC22T9375G.

## References

1. Kattsov V. M., Porfiriyev B. N. Assessment of macroeconomic impacts of climate change over the territory of Russian Federation until 2030 and beyond (summary) // *Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory*. 2011. No. 563. P. 7–59.
2. Svetlov N. M., Siptits S. O., Romanenko I. A., Evdokimova N. E. The effect of climate change on the location of branches of agriculture in Russia // *Studies on Russian Economic Development*. 2019. Vol. 30. No. 4. P. 406–418. DOI: 10.1134/S1075700719040154.
3. Mamedov A. S., Hasanova N. I., Aliyeva N. B., Babayeva G. T. The assessment of the share of drought risk affecting crops yield // *Sciences of Europe*. 2019. No. 45 (3). P. 46–50.
4. Alaimo L. S., Maggino F. Sustainable development goals indicators at territorial level: conceptual and methodological issues – the Italian perspective // *Social Indicators Research*. 2020. Vol. 147. P. 383–419. DOI: **10.1007/s11205-019-02162-4**.
5. Troshko K. A., Denisov P. V., Dunaeva E. A., Loupian E. A., Plotnikov D. E., Tolpin V. A. Development of winter crops in the south of European part of Russia in spring 2022 based on remote sensing data // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa (Current problems in remote sensing of the Earth from space)*. 2022. Vol. 19. No. 2. P. 261–267. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-261-267.
6. Bojanowski J. S., Sikora S., Musiał J. P., Woźniak E., Dąbrowska-Zielińska K., Slesiński P., Milewski T., Łączyński A. Integration of Sentinel-3 and MODIS vegetation indices with ERA-5 agrometeorological indicators for operational crop yield forecasting // *Remote Sensing*. 2022. No. 14(5). Art. No. 1238. DOI: 10.3390/rs14051238.

7. Loupian E., Burtsev M., Proshin A., Kashnitskii A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I. Usage experience and capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. No. 1. Art. No. 77. DOI: 10.3390/rs14010077.
8. Funk C., Shukla S., Thiaw W. M. [et al.]. Recognizing the famine early warning systems network: over 30 years of drought early warning science advances and partnerships promoting global food security // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2019. No. 100. P. 1011–1027. DOI: 10.1175/BAMS-D-17-0233.1.
9. McNally A., Arsenault K., Kumar S., Shukla S., Peterson P., Wang S., Funk C., Peters-Lidard C., Verdin J. P. A land data assimilation system for sub-Saharan Africa food and water security applications // Sci. Data. 2017. Vol. 4. Art. No. 170012. DOI: 10.1038/sdata.2017.12.
10. Rodell M., Houser P. R., Jambor U. [et al.]. The global land data assimilation system // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2004. No. 85(3). P. 381–394. DOI: 10.1175/BAMS-85-3-381.
11. Popovych V. F., Dunaieva I. A. Assessment of the GPM IMERG and CHIRPS precipitation estimations for the steppe part of the Crimea // Meteorology Hydrology and Water Management. 2021. Vol. 9. P. 1–13. DOI: 10.26491/mhwm/133088.
12. Golovinov E. E., Vasileva N. A. Comparison of long-term meteorological characteristics based on reanalysis and ground observations data in Moscow region // Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2022. No. 12(3). P. 92–105. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-92-105.
13. Alghamdi A. S. Evaluation of four reanalysis datasets against radiosonde over Southwest Asia // Atmosphere. 2020. No. 11(4). Art. No. 402. DOI: 10.3390/atmos11040402.
14. Dunaieva Ie. A., Maksimov S. A., Popovych V. F. Accuracy estimation of global level dataset of meteorological parameters of the European project ERA5 compared with data from the local stations (on the example of the Klepinino station) // Proceedings of VIII international scientific conference “Current State, Problems and Prospects of the Development of Agrarian Science”. Simferopol: Arial, 2023. P. 222. DOI: 10.5281/zenodo.8268016.
15. National Climate Data Center Archive, NCDC. [Electronic resource]. Access point: <https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/gsoad/> (reference’s date 04.09.2023).
16. Archive of the LLC “Weather Forecast” service, Rp5.ru. [Electronic resource]. Access point: <http://rp5.ru/> (reference’s date 04.09.2023).
17. Agroclimatic reference book for the Crimean region. Leningrad: Hydrometeorological Publishing House, 1959. 133 p.
18. Agroclimatic reference book on the Autonomous Republic of Crimea (1986–2005) // Ed. by Prudko O. I., Adamenko T. I. Simferopol: Regional Meteorological Center in the ARC, Tavrida, 2011. 344 p.
19. Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3. Long-term data. Parts 1–6. Issue 13. Volgograd, Rostov, Astrakhan regions, Krasnodar, Stavropol territories, Kalmyk, Kabardino-Balkarian, Checheno-Ingush, North Ossetian Autonomous Soviet Socialist Republics. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990. 725 p.
20. Set of rules SP 131.13330.2020 “SNIP 23-01-99. Construction climatology” (approved by order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated 24.12.2020 No. 859/np). 145 p. [Electronic resource]. Access point: <http://sniprf.ru/sp131-13330-2020> (reference’s date 18.09.2023).
21. McNally A. FLDAS Noah Land Surface Model L4 global monthly 0.1 × 0.1 degree (MERRA-2 and CHIRPS) // Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). 2018. USA: NASA/GSFC/HSL. DOI: 10.5067/5NHC22T9375G.

UDC 63:55; 631.15;551.502(47)

Dunaieva Ie. A., Boiko N. G.

**COMPARISON OF AVERAGE MONTHLY ESTIMATES OF AIR  
TEMPERATURE AND PRECIPITATION OBTAINED FROM REMOTE SENSING  
DATA AND GROUND-BASED OBSERVATIONS**

*Summary.* Under rainfed farming conditions in arid areas, the most significant factors that must be taken into account when making management decisions in agriculture are precipitation availability and temperature regime. The purpose of this study was to analyze the possibility of using satellite information, particularly averaged data on precipitation and air temperature, to assess their spatial variation in comparison with ground-based observations obtained from the weather stations. The research area is the steppe zone of the Crimea and the nearest agricultural regions on the south of the Russian Federation. The analysis object is the

*dataset of agroclimatic information from the FLDAS Early Warning Systems Network, which includes averaged data on monthly precipitation and air temperature with a spatial resolution of  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ . The article presents material for assessing the convergence of satellite estimates of averaged over a long-term period (35 years) values of precipitation amounts and air temperature by months with data from stationary meteorological stations. A comparative analysis showed insignificant deviations of  $\pm 2\%$  for precipitation (weather stations Klepinino and Simferopol) and an overestimation of remote sensing (RS) data by 8 and 5 % for temperatures for the same stations, while the level of correlation between RS and weather stations for air temperature is close to functional with correlation coefficients of about 0.999 (for the Krasnodar and Elista weather stations, the level of correlation for this parameter is also close to functional, but for precipitation it is 0.74 and 0.84, respectively). The high level of correlation between precipitation values obtained from RS and weather stations, as well as a very high level of correlation for average monthly air temperatures, indicates the possibility of using FLDAS project data to supplement and reanalyze data from local stations, as well as when assessing the level of deviation of current parameters from long-term spatial distributed values during developing possible forecast scenarios for the agricultural crops growing period, including water availability of the territory.*

**Keywords:** *air temperature, precipitation, FLDAS, meteorological data, representativeness.*

Дунаева Елизавета Андреевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела цифрового мониторинга и моделирования агроэкосистем ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: water\_crimea@hotmail.com.

Бойко Наталья Геннадьевна, младший научный сотрудник отдела цифрового мониторинга и моделирования агроэкосистем ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail:

Dunaieva Ielizaveta Andreevna, Cand. Sc. (Techn.), leading researcher of digital monitoring and agroecosystems modeling Department, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: water\_crimea@hotmail.com.

Boyko Natalya Gennad’evna, junior researcher of digital monitoring and agroecosystems modeling Department, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: mrs.filina@gmail.com.

*Дата поступления в редакцию – 28.10.2023*

*Дата принятия к печати – 20.11.2023*

DOI 10.5281/zenodo.10279273

EDN EUHNEH

УДК 631.532:581.143.6

Жолобова О. О., Терещенко Т. В.

## ОПТИМИЗАЦИЯ УГЛЕВОДНОГО СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ПРИ МИКРОКЛОНАЛЬНОМ РАЗМНОЖЕНИИ *COTINUS COGGYGRIA* SCOP.

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

**Реферат.** Одним из факторов, влияющих на процессы гемморизогенеза в культуре *in vitro*, является выбор источника углеводного питания и его концентрация в питательной среде. Для разработки эффективного протокола микроклонального размножения *Cotinus coggygia* необходимо учитывать роль отдельных компонентов на всех этапах культивирования *in vitro*. Цель исследований – оценить влияние различных источников углевода и их концентраций на морфогенетический потенциал и ризогенез микропобегов *Cotinus coggygia* Scop. для оптимизации культивирования *in vitro*. В качестве основной питательной среды использовали Мурасиге и Скуга без добавления гормонов, источниками углеводного питания были определены: сахароза и глюкоза в концентрациях 10, 20, 30 г/л и их сочетание по 15 г/л. По окончании периода культивирования оценивали морфологические показатели: длину побега, коэффициент размножения, показатели ризогенеза, такие как частота корнеобразования, число корней первого и второго порядка и их длина. Проведен анализ концентрации фотосинтетических гормонов в листовых пластинах эксплантов и значений индекса азотного баланса (NBI). В результате проведенных исследований замена сахарозы на глюкозу оказала положительный эффект на длину и коэффициент размножения микропобегов *C. coggygia*. Все образцы отличались энергичным ростом и выровненными морфометрическими показателями. При культивировании *C. coggygia* на среде, содержащей 30 г/л сахарозы, был отмечен максимальный процент укорененных микропобегов – 70 %. На питательных средах, содержащих 30 г/л глюкозы и в вариантах с глюкозой и сахарозой по 15 г/л процент укорененных побегов снижался на 20 и 35 % соответственно, но качественные характеристики, такие как толщина, наличие корневых волосков и корней второго порядка значительно возрастали. Максимальные значения концентрации хлорофилла и индекса азотного баланса в листовых пластинах были отмечены на средах с сахарозой 30 г/л и совместном применении сахарозы и глюкозы. Таким образом, совместное применение сахарозы и глюкозы в культуральной среде в равных долях по 15 г/л оказало стимулирующее действие на длину побега, коэффициент размножения и наличие корней второго порядка по сравнению с применением только сахарозы или глюкозы по отдельности.

**Ключевые слова:** скумпия кожевенная (*Cotinus coggygia* Scop.), культура *in vitro*, сахароза, глюкоза, коэффициент размножения, индукция ризогенеза, хлорофилл, NBI.

**Для цитирования:** Жолобова О. О., Терещенко Т. В. Оптимизация углеводного состава питательной среды при микроклональном размножении *Cotinus coggygia* Scop. // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4(36). С. 102–112. EDN: EUHNEH. DOI: 10.5281/zenodo.10279273.

**For citation:** Zholobova O. O., Tereschenko T. V. Optimization of the carbohydrate composition of the nutrient medium for microclonal propagation of *Cotinus coggygia* Scop. // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4(36). P. 102–112. EDN: EUHNEH. DOI: 10.5281/zenodo.10279273.

### Введение

Разработка эффективных протоколов микроклонального размножения отдельных



видов включает многофакторный подход для определения оптимального состава питательной среды. Унифицировать технологию культивирования растительных тканей для конкретного растения не представляется возможным, так как отдельные компоненты оказывают значительное влияние на морфогенетический потенциал *in vitro* объектов [1]. Необходимо учитывать роль каждого элемента питательной среды на всех этапах культивирования *in vitro*. Основным источником питания в культуральных средах являются углеводы, которые также влияют на осмотические характеристики жидкости, участвующей в регулировании интенсивности протекания физиологических процессов.

В целом, растительный материал, полученный в культуре *in vitro*, обладает низкой фотосинтетической способностью для достижения положительного углеродного баланса. Поэтому требуется непрерывное поступление углеводов из культуральной среды [2]. На частоту, рост и скорость размножения влияют тип и концентрация используемого источника углеводов [3]. В культуре *in vitro* чаще всего применяют сахарозу [4, 5], так как она является преобладающим углеводом в соке флоэмы большинства видов растений [6]. Несмотря на это, при размножении ряда видов, кроме сахарозы можно успешно использовать и другие моно- и дисахариды: мальтозу, глюкозу и фруктозу [7, 8].

Анализ литературных данных подтвердил наличие большого числа исследований по изучению влияния различных типов и концентраций углеводов на регенерацию микропобегов в культуре *in vitro*. Для представителей рода *Lonicera* L. установлено, что наибольшее влияние на высоту микропобегов оказывает концентрация углевода, а на коэффициент размножения – тип углеводного питания [9]. Большинство авторов отмечают видоспецифичность или сортовую реакцию изучаемых объектов, при этом указывают и общие закономерности, например, на высоких концентрациях сахарозы, несмотря на худшую сохранность, было зафиксировано замедление ростовых процессов побега и его раннее вызревание, а также снижение интенсивности ризогенеза [10, 11]. В тоже время, высокие концентрации сахарозы (70 г/л) способствовали беспересадочному культивированию 12-ти сортов винограда в течение девяти месяцев при сохранившейся жизнеспособности растений [12]. В работах Матушкиной О. В. с соавторами увеличение концентрации сахарозы до 40 г/л позволило продлить длительность хранения эксплантов подвоя груши ПГ 12 до 46 месяцев и подвоя яблони 62-396 до 24 месяцев [13].

Для такой культуры как картофель оптимальные концентрации сахарозы варьировали в диапазоне 40–60 г/л, при этом увеличивалась длина побега и количество междоузлий, у некоторых сортов коэффициент размножения возрастал вдвое [14]. При пониженных концентрациях сахарозы (10–20 г/л) клубнеобразования не происходило, снижался коэффициент размножения и ростовые процессы микропобегов [15].

Замена в питательной среде сахарозы на глюкозу дает хорошие результаты при культивировании клематисов, сирени, лимонника китайского и при индукции морфогенеза сливы домашней [7]. Лучшим источником углеводов для культивирования и получения множественных побегов *Pfaffia glomerata* также являлась глюкоза [16]. При оптимизации приемов культивирования перспективных плодовых и ягодных культур *in vitro* использование глюкозы на этапе пролиферации позволило увеличить коэффициент размножения у большинства объектов в два раза [17]. Глюкоза в концентрации 30 г/л оказала положительное влияние на регенерацию микропобегов некоторых представителей рода *Rosa* L. и *Pinus pinea* L. [18, 19].

Рост и эффективность размножения растений *in vitro* зависят от многих факторов, одним из которых является концентрация и тип используемого экзогенного источника углевода. В питательной среде углевод является источником энергии для культивируемых растений и основным осмотическим агентом [7]. Определение оптимального типа экзогенных углеводов и их концентрации является неотъемлемой

частью разработки протокола микрклонального размножения отдельных видов. Работы по микрклональному размножению скумпии кожевенной (*Cotinus coggygia* Scop.) в основном проводили на коммерческом сорте Royal Purple. Данные исследования были направлены на подбор оптимальных комбинаций фитогормонов для индукции ризогенеза, но отдельные аспекты протокола культивирования микропобегов требуют доработки [20, 21].

*C. coggygia* имеет важное значение в степном защитном лесоразведении, используется для закрепления оврагов и обнаженных склонов, засухоустойчива и нетребовательна к почве [22], поэтому разработка элементов технологии клонального микроразмножения позволит в дальнейшем более эффективно проводить ускоренные программы по селекции древесно-кустарниковых видов, перспективных в борьбе с опустыниванием в селекционно-семеноводческом центре ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук».

**Цель исследований** – оценить влияние различных источников углевода и их концентраций на морфогенетический потенциал и ризогенез микропобегов *Cotinus coggygia* Scop. для оптимизации культивирования *in vitro*.

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

Работу проводили на базе лаборатории биотехнологий ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» в 2022–2023 гг.

Для оптимизации протокола микрклонального размножения *Cotinus coggygia* Scop. (скумпия кожевенная) была проведена оценка влияния двух экзогенных источников углеводов и их концентраций на регенерационную способность микропобегов.

В качестве основной питательной среды использовали протокол Мурасиге и Скуга (MS) [23] без добавления гормонов, источниками углеводного питания были определены: сахароза и глюкоза в концентрациях 10, 20, 30 г/л и их совместное использование в культуральной среде по 15 г/л. В стандартном протоколе микрклонального размножения в качестве источника углеводов используют сахарозу в концентрации 30 г/л, поэтому условно этот состав культуральной среды считали за контрольный вариант.

В эксперименте использовали сегменты побега 1,5–2,0 см с двумя междоузлиями, которые помещали в биологические пробирки с 15 мл питательной среды. Культивирование проводили в течение 45 дней при температуре 24–26 °С, освещенности 70 мкмоль/с/м<sup>2</sup> и 16-часовом фотопериоде на фитостеллажах «СТЕЛЛАР-ФИТО LINE» (Россия). Исследование осуществляли в трехкратной повторности, для каждой концентрации анализировали по 30 эксплантов.

По окончании периода культивирования оценивали морфологические показатели: длину побега, коэффициент размножения (количество микропобегов с одним междоузлем, на которое можно расчеренковать эксплант для дальнейшего культивирования), показатели ризогенеза, такие как частота корнеобразования, число корней первого и второго порядка и их длина. Также оценивали влияние типа и концентрации сахарозы и глюкозы на изменение фотосинтетических пигментов и индекса азотного баланса регенерантов *C. coggygia*. По некоторым литературным данным, сахароза играет ключевую роль в обеспечении источников углеводов, но одновременно она может также являться триггером для ингибирования фотосинтеза с обратной связью [24]. Количество хлорофилла, флавоноидов и NBI (индекс азотного баланса) в листьях определяли с помощью флавоноид- и хлорофиллометра Dualox (Франция) [25].

Результаты статистически обработаны с использованием программы Statistica 12 компании StatSoft Inc. и представлены в виде средней арифметической с учетом ошибки среднего. Сравнение полученных результатов между собой проводили по U-критерию Манна-Уитни и Tukey's HSD Post Hoc тесту. Статистически значимыми считали различия при  $p \leq 0,05$ .

### Результаты и их обсуждение

Отсутствие гормонов в питательной среде оказало влияние на коэффициент размножения, который был невысокий и варьировал в диапазоне 1,2–2,3 (таблица). Минимальные значения были зафиксированы на культуральных средах с сахарозой. Добавление глюкозы способствовало равномерному повышению коэффициента размножения на 40 % по сравнению с контролем. В исследованиях по микроклональному размножению *Rubus idaeus* L. замена сахарозы на глюкозу также способствовала повышению коэффициента размножения вдвое [26]. Для *Lonicera caerulea* L. данный показатель составлял 42 при добавлении в среду для размножения 30 г/л глюкозы [27].

**Таблица – Особенности гемморизогенеза микропобегов *C. coggygia* в зависимости от углеводного компонента в питательной среде**

Тип и концентрация углевода в питательной среде MS	Длина побега, см	Коэффициент размножения, шт./побег	Длина корня, см	Число корней, шт./побег
Сахароза 10 г/л	2,4 ± 0,1 а	1,2 ± 0,1 в	3,6 ± 0,1 а	1,5 ± 0,5 а
Сахароза 20 г/л	3,1 ± 0,4 аб	1,7 ± 0,2 абв	4,7 ± 0,3 а	1,2 ± 0,2 а
Сахароза 30 г/л	3,1 ± 0,5 аб	1,4 ± 0,2 бв	4,5 ± 0,6 а	1,1 ± 0,1 а
Глюкоза 10 г/л	3,3 ± 0,1 а	2,0 ± 0,1 аб	4,8 ± 1,6 а	1,0 ± 0,1 а
Глюкоза 20 г/л	3,7 ± 0,3 а	2,0 ± 0,1 аб	4,6 ± 0,7 а	1,4 ± 0,3 а
Глюкоза 30 г/л	3,5 ± 0,7 а	1,9 ± 0,1 абв	4,4 ± 1,1 а	1,6 ± 0,2 а
Сахароза 15 г/л + Глюкоза 15 г/л	3,1 ± 0,2 аб	2,3 ± 0,1 а	5,4 ± 0,7 а	1,6 ± 0,4 а

**Примечание.** В таблице представлены средние значения ± ошибка среднего, различные буквы (здесь и далее) в столбце означают статистические различия согласно HSD Post Hoc тесту при  $p \leq 0,05$ .

Максимальное значение коэффициента (2,3) зафиксировано на среде с добавлением сахарозы и глюкозы. Низкая концентрация сахарозы (10 г/л) ингибировала рост побега, также наблюдали увядание листовых пластин первичного экспланта и наличие хлороза на вновь образованных более мелких листовых пластинах (рисунок 1).

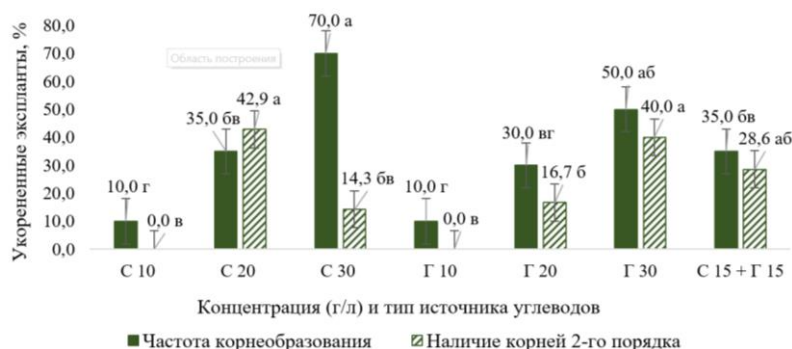


**Рисунок 1 – Микропобеги *C. coggygia* на экспериментальных средах**

**Примечание.** А – MS сахароза 10 г/л; Б – MS глюкоза 10 г/л.

При низкой концентрации глюкозы 10 г/л микропобеги отличались выравненными показателями роста и морфологии. В целом на средах с глюкозой и ее совместном добавлении с сахарозой отмечали энергичный рост растений-регенерантов с хорошо развитым главным побегом. Полученные данные согласуются с подобной реакцией регенерантов розы при культивировании на средах, содержащих глюкозу [28].

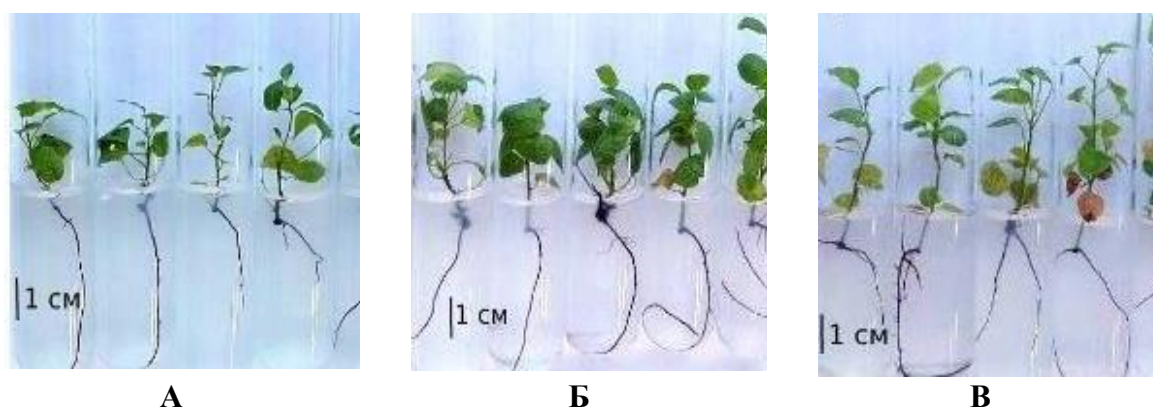
Регенеранты *C. coggugria* отличаются способностью к индукции ризогенеза на питательных средах даже без дополнительного введения ауксинов в состав среды. При стандартной концентрации сахарозы (30 г/л) был отмечен максимальный процент укорененных микропобегов, который составил 70 % (рисунок 2). При снижении концентрации сахарозы до 20 г/л этот показатель уменьшился в два раза (35 %), а при снижении сахарозы до 10 г/л – в семь раз (10 %). Средняя длина корня составила от 3,6 до 4,7 см. На средах с глюкозой показатели ризогенеза были немного меньше.



**Рисунок 2 – Влияние разных типов и концентраций углеводного источника питания в составе среды MS на показатели ризогенеза *C. coggugria***

**Примечание.** С 10 – MS сахароза 10 г/л; С 20 – MS сахароза 20 г/л; С 30 – MS сахароза 30 г/л; Г 10 – MS глюкоза 10 г/л; Г 20 – MS глюкоза 20 г/л; Г 30 – MS глюкоза 30 г/л; С 15 + Г 15 – MS сахароза и глюкоза по 15 г/л. На гистограммах представлены средние значения ± ошибка среднего, различные буквы в столбце означают статистические различия согласно Tukey's HSD Post Hoc тесту при  $p \leq 0,05$ .

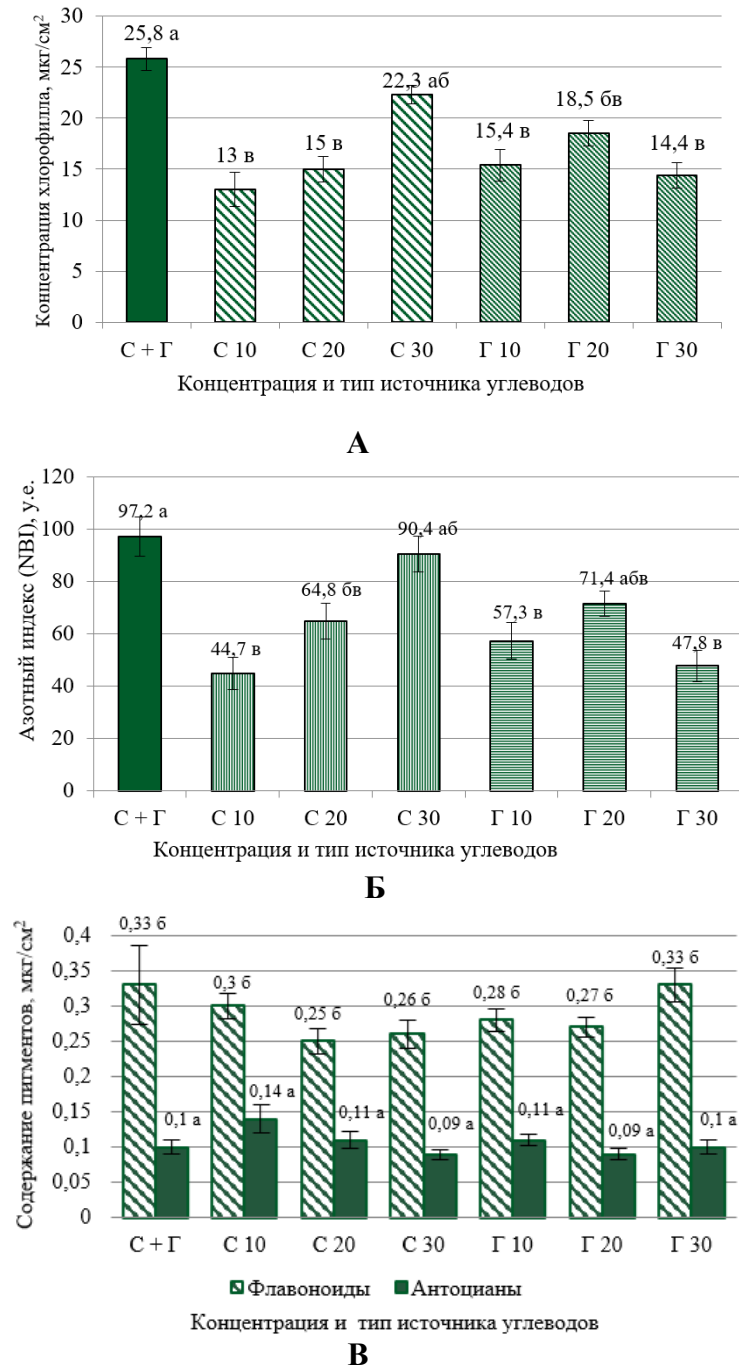
На питательных средах, содержащих 30 г/л глюкозы, и вариантах с глюкозой и сахарозой по 15 г/л процент укорененных побегов снижался на 20 и 35 % соответственно, но качественные характеристики, такие как толщина, наличие корневых волосков и корней второго порядка значительно возрастали, что увеличивало поглощающую способность регенерантов и доступность макро- и микроэлементов в составе среды (рисунок 3). Максимальная длина корня (5,4 см) и их количество (1,6) зафиксированы при совместном использовании глюкозы и сахарозы. Снижение концентрации сахарозы и глюкозы до 10 г/л не оказало положительного влияния на процессы ризогенеза, и частота корнеобразования в данных вариантах составила всего 10 %.



**Рисунок 3 – Микропобеги *C. coggugria* на экспериментальных средах**

**Примечание.** А – MS сахароза 30 г/л; Б – MS сахароза 15 г/л + глюкоза 15 г/л; В – MS глюкоза 30 г/л.

При изучении влияния различных концентраций сахарозы и глюкозы на фотосинтетические показатели отмечено, что содержание флавоноидов и антоцианов статистически значимо не различалось. Диапазон концентраций флавоноидов находился в пределах 0,25–0,33 мкг/см<sup>2</sup>, а антоцианов – 0,09–0,14 мкг/см<sup>2</sup> (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Концентрация фотосинтетических пигментов в листьях микропобегов *C. coggyria* и значения NBI (индекса азотного баланса) в зависимости от концентрации источника углеводов**

**Примечание.** А – общий хлорофилл, мкг/см<sup>2</sup>, Б – азотный индекс (NBI), у.е., В – концентрация флавоноидов и антоцианов, мкг/см<sup>2</sup>, C + Г – MS сахароза и глюкоза по 15 г/л; C 10 – MS сахароза, 10 г/л; C 20 – MS сахароза, 20 г/л; C 30 – MS сахароза, 30 г/л; Г 10 – MS глюкоза, 10 г/л; Г 20 – MS глюкоза, 20 г/л; Г 30 – MS глюкоза, 30 г/л. На гистограммах представлены средние значения ± ошибка среднего, различные буквы в столбце означают статистические различия согласно Tukey's HSD Post Hoc тесту при  $p \leq 0,05$ .

Хлорофилл, играющий фундаментальную роль в фотосинтезе, используется в качестве индикатора азотного статуса растений. Максимальные показатели (22,3 и 25,8 мкг/см<sup>2</sup>) отмечены на средах с сахарозой 30 г/л и ее совместном сочетании с глюкозой по 15 г/л. Диапазон значений индекса азотного баланса (NBI) для регенерантов *C. coggygia* составил 44,7–97,2 у.е. Максимальные значения индексов NBI – 97,2 и 90,4 у.е. получены при совместном добавлении глюкозы и сахарозы по 15 г/л и на питательной среде с сахарозой 30 г/л. Высокие значения концентрации хлорофилла на этих средах являются адаптивной реакцией, содержание большего количества пигментов в листьях указывает на их удовлетворительное физиологическое состояние [29].

Несмотря на то, что значительное количество исследователей отмечают положительное влияние 30 г/л сахарозы на пролиферацию побегов [30], в нашей работе замена сахарозы на глюкозу оказала стимулирующий эффект на морфологические показатели микропобегов *C. coggygia*, их энергичный рост и общую выравненность. При этом нельзя не отметить роль сахарозы как источника углеводов в работе фотосинтетического аппарата, максимальные значения были отмечены именно на высокой концентрации сахарозы (30 г/л) или в ее присутствии с глюкозой. На средах, содержащих в своем составе только глюкозу 30 г/л, индекс азотного баланса снижался на 50,8 %, как и концентрация общего хлорофилла уменьшалась на 44,2 % по сравнению с максимальными показателями.

### Выводы

Впервые было проанализировано влияние источника углеводного питания и его концентрации на морфометрические показатели пролиферации микропобегов *Cotinus coggygia*, индукцию ризогенеза и концентрацию фотосинтетических пигментов в листовых пластинах культивируемых эксплантов.

Замена сахарозы на глюкозу оказала положительный эффект на длину и коэффициент размножения микропобегов *C. coggygia*. Все образцы отличались энергичным ростом и выровненными морфометрическими показателями. На средах, содержащих в своем составе сахарозу, были отмечены процессы хлороза, частичного увядания и некроза листовых пластин у первичного экспланта. Максимальные значения коэффициента размножения были достигнуты на среде с сахарозой и глюкозой, которые превышали контроль в 1,6 раза.

Несмотря на максимальные значения процента укорененных микропобегов на среде с 30 г/л сахарозы, количество корней второго порядка и корневых волосков были в 3 раза выше на средах с сахарозой (20 г/л), глюкозой (30 г/л) и совместном применении сахарозы и глюкозы по 15 г/л.

Анализ концентрации фотосинтетических пигментов и индекса азотного баланса в листовых пластинах эксплантов показал снижение концентрации хлорофилла в 1,8 раз и NBI в два раза на средах с глюкозой по сравнению с максимальным значением этих показателей при совместном применении сахарозы и глюкозы.

Таким образом, совместное применение сахарозы и глюкозы в равных долях по 15 г/л оказало стимулирующее действие на длину побега, коэффициент размножения и число корней второго порядка по сравнению с применением только сахарозы или глюкозы по отдельности. Поэтому для культивирования микропобегов *Cotinus coggygia* можно рекомендовать совместное использование двух типов углеводов сахарозы и глюкозы в качестве источника углеводного питания.

*Работа выполнена в рамках государственного задания НИР ФНЦ агроэкологии РАН № 122020100427-1 «Разработать научные основы сохранения и воспроизводства ценных генотипов древесных и кустарниковых растений в культуре in vitro».*

### Литература

1. Sudheer W. N., Praveen N., Al-Khayri J. M., Jain S.M. Role of plant tissue culture medium components // In book: Advances in Plant Tissue Culture. Current Developments and Future Trends. Academic Press, Elsevier, 2022. P. 51–83. DOI: 10.1016/B978-0-323-90795-8.00012-6.
2. Ferreira W. M., Suzuki R. M., Pescador R., Figueiredo-Ribeiro, Kerbauy G.B. Propagation, growth, and carbohydrates of *Dendrobium* Second Love (Orchidaceae) *in vitro* as affected by sucrose, light, and dark // *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant* 2011. Vol. 47. P. 420–427. DOI: 10.1007/s11627-010-9311-x.
3. Mahadev M. N., Panathula C. S., Naidu C. V. Impact of different carbohydrates and their concentrations on *in vitro* regeneration of *Solanum viarum* (Dunal) – an important anticancer medicinal plant // *American Journal of Plant Sciences*. 2014. Vol. 5 No. 1. P. 200–204. DOI: 10.4236/ajps.2014.51026.
4. Ahmad T., Abbasi N. A., Hafiz I. A., Ali A. Comparison of sucrose and sorbitol as main carbon energy sources in micropropagation of peach rootstock GF-677 // *Pakistan Journal of Botany*. 2007. Vol. 39. No. 4. P. 1269–1275.
5. Phillips G. C., Garda M. Plant tissue culture media and practices: an overview // *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2019. Vol. 55. P. 242–257. DOI: 10.1007/s11627-019-09983-5.
6. Pathak H., Dhawan V. Influence of different carbohydrate sources on *in vitro* shoot proliferation of apple (*Malus × domestica* Borkh.) rootstocks M 7 and MM 111 // *Acta Horticulturae*. 2012. Vol. 961. P. 311–317. DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.961.41.
7. Муратова С. А., Папихин Р. В., Янковская М. Б. Влияние различных углеводов на регенерацию, размножение и рост растений *in vitro* // *Плодоводство и ягодоводство России*. 2012. Т. 31. № 2. С. 86–94. EDN OWEFXB.
8. Пузырнова В. Г., Дорошенко Н. П. Особенности применения углеводов для создания коллекции винограда *in vitro* // *Магарац. Виноградарство и виноделие*. 2023. Т. 25. № 1(123). С. 14–23. DOI: 10.34919/IM.2023.25.1.002. EDN IBNDBK.
9. Орлова Н. Д., Егорова Д. А. Изучение влияния типа углеводного питания на морфогенетический потенциал *Lonicera caerulea* L. в культуре *in vitro* // *Плодоводство и ягодоводство России*. 2020. Т. 61. С. 54–60. DOI: 10.31676/2073-4948-2020-61-54-60.
10. Ребров А. Н., Бондарева О. Н., Семенова Л. Н. Влияние концентрации сахарозы в питательной среде на морфогенез растений *in vitro* // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2022. № 77(5). С. 121–136. DOI: 10.30679/2219-5335-2022-5-77-121-136.
11. Debnath S. C. Effects of carbon source and concentration on development of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) shoots cultivated *in vitro* from nodal explants // *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2005. Vol. 41. P. 145–150. DOI: 10.1079/IVP2004590.
12. Дорошенко Н. П., Куприкова А. С., Пузырнова В. Г. Влияние сахарозы на замедление роста и сохранение растений винограда в коллекции *in vitro* // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2017. № 46. С. 33–49.
13. Матушкина О. В., Пронина И. Н. Роль углеводов при клональном микроразмножении садовых растений // *Плодоводство и ягодоводство России*. 2018. Т. 54. С. 106–110. DOI: 10.31676/2073-4948-2018-54-106-110.
14. Черемисин А. И., Кумпан В. Н. Влияние состава питательной среды при микроразмножении сортов и гибридов картофеля // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2017. № 4 (28). С. 87–91.
15. Чусова Н. С., Муратова С. А., Пугачева Г. М. Влияние различных концентраций сахарозы на эффективность микроразмножения картофеля *in vitro* // *Наука и Образование*. 2019. Т. 2. № 1.
16. Vasconcelos J. M., Saldanha C. W., Dias L. L., Maldaner J. et al. *In vitro* propagation of Brazilian ginseng [*Pfaffia glomerata* (Spreng.) Pedersen] as affected by carbon sources // *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2014. Vol. 50. P. 746–751. DOI: 10.1007/s11627-014-9651-z.
17. Молканова О. И., Королева О. В., Стахеева Т. С., Крахмалева И. Л., Мелещук Е. А. Совершенствование технологии клонального микроразмножения ценных плодовых и ягодных культур для производственных условий // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32. № 9. С. 66–69. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10915. EDN VKMRDG.
18. Соболева Е. В., Егорова Д. А., Молканова О. И. Особенности регенерации некоторых представителей рода *Rosa* L. в культуре *in vitro* // *Бюллетень Главного ботанического сада*. 2020. № 3. С. 44–48. DOI: 10.25791/BBGRAN.03.2020.1062.
19. Zavattieri A., Lima M., Sobral V., Oliveira P., Costa A. Effects of carbon source, carbon concentration and culture conditions on *in vitro* rooting of *Pinus pinea* L. microshoots // *Acta Horticulturae*. 2009. Vol. 812. P. 173–180. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.812.19.
20. da Silva J. A. T., Pacholczak A., Ilczuk A. Smoke tree (*Cotinus coggygria* Scop.) propagation and biotechnology: a mini-review // *South African Journal of Botany*. 2018. Vol. 114. P. 232–240. DOI: 10.1016/j.sajb.2017.11.009.
21. Shi K., Zheng C. X. Liquid culture system of rapid propagation of *Cotinus coggygria* ‘Royal Purple’ // *Plant Physiology Journal*. 2015. Vol. 51(4). P. 553–558. DOI: 10.13592/j.cnki.ppj.2015.0015.

22. Чепурной В. С., Максимцов Д. В. Практическая агролесомелиорация. Методические указания по изучению эколого-биологических особенностей и морфологических признаков древесных видов для защитного лесоразведения. 2016. С. 86–88.
23. Бутенко Р. Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе. М.: ФБК-Пресс, 1999. 160 с.
24. Lembrechts R., Verdoodt V., De Proft M. P., Ceusters J. Influence of sucrose concentration on photosynthetic performance of *Guzmania* 'Hilda' *in vitro* // Acta Horticulturae. 2015. Vol. 1083. P. 403–408. DOI: 10.17660/ActaHortic.2015.1083.51.
25. Поух Е. В., Кобринец Т. П., Иванова О. С. Методические рекомендации по режимам освещения при выращивании сливы домашней на этапах микроразмножения, укоренения *in vitro* и адаптации *ex vitro* // Плодоводство. 2022. Т. 34(1). С. 178–187. DOI: 10.47612/0134-9759-2022-34-178-187.
26. Плаксина Т. В., Ворохобова Л. С., Бородулина И. Д. Особенности клонального микроразмножения малины красной (*Rubus idaeus* L.) алтайской селекции // Садоводство и виноградарство. 2017. № 5. С. 39–43. DOI: 10.18454/VSTISP.2017.5.7589. EDN ZPEXYD.
27. Орлова Н. Д., Раева-Богословская Е. Н., Молканова О. И. Совершенствование методики клонального микроразмножения перспективных сортов *Lonicera caerulea* L. // Лесной вестник. 2022. Т. 26. № 3. С. 85–92. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-85-92.
28. Чеснокова О. В., Чурикова О. А. Влияние различных углеводов на реализацию регенерационного потенциала розы сорта 'maiden's Blush' при размножении *in vitro* // Научное обеспечение устойчивого развития плодового и декоративного садоводства. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию ВНИИЦиСК и 85-летию Ботанического сада "Дерево Дружбы". 2019. С. 415–420. EDN WYKOKJ.
29. Turbina I. N., Kukurichkin G. M. Adaptation possibilities of introduced plants of various origin in conditions of botanical garden at Surgut State University // Bulletin of Nizhnevartovsk State University. 2020. No. 2. P. 60–67. DOI: 10.36906/2311-4444/20-2/08.
30. Perez-Jimenez M., Carrillo-Navarro A., Cos-Terrer J. Regeneration of peach (*Prunus persica* L. Batsch) cultivars and *Prunus persica* × *Prunus dulcis* rootstocks via organogenesis // Plant Cell Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2012. Vol. 108(1) P. 55–62. DOI: 10.1007/s11240-011-0011-y.

## References

1. Sudheer W. N., Praveen N., Al-Khayri J. M., Jain S.M. Role of plant tissue culture medium components // In book: Advances in Plant Tissue Culture. Current Developments and Future Trends. Academic Press, Elsevier, 2022. P. 51–83. DOI: 10.1016/B978-0-323-90795-8.00012-6.
2. Ferreira W. M., Suzuki R. M., Pescador R., Figueiredo-Ribeiro, Kerbauy G.B. Propagation, growth, and carbohydrates of *Dendrobium* Second Love (Orchidaceae) *in vitro* as affected by sucrose, light, and dark // *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2011. Vol. 47. P. 420–427. DOI: 10.1007/s11627-010-9311-x.
3. Mahadev M. D. N., Panathula C. S., Naidu C. V. Impact of different carbohydrates and their concentrations on *in vitro* regeneration of *Solanum viarum* (Dunal) – an important anticancer medicinal plant // *American Journal of Plant Sciences*. 2014. Vol. 5 No. 1. P. 200–204. DOI: 10.4236/ajps.2014.51026.
4. Ahmad T., Abbasi N. A., Hafiz I. A., Ali A. Comparison of sucrose and sorbitol as main carbon energy sources in micropropagation of peach rootstock GF-677 // *Pakistan Journal of Botany*. 2007. Vol. 39. No. 4. P. 1269–1275.
5. Phillips G. C., Garda M. Plant tissue culture media and practices: an overview // *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2019. Vol. 55. P. 242–257. DOI: 10.1007/s11627-019-09983-5.
6. Pathak H., Dhawan V. Influence of different carbohydrate sources on *in vitro* shoot proliferation of apple (*Malus* × *domestica* Borkh.) rootstocks M 7 and MM 111 // *Acta Horticulturae*. 2012. Vol. 961. P. 311–317. DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.961.41.
7. Muratova S. A., Papikhin R. V., Yankovskaya M. B. The influence of various carbohydrates on the regeneration, reproduction and growth of plants *in vitro* // *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2012. Vol. 31. No. 2. P. 86–94. EDN OWEFXB.
8. Puzirnova V. G., Doroshenko N. P. Application features of using carbohydrates to create a collection of grapes *in vitro* // *Magarach. Viticulture and Winemaking*. 2023. Vol. 25(1). P. 14–23. DOI: 10.34919/IM.2023.25.1.002.
9. Orlova N. D., Egorova D. A. Research of carbohydrate type influence on *Lonicera caerulea* L. morphogenetic potential *in vitro* // *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2020. Vol. 61. P. 54–60. DOI: 10.31676/2073-4948-2020-61-54-60.
10. Rebrov A. N., Bondareva O. N., Semenova L.N. Influence of sucrose concentration in nutrient medium on *in vitro* plant morphogenesis // *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2022. No. 77(5). P. 121–136. DOI: 10.30679/2219-5335-2022-5-77-121-136.
11. Debnath S. C. Effects of carbon source and concentration on development of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) shoots cultivated *in vitro* from nodal explants // *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2005. Vol. 41. P. 145–150. DOI: 10.1079/IVP2004590.



12. Doroshenko N. P., Kuprikova A. S., Puzyrnova V.G. Effect of sucrose on retardation of growth and preservation of grape plants in the collection *in vitro* // Fruit growing and viticulture of South Russia. 2017. No. 46 (04). P. 33–49.
13. Matushkina O. V., Pronina I. N. The role of carbohydrates in clonal micropropagation of horticultural plants // Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2018. Vol. 54. P. 106–110. DOI: 10.31676/2073-4948-2018-54-106-110.
14. Cheremisin A. I., Kumpan V. N. The impact of nutrient medium under microclonal reproduction of potato varieties and hybrids // Vestnik of Omsk SAU. 2017. No. 4 (28). P. 87–91.
15. Chusova N. S., Muratova S. A., Pugacheva G. M. The influence of different concentrations of sucrose on the efficiency of micropropagation of potatoes *in vitro* // Nauka i Obrazovanie. 2019. Vol. 2. No. 1.
16. Vasconcelos J. M., Saldanha C. W., Dias L. L., Maldaner J., Rego M. M., Silva L. C., Otoni W. C. *In vitro* propagation of Brazilian ginseng [*Pfaffia glomerata* (Spreng.) Pedersen] as affected by carbon sources // *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2014. Vol. 50. P. 746–751. DOI: 10.1007/s11627-014-9651-z.
17. Molkanova O. I., Koroleva O. V., Stakheeva T. S., Krakhmaleva I. L., Meleshchuk E. A. Improvement of clonal micropropagation technology of valuable fruit and berry crops varieties for commercial conditions // Achievements of Science and Technology of AIC. 2018. Vol. 32. No. 9. P. 66–69. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10915.
18. Soboleva E. V., Egorova D. A., Molkanova O. I. Regeneration features of some varieties of *Rosa L.* genus representatives *in vitro* // Bulletin Main Botanical Garden. 2020. No. 3. P. 44–48. DOI: 10.25791/BBGRAN.03.2020.1062.
19. Zavattieri A., Lima M., Sobral V., Oliveira P., Costa A. Effects of carbon source, carbon concentration and culture conditions on *in vitro* rooting of *Pinus pinea L.* microshoots // *Acta Horticulturae*. 2009. Vol. 812. P. 173–180. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.812.19.
20. da Silva J. A. T., Pacholczak A., Ilczuk A. Smoke tree (*Cotinus coggygria Scop.*) propagation and biotechnology: a mini-review // *South African Journal of Botany*. 2018. Vol. 114. P. 232–240. DOI: 10.1016/j.sajb.2017.11.009.
21. Shi K., Zheng C. X. Liquid culture system of rapid propagation of *Cotinus coggygria* ‘Royal Purple’ // *Plant Physiology Journal*. 2015. Vol. 51(4). P. 553–558. DOI: 10.13592/j.cnki.ppj.2015.0015.
22. Chepurnoy V. S., Maksimov D. V. Practical agroforestry. Guidelines for the study of ecological and biological characteristics and morphological characteristics of tree species for protective afforestation. 2016. P. 86–88.
23. Butenko R. G. Biology of cells of higher plants *in vitro* and biotechnology based on them. Moscow: FBK-Press. 1999. 160 p.
24. Lembrechts R., Verdoodt V., De Proft M. P., Ceusters J. Influence of sucrose concentration on photosynthetic performance of *Guzmania* ‘Hilda’ *in vitro* // *Acta Horticulturae*. 2015. Vol. 1083. P. 403–408. DOI: 10.17660/ActaHortic.2015.1083.51.
25. Poukh A. V., Kobrinets T. P., Ivanova O. S. Methodological recommendations for lighting modes for domestic plum growing at the stages of micro-propagation, *in vitro* rooting and *ex vitro* adaptation // *Fruit Growing*. 2022. Vol. 34(1). P. 178–187. DOI: 10.47612/0134-9759-2022-34-178-187.
26. Plaksina T. V., Vorokhobova L. S., Borodulina I. D. Peculiarities of clonal micropropagation of red raspberry (*Rubus idaeus L.*) of Altai breeding. // *Horticulture and viticulture*. 2017. No 5. P. 39-43. DOI: 10.18454/VSTISP.2017.5.7589.
27. Orlova N. D., Raeva-Bogoslovskaya E. N., Molkanova O. I. Clonal micropropagation improvement technique of *Lonicera caerulea L.* promising cultivars // *Forestry Bulletin*. 2022. Vol. 26. No 3. P. 85–92. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-85-92.
28. Chesnokova O. V., Churikova O. A. Influence of different carbohydrates on realization of regenerative potential in rose cultivar ‘Maiden's Blush’ during propagation *in vitro* // The collection of scientific works contains materials from the International scientific and practical conference “Scientific Support for Sustainable Development of Fruit Growing and Ornamental Gardening”, dedicated to the 125<sup>th</sup> anniversary of the foundation of the Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops and to the 85<sup>th</sup> anniversary of the Foundation of the Botanical Garden “The Tree of Friendship”. Sochi: Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops, 2019. P. 415–420. EDN: WYKOKJ.
29. Turbina I. N., Kukurichkin G. M. Adaptation possibilities of introduced plants of various origin in conditions of botanical garden at Surgut State University // *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*. 2020. No. 2. P. 60–67. DOI: 10.36906/2311-4444/20-2/08.
30. Perez-Jimenez M., Carrillo-Navarro A., Cos-Terrer J. Regeneration of peach (*Prunus persica L.* Batsch) cultivars and *Prunus persica* × *Prunus dulcis* rootstocks via organogenesis // *Plant Cell Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2012. Vol. 108(1) P. 55–62. DOI: 10.1007/s11240-011-0011-y.

UDC 631.532:581.143.6

Zholobova O. O., Tereschenko T. V.

**OPTIMIZATION OF THE CARBOHYDRATE COMPOSITION OF THE NUTRIENT MEDIUM FOR MICROCLONAL PROPAGATION OF *COTINUS COGGUGRIA* SCOP.**

**Summary.** *One of the factors influencing the processes of hemorrhizogenesis in in vitro culture is the choice of the source of carbohydrate nutrition and its concentration in the nutrient medium. To develop an effective protocol for micropropagation of Cotinus coggygia, it is necessary to take into account the role of individual components at all stages of in vitro cultivation. The purpose of the research was to evaluate the effect of various carbohydrate sources and their concentrations on the morphogenetic potential and rhizogenesis of microshoots of Cotinus coggygia in vitro, as well as to optimize in vitro cultivation. Murashige and Skoog medium without the addition of hormones was used as the basic nutrient medium (control); the sources of carbohydrate nutrition were sucrose and glucose at concentrations of 10, 20, 30 g/l and their combination (15 g/l each). At the end of the cultivation period, the following morphological indicators were assessed: shoot length, multiplication factor, rhizogenesis indicators (frequency of root formation, number of roots of the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> order and their length). We analyzed the concentration of photosynthetic hormones in the leaf blades of explants and the values of the nitrogen balance index (NBI). As a result, replacing sucrose with glucose had a positive effect on the length and multiplication factor of C. coggygia microshoots. All samples were characterized by vigorous growth and similar morphometric indicators. Cultivation of C. coggygia on a medium containing 30 g/l sucrose resulted in the maximum percentage of rooted microshoots (70 %). On nutrient media containing 30 g/l glucose and in the variant with 15 g/l of glucose + 15 g/l of sucrose, the percentage of rooted shoots decreased by 20 and 35 %, respectively, but qualitative characteristics: thickness, presence of root hairs and second-order roots increased significantly. The maximum values of chlorophyll concentration and NBI in leaf blades were observed on media containing 30 g/l of sucrose and 15 g/l of glucose + 15 g/l of sucrose. Thus, the combined use of sucrose and glucose in the culture medium in equal proportions (15 g/l each) had a stimulating effect on shoot length, multiplication factor and presence of second-order roots compared to the medium containing either sucrose or glucose separately.*

**Keywords:** *Cotinus coggygia Scop., in vitro culture, sucrose, glucose, multiplication factor, induction of rhizogenesis, chlorophyll, NBI.*

Жолобова Ольга Олеговна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник – заведующий лабораторией биотехнологий селекционно-семеноводческого центра по древесным и кустарниковым породам, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»; 400062, Россия, г. Волгоград, проспект Университетский, 97; e-mail: zholobova-o@vfanc.ru.

Терещенко Татьяна Васильевна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологий селекционно-семеноводческого центра по древесным и кустарниковым породам, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»; 400062, Россия, г. Волгоград, проспект Университетский, 97; e-mail: tereschenko@vfanc.ru.

Zholobova Olga Olegovna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher – head of the Biotechnology Laboratory for Tree and Shrub Species of the Breeding and Seed-Growing Center of the Federal State Budgetary Institution “Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences”; 97, Universitetskiy Prospekt, Volgograd, 400062, Russia; e-mail: zholobova-o@vfanc.ru.

Tereschenko Tatiana Vasilyevna, post graduate student, junior researcher of the Biotechnology Laboratory for Tree and Shrub Species of the Breeding and Seed-Growing Center of the Federal State Budgetary Institution “Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences”; 97, Universitetskiy Prospekt, Volgograd, 400062, Russia; e-mail: tereschenko@vfanc.ru.

*Дата поступления в редакцию – 06.10.2023.  
Дата принятия к печати – 08.11.2023.*

DOI 10.5281/zenodo.10279290

EDN DCSZGI

УДК 633.11: 631.559:631.582: 631.82

Лукьянов В. А., Нитченко Л. Б.

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТА РЕЛЬЕФА, СЕВООБОРОТОВ И ДОЗ УДОБРЕНИЙ  
НА СТРУКТУРУ УРОЖАЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И ЕЁ КАЧЕСТВО  
В ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЁМНОМ РЕГИОНЕ**

ФГБНУ «Курский ФАНЦ»

**Реферат.** Улучшение режима питания полевых культур одновременно с повышением плодородия почвы невозможно без севооборотов, которые дополнительно восполняют запасы органического вещества в почве и служат важным средством управления её плодородием. Цель исследований – оценка влияния элементов рельефа, севооборотов и доз минеральных удобрений на структуру урожая, урожайность и качество зерна озимой пшеницы в условиях ЦЧР. Работа выполнена в 2015–2016, 2019–2020 гг. в условиях стационарного многофакторного полевого опыта в ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр». Объекты исследований: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), элементы рельефа (склон северной экспозиции, водораздельное плато), севообороты (зернопаропропашиной, зернотравянопропашиной), системы удобрений (без удобрений, одинарная ( $N_{20}P_{40}K_{40}$ ) и двойная ( $N_{40}P_{80}K_{80}$ ) дозы). Различия в урожайности зерна озимой пшеницы по элементам рельефа были незначительными и составили 0,16 т/га с преимуществом на водораздельном плато. Наибольшая урожайность получена на склоне северной экспозиции в зернопаропропашином севообороте при внесении  $N_{40}P_{80}K_{80}$  – 4,63 т/га, на водораздельном плато в аналогичном варианте урожайность составила 4,52 т/га. На склоне северной экспозиции в зернопаропропашином севообороте среднее количество продуктивных стеблей составило 427 шт./м<sup>2</sup>, в зернотравянопропашином – 412 шт./м<sup>2</sup>; на водораздельном плато показатели были достоверно ниже – на 9 и 4 шт./м<sup>2</sup> соответственно. Количество зёрен в колосе существенно увеличилось (на 6–7 шт.) на водораздельном плато по сравнению со склоном северной экспозиции. Масса 1000 зёрен озимой пшеницы на склоне северной экспозиции превышала на 0,44–0,48 г этот показатель, полученный на водораздельном плато. Натура зерна на водораздельном плато была достоверно выше при внесении дозы удобрений  $N_{40}P_{80}K_{80}$  – 755 г/л в зернопаропропашином севообороте и 745 г/л в зернотравянопропашином, чем на склоне северной экспозиции, где она составила 737 и 732 г/л соответственно. Наибольшее содержание белка отмечено при внесении минеральных удобрений в дозе  $N_{40}P_{80}K_{80}$  на склоне северной экспозиции в зернотравянопропашином севообороте – 13,5 %. Наибольшее содержание клейковины было при внесении минеральных удобрений в дозе  $N_{40}P_{80}K_{80}$  на склоне северной экспозиции в зернопаропропашином севообороте – 24,8 %.

**Ключевые слова:** озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), урожайность, структура урожая, качество зерна, севообороты, минеральные удобрения, элементы рельефа, Центрально-Черноземный регион.

**Для цитирования:** Лукьянов В. А., Нитченко Л. Б. Влияние элементов рельефа, севооборотов и доз удобрений на структуру урожая озимой пшеницы и ее качество в Центрально-Черноземном регионе // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4(36). С. 113–123. EDN: DCSZGI. DOI: 10.5281/zenodo.10279290.

**For citation:** Lukyanov V. A., Nitchenko L. B. Influence of relief elements, crop rotations and fertilizer doses on winter wheat yield structure and quality under conditions of Central Chernozem Region // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4 (36). P. 113–123. EDN: DCSZGI. DOI: 10.5281/zenodo.10279290.

### Введение

Достигнутый в настоящее время уровень интенсификации сельскохозяйственного производства позволяет получать высокую урожайность зерновых культур, но вопрос эффективной системы удобрений в комплексе с оптимальным чередованием культур требует детальной проработки, особенно с целью внедрения ресурсосберегающих технологий. Поэтому необходима модернизация современных агротехнологий с целью максимального использования почвенно-климатического потенциала агроландшафтов и оптимизации использования ресурсной базы [1–3].

Улучшение режима питания полевых культур одновременно с повышением плодородия почвы невозможно без севооборотов, которые дополнительно восполняют запасы органического вещества в почве и служат важным средством управления её плодородием [4, 5]. Научкой и практикой установлено, что особенно благоприятные условия создаются при размещении культур по чистым парам, но, так как экономическая эффективность паров может быть ниже, часто используют непаровые предшественники [6–9]. По данным Турусова и др., для оценки интенсивности процессов гумусообразования необходимо проводить исследования с различными видами паров (чистый, сидеральный, занятый), а также бобовыми культурами, в том числе введением нетрадиционных культур (нут, соя, вика) как предшественников озимой пшеницы, чтобы разработать с их применением новые агротехнологии. Рапс в качестве предшественника для озимой пшеницы по наличию элементов питания несколько уступает черному пару, но при этом превосходит непаровые бобовые предшественники – нут и сою [10, 11].

Другой важный путь решения проблемы повышения урожайности и улучшения посевных качеств семян – подбор оптимального питания с использованием макро- и микроэлементов, органических удобрений и биологических препаратов [12–14]. Выбор эффективных доз удобрений для сельскохозяйственного производства при динамичных условиях развития является сложной задачей и требует систематических исследований [15–17]. Особенно важно выявить такие дозы, которые позволят получить наибольший экономический эффект и одновременно не ухудшить агрохимические показатели почв [18–20]. Хрунов и др. предложили метод определения доз удобрений по нормативам окупаемости с определением границ окупаемости для каждого удобрения с учётом величины прибавки урожая, который позволяет делать важные расчёты экономических показателей, руководствуясь обобщёнными результатами многочисленных полевых опытов с удобрениями [21].

По данным Шаляпина В. В. и соавторов, удобрения улучшали не только питательный режим чернозема выщелоченного, но и способствовали повышению урожайности зерна озимой пшеницы. Установлено, что под действием азотных удобрений урожайность культуры составила 6,3 т/га, а прибавка – 1,2 т/га. Весеннее внесение азота в аммонийной и амидной формах способствовало получению достоверных прибавок урожая и улучшению качества зерна культуры [22].

В основу настоящих исследований легла многолетняя работа с минеральными формами удобрений в разных севооборотах при возделывании озимой пшеницы, в ходе которой установлены эффективные дозы и варианты севооборотов на разных элементах рельефа, способствующие улучшению показателей структуры урожая и качества зерна.

**Цель исследований** – оценка влияния элементов рельефа, севооборотов и минеральных удобрений на элементы структуры урожая и качественные показатели зерна озимой пшеницы в условиях ЦЧР.

### Материалы и методы исследований

Работа выполнена в 2015–2016, 2019–2020 гг. в условиях стационарного многофакторного полевого опыта в ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный

центр». Опыт заложен на разных элементах рельефа (фактор А) – на склоне северной экспозиции (ССЭ) и водораздельном плато (ВП). Изучали следующие севообороты (фактор В): зернопаропропашной (ЗПП) (озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – кукуруза (*Zea mays*) на зелёный корм – ячмень яровой (*Hordeum vulgare*) – чистый пар), зернотравянопропашной (ЗТП) (озимая пшеница – кукуруза на зелёный корм – ячмень яровой с подсевом эспарцета песчаного (*Onobrychis arenaria*) – эспарцет песчаный первого года пользования). Система удобрений (фактор С) была представлена вариантами без удобрений, 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. Минеральные удобрения вносили вручную осенью под основную обработку почвы. Доза удобрений N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> рассчитана для поддержания в почве уравновешенного баланса питательных веществ, доза N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> – положительного в зависимости от уровня почвенного плодородия и потребности растений в элементах питания. Площадь посевных участков 100 м<sup>2</sup>, повторность двукратная. Озимую пшеницу (сорт «Синтетик») высевали в количестве 5 млн шт. всхожих семян/га. Массу 1000 зёрен в озимой пшенице определяли по ГОСТ 10842-89, натуру зерна – ГОСТ 10840-64, содержание сырой клейковины – ГОСТ Р 54478-2011, содержание белка – ГОСТ 10846-91 [14]. Учёт урожая проводили прямым комбайнированием. Математический анализ экспериментальных данных выполняли методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [23].

Почва опытного участка – чернозём типичный среднесуглинистый среднегумусный (таблица 1).

**Таблица 1 – Агрохимическая характеристика почвы опытного участка**

Показатель	ССЭ	ВП
Содержание гумуса (ГОСТ 26213-91), %	6,0	5,9
pH <sub>KCl</sub> (ГОСТ 26483-85)	6,4	6,5
Щёлочногидролизующий азот (метод Корнфилда), мг/100 г	17,0	18,0
Подвижный фосфор (метод Чирикова в модификации ЦИНАО ГОСТ 26204-91), мг/100 г	10,3	14,8
Подвижный калий (метод Чирикова в модификации ЦИНАО ГОСТ 26204-91), мг/100 г	8,8	11,7

Агрометеорологические условия в период исследований характеризовались непостоянством влаги и тепла по годам. Погодные условия в период посева и всходов озимой пшеницы характеризовались повышенным температурным режимом и дефицитом осадков. Среднегодовая температура воздуха составила в среднем +9,1°С, что выше средней многолетней нормы на 2,6 °С. Количество выпавших осадков составило в среднем 699 мм или 107,8 % к средней многолетней норме. Количество выпавших осадков различалось по фазам развития озимой пшеницы. Активные температуры при возобновлении весенней вегетации культуры отмечены только с мая месяца. Гидротермические условия за весь вегетационный период озимой пшеницы в 2015–2016 гг. сложились избыточно влажные (ГТК = 1,64), в 2019–2020 гг. – достаточно влажные (ГТК = 1,52).

#### Результаты и их обсуждение

В наших исследованиях все изучаемые факторы оказывали существенное влияние на показатели структуры урожая озимой пшеницы (таблица 2). Элементы структуры урожая озимой пшеницы в большей степени изменялись под влиянием минеральных удобрений и севооборотов. На склоне северной экспозиции в зернопаропропашном севообороте количество продуктивных стеблей в среднем составило 427 шт./м<sup>2</sup>, в зернотравянопропашном – достоверно меньше на 15 шт./м<sup>2</sup>. Количество зёрен в колосе в зернопаропропашном севообороте на 2 шт. было выше (НСР<sub>05</sub> = 1 шт.), чем в зернотравянопропашном. В ЗПП севообороте получили большую на 0,80 г массу 1000 зёрен (42,54 г) по сравнению с ЗТП (НСР<sub>05</sub> = 0,36 г). Натура зерна на этой экспозиции была выше на 5 г/л между изучаемыми севооборотами.

В ЗПП севообороте в варианте без удобрений количество продуктивных стеблей составило 414 шт./м<sup>2</sup>, в варианте с N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> отмечено достоверное увеличение их количества на 16 шт./м<sup>2</sup>, с дозой N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> – на 22 шт./м<sup>2</sup> (НСР<sub>05</sub> = 3 шт./м<sup>2</sup>). В ЗТП севообороте увеличенная доза удобрений способствовала формированию большего количества продуктивных стеблей – 39 шт./м<sup>2</sup>. В ЗПП севообороте с дозами 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> получено достоверное увеличение количества зёрен в колосе на 3 и 4 шт., в ЗТП – на 1 и 3 шт. соответственно при НСР<sub>05</sub> = 2 шт. Масса 1000 зёрен существенно изменялась под влиянием одинарной и двойной доз минеральных удобрений в ЗТП и двойной дозы в ЗПП севооборотах (НСР<sub>05</sub> = 0,44 г). Значимые различия (НСР<sub>05</sub> = 11 г/л) по натуре зерна озимой пшеницы наблюдали только между вариантом без удобрений и дозой N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>.

**Таблица 2 – Влияние экспозиции, севооборотов и минеральных удобрений на структуру урожая озимой пшеницы (среднее за 2016, 2020 гг.)**

Уровень минерального питания (фактор С)	Количество продуктивных стеблей, шт./м <sup>2</sup>		Количество зёрен в колосе, шт.		Масса 1000 зёрен, г		Натура зерна, г/л	
	элемент рельефа (фактор А)							
	ССЭ	ВП	ССЭ	ВП	ССЭ	ВП	ССЭ	ВП
севооборот (фактор В)								
зернопаропропашной (ЗПП)								
Без удобрений	414	410	34	41	42,34	41,13	732	742
N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	430	420	37	42	42,37	41,53	735	759
N <sub>40</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	436	423	38	42	42,92	43,62	745	765
Средняя	427	418	36	42	42,54	42,10	737	755
зернотравянопропашной (ЗТП)								
Без удобрений	392	394	33	40	41,19	40,18	728	739
N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	412	409	34	41	41,97	40,76	732	743
N <sub>40</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	431	421	36	42	42,07	42,83	736	754
Средняя	412	408	34	41	41,74	41,26	732	745
НСР <sub>05</sub>	А	2		1		0,36		9
	В	2		1		0,36		9
	С	3		2		0,44		11

На водораздельном плато (ВП) среднее количество продуктивных стеблей в ЗТП было достоверно (НСР<sub>05</sub> = 2 шт./м<sup>2</sup>) меньше на 10 шт./м<sup>2</sup> по сравнению с ЗПП севооборотом. При использовании N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> (ЗПП севооборот) отмечалось более высокое количество продуктивных стеблей – на 13 шт./м<sup>2</sup> (НСР<sub>05</sub> = 3 шт./м<sup>2</sup>). В ЗТП севообороте количество продуктивных стеблей находилось в пределах от 409 до 421 шт./м<sup>2</sup> в зависимости от доз удобрений. Количество зёрен в колосе озимой пшеницы в изучаемых севооборотах варьировало от 40 до 42 шт. и было практически равным 41–42 шт. (НСР<sub>05</sub> = 1 шт.). Масса 1000 зёрен изменялась существенно (НСР<sub>05</sub> = 0,44 г), увеличиваясь по сравнению с вариантом без удобрений: под влиянием одинарной и двойной доз минеральных удобрений в ЗТП севообороте соответственно на 0,58 и 2,65 г, в ЗПП – только от двойной дозы (на 2,49 г). Тенденция увеличения натуре зерна была сопряжена с двойной дозой минеральных удобрений N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>, при этом в ЗПП севообороте показано её наибольшие значения – 745 и 765 г/л соответственно по элементам рельефа.

Изучаемые факторы в опыте оказывали различную степень влияния на урожайность зерна озимой пшеницы: по элементам рельефа влияние было минимальным – 2,9 %, использование севооборотов увеличивало влияние до 22,5 %, с применением минеральных форм удобрений было отмечено самое высокое влияние – 67,4 % (таблица 3).

На ССЭ в ЗПП севообороте урожайность составила по дозам удобрений в среднем 3,86 т/га, в ЗТП севообороте она снижалась до 3,51 т/га или на 9,1 % (НСР<sub>05</sub> = 0,24 т/га). На фоне отсутствия удобрений отмечалась самая низкая урожайность зерна озимой пшеницы, которая изменялась по севооборотам от 2,61 до 3,58 т/га. В ЗПП севообороте урожайность зерна достоверно повышалась при внесении N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> на 1,38 т/га, при внесении N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> – на 1,84 т/га, в ЗТП севообороте – соответственно на 1,02 и 1,67 т/га (НСР<sub>05</sub> = 0,29 т/га).

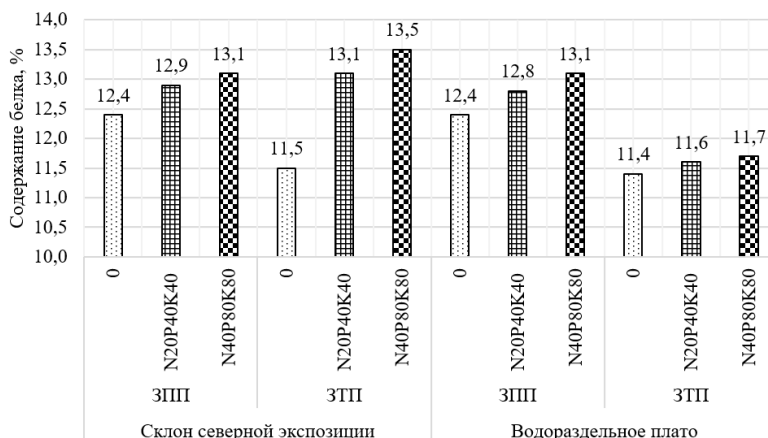
На водораздельном плато показана менее высокая урожайность зерна озимой пшеницы, которая по ЗПП составила 4,13 т/га, по ЗТП – 3,56 т/га (НСР<sub>05</sub> = 0,24 т/га). Использование минеральных удобрений в дозе N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> в севообороте с паром приводило к росту урожайности до 4,30 т/га, при внесении N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> – до 4,52 т/га, что на 0,94 т/га больше по сравнению с контролем; в севообороте с многолетними травами – соответственно, удобрения по одинарной и двойной дозам увеличивали сбор зерна на 0,74 и 0,95 т/га (НСР<sub>05</sub> = 0,29 т/га). Максимальная урожайность озимой пшеницы 4,63 т/га была получена в ЗПП севообороте при внесении минеральных удобрений в дозе N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>.

**Таблица 3 – Влияние изучаемых факторов на урожайность озимой пшеницы (среднее за 2016, 2020 гг.)**

Элемент рельефа (фактор А)	Севооборот (фактор В)	Урожайность, т/га			
		Уровень минерального питания (фактор С)			
		без удобрений	N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>40</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	средняя
Склон северной экспозиции	зернопаропропашной	2,79	4,17	4,63	3,86
	зернотравянопропашной	2,61	3,63	4,28	3,51
	среднее	2,70	3,90	4,46	3,69
Водораздельное плато	зернопаропропашной	3,58	4,30	4,52	4,13
	зернотравянопропашной	3,00	3,74	3,95	3,56
	среднее	3,29	4,02	4,24	3,85
Среднее	зернопаропропашной	3,19	4,24	4,58	4,00
	зернотравянопропашной	2,81	3,69	4,12	3,54
	среднее	3,00	3,96	4,35	3,77
НСР <sub>05</sub> , т/га		A = 0,24; B = 0,24; C = 0,29; AB = 0,33; AC = 0,41; BC = 0,41; ABC = 0,58			
Доля влияния факторов, %		A = 2,9; B = 22,5; C = 67,4; AB = 0,5; AC = 6,0; BC = 0,3; ABC = 0,3			

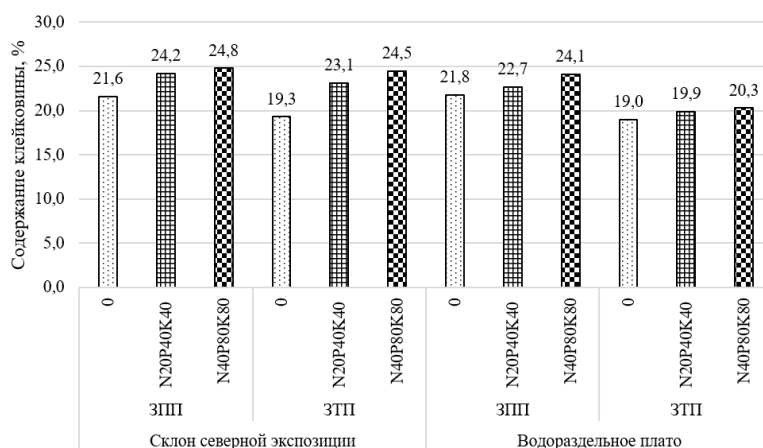
Местоположение опытных делянок (фактор А) не приводило к значимому увеличению (НСР<sub>05</sub> = 1,1 %) белка в зерне озимой пшеницы (рисунок 1). Так как урожайность озимой пшеницы в основном зависела от вносимых доз удобрений, то данный фактор оказал влияние и на содержание белка. В условиях северной экспозиции в ЗПП с N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> его количество изменялось от 12,9 до 13,1 %, с N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> – от 13,1 % до 13,5 %, но наибольшее существенное повышение белка было отмечено с N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> в ЗТП севообороте (НСР<sub>05</sub> = 1,4 %). На водораздельном плато эффективность доз минеральных удобрений была выше в ЗПП севообороте, в то время как в ЗТП отмечено низкое количество белка, что может быть связано с более высоким потреблением влаги из почвы многолетними травами, следствием чего явилось худшее использование доз минеральных удобрений.

В условиях водораздельного плато содержание белка в зерне озимой пшеницы увеличивалось относительно контрольного варианта в ЗПП севообороте по дозам минеральных удобрений соответственно до 12,8 и 13,1 %, в ЗТП – до 11,6 и 11,7 % (НСР<sub>05</sub> = 1,1 %).



**Рисунок 1 – Влияние экспозиции, севооборотов и минеральных удобрений на содержание белка в зерне озимой пшеницы (среднее за 2016, 2020 гг.)**

Также не установлено значимого влияния ( $НСР_{05} = 1,9 \%$ ) на содержание клейковины в зерне озимой пшеницы (рисунок 2). На ССЭ её содержание в среднем составило 22,9 %, на ВП – 21,3 %, что на 1,6 % меньше. Содержание клейковины в зернопаропропашном севообороте было незначительно (в среднем на 1,2 % при  $НСР_{05} = 1,9 \%$ ) выше по сравнению с зернотравянопропашным, а на ВП показана существенная разница (+ 3,2 %).



**Рисунок 2 – Влияние экспозиции, севооборотов и минеральных удобрений на содержание клейковины в зерне озимой пшеницы (среднее за 2016, 2020 гг.)**

Минимальные значения клейковины отмечены в вариантах без применения минеральных удобрений, максимальные – при внесении N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>. Влияние севооборотов на ССЭ в среднем было незначимым ( $НСР_{05} = 1,9 \%$ ). В ЗПП севообороте содержание клейковины в варианте без удобрений составило 21,6 %, в ЗТП оно снизилось до 19,3 %. С применением минеральных удобрений в дозе N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> клейковина существенно увеличивалась соответственно по севооборотам до 24,2 и 23,1 %, в дозе N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> – до 24,8 и 24,5 % ( $НСР_{05} = 2,3 \%$ ). На ВП содержание клейковины в зернопаропропашном севообороте в варианте без удобрений составило 21,8 %, в зернотравянопропашном её количество было самым низким – 19,0 %, с применением минеральных удобрений в дозе N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> клейковина существенно



увеличивалась соответственно по севооборотам до 22,7 и 19,9 %, в дозе N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> – до 24,1 и 20,3 % (НСР<sub>05</sub> = 2,3 %).

Рассмотрим степень связи по качественным показателям зерна с изучаемыми факторами (таблица 4). Местоположение опыта показывало умеренную отрицательную зависимость с содержанием белка и клейковины, где  $r$  составил -0,413 и -0,401 соответственно. По севооборотам с содержанием белка отмечена умеренная положительная связь, с содержанием клейковины связь была средняя ( $r = 0,542$ ). Фактор С (удобрения) способствовал увеличению количества белка и клейковины и на этом фоне показана заметная степень связи ( $r = 0,534$  и  $0,608$  соответственно).

**Таблица 4 – Коэффициенты корреляции показателей качества зерна и изучаемых факторов**

Показатель	Изучаемый фактор			Урожайность, т/га
	элементы рельефа (фактор А)	севооборот (фактор В)	удобрения (фактор С)	
Содержание белка, %	-0,413	0,460	0,534	0,680
Содержание клейковины, %	-0,401	0,542	0,608	0,769

Дополнительно рассчитанный коэффициент корреляции по урожайности озимой пшеницы составил по белку – 0,680, по клейковине – 0,769, что говорит о заметной и высокой степени связи урожайных данных с соответствующими показателями качества зерна.

Влияние изучаемых факторов на элементы структуры урожая, урожайность и показатели качества зерна озимой пшеницы подтверждается уравнениями, полученными при регрессионном анализе (таблица 5). Коэффициенты множественной детерминации  $R^2$  показали долю вариации изучаемых показателей под действием изучаемых факторов.

**Таблица 5 – Результаты регрессионного анализа экспериментальных данных**

Показатель	Уравнения регрессии	$R^2$
Урожайность, т/га	$Y = 2,78 + 0,16X_1 + 0,46X_2 + 0,68X_3$	0,88
Количество продуктивных стеблей, шт./м <sup>2</sup>	$ПС = 400,38 - 6,33X_1 + 12,33X_2 + 12,62X_3$	0,89
Количество зёрен в колосе, шт.	$КЗ = 33,42 + 6,0X_1 + 1,33X_2 + 1,25X_3$	0,96
Масса 1000 зёрен, г	$МЗ = 40,91 - 0,47X_1 + 0,81X_2 + 0,82X_3$	0,75
Натура зерна, г/л	$Н = 723,46 + 15,67X_1 + 7,67X_2 + 7,38X_3$	0,92
Содержание белка, %	$Б = 11,96 - 0,58X_1 + 0,65X_2 + 0,46X_3$	0,67
Содержание клейковины, %	$К = 20,32 - 1,62X_1 + 2,18X_2 + 1,5X_3$	0,82

*Примечание.*  $X_1$  – элемент рельефа,  $X_2$  – севооборот,  $X_3$  – удобрения.

Расчёт коэффициента детерминации показал, что заметная степень связи показана по содержанию белка в зерне озимой пшеницы, высокую зависимость наблюдали по массе 1000 зёрен, урожайности, количеству продуктивных стеблей, натуре зерна. Весьма высокая связь по изучаемым факторам опыта была по количеству зёрен в колосе и натуре зерна.

### Выводы

В условиях ЦЧР проведены комплексные исследования по оценке влияния севооборотов и доз минеральных удобрений при размещении опыта на северной экспозиции и водораздельном плато. Установлено, что лучшие показатели структуры урожая озимой пшеницы отмечены в ЗПП севообороте при внесении дозы удобрений N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>. Количество продуктивных стеблей на склоне северной экспозиции в ЗПП в среднем составило 427 шт./м<sup>2</sup>, в ЗТП – 412 шт./м<sup>2</sup>, на водораздельном плато было

достоверно меньше – на 9 и 4 шт./м<sup>2</sup> соответственно. По другим элементам структуры урожая более высокие значения были получены на водораздельном плато, кроме количества зёрен в колосе (в среднем +6 и 7 шт. соответственно по севооборотам) по сравнению со склоном северной экспозиции.

Содержание белка зависело от используемых в опыте доз минеральных удобрений и севооборотов. В условиях ЗТП севооборота ССЭ получены его самые высокие значения с дозой N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> – 13,5 %. На ССЭ его содержание в среднем составило 12,8 %, на ВП – 12,2 %. Содержание клейковины сильно зависело от доз удобрений и в меньшей степени от элемента рельефа (22,9 % на ССЭ, 21,3 % на ВП). На ССЭ показано более высокое её содержание с N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> (24,8; 24,5 по севооборотам соответственно).

При оценке фактической урожайности элементы рельефа оказали несущественное влияние на урожайность зерна озимой пшеницы. Доля влияния экспозиции опыта составила 2,9 %, севооборота – 22,5 %, минеральных удобрений – 67,4 %. Наибольшая урожайность зерна получена в ЗПП севообороте при внесении двойной дозы минеральных удобрений N<sub>40</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>: на склоне северной экспозиции – 4,63 т/га, на водораздельном плато – 4,52 т/га. Таким образом, при разработке агротехнологий, способствующих росту урожайности зерновых культур (на примере озимой пшеницы), предлагается обратить особое внимание на исследование эффективных дозировок минеральных удобрений и их соотношения по действующему веществу в соответствии с планируемой урожайностью, так как они обладают весьма высокой долей влияния.

Биологизированный зернотравянопропашной севооборот уступал зернопаропропашному на 11,5 %, но, на наш взгляд, необходимо усилить исследования в этом направлении, учитывая важную роль многолетних трав в севооборотах.

*Работа выполнена по теме государственного задания № FGZU-2022-0005.*

### Литература

1. Dubytska A., Kachmar O., Dubytskyi O., Vavrynovych O. The influence of ecologised fertiliser systems on the elements of fertility and productivity of winter wheat // Наукові горизонти. 2021. Т. 24. № 9. С. 44–54. DOI: 10.48077/scihor.24(9).2021.44-54.
2. Nikitina O. Lazarev V., Stifeev A. The effectiveness of technologies for the cultivation of winter wheat with different levels of biologization in the conditions of the Kursk region // BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2021). 2021. Vol. 37. Art. No. 00085. DOI: 10.1051/bioconf/20213700085.
3. Гуреев И. И., Гостев А. В., Нитченко Л. Б., Лукьянов В. А., Хлюпина С. В., Прущик И. А. Экономико-энергетическая эффективность доз минеральных удобрений при возделывании озимой пшеницы в севооборотах Центрально-Чернозёмного региона // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 3. С. 16–21. DOI: 10.53859/02352451\_2023\_37\_3\_16.
4. Аль Дхухайбави Х. Х., Смуров С. И., Зюба С. Н., Куликова М. А., Ступаков А. Г. Агрехимические свойства чернозёма типичного в зависимости от минеральных удобрений и предшественников озимой пшеницы // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2020. № 1(25). С. 146–154.
5. 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.
6. Жариков М. Г., Салпагаров Р. Ю., Грунская В. П. Эффективность нового органоминерального удобрения «Аркуойл» на посевах озимой пшеницы // Актуальная биотехнология. 2019. № 3(30). С. 258–263.
7. Amelin A. V., Chekalin E. I., Zaikin V. V., Mazalov V. I., Ikusov R. A. Biochemical grain quality indicators and photosynthetic rate of leaves in modern varieties of winter wheat // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. V International Workshop on Innovations in Agro and Food Technologies (WIAFT-V-2021). 2021. Vol. 848. Art. No. 012096. DOI: 10.1088/1755-1315/848/1/012096.
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. 2019. Vol. 315. Iss. 5. Art. No. 052027. DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052027.

9. Турусов В. И., Дронова Н. В., Балюнова Е. А. Гумусное состояние и ферментативная активность почвы в посевах озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в зависимости от изучаемых севооборотов // Проблемы агрохимии и экологии. 2021. № 1. С. 3–6. DOI: 10.26178/3209.2021.91.19.001.

10. Турусов В. И., Богатых О. А., Дронова Н. В., Балюнова Е. А., Говорова А. В. Влияние предшественников на продуктивность и качество озимой пшеницы в севооборотах в Центральном Черноземье // Центральный научный вестник. 2019. Т. 4. № 3(68). С. 17–19.

11. 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.

12. Кравченко Р. В. Терехова С. С., Гречищев Д. С. Влияние минеральных удобрений на фоне минимизации основной обработки почвы на агробиологические показатели озимой пшеницы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 180. С. 193–204. DOI: 10.21515/1990-4665-180-011.

13. Koryagin Y., Kulikova E., Efremova S., Sukhova N. The influence of microbiological fertilisers on the productivity and quality of winter wheat // Plant, Soil and Environment. 2020. Vol. 66. No. 11. P. 564–568. DOI: 10.17221/218/2020-PSE.

14. Muhlbachova G., Ruzek P., Kusá H., Vavera R., Kas M. Winter wheat straw decomposition under different nitrogen fertilizers // Agriculture. 2021. Vol. 11. No. 2. Art. No. 83. DOI: 10.3390/agriculture11020083.

15. Тертышная А. Г., Гольдварг Б. А., Боктаев М. В., Евчук М. В. Урожай и качество озимой пшеницы в зависимости от минеральных удобрений в Республике Калмыкия // Плодородие. 2022. № 5(128). С. 61–65. DOI: 10.25680/S19948603.2022.128.15.

16. Vaimuratov A., Bastaubayeva S., Arslan M., Yeraliyeva Z. Effect of fertilizer application on winter wheat productivity under precision agriculture in Kazakhstan // Biodiversitas. 2021. Vol. 22. No. 3. P. 1558–1563. DOI: 10.13057/BIODIV/D220362.

17. Али А. К. А., Онищенко Л. М., Гноевская К. А. Действие минеральных удобрений в агроценозе пшеницы озимой, выращиваемой в условиях Западного Предкавказья // Известия Горского государственного аграрного университета. 2023. Т. 60(2). С. 7–14. DOI: 10.54258/20701047\_2023\_60\_2\_7.

18. Wozniak A., Rachon L. Effect of tillage systems on the yield and quality of winter wheat grain and soil properties // Agriculture. 2020. Vol. 10. No. 9. P. 1–12. DOI: 10.3390/agriculture10090405.

19. Lykhochvor V., Gnativ P., Andrushko O., Ivanyuk V., Olifir Y. The role of nutrients in the formation of yield and grain quality of winter wheat // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2022. Vol. 28. No. 1. P. 103–109.

20. Мазалов В. И., Мосина О. М., Хмызова Н. Г., Донской М.М. Влияние различных доз азотных удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы // Земледелие. 2019. № 4. С. 19–21. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10404.

21. Хрунов А. А., Налиухин А. Н., Сидоренкова Н. К. Определение доз минеральных удобрений под озимую пшеницу по нормативам окупаемости // Плодородие. 2022. № 5(128). С. 36–40. DOI: 10.25680/S19948603.2022.128.10.

22. Шаляпин В. В., Онищенко Л. М., Назаренко Л. В. Действие видов минеральных удобрений на урожайность пшеницы мягкой озимой, выращиваемой на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2023. № 1(47). С. 5–13.

23. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

## References

1. Dubytska A., Kachmar O., Dubytskyi O., Vavrynovych O. The influence of ecologized fertiliser systems on the elements of fertility and productivity of winter wheat // Scientific Horizons. 2021. Vol. 24. No. 9. P. 44–54. DOI: 10.48077/scihor.24(9).2021.44-54.

2. Nikitina O., Lazarev V., Stifeev A. The effectiveness of technologies for the cultivation of winter wheat with different levels of biologization in the conditions of the Kursk region // BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2021). 2021. Vol. 37. Art. No. 00085. DOI: 10.1051/bioconf/20213700085.

3. Gureev I. I., Gostev A. V., Nitchenko L. B., Lukyanov V. A., Khlyupina S. V., Pruschik I. A. Economic and energy efficiency of doses of mineral fertilizers in the cultivation of winter wheat in crop rotations of the Central Black Earth Region // Achievements of Science and Technology of AIC. 2023. Vol. 37. No. 3. P. 16–21. DOI: 10.53859/02352451\_2023\_37\_3\_16.

4. Al Dhukhaybawi Kh. Kh., Smurov S. I., Zyuba S. N., Kulikova M. A., Stupakov A. G. Agrochemical properties of typical chernozem depending on mineral fertilizers and predecessors of winter wheat // Innovations in agricultural complex: problems and perspectives. 2020. No. 1(25). P. 146–154.
5. Solovichenko V. D., Nikitin V. V., Karabutov A. P., Navolneva E. V. The impact of crop rotations, methods of tillage and fertilizers on the yield and economic performance of winter wheat // Agrarian science. 2018. No. 5. P. 46–49.
6. Zharikov M. G., Salpagarov R. Yu., Grunskaya V. P. Efficiency of the new organo-mineral fertilizer “Arksoil” on winter wheat crops // Topical biotechnology. 2019. No. 3(30). P. 258–263.
7. Amelin A. V., Chekalin E. I., Zaikin V. V., Mazalov V. I., Ikusov R. A. Biochemical grain quality indicators and photosynthetic rate of leaves in modern varieties of winter wheat // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. V International Workshop on Innovations in Agro and Food Technologies (WIAFT-V-2021). 2021. Vol. 848. Art. No. 012096. DOI: 10.1088/1755-1315/848/1/012096.
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. 2019. Vol. 315. Iss. 5. Art. No. 052027. DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052027.
9. Turusov, V. I., Dronova N. V., Balyunova E. A. Humus state and enzymatic activity of soil in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) crops depending on crop rotations // Agrochemistry and Ecology Problems. 2021. No. 1. P. 3–6. DOI: 10.26178/3209.2021.91.19.001.
10. Turusov V. I., Bogatykh O. A., Dronova N. V., Balyunova E. A., Govorova O. V. Influence of preceding crops on winter wheat productivity and quality in crop rotations in Central Black Earth // Central Science Bulletin. 2019. Vol. 4. No. 3(68). P. 17–19.
11. 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.
12. Kravchenko R. V. Terekhova S. S., Grechishchev D. S. The influence of mineral fertilizers on the background of minimization of the basic tillage on the agrobiological indicators of winter wheat // Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. 2022. No. 180. P. 193–204. DOI: 10.21515/1990-4665-180-011.
13. Koryagin Y., Kulikova E., Efremova S., Sukhova N. The influence of microbiological fertilisers on the productivity and quality of winter wheat // Plant, Soil and Environment. 2020. Vol. 66. No. 11. P. 564–568. DOI: 10.17221/218/2020-PSE.
14. Muhlbachova G., Ruzek P., Kusá H., Vavera R., Kas M. Winter wheat straw decomposition under different nitrogen fertilizers // Agriculture. 2021. Vol. 11. No. 2. Art. No. 83. DOI: 10.3390/agriculture11020083.
15. Tertyshnaya A.G., Goldvarg B.A., Boktaev M.V., Evchuk M.V. Yield and quality of winter wheat depending on mineral fertilizers on light chestnut soil of the Republic of Kalmykia // Plodorodie. 2022. No. 5(128). P. 61–65. DOI: 10.25680/S19948603.2022.128.15.
16. Baimuratov A., Bastaubayeva S., Arslan M., Yerallyyeva Z. Effect of fertilizer application on winter wheat productivity under precision agriculture in Kazakhstan // Biodiversitas. 2021. Vol. 22. No. 3. P. 1558–1563. DOI: 10.13057/BIODIV/D220362.
17. Ali A. K. A., Onishchenko L. M., Gnoevskaya K. A. The effect of mineral fertilizers in agroecosystem of winter wheat grown in the conditions of the Western Ciscaucasia // Proceedings of Gorsky State Agrarian University. 2023. Vol. 60(2). P. 7–14. DOI: 10.54258/20701047\_2023\_60\_2\_7.
18. Wozniak A., Rachon L. Effect of tillage systems on the yield and quality of winter wheat grain and soil properties // Agriculture. 2020. Vol. 10. No. 9. P. 1–12. DOI: 10.3390/agriculture10090405.
19. Lykhochvor V., Gnativ P., Andrushko O., Ivanyuk V., Olifir Y. The role of nutrients in the formation of yield and grain quality of winter wheat // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2022. Vol. 28. No. 1. P. 103–109.
20. Mazalov V. I., Mosina O. M., Khmyzova N. G., Donskoy M.M. Influence of various doses of nitrogen fertilizers on yield and quality of winter wheat grain // Zemledelie. 2019. No. 4. P. 19–21. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10404.
21. Khrunov A. A., Naliukhin A. N., Sidorenkova N. K. Determining fertilizer doses according to payback standards // Plodorodie. 2022. No. 5(128). P. 36–40. DOI: 10.25680/S19948603.2022.128.10.
22. Shaliapin V. V., Onishchenko L. M., Nazarenko L. V. The effect of types of mineral fertilizers on the yield of soft winter wheat grown on leached chernozem of the Western Caucasus // Bulletin of Don State Agrarian University. 2023. No. 1(47). P. 5–13.
23. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.

UDC 633.11: 631.559:631.582: 631.82

Lukyanov V. A., Nitchenko L. B.

**INFLUENCE OF RELIEF ELEMENTS, CROP ROTATIONS AND FERTILIZER DOSES ON WINTER WHEAT YIELD STRUCTURE AND QUALITY UNDER CONDITIONS OF CENTRAL CHERNOZEM REGION**

**Summary.** *Improvement of the nutrition regime of field crops and increment of soil fertility is impossible without crop rotations, which not only replenish the reserves of soil organic matter, but also serve as an important mean of managing its fertility. The purpose of the research was to assess the influence of relief elements, crop rotations and mineral fertilizer doses on winter wheat yield structure and quality under conditions of Central Chernozem Region. The research was carried out in 2015–2016 and 2019–2020 under conditions of stationary multifactorial field experiment at the trial plots of the Federal Agricultural Kursk Research Center. Research objects: winter wheat (*Triticum aestivum* L.), relief elements (slope of the northern exposure, watershed plateau), crop rotations (grain-fallow-row, grain-grass-row), mineral fertilizer doses (without fertilizers,  $N_{20}P_{40}K_{40}$ ,  $N_{40}P_{80}K_{80}$ ). Differences in winter wheat grain yield depending on relief elements were insignificant (yield on the watershed plateau was higher by 0.16 t/ha). The highest grain yield (4.63 t/ha) was obtained on the slope of the northern exposure in the grain-fallow-row crop rotation with the introduction of  $N_{40}P_{80}K_{80}$ ; on the watershed plateau, under similar conditions, it was 4.52 t/ha. On the slope of the northern exposure, in the grain-fallow-row crop rotation, on average, there were 427 productive stems per square meter; in the grain-grass-row crop rotation – 412 pcs./m<sup>2</sup>; on the watershed plateau – significantly less (by 9 and 4 pcs./m<sup>2</sup>, respectively). The number of grains per ear was significantly higher (by 6–7 pcs.) on the watershed plateau than on the slope of the northern exposure. On the slope of the northern exposure, 1000-grain weight was 0.44–0.48 g higher than that of on the watershed plateau. On the watershed plateau when  $N_{40}P_{80}K_{80}$  was applied, hectolitre weight (or weight per unit volume) was significantly higher: 755 g/l in the grain-fallow-row crop rotation and 745 g/l in the grain-grass-row crop rotation; on the slope of the northern exposure – 737 and 732 g/l, respectively. The highest protein content (13.5 %) was noted when mineral fertilizers were applied at a dose of  $N_{40}P_{80}K_{80}$  on the slope of the northern exposure in the grain-grass-row crop rotation. The highest gluten content (24.8 %) was obtained when mineral fertilizers were applied at a dose of  $N_{40}P_{80}K_{80}$  on the slope of the northern exposure in the grain-fallow-row crop rotation. Thus, a more biologized grain-grass-row crop rotation allowed obtaining the planned yield of winter wheat grain. In our view, it is crucial to strengthen the research in this direction in order to solve a number of additional topical issues in modern farming.*

**Keywords:** *winter wheat (*Triticum aestivum* L.), yield, crop structure, grain quality, crop rotations, mineral fertilizers, relief elements, Central Chernozem region.*

Лукьянов Вячеслав Анатольевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, ФГБНУ «Курский ФАНЦ»; 305021, Россия, г. Курск, Карла Маркса, 70Б; e-mail: lukyanov27@mail.ru.

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

Lukyanov Vyacheslav Anatolyevich, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher of the Laboratory of crop rotations and adaptive agricultural technologies, 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 crop rotations and adaptive agricultural technologies, Federal Agricultural Kursk Research Center; 70B, Karl Marks str., Kursk, 305021, Russia; e-mail: nitchenko58@yandex.ru.

*Дата поступления в редакцию – 18.08.2023.*

*Дата принятия к печати – 06.10.2023.*

DOI 10.5281/zenodo.10297840

EDN ESHGAE

УДК 631.42.+531.001.362

Моисеев К. Г.<sup>1</sup>, Данилова Т. Н.<sup>1</sup>, Терлеев В. В.<sup>2</sup>

## ФИЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПОЧВЕННЫХ СОЛЕВЫХ КОРОК

<sup>1</sup>ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»;

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

**Реферат.** В связи с климатическими изменениями проблема сельскохозяйственного использования засоленных почв и борьбы с коркообразованием на их поверхности актуальна для всех аридных регионов мира. Моделирование становится необходимым методом исследования засоления почв и коркообразования, но оно бесполезно если не установлены критерии взаимодозначного соответствия между моделью и натурой. В статье определены термодинамические и кинетические факторы, влияющие на развитие напряжений в почве и формирование прочности солевых корок. Построение критериев физического и химического подобия процессов засоления почв составляет суть физического обеспечения моделирования процессов засоления и коркообразования почв. На основе экспериментальных данных Даниловой Т. Н. 2002 и 2011 гг., наших исследований и анализа 2019–2020 гг. построены критерии подобия процессов засоления и коркообразования почв способом создания полных матриц размерности предикторов обобщенного физического уравнения и решения соответствующих определителей. Построено критериальное уравнение процессов засоления почв и указаны рамки планирования эксперимента по исследованию засоления почв. Критериальное уравнение упрощает организацию эксперимента по моделированию коркообразования. Из построенного уравнения следует, что прочность почвенной корки является функцией температуры, при которой происходило её образование. Так, если мы берем почву определенного таксономического типа и физического состояния (например, по предикторам плотности сложения и удельной поверхности), то при постановке эксперимента мы однозначно (до опыта) задаем тип засоления этой почвы, и единственное, что необходимо будет исследовать – это температурную зависимость коркообразования почв. Использованный метод построения критериев подобия относится к группе методов анализа размерности, теории подобия и применяется в тех случаях, когда отсутствует полное математическое описание процесса. Данный метод весьма перспективен для применения в физике почв, так как обеспечивает решение ряда неотложных практических задач при исключительной сложности объекта исследования и необходимости натурального моделирования.

**Ключевые слова:** теория подобия, анализ размерности, физика почв, засоление почв, коркообразование.

**Для цитирования:** Моисеев К. Г., Данилова Т. Н., Терлеев В. В. Физическое обеспечение моделирования процессов образования почвенных солевых корок // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4(36). С. 124–134. EDN: ESHGAE. DOI: 10.5281/zenodo.10297840.

**For citation:** Moiseev K. G., Danilova T. N., Terleev V. V. Physical support for modelling soil salt crust formation // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4 (36). P. 124–134. EDN: ESHGAE. DOI: 10.5281/zenodo.10297840.

### Введение

При интенсивном засолении на дневной поверхности почв, не защищенных растительным покровом, в процессе физического испарения почвенного раствора с

поверхности при усадке и высыхании преимущественно бесструктурных почв формируется солевая корка различной толщины и прочности [1–5]. Часто корка возникает в результате воздействия на почву атмосферных осадков, разрушения почвенной структуры машинами и орудиями, а также в процессах замерзания и оттаивания почв в течение холодного сезона [6]. В аридных и семиаридных регионах мира с выпотным водным режимом почв засоление является источником серьезных проблем национальной экономики. В настоящее время засоление почв становится проблемой регионов с гумидным климатом в связи с ростом поступления в атмосферу загрязняющих веществ техногенного происхождения и требует целенаправленного контроля соблюдения экологических нормативов [7]. Также данная проблема обострилась во всех климатических регионах в связи с техногенным загрязнением осадков, широким орошением ранее не орошаемых земель и влагозарядковыми поливами водой, содержащей соли.

Изучение засоления почв и коркообразования имеет давние традиции в почвоведении [1, 8, 9]. До того, как почвоведение превратилось в самостоятельную отрасль знаний, в различных странах, где развивалось засоление почв, проводились широкие теоретические и практические исследования по описанию, изучению и химической мелиорации засоленных почв [2, 3, 5, 10]. Исследования процессов засоления, коркообразования и практический опыт мелиорации подверженных засолению почв развивались совместно с развитием фундаментальных и прикладных наук [1]. Потребность в количественном описании физико-химических процессов, формирующих генетический профиль засоленных почв и приводящих к образованию солевых корок на их поверхности, не удовлетворена в полной мере до настоящего времени, хотя мы уже многое знаем об условиях формирования почвенных корок [1]. Применение различного рода агротехнологий и агротехнических приемов, способствующих улучшению физико-химических свойств почв и предотвращению образования почвенной корки, требует точного количественного описания процессов коркообразования [1, 11–13]. Такое описание затрудняется не только сложностью системы, которой является почва, но и сложностью проведения необходимых достаточно точных многоуровневых измерений отдельных свойств почв, скоростей протекания процессов и т. д. Поэтому многомасштабные системы, такие как почвы, удобно исследовать методами моделирования [13, 14].

Многочисленность модельных экспериментов по исследованию физико-химических процессов засоления почв заключается в практической значимости даже частичного описания этих процессов для практики орошения, дренажа и бонитировки почв [12]. Проектирование дорогостоящих оросительных и дренажных систем при недостатке воды хорошего качества для орошения и промывок делают моделирование необходимостью [1]. Моделирование становится неотъемлемым методом исследования засоления почв [13] и коркообразования не только для определения перспективной стоимости таких проектов, но и для оценки последующих рисков от реализации данных проектов для агроэкологических систем [7].

Необходимо также отметить, что моделью в данном случае может быть не обязательно искусственно созданный объект. В науках о природе, биологии, почвоведении, геологии часто невозможно построить модель отдельно от природы, но можно выбрать так называемый характерный объект, который будет являться моделью для других изучаемых природных объектов. Такой особый вид моделирования называется натурным. И, к сожалению, при натурном моделировании задача поиска взаимнооднозначного соответствия природы и модели на точном количественном и физическом уровне часто не ставится в явном виде, а исследователи предпочитают статистический многофакторный анализ. Или, выражаясь обобщенно, широко

применяется стохастическое, динамическое и аналоговое моделирование. При этом физическая сущность процессов, происходящих внутри изучаемого объекта остается не раскрытой [14, 15].

Тривиально, моделирование – метод создания вспомогательных объектов (моделей), находящихся в определенном соответствии с изучаемым оригиналом (объектом исследования). Для физического обеспечения моделирования необходимо установить количественное соответствие между параметрами, характеризующими модель, и параметрами оригинала, то есть правила взаимнооднозначного соответствия модели и оригинала – безразмерные комплексы, составленные из размерных параметров – критерии подобия. Критерии подобия позволяют переносить результаты экспериментов с моделью на схожие объекты. Критерии подобия – это идентичные по форме алгебраической записи и равные численно безразмерные степенные комплексы определенных групп физических параметров, характеризующих эти объекты [14, 15]. При натурном моделировании физический смысл критериев подобия, помимо установления взаимнооднозначного соответствия двух объектов, заключается в том, что данные безразмерные комплексы, построенные из размерных физических параметров, однозначным образом характеризуют переход процесса в физической или физико-химической системе от одной интенсивности к другой в одном объекте.

Существует несколько способов построения безразмерных комплексов – критериев подобия, которыми располагает теория подобия и размерности. Первое – построение критериев подобия на основе дифференциальных уравнений исследуемого процесса. Второе – построение критериев подобия методом интегральных аналогов (на основе интегральных уравнений). Третье – построение критериев подобия анализом размерности физических параметров, точнее, предикторов, участвующих в исследуемом процессе в том случае, когда его математическое описание неизвестно [14, 15]. При исследовании и решении задачи физического обеспечения моделирования процесса коркообразования два первых способа построения критериев подобия для нас невозможны, так как мы не располагаем полной системой дифференциальных, и тем более, интегральных уравнений процесса. Наши знания о процессе коркообразования находятся на уровне статистических (регрессионных) моделей общих физических качественных и полуколичественных представлений, позволяющих нам выявить участвующие в процессе параметры и записать полную функциональную зависимость, подлежащую исследованию в общем виде:  $f(X_1; X_2; \dots; X_n) = 0$ . В любом случае полученный результат представляет собой описательную модель процесса, в которой уже разделены параметры и связи на существенные и несущественные. Правильность содержательного описания объектов зависит от полноты информации, которой располагает исследователь.

**Цель исследования** – построение критериев физико-химического и термодинамического подобия процессов коркообразования и свойств солевых корок при испарении почвенных растворов, содержащих различные по химическому составу соли с поверхности почв, лишенных растительности.

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

За основу объекта исследования взяты результаты модельных экспериментов по образованию солевых корок, выполненные Даниловой Т. Н. на Терско-Кумских песках [1]. Моделировался различный солевой состав и концентрация заполняющего песок раствора, различная температура испарения «порового» раствора, прочность и толщина образующихся солевых корок [1]. Рассмотрим процесс образования солевой корки на поверхности пористого твердого тела при испарении с этой поверхности солевого раствора, насыщающего поровое пространство. Процесс образования корки на границе двух сред – в данном случае почвы (твердой фазы) и газовой фазы – атмосферы



аналогичен выпадению осадков из насыщенных водных растворов солей при изменении термодинамических условий равновесия внутри многокомпонентной системы. Изменение концентрации раствора приводит к изменению фазового состояния растворенного вещества. Происходит выделение растворенного вещества из раствора и, в частном случае, формирование корки этого вещества различной толщины и прочности на поверхности раздела фаз (поверхности испарения). Химический состав раствора обуславливает растворение и выпадение веществ в осадок, которые сопровождаются термодинамическими эффектами. Изменение внутренней энергии растворяемого (осаждающегося) вещества и растворителя обязательно следует учитывать на первом шаге анализа размерностей – выборе основных предикторов процесса коркообразования. Температура системы, коэффициент диффузии, плотность сложения (пористость) и удельная поверхность почвы обуславливает скорость поступления раствора в зону осаждения. Величина температуры является одним из существеннейших параметров, влияющим на испарение солевого раствора. Существенными предикторами, очевидно, также являются прочностные свойства образующейся пленки. На величину прочности образующейся солевой корки в том числе влияет величина поверхностного натяжения раствора на границе с твердой фазой почв,  $a$  – температурный коэффициент  $\sigma$ . Поэтому при выборе в качестве основных предикторов процесса коркообразования перепада температуры ( $\Delta K$ ) и поверхностного натяжения солевого раствора, данные предикторы не могут входить в один критерий подобия. Перечисленные физико-химические, физические и топологические параметры пористой среды, содержащей солевой раствор, образуют физико-механическую систему существенных предикторов процесса в виде функциональной зависимости:  $f(X_1; X_2; \dots; X_n) = 0$ . Учитывая изменения внутренней энергии термодинамической системы «почва–солевой раствор» при формировании корок и универсальную газовую постоянную, имеем полную систему существенных для процесса коркообразования термодинамических и физических предикторов. Итак, имеем полное физическое уравнение процесса коркообразования:  $f(R; C; \sigma; \delta; \Delta H; P; T; S_o; \gamma; D; \eta) = 0$ . Список предикторов процесса представлен в форме таблицы 1.

**Таблица 1 – Список предикторов, существенных для процесса коркообразования, обозначения, размерность и формула размерности в международной системе единиц измерения [СИ]**

Наименование	Обозначение	Размерность система [СИ]	Формула размерности	№ п/п
Универсальная газовая постоянная	R	Дж/моль $\times$ K	$M \cdot L^2 \cdot T^{-2} \cdot K^{-1} \cdot \mu^{-1}$	X <sub>1</sub>
Концентрация соли в растворе	C	моль/м <sup>3</sup>	$\mu \cdot L^3$	X <sub>2</sub>
Поверхностное натяжение (энергия)	$\sigma$	Дж/м <sup>2</sup>	$L \cdot T^{-2}$	X <sub>3</sub>
Толщина пленки	$\delta$	м	$L$	X <sub>4</sub>
Тепловой эффект кристаллизации	$\Delta H$	Дж/моль	$M \mu^2 \cdot T^{-2} \cdot \mu^{-1}$	X <sub>5</sub>
Прочность пленки	P	Па	$M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2}$	X <sub>6</sub>
Термодинамическая температура	T	K <sup>o</sup>	K	X <sub>7</sub>
Удельная поверхность	S <sub>o</sub>	м <sup>2</sup> /кг	$M^{-1} \cdot L \cdot T^2$	X <sub>8</sub>
Плотность сложения почвы	$\gamma$	Н/м <sup>3</sup>	$M \cdot L^{-2} \cdot T^{-2}$	X <sub>9</sub>
Коэффициент диффузии	D	м <sup>2</sup> /с	$L^2 \cdot T^{-1}$	X <sub>10</sub>
Коэффициент вязкости	$\eta$	Пуаз	$M \cdot L^{-1} \cdot T^{-1}$	X <sub>11</sub>

В системе [СИ] выбран класс основных единиц измерения: масса [M], длина [L], время [T], термодинамическая температура (градус Кельвина) [K], количество вещества моль [μ] – всего пять единиц.

Такие предикторы, как вязкость раствора, его концентрация, поверхностное натяжение и термодинамическая температура, находятся в тесной корреляционной или функциональной зависимости друг с другом. Поэтому следует сократить список основных предикторов. Наш выбор пал на предикторы «температура» и «поверхностное натяжение раствора», так как это параметры, исчерпывающим образом характеризующие энергетическое состояние раствора соли, предикторы «вязкость» и «концентрация раствора» нами отбракованы.

В основе любого количественного исследования лежит принцип абсолютности отношений [14, 15]. Для каждого предиктора записывается формула размерности – выражение размерности предиктора через основные единицы выбранной системы размерностей. При записи формул размерностей предикторов соблюдаем правило Фурье – размерности всех предикторов должны быть выражены в единой системе измерения. Формула размерности универсальной газовой постоянной R [Дж/К·моль] и в классе единиц: длина [L], масса [M], время [T], термодинамическая температура (градус Кельвина) [K], количество вещества – моль [μ], всего пять основных единиц измерения.

Формула записывается в виде:  $R = M \cdot L^2 \cdot T^{-2} \cdot K^{-1} \cdot \mu^{-1}$ ; в логарифмической форме:

$$\lg R = \lg M + 2\lg L - 2\lg T - \lg K - \lg \mu.$$

Отношение (например, для R):  $p = \frac{R \cdot \mu \cdot K \cdot T^2}{M \cdot L^2}$  или  $p = \frac{R}{[M] \cdot [L]^2 \cdot [T]^{-2} \cdot [K]^{-1} \cdot [\mu]^{-1}}$  – приведенный комплекс. В обобщенном виде приведенный комплекс – это отношение размерности зависимого предиктора (здесь R) к размерности независимых предикторов. Число независимых параметров (k) равно числу основных единиц выбранной системы измерения (n). В общем случае ( $k \leq n$ ) число независимых параметров может быть меньше числа основных единиц измерения.

Составляем полную матрицу размерностей из степеней основных единиц измерения, учитывая, что формула размерности каждого предиктора содержит все пять основных единиц измерения, но некоторые основные единицы, не формирующие размерность данного предиктора, записываются в формуле размерности в нулевой степени. Например, для коэффициента поверхностного натяжения раствора полная формула размерности записывается:  $\sigma = [M]^0 \cdot [L]^1 \cdot [T]^{-2} \cdot [K]^0 \cdot [\mu]^0$

**Таблица 2 – Полная матрица размерностей предикторов из степеней основных единиц измерения класса [M], [L], [T], [K], [μ] системы [СИ]**

№ п/п	Символьное обозначение	M	L	T	K	μ
1	R	1	2	-2	-1	-1
2	σ	1	0	-2	0	0
3	δ	0	1	0	0	0
4	ΔH	1	2	-2	0	-1
5	P	1	-1	-2	0	0
6	T	0	0	0	1	0
7	So	-1	1	2	0	0
8	γ	1	-2	-2	0	0
9	D	0	2	-1	0	0

Определяем группу независимых параметров k в полной функциональной зависимости:  $f(X_1; X_2; \dots; X_k; X_{k+1}; \dots; X_n) = 0$ . Данную операцию можно осуществить комбинированием (сложением, вычитанием) логарифмических форм записи формул

размерности каждого предиктора или соответствующих строк полной матрицы. Независимые предикторы – предикторы размерности, которые не могут быть получены комбинированием размерности других предикторов. Находим независимые параметры. Так, например, размерность универсальной газовой постоянной (первая строка) может быть получена разностью четвертой и шестой строк матрицы, а размерность второй строки матрицы – сложением пятой и третьей строк. Размерность коэффициента диффузии или толщины корки солей на почве (девятая и третья строки соответственно) не получается комбинированием других строк матрицы – это независимые параметры. Независимых параметров всего четыре. Это:  $T$  (термодинамическая температура),  $D$  (коэффициент диффузии),  $\delta$  (толщина корки солей),  $\Delta H$  (тепловой эффект кристаллизации). Строим матрицу размерностей независимых параметров:

**Таблица 3 – Промежуточная матрица размерностей независимых параметров**

	$M$	$L$	$T$	$K$	$\mu$
$\Delta H$	1	2	-2	0	-1
$T$	0	0	0	1	0
$\delta$	0	1	0	0	0
$D$	0	2	-1	0	0

Необходимо определить ранг промежуточной матрицы. Число определителей четвертого порядка рассчитывается:  $C_5^4 = \frac{5!}{4!(5-4)!} = 5$ . Анализ показывает, что среди них есть определители отличные от 0, но возможно повышение ранга определителя до пятого добавлением в таблицу третьей строки степени размерности произвольно выбранного предиктора. Нас интересует прочность образующейся корки – предиктор  $P$ . Получаем квадратную матрицу пятого порядка ( $C_5^5 = 1$ ). Единственный определитель пятого порядка не равен 0, но дальнейшее повышение ранга определителя невозможно. Значит, ранг полной матрицы равен пяти, и имеем группу из пяти параметров. Число независимых параметров в данном случае равно числу основных единиц измерения  $n=k$ . Полная матрица размерности независимых параметров представлена в таблице 4.

**Таблица 4 – Полная матрица размерностей независимых параметров**

	$M$	$L$	$T$	$K$	$\mu$
$\Delta H$	1	2	-2	0	-1
$T$	0	0	0	1	0
$\delta$	0	1	0	0	0
$D$	0	2	-1	0	0
$P$	1	-1	-2	0	0

Если определитель пятого порядка отличен от 0 (в данном случае равен -1), то число критериев подобия равно числу зависимых параметров или, по  $\pi$ -теореме (второй теореме теории подобия), число критериев подобия равно числу всех предикторов процесса за вычетом числа независимых параметров. Мы имеем пять независимых параметров и, следовательно ( $9-5=4$ ), можем построить четыре критерия подобия.

Выясняем структуру критериев подобия. Для этого необходимо заменить одну строку в матрице независимых параметров на строку с размерностью зависимого параметра. Число сочетаний из пяти независимых параметров с заменой по одной строке в матрице на размерность одного и того же зависимого параметра дает группу из пяти определителей пятого порядка по числу возможных комбинаций:

$$C_5^1 = \frac{5!}{1!(5-1)!} = 5$$

Данная операция аналогична построению приведенных комплексов следующей структуры:

$$p = \frac{X_i}{[M]^x \cdot [L]^y \cdot [T]^z \cdot [K]^v \cdot [\mu]^u}^\alpha$$

Решение каждого определителя дает нам величину степени  $\alpha$ , в которой независимый предиктор (размерность которого заменена размерностью зависимого предиктора) входит в состав критерия подобия. Каждая группа определителей (по числу независимых параметров) позволяет нам выяснить структуру одного критерия подобия. Число возможных формульных записей критериев подобия равно сумме всех определителей (четыре группы по пять определителей (=20)), значение которых отлично от 0.

### Результаты и их обсуждение

Для определения степени  $\alpha$  при  $\Delta H$  строка квадратной матрицы пятого ранга с размерностью  $\Delta H$ , заменяется строкой с размерностью  $X_i$  и решается получившийся определитель пятого порядка. Для построения критерия подобия реализуется следующий алгоритм, представленный в таблице 5:

Таблица 5 – Алгоритм построения критерия подобия для  $X_i=R$

	<i>M</i>	<i>L</i>	<i>T</i>	<i>K</i>	$\mu$	
<b>R</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>-2</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>	$\Delta_1=-1, (\Delta H)^{\alpha=1}$
<i>T</i>	0	0	0	1	0	
$\delta$	0	1	0	0	0	
<i>D</i>	0	2	-1	0	0	
<i>P</i>	1	-1	-2	0	0	
$\Delta H$	1	2	-2	0	-1	$\Delta_2=1, (T)^{\beta=1}$
<b>R</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>-2</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>	
$\delta$	0	1	0	0	0	
<i>D</i>	0	2	-1	0	0	
<i>P</i>	1	-1	-2	0	0	
$\Delta H$	1	2	-2	0	-1	$\Delta_3=0, (\delta)^{\gamma=0}$
<i>T</i>	0	0	0	1	0	
<b>R</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>-2</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>	
<i>D</i>	0	2	-1	0	0	
<i>P</i>	1	-1	-2	0	0	
$\Delta H$	1	2	-2	0	-1	$\Delta_4=0, (D)^{\varepsilon=0}$
<i>T</i>	0	0	0	1	0	
$\delta$	0	1	0	0	0	
<b>R</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>-2</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>	
<i>P</i>	1	-1	-2	0	0	
$\Delta H$	1	2	-2	0	-1	$\Delta_5=0, (P)^{\varepsilon=0}$
<i>T</i>	0	0	0	1	0	
$\delta$	0	1	0	0	0	
<i>D</i>	0	2	-1	0	0	
<b>R</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>-2</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>	

Получаем первый критерий в формульной записи:  $RT/\Delta H$ . Такая процедура производится с каждым зависимым предиктором. Итак, построены критерии подобия в форме:

$\pi_1 = RT/\Delta H$  – известное в термодинамике соотношение.

$\pi_2 = \sigma/P\delta$  (или  $\sigma/y\delta^2$ ) – отношение капиллярного давления к гидростатическому или отношение объемной и поверхностной энергии термодинамической системы «пористая среда – солевой раствор».

$\pi_3 = PS_0$  – механический фактор удельной поверхности почв.

$\pi_4 = P/y\delta$  – подобие прочности материалов, аналог критерия  $P/E$ , здесь  $E$  – модуль упругости Юнга.

Вообще говоря, существует семь форм записи критериев подобия, так как из  $4 \cdot 5 = 20$  определителей 13 равны 0.

Несомненно, в первую очередь нас интересует толщина и прочность образующейся корки солей на поверхности почвы. Поэтому при составлении критериального уравнения процесса коркообразования в целях моделирования, критерий  $\pi_3$  выступает в качестве определяемого, а остальные критерии в качестве определяющих. Критериальное уравнение:  $\pi_3 = f(\pi_1; \pi_2; \pi_4)$ . Всякая комбинация критериев подобия – также критерий подобия, поэтому мы можем уменьшить количество критериев подобия, комбинируя их друг с другом и помня, что температура и поверхностное натяжение раствора не могут входить в один критерий подобия. Поэтому после преобразования получим два критерия подобия:

$$\pi_1 = RT/\Delta H$$

$$\pi_2 = \sigma y S_0 / P$$

Запишем критериальное уравнение в виде:  $\pi_2 = f(\pi_1)$ . Функция  $\pi_2 = f(\pi_1)$  автомодельна и ее легко отобразить графически. Моделирование сложнейшего процесса коркообразования значительно упрощается. Из критерия  $\pi_2$  следует:  $\sigma y S_0 / P = C; P = C[\sigma y S_0]^n$ . Здесь  $C$  – константа и  $n$  – степень показательной функции.

Уравнение в общем виде для определения прочности образующейся почвенной

корки разного типа засоления и разных почв запишем в виде:

$$P = C[\sigma \cdot y \cdot S_0]^n \cdot f\left(\frac{RT}{\Delta H}\right) \quad (1)$$

Из уравнения 1 очевидно, что прочность почвенной корки прямо пропорциональна природе засоления почв, структурному состоянию и текстуре почв и является функцией температуры, при которой происходило её образование. После решения определителей коэффициент диффузии не вошел ни в один критерий подобия. Очевидно, свойство вязкости раствора не существенно для процесса коркообразования. Уравнение 1 упрощает организацию эксперимента по моделированию коркообразования. Так, если мы берем почву определенного типа и физического состояния (по предикторам  $y$  и  $S_0$ ), то при постановке эксперимента мы однозначно (до опыта) задаем тип засоления этой почвы, и единственное, что необходимо исследовать, это температурную зависимость коркообразования при данном типе засоления почвы.

### Выводы

Построены критерии физического подобия процесса коркообразования на поверхности засоленных почв при выпотном водном режиме. В критерии подобия входят константы и переменные, значения которых можно задать априорно, легко определить или рассчитать. Например, универсальная газовая постоянная – физическая константа, тепловой эффект кристаллизации (зависит от химического состава соли) – справочная величина, удельная поверхность и плотность сложения почв легко могут быть оценены по данным грансостава почв, заданы или определены независимо. Неизвестные параметры входят в состав определяемых критериев при решении критериального уравнения и дальнейшего моделирования.

Предложен вниманию метод построения критериев подобия способом создания полных матриц размерности параметров и решения соответствующих определителей. Использованный метод построения критериев подобия относится к группе методов анализа размерности теории подобия и применяется в тех случаях, когда отсутствует полное математическое описание процесса, а решение системы уравнений размерности затруднено по ряду технических соображений. Данный метод весьма перспективен в физике почв при исключительной сложности объекта исследования, большом числе определяющих процесс предикторов и необходимости натурального моделирования для решения ряда неотложных практических задач.

### Литература

1. Данилова Т. Н. Физическое моделирование процесса коркообразования почв. Дисс. ... канд. с.-х. н. Санкт-Петербург: Агрофизический научно-исследовательский институт, 2003. 160 с.
2. Dai Sh., Shin H., Santamarina J. C. Formation and development of salt crusts on soil surfaces // *Acta Geotechnica*. 2016. Vol. 11. P. 1103–1109. DOI: 10.1007/s11440-015-0421-9.
3. Toomanian N., Jalalian A., Eghbal M. K. Genesis of gypsum enriched soils in North-West Isfahan, Iran // *Geoderma*. 2001. Vol. 99. No. 3-4. P. 199–224. DOI: 10.1016/S0016-7061(00)00058-6.
4. Zhixin M. O. Effect of salt crust on soil organic and moisture accumulation // *Environmental Protection Science*. 2015. No. 3. P. 120–121.
5. Zhang C., Li L., Lockington D. Numerical study of evaporation-induced salt accumulation and precipitation in bare saline soils: mechanism and feedback // *Water Resources Research*. 2014. No. 50(10). P. 8084–8106. DOI: 10.1002/2013WR015127.
6. Еловская Л. Г. Мерзлотные засоленные почвы Центральной Якутии. М.: Наука, 1966. 274 с.
7. Николаев М. В. Климатические изменения и ведение полеводства в зоне осушаемых земель европейского Нечерноземья России: уязвимость и адаптация // *Сельскохозяйственная биология*. 2023. Т. 58. №. 1. С. 60–74. DOI: 10.15389/agrobiology.2023.1.60rus.
8. Бреслер Э., Макнил Б. Л., Картер Д. Л. Солончаки и солонцы: Принципы, динамика, моделирование. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 268 с.
9. Пакшина С. М. Закономерности движения и распределения солей в почве. М.: Россельхозакадемия, 1994. С. 87–99.
10. Пачепская Л. Б., Пачепский Я. А., Моргун Е. Г. Использование методов теории размерностей для анализа изменения почвенно-мелиоративных условий при орошении // *Почвоведение*. 1977. №. 12. С. 130–138.
11. Мелихова Е. В. Математическое моделирование солевого режима при фертигации в почвогрунтах фрактальной структуры // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2017. №. 2(46). С. 249–255.
12. Николаенко А. Н. Моделирование и определение параметров физико-химических процессов в почвогрунтах для мелиоративных прогнозов. Автореф. дисс. ... канд. технических наук. М. Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им А.Н. Костякова, 1983. С. 18.
13. Пачепский Я. А. Математические модели физико-химических процессов в почвах. М.: Наука, 1990. 186 с.
14. Моисеев К. Г. Критерии физико-механического подобия сопротивления почв размыву // *Агрофизика*. 2014. № 4(16). С. 7–10.
15. Веников В. А., Веников Г. В. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики): 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1984. 439 с.

### References

1. Danilova T. N. Physical modeling of the crust formation process of soils. Diss. ... Cand. Sc. (Agr.). Saint-Petersburg: Agrophysical Research Institute, 2003. 160 p.
2. Dai Sh., Shin H., Santamarina J. C. Formation and development of salt crusts on soil surfaces // *Acta Geotechnica*. 2016. Vol. 11. P. 1103–1109. DOI: 10.1007/s11440-015-0421-9.
3. Toomanian N., Jalalian A., Eghbal M. K. Genesis of gypsum enriched soils in North-West Isfahan, Iran // *Geoderma*. 2001. Vol. 99. No. 3-4. P. 199–224. DOI: 10.1016/S0016-7061(00)00058-6.
4. Zhixin M. O. Effect of salt crust on soil organic and moisture accumulation // *Environmental Protection Science*. 2015. No. 3. P. 120–121.
5. Zhang C., Li L., Lockington D. Numerical study of evaporation-induced salt accumulation and precipitation in bare saline soils: mechanism and feedback // *Water Resources Research*. 2014. No. 50(10). P. 8084–8106. DOI: 10.1002/2013WR015127.
6. Elovskaya L. G. Permafrost saline soils of Central Yakutia. Moscow: Nauka, 1966. 274 p.

7. Nikolaev M. V. The impact of climate change on crop farming in drained lands of the European Non-Chernozem Region of Russia: vulnerability and adaptation assessment // Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2023. Vol. 58. No. 1. P. 60–74. DOI: 10.15389/agrobiol.2023.1.60eng.
8. Bresler E., McNeil B. L., Carter D. L. Saline and alkaline soil: principles, dynamics, modeling. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 268 p.
9. Pakshina S. M. Patterns of movement and distribution of salts in the soil. Moscow: Rosselkhozakademia, 1994. P. 87–99.
10. Pachepskaya L. B., Pachepsky Ya. A., Morgun E. G. Using dimensional theory methods to analyze changes in soil-reclamation conditions during irrigation // Pochvovedenie. 1977. No. 12. P. 130–138.
11. Melikhova E. V. Mathematical modeling of the salt regime at fertigating in soil fractal structures // Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2017. No. 2(46). P. 249–255.
12. Nikolaenko A.N. Modeling and determination of parameters of physical and chemical processes in soils for reclamation forecasts. Author's abstract diss. ... Cand. Sc. (Techn.). Moscow: All-Union Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova, 1983. P. 18.
13. Pachepsky Ya. A. Mathematical models of physical and chemical processes in soils. Moscow: Nauka, 1990. 188 p.
14. Moiseev K. G. Criteria of physico-mechanical similarity for soil resistance to water erosion // Agrophysica. 2014. No. 4(16). P. 7–10.
15. Venikov V. A., Venikov G. V. Theory of similarity and modeling (as applied to problems in the electric power industry): 3<sup>rd</sup> ed., revised and enlarged. Moscow: Vyschaya shkola, 1984. 439 p.

UDC 631.42.+531.001.362

Moiseev K. G., Danilova T. N., Terleev V. V.

#### PHYSICAL SUPPORT FOR MODELLING SOIL SALT CRUST FORMATION

**Summary.** *The issue of agricultural use of saline soils, as well as controlling salt crust formation on their surface, is especially urgent for all arid regions worldwide due to climate change. Modelling is becoming an essential tool for studying soil salinity and crust formation. However, it is useless if criteria for one-to-one correspondence between the model and the real process are not established. In this article, thermodynamic and kinetic factors influencing the development of stresses in soil and the formation of salt crust strength were determined. The construction of criteria for the physical and chemical similarity of soil salinisation processes is the essence of the physical support for modelling the processes of soil salinisation and crust formation. Based on experimental data obtained by Danilova T. N. in 2002 and 2011, as well as our own research and analysis from 2019 to 2020, we constructed similarity criteria for soil salinisation and crust formation processes by creating complete matrices of the predictors' dimensions in a generalized physical equation and by solving the corresponding determinants. A criterion equation for soil salinisation processes was constructed and the framework for planning an experiment to study soil salinity was established. Criterion equation simplifies the organisation of the experiment to simulate crust formation. It follows from the constructed equation that the strength of the soil crust depends on the temperature at which its formation occurred. Hence, if a soil of a certain taxonomic type and physical state (e.g., according to the predictors of density and specific surface area) is taken, then, when setting up the experiment, we unambiguously (before the experiment) set the type of salinisation of this soil, and the only thing to be investigated is the temperature dependence of salt crust formation. The used method for constructing similarity criteria belongs to the group of methods of dimensional analysis and similarity theory in cases when there is no complete mathematical description of the process. This method is very promising in soil physics, as it provides solution of a number of urgent practical problems. This is especially important because of exceptional complexity of the research object and the need for real process modelling.*

**Keywords:** *similarity theory, dimensional analysis, soil physics, soil salinisation, crust formation.*

Моисеев Кирилл Геннадьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела Биофизики почв Агрофизического научно-исследовательского института. Врио заведующего лабораторией Физики и физической химии почв, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; e-mail: kir\_moiseev@mail.ru.

Данилова Татьяна Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории Агроклимата, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; e-mail: danilovatn@yandex.ru.

Терлеев Виталий Викторович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, профессор Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства Инженерно-строительного института ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29; e-mail: Vitaly\_Terlev@mail.ru.

Moiseev Kirill Gennadievich, Cand. Sc. (Agr.) leading researcher, Department of soil biophysics; temporary acting head of the Laboratory of physics and physical chemistry of soils, Federal State Budgetary Scientific Institution “Agrophysical Research Institute” (FSBSI ARI); 14, Grazhdanskiy pr., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: kir\_moiseev@mail.ru.

Danilova Tatyana Nikolaevna, Cand. Sc. (Agr.) leading researcher, Laboratory of agro-climate, Federal State Budgetary Scientific Institution “Agrophysical Research Institute” (FSBSI ARI); 14, Grazhdanskiy pr., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: danilovatn@yandex.ru.

Terleev Vitaly Viktorovich, Dr. Sc. (Agr.), senior researcher, professor of the Higher School of Hydrotechnical and Energy Construction of the Engineering and Construction Institute, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University” (SPbPU); 29, Politekhnikeskaya str., Saint-Petersburg, 195251, Russia; e-mail: Vitaly\_Terlev@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 13.10.2023*

*Дата принятия к печати – 02.11.2023*



DOI 10.5281/zenodo.10279297

EDN MTREFY

УДК 633.13

Николаев П. Н., Юсова О. А., Васюкевич С. В.

## АДАПТИВНЫЙ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ СОРТ ЯРОВОГО ОВСА ИРТЫШ 33

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

**Реферат.** Для эффективного сельхозтоваропроизводства необходимы сорта, обеспечивающие стабильно высокую урожайность с повышенным качеством зерна. Цель исследований – определить адаптивность нового перспективного сорта ярового овса Иртыш 33 (*Avena sativa* L., var. *mutica*) для дальнейшего внедрения в производство. Полевые исследования проведены в 2016–2022 гг. в питомнике конкурсного сортоиспытания на опытном поле в ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (южная лесостепь Западной Сибири). Оптимальной влагообеспеченность характеризовались 2016 и 2019 гг. (ГТК=0,99 и 1,10), избыточным увлажнением – 2018 г. (ГТК=1,39), засушливыми условиями – 2017, 2020–2022 гг. (ГТК=0,58–0,77). Почва – среднемощная тяжелосуглинистая лугово-черноземная. Стандартом выступал сорт Орион. Определены биохимические показатели зерна: массовая доля белка, крахмала и сырого жира. Новый перспективный сорт ярового овса Иртыш 33 относится к среднеспелой группе (83–87 суток), устойчив к засухе и поражению пыльной головнёй. В среднем за период исследований сорт Иртыш 33 показал себя как высокоурожайный (4,4 т/га; +0,2 т/га к St.) с повышенной массой 1000 зерен (35,5 г; +3,7 г к St.). Основные показатели качества зерна характеризовались достоверной прибавкой (+0,7 % к St. по массовой доле белка; +0,9 % к St. крахмала; +0,5 % к St. сырого жира), повышенным сбором питательных веществ с единицы площади: +0,05 т/га к St. белка, +0,1 т/га к St. крахмала и +0,02 т/га к St. сырого жира. Сорт Иртыш 33 сочетает стабильность и пластичность по массовой доле белка ( $bi > 1$  и  $\sigma_a^2 < 1$ ), интенсивен ( $bi > 1$ ) по крахмалистости зерна, стабилен ( $\sigma_a^2 < 1$ ) по содержанию сырого жира, пленчатости зерна и по урожайности. Таким образом, новый сорт Иртыш 33 с учетом высоких урожайности и качества зерна дает возможность получать повышенное количество питательных элементов с единицы площади. Высокие адаптивные качества нового сорта позволяют рекомендовать его для возделывания в качестве источника повышенной белковости, масличности и крахмалистости зерна.

**Ключевые слова:** овес яровой (*Avena sativa* L.), качество зерна, продуктивность, пластичность, стабильность.

**Для цитирования:** Николаев П. Н., Юсова О. А., Васюкевич С. В. Адаптивный высококачественный сорт ярового овса Иртыш 33 // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4 (36). С. 135–142. EDN: MTREFY. DOI: 10.5281/zenodo.10279297.

**For citation:** Nikolaev P. N., Yusova O. A., Vasyukevich S. V. 'Irtys 33' – new high-quality adaptive variety of spring oat // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4(36). P. 135–142. EDN: MTREFY. DOI: 10.5281/zenodo.10279297.

### Введение

Овес – это популярная экспортная зерновая культура России [1], заслуженно являющаяся одной из широко возделываемых. Особенно распространено применение овса в крупяной промышленности [2] и фармакологии [3]. Однако, согласно данным Росстата [4], на протяжении последних двух десятилетий наблюдается существенное снижение площадей посева данной культуры в РФ: от 2,9 млн га в 2010 г. до 2,2 млн га в 2022 г., то есть на 24,1 %. Вместе с сокращением площадей возделывания, происходил

спад валовых сборов: максимальное значение данного показателя (5,5 млн т) отмечено в 2017 г. с последующим снижением до 3,8 млн т в 2021 г.

Сибирский федеральный округ [5] в 2022 г. являлся лидером по посевам овса (0,8 млн га, что составляло 38,0 % от всей площади посева овса в РФ). Минимальное значение данного показателя (1–2 %) отмечено в Северо-Западном, Южном федеральном и Северо-Кавказском федеральных округах.

Площадь посева, как правило, определяет валовой сбор зерна. Так, максимум наблюдался в Сибирском федеральном округе (1,7 млн т, что составило 36 %), минимум – в Северо-Западном, Южном и Северо-Кавказском федеральных округах (1,1–1,3 %, 494,1–587,1 тыс. ц).

В Сибирском Федеральном округе в 2022 г. Омская область занимала шестое место по площади посева овса (108,1 тыс. га) (наряду с Иркутской областью) и была на втором месте (1,4 млн ц, 20 %) по валовым сборам зерна данной культуры после Иркутской области (1,7 млн ц, 27 %).

Именно сорт является основным средством производства [6–8], обеспечивающим стабильно высокую урожайность [9–11] с повышенным качеством зерна [12, 13]. При этом отмечается важность оценки адаптивности сорта не только по урожайности, но и показателям качества зерна [14].

Питательную ценность зерна овса определяет прежде всего белок, который в значительной мере состоит из глобулинов и сбалансирован по аминокислотному составу. Также, не менее ценным компонентом является масло овса, содержащее ненасыщенные и насыщенные кислоты [15, 16].

Селекционная работа по овсу в Сибири началась в 1913 г. [17] и за период 100-летней селекционной работы создано более 20 сортов ярового овса. Однако селекционная наука не стоит на месте, она развивается в соответствии с запросами современности. Селекционеры находятся в поиске новых перспективных образцов, а районированные сорта становятся исходными для гибридного материала. В настоящее время селекционная работа с овсом направлена на создание новых перспективных сортов, сочетающих высокую урожайность, повышенное качество зерна, устойчивость к заболеваниям и адаптивность [15].

**Цель исследований** – определить адаптивность нового перспективного сорта ярового овса Иртыш 33 для дальнейшего внедрения в производство.

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

В статье представлены данные исследований с 2016 по 2022 гг. Опыты заложены в питомнике конкурсного сортоиспытания (площадь делянки 10 м<sup>2</sup>, норма высева – 4 млн всхожих зерен/1 га) на опытном поле в Омском аграрном научном центре в южной лесостепной зоне. Объект исследований – новый перспективный сорт овса Иртыш 33, стандарт – сорт Орион. Проведен биохимический анализ качества зерна [18] с последующей математической обработкой данных [19].

Почва опытных полей – среднemocная тяжелосуглинистая лугово-черноземная. Содержание гумуса (по Тюрину) 6,50–6,80 %, подвижного фосфора – 95–110 мг/кг (по Чирикову), калия – 235–320 мг/кг почвы (ГОСТ Р 58486-2019), нитратного азота (по Кочергину) – 5,6 мг/кг, сумма поглощенных оснований – 28,50 мг-экв./100 г почвы, рН(КС1) почвенного раствора – 6,5–7,1 ед.

Оптимальную влагообеспеченность наблюдали в 2016 и 2019 гг. (ГТК=0,99 и 1,10); избыточное увлажнение – в 2018 г. (ГТК=1,39); засушливые условия – в 2017, 2020–2022 гг. (ГТК=0,58–0,77).

Периоды вегетации 2016 и 2017 гг. характеризовались повышенными температурами воздуха в мае, июне и августе (+0,6–3,9 °С к среднемноголетним данным) и недостатком увлажнения в мае и августе (5,4–26 мм, что ниже нормы на 26,5–

84,7 %), в июле отмечен недобор температур (-0,3–1,6 °С к среднемноголетним) и осадки ливневого характера (на 4,0–60,5 % превышающие норму) (рисунки 1, 2).

В мае и июне периодов вегетации 2018 и 2019 гг. наблюдалось превышение нормы по увлажнению (103,1–209,9 %), а также в августе 2018 г. (120,9 %). Повышенными температурами воздуха 2019 г. характеризовался в мае и августе (+1,9 и +0,4 °С к среднемноголетним), 2018 г. – в июне (+1,5 °С к норме).

Наиболее засушливые условия отмечены с 2020 по 2022 гг.: при существенном превышении средних температур воздуха в мае и июне (от +0,5 до +7 °С к норме); в 2020 и 2021 гг. – в июле и августе (+0,6–+1,9 °С к среднемноголетним). Также, с 2020 по 2022 гг. наблюдали существенный недобор осадков в мае (22–53 %), в 2020 и 2021 гг. – июне и июле (20,1–84,7 %); в 2022 г. – в августе (76,8 % к норме).

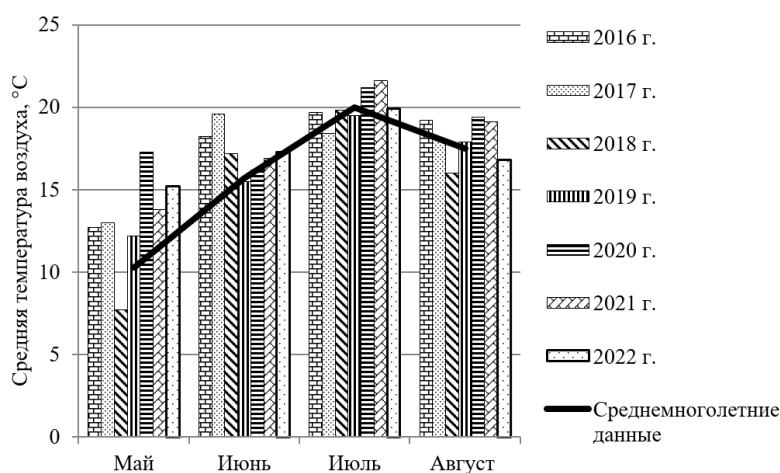


Рисунок 1 – Средняя температура воздуха в период вегетации ярового овса

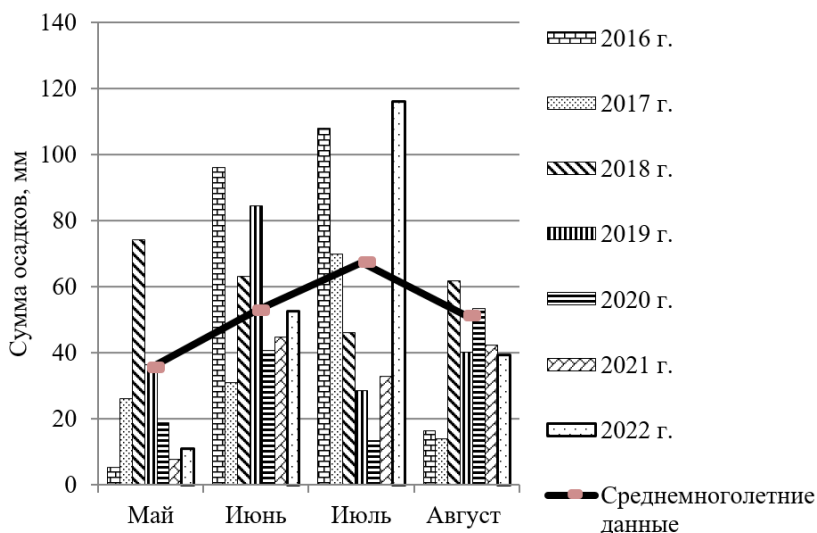


Рисунок 2 – Количество осадков в период вегетации ярового овса

### Результаты и их обсуждение

Новый перспективный сорт ярового овса Иртыш 33 (*Avena sativa* L., var. *mutica*) является среднеспелым (83–87 суток), что позволяет проводить уборку урожая в более ранние сроки. Положительной характеристикой сорта является устойчивость к засухе и поражению заболеваниями, в частности пыльной головнёй.

Масло овса состоит преимущественно из ненасыщенных кислот (олеиновой, линоленовой) и насыщенной пальмитиновой, которые оказывают благоприятное воздействие на функционирование организма человека [15]. Ценность овса, как продовольственной культуры, определяет биохимический состав зерна, в первую очередь, качество белка, основой которого является глобулин группы avenalin (70–80 % полного белка) [16].

Стандартный сорт Орион в среднем за период исследований характеризовался следующими показателями качества зерна: 12,5 % белка, 42,3 % крахмала и 3,3 % сырого жира, пленчатость – 26,7 %. У нового перспективного сорта ярового овса Иртыш 33 отмечено повышенное содержание в зерне белка (+0,7 % к St.), крахмала (+0,9 % к St.) и сырого жира (+0,5 % к St.) и пониженная пленчатость (-1,3 % к St.) (таблица 1).

**Таблица 1 – Основные показатели продуктивности и качества зерна сортов ярового овса (среднее за 2016–2022 гг.)**

Сорт	Массовая доля						Пленчатость зерна, %	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, т/га
	белка		крахмала		сырого жира				
	$\bar{x}$ , %	сбор, т/га	$\bar{x}$ , %	сбор, т/га	$\bar{x}$ , %	сбор, т/га			
Орион (St.)	12,5	0,45	42,3	1,53	3,3	0,12	26,7	34,4	4,2
Иртыш 33	13,2	0,50	43,2	1,63	3,8	0,14	25,4	38,1	4,4
НСР <sub>05</sub>	0,5	0,03	0,8	0,07	0,4	0,01	1,1	1,1	0,1

Среднегодовая урожайность овса в России в 1991–2000 гг. составляла 13,7 ц/га, в 2001–2010 гг. возросла до 15,9 ц/га, в 2011–2018 гг. достигла 17,0 ц/га. В настоящее время средняя урожайность овса составляет около 1,8 т/га [1].

В условиях южной лесостепи Западной Сибири в среднем за период 2016–2022 гг., урожайность стандартного сорта Орион составила 4,2 т/га, масса 1000 зерен – 34,4 г, что достоверно уступает данным сорта Иртыш 33 на 0,2 т/га и 3,7 г соответственно.

Высокие показатели урожайности и качества зерна нового перспективного сорта Иртыш 33 обусловили повышенный выход питательных веществ с единицы площади. Так, прибавка к стандарту по сбору белка составила 0,05 т/га, крахмала – 0,1 т/га и сырого жира – 0,02 т/га.

Для повышения урожайности и качества продукции полевых культур необходимо возделывать сорта с высокой экологической устойчивостью [1]. Расчеты основных параметров адаптивности показали различную степень реакции исследуемых сортов на изменения условий окружающей среды (таблица 2).

**Таблица 2 – Характеристика сорта ярового овса Иртыш 33 по адаптивности (среднее за 2016–2022 гг.)**

Сорт	Массовая доля белка		Массовая доля крахмала		Массовая доля сырого жира		Пленчатость зерна		Масса 1000 зерен		Урожайность	
	$b_i$	$\sigma_d^2$	$b_i$	$\sigma_d^2$	$b_i$	$\sigma_d^2$	$b_i$	$\sigma_d^2$	$b_i$	$\sigma_d^2$	$b_i$	$\sigma_d^2$
Орион (St.)	0,99	0,14	0,86	1,27	1,03	0,27	1,03	0,27	1,50	2,82	1,77	0,12
Иртыш 33	1,01	0,14	1,14	1,27	0,97	0,27	0,97	0,27	0,50	2,82	0,23	0,12

*Примечание.*  $b_i$  – коэффициент регрессии (пластичность);  $\sigma_d^2$  – степень стабильности реакции (стабильность).

Так, стандарт Орион характеризуется стабильностью и пластичностью ( $b_i > 1$  и  $\sigma_d^2 < 1$ ) по массовой доле сырого жира, пленчатости зерна и урожайности. Стандарт относится к интенсивной группе по данным показателям, а также по массе 1000 зерен ( $b_i > 1$ ), высокостабилен ( $\sigma_d^2 < 1$ ) по содержанию белка.

Сорт Иртыш 33 стабилен и пластичен ( $b_i > 1$  и  $\sigma_d^2 < 1$ ) по массовой доле белка, входит в интенсивную группу ( $b_i > 1$ ) по белковости и крахмалистости зерна. Высокостабилен ( $\sigma_d^2 < 1$ ) по содержанию сырого жира, пленчатости зерна и по урожайности.

Выявлено наличие существенных связей между показателями адаптивности сортов овса и содержанием в зерне масла, что подтверждается литературными данными [14]. Анализ сопряженности исследуемых признаков показал среднюю отрицательную зависимость между массовыми долями белка и крахмала ( $r = -0,425$ , что составило 18,1 %), таблица 3.

Средняя положительная зависимость отмечена между парами признаков: массовые доля белка/сырого жира ( $r = 0,400$ ,  $d = 16,0$  %), массовая доля белка/масса 1000 зерен ( $r = 0,516$ ,  $d = 26,6$  %), масса 1000 зерен/пленчатость ( $r = 0,395$ ,  $d = 15,6$  %). Повышение массы 1000 зерен влекло за собой увеличение урожайности ( $r = 0,638$ ,  $d = 40,7$  %). Корреляционная зависимость урожайности с массовой долей белка и сырого жира слабая отрицательная ( $r = -0,187$  и  $-0,123$ ,  $d = 3,5$  и  $1,5$  %), что подтверждают исследования других авторов [15].

**Таблица 3 – Сопряженность основных показателей продуктивности и качества зерна ярового овса Иртыш 33**

Показатель	Массовая доля						Пленчатость зерна		Масса 1000 зерен	
	белка		крахмала		сырого жира		г	d, %	г	d, %
	г	d, %	г	d, %	г	d, %				
Массовая доля крахмала	-0,425	18,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Массовая доля сырого жира	0,400	16,0	-0,204	4,2	-	-	-	-	-	-
Пленчатость зерна	-0,178	3,2	0,424	18,0	-0,114	1,3	-	-	-	-
Масса 1000 зерен	0,516	26,6	0,240	5,8	0,030	0,1	0,395	15,6	-	-
Урожайность	-0,187	3,5	0,041	0,002	-0,123	1,5	0,194	0,04	0,638	40,7

*Примечание.*  $r$  – коэффициент корреляции;  $d$  – коэффициент детерминации.

Таким образом, новый сорт Иртыш 33 с учетом высоких урожайности и качества зерна дает возможность получать повышенное количество питательных элементов с единицы площади. Высокие адаптивные качества нового сорта позволяют рекомендовать его для возделывания в качестве источника повышенной белковости, масличности и крахмалистости зерна.

### Выводы

Новый перспективный сорт ярового овса Иртыш 33, в среднем за период исследований, характеризовался достоверно повышенными показателями по основным признакам продуктивности и качества зерна:

- урожайность (4,4 т/га, +0,2 т/га к St.);
- масса 1000 зерен (35,5 г, +3,7 г к St.);
- белок (13,2 %, +0,7 % к St.), сбор белка (0,50 т/га; +0,05 т/га к St.);
- крахмал (43,2 %, +0,9 % к St.), сбор крахмала (1,63 т/га; +0,1 т/га к St.);
- сырой жир (3,8%, +0,5 % к St.), сбор сырого жира (0,14 т/га; +0,02 т/га к St.);
- пленчатость (25,4 %, -1,3 % к St.).

Сорт Иртыш 33 сочетает стабильность и пластичность по массовой доле белка ( $b_i > 1$  и  $\sigma_d^2 < 1$ ); относится к интенсивным ( $b_i > 1$ ) по крахмалистости зерна. Стабилен ( $\sigma_d^2 < 1$ ) по содержанию сырого жира, по пленчатости зерна и по урожайности.

### Литература

1. Нурлыгаянов Р. Б., Гумеров Д. А., Константинова О. Б., Попова Л. А. Экологическая оценка сортов пленчатого овса // Российский электронный научный журнал. 2022. № 3. С. 86–108. DOI: 10.31563/2308-9644-2022-45-3-86-107.
2. Нигматуллина Г. Р., Лукьянов В. Н., Якупова Р. А., Галеев А. Ф., Попова Л. В., Нигаматьянов И. И. Овес – ценная зерновая культура // Российский электронный научный журнал. 2022. № 4 (46). С. 172–195. DOI: 10.31563/2308-9644-2022-46-4-172-195.
3. Bouchard J., Malunga L. N., Thandapilly S. J., Valookaran A. F., Raj P., Netticadan T., Aloud B. M. Impact of oats in the prevention/management of hypertension // Food Chemistry. 2022. Vol. 381. Art. No. 132198. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132198.
4. Главный межрегиональный центр. Посевные площади, валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2022 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/29\\_cx\\_predv\\_2022.xlsx](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/29_cx_predv_2022.xlsx) (дата обращения 01.08.2023 г.).
5. Общероссийский классификатор экономических регионов. 1. Федеральные округа. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://classinform.ru/oker/federalnye-okruga.html/> (дата обращения: 01.08.2023 г.).
6. Loskutov I. G., Shelenga T. V., Konarev A. V., Khoreva V. I., Kerv Yu. A., Blinova E. V., Gnutikov A. A., Rodionov A. V., Malyshev L. L. Assessment of oat varieties with different levels of breeding refinement from the Vavilov Institute's collection applying the method of metabolomic profiling // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022. Vol. 183. No. 1. С. 104–117. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-104-117.
7. Wu N., Mi C., Zhu S., He Y., Zhang C., Zhang Y., Na R. Variety identification of oat seeds using hyperspectral imaging: investigating the representation ability of deep convolutional neural network // RSC Advances. 2019. Vol. 9. No. 22. P. 12635–12644. DOI: 10.1039/c8ra10335f.
8. Petrova L. V. Examining perspective sowing oat varieties by yield structure elements in Central Yakutia // International Agricultural Journal. 2020. Vol. 63. No. 1. Art. No. 10. P. 96–100. DOI: 10.24411/2588-0209-2020-10134.
9. Фомина М. Н., Брагин Н. А., Белоусов С. А. Влияние агротехнических приемов на формирование качества зерна у сортов овса в условиях Северного Зауралья // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 11. С. 31–36. DOI: 10.53859/02352451.
10. Kuchynková H., Pexová Kalinová J. Influence of variety and growing conditions on *Fusarium* occurrence, mycotoxicological quality, and yield parameters of hulled oats // Cereal Research Communications. 2021. Vol. 49. No. 4. P. 577–585. DOI: 10.1007/s42976-021-00133-5
11. Ивенин А. В., Саков А. П. Влияние систем обработки светло-серой лесной почвы на урожайность и качество зерна овса в Нижегородской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 5. С. 580–588. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.5.580-588.
12. Юсова О. А., Николаев П. Н. Продуктивность и качество зерна ячменя в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2016. № 6 (263). С. 13–22.
13. Николаев П. Н., Аниськов Н. И., Юсова О. А., Сафонова И. В., Поползухин П. В. Оценка адаптивных свойств сортов ярового ячменя в степных условиях Сибирского Прииртышья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2018. № 2 (47). С. 37–44.
14. Полонский В. И., Герасимов С. А., Сумина А. В., Зюте С. А. Адаптивный потенциал образцов овса по химическим и физическим характеристикам зерна // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183. № 1. С. 57–75. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-57-75.
15. Баталова Г. А. Селекция овса на качество зерна в Волго-Вятском регионе // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 3 (27). С. 81–87. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11038.
16. Баталова Г. А., Кротова Н. В., Вологжанина Е. Н., Жуйкова О. А., Журавлева Г. П., Тулякова М. В. Источники овса голозерного для селекции на качество зерна // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 5 (66). С. 18–23. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.66.5.18-23.
17. Селекционно-семеноводческий центр: (ретроспектива, настоящее, будущее) // Под ред. Чекусова М. С., Бойко В. С. Омск: ИП Макшеева, 2020. 180 с.
18. Плешков Б. В. Практикум по биохимии растений. М.: Колос, 1985. 256 с.
19. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 350 с.

### References

1. Nurlygayanov R. B., Gumerov D. A., Konstantinova O. B., Popova L. A. Ecological assessment of varieties of filmy oats // Russian scientific electronic journal. 2022. No. 3. P. 86–108. DOI: 10.31563/2308-9644-2022-45-3-86-107.

2. Nigmatullina G. R., Lukyanov V. N., Yakupova R. A., Galeev A. F., Popova L. V., Nigmatyanov I. I. Oats are a valuable grain crop // Russian electronic scientific journal. 2022. No. 4 (46). P. 172–195. DOI: 10.31563/2308-9644-2022-46-4-172-195.
3. Bouchard J., Malunga L. N., Thandapilly S. J., Valookaran A. F., Raj P., Neticadan T., Aloud B. M. Impact of oats in the prevention/management of hypertension // Food Chemistry. 2022. Vol. 381. Art. No. 132198. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132198.
4. The main interregional center. Crop areas, gross yields and productivity of agricultural crops in the Russian Federation in 2022. [Electronic resource]. Access point: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/29\\_cx\\_predv\\_2022.xlsx](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/29_cx_predv_2022.xlsx), free. (reference's date 08.01.2023).
5. All-Russian classifier of economic regions. 1. Federal districts. [Electronic resource]. Access point: <https://classinform.ru/oker/federalnye-okruga.html>, free. (reference's date 08.01.2023).
6. Loskutov I. G., Shelenga T. V., Konarev A. V., Khoreva V. I., Kerv Yu. A., Blinova E. V., Gnutikov A. A., Rodionov A. V., Malyshev L. L. Assessment of oat varieties with different levels of breeding refinement from the Vavilov Institute's collection applying the method of metabolomic profiling // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022. Vol. 183. No. 1. P. 104–117. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-104-117.
7. Wu N., Mi C., Zhu S., He Y., Zhang C., Zhang Y., Na R. Variety identification of oat seeds using hyperspectral imaging: investigating the representation ability of deep convolutional neural network // RSC Advances. 2019. Vol. 9. No. 22. P. 12635–12644. DOI: 10.1039/c8ra10335f.
8. Petrova L. V. Examining perspective sowing oat varieties by yield structure elements in central Yakutia // International Agricultural Journal. 2020. Vol. 63. No. 1. Art. No. 10. P. 96–100. DOI: 10.24411/2588-0209-2020-10134.
9. Fomina M. N., Bragin N. A., Belousov S. A. Influence of agrotechnological methods on the formation of grain quality in oat varieties under conditions of the Northern Trans-Urals // Achievements of Science and Technology of AIC. 2021. Vol. 35. No. 11. P. 31–36. DOI: 10.53859/02352451\_2021\_35\_11\_31.
10. Kuchynková H., Pexová Kalinová J. Influence of variety and growing conditions on *Fusarium* occurrence, mycotoxicological quality, and yield parameters of hulled oats // Cereal Research Communications. 2021. Vol. 49. No. 4. P. 577–585. DOI: 10.1007/s42976-021-00133-5.
11. Ivenin A. V., Sakov A. P. The effect light-gray forest soil tilling systems on the yield and quality of oat grain in the Nizhny Novgorod region // Agricultural Science Euro-North-East. 2020. Vol. 21. No. 5. P. 580–588. DOI:10.30766/2072-9081.2020.21.5.580-588.
12. Yusova O. A., Nikolaev P. N. Productivity and grain quality of barley under conditions of the southern forest steppe in Western Siberia // Siberian Herald of Agricultural Science. 2016. No. 6 (263). P. 13–22.
13. Nikolaev P. N., Aniskov N. I., Yusova O. A., Safonova I. V., Popolzukhin P. V. Assessment of adaptive features of spring barley in the steppe of Siberian Priirtyshya // Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2018. No. 2 (47). P. 37–44.
14. Polonsky V. I., Gerasimov S. A., Sumina A. V., Zute S.A. Adaptive potential of oat accessions in the context of their chemical and physical grain characteristics // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022. Vol. 183. No. 1. P. 57–75. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-57-75.
15. Batalova G. A. Oat breeding in Volga-Vyatka region for grain quality // Leguminous and Groat Crops. 2018. No. 3 (27). P. 81–87. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11038.
16. Batalova G. A., Krotova N. V., Vologzhanina E. N., Zhuykova O. A., Zhuravleva G. P., Tulyakova M. V. Sources of naked oat for grain quality breeding // Agricultural Science Euro-North-East. 2018. No. 5 (66). P. 18–23. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.66.5.18-23.
17. Breeding and seed center: (retrospective, present, future) // Ed. by Chekusov M. S., Boyko V. S. Omsk: Individual Entrepreneur Maksheeva Publ., 2020. 180 p.
18. Pleshkov B. V. Workshop on plant biochemistry. Moscow: Kolos, 1985. 256 p.
19. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alliance, 2011. 350 p.

UDC 633.13

Nikolaev P. N., Yusova O. A., Vasyukevich S. V.

### **‘IRTYSH 33’ – NEW HIGH-QUALITY ADAPTIVE VARIETY OF SPRING OAT**

*Summary.* Currently, one of the key roles in efficient agricultural production is assigned to varieties that provide consistently high yields with improved grain quality. The purpose of the research was to determine the adaptability of a new promising spring oat variety ‘Irtysk 33’ (*Avena sativa* L., var. *mutica*) for further introduction into production. Field studies were conducted in 2016-2022 in the nursery of competitive variety testing located at the experimental plot of the Omsk Agrarian Scientific Centre (southern forest-steppe of Western

*Siberia). Optimal moisture supply was observed in 2016 and 2019 (Selyaninov hydrothermal coefficient (HTC) = 0.99 and 1.10); excessive moisture – in 2018 (HTC = 1.39); dry conditions – in 2017, 2020–2022 (HTC = 0.58–0.77). The soil cover is represented by the medium-thick heavy loamy meadow-chnozem. Variety ‘Orion’ was used as a standard. The following biochemical parameters of grain were determined: mass fraction of protein, starch and crude fat. New promising spring oat variety ‘Irtysk 33’ belongs to the mid-ripening group (83–87 days), is resistant to drought and head smut. On average during the research period, ‘Irtysk 33’ has proved to be a high-yielding variety (4.4 t/ha; +0.2 t/ha compared to standard (hereinafter referred to as “to St.”)) with an increased 1000-grain weight (35.5 g; +3.7 g to St.). Main indicators of grain quality (mass fraction of protein +0.7 % to St.; mass fraction of starch +0.9 % to St.; mass fraction of crude fat +0.5 % to St.), as well as collection of nutrients per unit area (protein +0.05 t/ha to St.; starch +0.1 t/ha to St.; raw fat +0.02 t/ha to St.) were increased. ‘Irtysk 33’ combines stability and plasticity in such indicator as mass fraction of protein ( $b_i > 1$  and  $\sigma_a^2 < 1$ ), is intensive ( $b_i > 1$ ) in terms of grain starchiness and stable ( $\sigma_a^2 < 1$ ) in crude fat content, grain filminess and yield. Thus, the new spring oat variety ‘Irtysk 33’, taking into account high yields and grain quality, makes it possible to obtain an increased amount of nutrients per unit area. High adaptive qualities of the new variety allow us to recommend it for cultivation as a source of increased protein and oil content, as well as grain starchiness.*

**Keywords:** *Avena sativa L., grain quality, productivity, plasticity, stability.*

Николаев Петр Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции зернофуражных культур ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; 644012, г. Омск, пр. Королева, 26; e-mail: nikolaev@anc55.ru.

Юсова Оксана Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией биохимии и физиологии растений ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; 644012, г. Омск, пр. Королева, 26; e-mail: yusova@anc55.ru.

Васюкевич Сергей Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции зернофуражных культур ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; 644012, г. Омск, пр. Королева, 26; e-mail: www.vsv55@mail.ru.

Nikolaev Petr Nikolaevich, Cand. Sc. (Agr.), head of the Laboratory for the selection of grain crops, FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center”; 26, Koroleva Avenue, Omsk, 644012, Russia; e-mail: nikolaev@anc55.ru.

Yusova Oksana Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), head of the Laboratory of genetics, biochemistry and plant physiology, FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center”; 26, Koroleva Avenue, Omsk, 644012, Russia; e-mail: yusova@anc55.ru.

Vasyukevich Sergey Vladimirovich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory for the selection of grain crops, FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center”; 26, Koroleva Avenue, Omsk, 644012, Russia; e-mail: www.vsv55@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 08.08.2023.*

*Дата принятия к печати – 16.10.2023.*



DOI 10.5281/zenodo.10279435

EDN HHZSEZ

УДК 631.22

Плаксин И. Е., Трифанов А. В.

## ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ КРОЛИКОВ

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

**Реферат.** Разработка современных наукоемких технико-технологических и планировочных решений производственных зданий для мелкотоварных кролиководческих предприятий является актуальной задачей, так как в данной категории хозяйств производится более 68 % продукции, также они важны для развития сельских территорий. Цель исследований – определение технико-технологических параметров выращивания кроликов в технологическом модуле. Для проведения исследований был изготовлен экспериментальный образец технологического модуля на девять кроликоматок, в котором в 2022 г. проведено четыре производственных цикла, включающих содержание холостых, сукрольных и подсосных кроликоматок с крольчатами, а также выращивание одновременно до 90 голов молодняка на откорме. Предмет исследований – технологические параметры выращивания кроликов в технологическом модуле. Исследования проводили методом пассивного эксперимента с определением технологических показателей выращивания кроликов. Среднее значение потребления кроликоматками кормов в период сукрольности составило 56,29 кг, в период лактации – 110,4 кг. Среднее значение количества крольчат по проведенным окролам составило 77,7 гол., при переводе на откорм – 72 гол., а снятых на убой – 69,5 гол. Средняя живая масса крольчонка при рождении составила 0,056 кг, средняя живая масса крольчонка при переводе на откорм составила 0,762 кг, средняя масса при завершении производственного цикла составила 3,17 кг. Коэффициент конверсии корма составил от 3,9 до 4,6 единиц. Затраты воды составили 6,15; 8,05; 5,71; 6,4 л на кг живой массы кролика. Затраты электроэнергии – 0,025; 0,022; 0,014; 0,077 кВт для набора кроликом на откорме кг живой массы. Средний суточный выход навоза от кролика в репродукторной и откормочной секции за каждый производственный цикл составил 0,149 и 0,081 кг соответственно. Сделан вывод о эффективности использования разработанного технологического модуля при мелкотоварном производстве кролиководческой продукции и соответствии полученных показателей аналогичным значениям крупных кролиководческих предприятий.

**Ключевые слова:** сельское хозяйство, кролиководство, мелкотоварное производство, технологических модуль.

**Для цитирования:** Плаксин И. Е., Трифанов А. В. Опытнo-производственная проверка технологического модуля для выращивания кроликов // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4(36). С. 143–158. EDN: HHZSEZ. DOI: 10.5281/zenodo.10279435.

**For citation:** Plaksin I. E., Trifanov A. V. Technological module for growing rabbits: pilot testing // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4 (36). P. 143–158. EDN: HHZSEZ. DOI: 10.5281/zenodo.10279435.

### Введение

Кролиководство – отрасль животноводства, специализирующаяся на разведении кроликов для производства мяса, пуха и шкурок [1, 2] и поставляющая на

потребительский рынок высококачественное диетическое мясо с высоким содержанием белка, низкой жирностью, а также содержанием витаминов группы В, превосходящим говядину, свинину и баранину [3]. Преимуществом крольчатины перед другими видами мяса является 96 % уровень усвояемости [4].

Производство крольчатины за 2022 г. в России достигло 10 тыс. т, что превышает аналогичный показатель 2021 г. на 4 %. Данный рост обусловлен открытием новых кролиководческих предприятий, число которых увеличилось на 18 % в период с 2017 по 2022 гг. По данным Росстата, поголовье кроликов в России в 2022 г. составило 3327,6 тыс. голов, из которых на крупные кролиководческие предприятия и крестьянско-фермерские хозяйства приходится 1064,8 тыс. голов, а на хозяйства населения (личные подсобные хозяйства) – 2262,8 тыс. голов [5].

Лидирующие позиции хозяйств населения при производстве данного вида продукции объясняются необходимостью крупного объема инвестиций при проектировании и постройке предприятий средней и большой производственной мощности. Для мелкотоварных производителей данный вид деятельности является привлекательным благодаря отсутствию конкуренции с крупнотоварными предприятиями в ценовом сегменте, лёгкости обслуживания животных, незначительных финансовых затратах для начала производства [6].

Несмотря на лидирующие позиции по производству кролиководческой продукции, эффективность производства на мелкотоварных предприятиях остается низкой из-за нарушения ряда факторов: технологических, отвечающих за обеспечение максимальной продуктивности, организационных, позволяющих минимизировать производственные издержки, и селекционных, отвечающих за оптимизацию предмета труда (поголовье кроликоматок и кролей производителей). Совокупность данных факторов приводит к сокращению объема производства продукции до 40 %. Большая часть личных подсобных кролиководческих хозяйств применяет наружноклеточную систему содержания животных, предусматривающую использование различных вариантов клеток или шэдов. Недостатком данной системы является отсутствие средств автоматизации производственных процессов, что снижает производительность труда и способствует возникновению стрессовых ситуаций, возникает сложность проведения окролов в холодный период года [7].

Учитывая важную роль мелкотоварных предприятий в сохранении и развитии сельских территорий, разработка технико-технологических и планировочных решений является актуальной задачей, позволяющей достигать максимальной продуктивности животных, а также получать экологически безопасную продукцию.

Проведенный анализ показал, что на сегодняшний день приобретают популярность фермы модульного типа. Данные технико-технологические решения представлены для свиноводства и птицеводства. На фермах данного типа могут содержаться все половозрастные группы животных и птиц с обеспечением технико-экономических показателей на уровне крупных животноводческих и птицеводческих комплексов [8, 9].

Приведенные данные позволяют сделать вывод о целесообразности применения модульных ферм для мелкотоварных производителей животноводческой продукции в целом и кролиководческой продукции в частности.

**Цель исследований** – определение технико-технологических параметров выращивания кроликов в технологическом модуле.

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

Для проведения экспериментальных исследований разработан и изготовлен опытный образец технологического модуля для выращивания кроликов с замкнутым производственным циклом (рисунок 1) [10].

Количество кроликоматок, габаритные размеры клеточных батарей, воздухообмен, обогрев животных, освещение производственных помещений технологического модуля определены согласно методическим рекомендациям по технологическому проектированию звероводческих и кролиководческих ферм, крестьянских (фермерских) хозяйств РД-АПК 1.10.06.02.



**Рисунок 1 – Опытный образец технологического модуля для выращивания кроликов**

Модуль выполнен в виде блок-контейнера и имеет габаритные размеры 6×2,4×2,5 м. Каркас модуля изготовлен из металлических профилированных труб. Снаружи модуль обшит профилированным листом, имеющим полимерное покрытие для предотвращения коррозии. Внутренняя обшивка модуля выполнена из антикоррозийных и не поддающихся химическому воздействию материалов, позволяющих производить дезинфекцию помещений между производственными циклами. Стены, потолок и пол модуля утеплены минеральной ватой.

В модуле оборудованы две изолированные секции для содержания маточного и откормочного поголовья. В каждой из секций установлена трехъярусная клеточная батарея, предусматривающая применение бесподстилочного метода содержания кроликов на сетчатом настиле, что обеспечивает лучшее санитарно-гигиеническое состояние и предотвращает возникновение заболеваний. Данный метод содержания позволяет минимизировать затраты труда на уборку навоза, а также обеспечивает максимально полное использование производственной площади помещения, плотность посадки кроликов при использовании сетчатого настила может достигать 16 голов на м<sup>2</sup>, а при подстилочном методе данный показатель составляет 10 голов на м<sup>2</sup>.

Клеточная батарея, расположенная в секции для маточного поголовья, оборудована отсеками для проведения окролов, имеющими отдельную дверь для контроля за развитием крольчат (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Секция для проведения окролов**

Для кормления всех половозрастных групп кроликов в дверцах клеточных батарей установлены бункерные кормушки, размер которых подобран для необходимого фронта кормления, размер которого для маточного поголовья составляет 0,1 м на голову, а для откормочного – 0,05 м на голову. Установка бункерных кормушек снаружи клеток обеспечивает максимальное использование производственной площади каждой клетки (рисунок 3).



Рисунок 3 – Бункерные кормушки для кормления кроликов в модуле

Для поения животных клеточные батареи оборудованы ниппельными поилками, вода в которые подается по трубам из водонакопительного бака.

Для обогрева животных применяют тепловентиляторы с терморегуляторами, позволяющие поддерживать заданную температуру в автоматическом режиме.

Приток свежего и удаление отработанного воздуха из секций технологического модуля осуществляется механической системой вентиляции, состоящей из приточных окон, оборудованных шиберными задвижками, и вытяжных вентиляторов. Система вентиляции обеспечивает необходимый воздухообмен в любой из периодов года (холодный, теплый, переходный) с учетом изменения массы животных.

Для сбора навоза под сетчатым настилом каждого яруса клеточной батареи расположены навозосборные желоба, соединенные между собой профильной трубой. Сбор навоза из желобов производится в ящики, которые опорожняются по мере заполнения.

В модуле предусмотрено естественное и искусственное освещение. Естественное освещение – окна, расположенные в каждой из секций технологического модуля. Для искусственного освещения предусмотрены светодиодные светильники, обладающие малым энергопотреблением и большим сроком службы [12].

Методика определения технологических параметров.

В ходе исследований определяли среднесуточные привесы откормочного поголовья, коэффициент конверсии корма, затраты электроэнергии и воды, необходимые для набора животными килограмма живой массы на стадии откорма, также определяли количество потребляемого корма маточным поголовьем и процент падежа кроликов за производственный цикл. Подсчитывали количество получаемого навоза, а также значение параметров микроклимата: температуры, влажности, содержания углекислого газа и аммиака.

Для определения перечисленных показателей применяли метод пассивного эксперимента [13].

Конверсия корма определялась как отношение количества затраченного комбикорма к приросту живой массы кроликов за откормочный цикл по формуле (1):

$$K = \frac{M_{\text{к.ц.о.}}}{\Delta M_{\text{к.о.}}} \quad (1)$$

где:  $K$  – коэффициент конверсии корма;

$M_{к.ц.о.}$  – общая масса затраченного комбикорма за цикл окорма, кг;

$\Delta M_{к.о.}$  – изменение живой массы кроликов за цикл откорма, кг.

Для определения изменения живой массы кролика за откормочный цикл использовали данные по среднему значению массы кролика, поставленного на откорм и снятого на убой, по формуле (2):

$$\Delta M_{к.о.} = M_{к.к.о.} - M_{к.н.о} \quad (2)$$

где:  $M_{к.к.о.}$  – общая живая масса при снятии на убой, кг;

$M_{к.н.о.}$  – общая живая масса при постановке на откорм, кг.

Для подсчета общей массы кроликов при снятии на убой учитывали среднее значение живой массы кроликов в контрольной группе и количество животных в конце откорма по формуле (3):

$$M_{к.к.о.} = n_{к.к.о.} \cdot \bar{m}_{к.к} \quad (3)$$

где:  $n_{к.к.о.}$  – количество кроликов в конце откорма, гол.;

$\bar{m}_{к.к.}$  – средняя живая масса кролика из контрольной группы в конце откорма, кг.

Аналогично устанавливали общую живую массу кроликов в начале откорма по формуле (4):

$$M_{к.н.о.} = n_{к.н.о.} \cdot \bar{m}_{к.н} \quad (4)$$

где:  $n_{к.н.о.}$  – количество кроликов, поставленных на откорм, гол.;

$\bar{m}_{к.н.}$  – средняя живая масса кролика из контрольной группы при постановке на откорм, кг.

Процент падежа животных определяли отношением изменения количества кроликов за период производственного цикла к количеству кроликов в начале периода по формуле (5):

$$\eta = \frac{\Delta n_{к.} \cdot 100}{n_{к.н.}} \quad (5)$$

где:  $\eta$  – процент падежа животных, %;

$\Delta n_{к.}$  – разница между количеством кроликов в начале и конце периода производственного цикла, гол.;

$n_{к.н.}$  – количество кроликов в начале периода, гол.

Потребление корма определяли посуточном взвешиванием массы корма, остающейся в кормушке с ее последующим наполнением.

Для расчета массы кроликов в начале и конце откормочного цикла, а также показателя среднесуточных привесов, производили взвешивание кроликов.

Расход воды для поения кроликов определяли по водомерным счетчикам, установленным в каждой секции модуля. Набор воды производили в водонакопительный бак, из которого осуществляли водоразбор по ниппельным поилкам. Зная общее водопотребление за производственный цикл, можно определить количество воды, потребляемое кроликами в сутки, по формуле (6):

$$V_{в.с.} = \frac{V_{в.о.}}{t} \quad (6)$$

где:  $V_{в.с.}$  – среднесуточные затраты воды по секциям технологического модуля, л/сут.;

$V_{в.о.}$  – общие затраты воды по каждой секции модуля, л;

$t$  – продолжительность периода производственного цикла (для маточного поголовья и откормочного поголовья 60 дней), сут.

Исходя из полученных результатов, определили количество воды, потребляемое одним кроликом в репродукторной и откормочной секции технологического модуля, по формуле (7):

$$V_{в.г} = \frac{V_{в.с.}}{n} \quad (7)$$

где:  $V_{в.г.}$  – среднесуточное потребление воды одним кроликом, л/сут.

Количество воды, необходимое для набора кроликом одного кг живой массы на откорме, определяли отношением среднесуточного потребления воды к среднесуточным привесам по формуле (8):

$$V_{\text{кг}} = \frac{V_{\text{в.г}}}{\Delta m} \quad (8)$$

где:

$V_{\text{кг}}$  – затраты воды, необходимые для набора кг живой массы кроликом на откорме, л/кг;  $\Delta m$  – среднесуточные привесы одного кролика на откорме, (кг).

Электроэнергия в модуле затрачивалась на обогрев животных, работу системы вентиляции и освещение. Учет потребления электроэнергии осуществлялся с помощью электросчетчика. Количество электроэнергии необходимое для набора кроликом килограмма живой массы на откорме определяли по формуле (9):

$$E_{\text{кг}} = \frac{E_{\text{э.г}}}{\Delta m} \quad (9)$$

где:  $E_{\text{кг}}$  – затраты электроэнергии, необходимые для набора килограмма живой массы кроликом на откорме, кВт/кг;

$E_{\text{э.г}}$  – среднесуточные затраты электроэнергии на одного кролика на откорме, кВт.

Среднесуточные затраты электроэнергии, приходящиеся на одного кролика, определяли аналогично расчету количества воды, необходимой для набора кг живой массы.

Количество навоза, получаемое за производственный цикл, определяли взвешиванием при выемке навозоприёмных ящиков.

В процессе проведения исследований определяли параметры микроклимата внутреннего воздуха каждой из секций технологического модуля (температура, влажность, содержание углекислого газа и аммиака) с помощью переносного измерительного комплекса ПИК-4 [14], который устанавливали на каждом ярусе клеточной батареи и перемещали по контрольным точкам для получения объективных данных в каждой зоне секции.

Статистические параметры (среднее значение, стандартную ошибку среднего значения, коэффициент вариации) определяли по показателям количества крольчат в помете и их средней массы при рождении, а также количества крольчат, переведенных на откорм, и их средней массы при отъеме по каждому производственному циклу в течении всего периода проведения исследований [15].

Коэффициент вариации ( $CV$ ) определяли по формуле (10):

$$CV = \frac{\sigma}{M(x)} \cdot 100 \quad (10)$$

где:  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение случайной величины,  $M(x)$  – ожидаемое (среднее) значение случайной величины.

Для определения среднеквадратичного отклонения использовали формулу (11):

$$\sigma = \sqrt{D} \quad (11)$$

где:  $D$  – дисперсия случайной величины.

Дисперсией случайной величины является математическое ожидание квадрата отклонения случайной величины от ее математического ожидания, которую и рассчитывали по формуле (12):

$$D = M(x^2) - [M(x)]^2 \quad (12)$$

где:  $M(x)$  – математическое ожидание случайной величины.

Математическим ожиданием дискретной случайной величины рассчитывают сумму произведений всех ее возможных значений на их вероятности по формуле (13):

$$M(x) = x_1 \cdot p_1 + x_2 \cdot p_2 + \dots + x_n \cdot p_n \quad (13)$$

где:  $x$  – значение случайной величины,  $p$  – вероятность случайной величины.

Стандартную ошибку среднего значения ( $SE$ ) определяли по формуле (14):

$$SE = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (14)$$

где:  $n$  – объем выборки.

Определение доверительных границ полученных результатов ( $M$ ) осуществляли по формуле (15):

$$M = M(x) \pm t \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (15)$$

где:  $t$  – критерий достоверности, определяемый по таблице М. А. Плохинского, принимая во внимание малый объем выборки ( $n < 30$ ) с учетом вероятности безошибочного прогноза  $P = 95\%$ .

Оценку достоверности разности результатов определяли по формуле (16):

$$t = \frac{M_1(x) - M_2(x)}{\sqrt{(SE_1)^2 + (SE_2)^2}} \quad (16)$$

Количественное различие полученных данных для достоверной разности рассчитывали по формуле (17):

$$\varepsilon_{1-2} = \frac{M_2(x) - M_1(x)}{M_1(x)} 100 \quad (17)$$

### Результаты и их обсуждение

Согласно методике проведения исследований, определили технологические показатели репродукторной секции модуля: количество крольчат в помете, средняя масса крольчонка при рождении, средняя масса и количество крольчат, переведенных на откорм (таблица 1).

**Таблица 1 – Технологические показатели репродукторной секции модуля**

Кроликоматка	Количество крольчат в помете, гол.	Средняя масса крольчонка при рождении, кг	Средняя масса крольчонка при отъеме, кг	Количество крольчат, переведенных на откорм, гол.
1	2	3	4	5
первый окрол				
Первая	8	0,055	0,705	8
Вторая	6	0,068	0,874	6
Третья	7	0,062	0,843	7
Четвертая	9	0,051	0,681	9
Пятая	6	0,084	0,901	6
Шестая	7	0,076	0,883	7
Седьмая	10	0,044	0,702	9
Восьмая	9	0,048	0,694	9
Девятая	11	0,043	0,668	11
второй окрол				
Первая	6	0,079	0,983	5
Вторая	6	0,066	0,952	6
Третья	7	0,065	0,796	7
Четвертая	12	0,041	0,687	10
Пятая	7	0,072	1,032	4
Шестая	6	0,071	0,854	6
Седьмая	7	0,074	0,731	7
Восьмая	9	0,05	0,675	9
Девятая	12	0,039	0,637	9
третий окрол				
Первая	8	0,052	0,708	8
Вторая	9	0,047	0,712	8
Третья	9	0,051	0,783	7
Четвертая	7	0,069	0,714	7
Пятая	9	0,054	0,761	7
Шестая	8	0,055	0,727	7

Продолжение таблицы 1

Седьмая	12	0,041	0,596	12
Восьмая	8	0,051	0,878	6
Девятая	10	0,046	0,643	10
четвертый окрол				
Первая	11	0,044	0,661	10
Вторая	11	0,043	0,652	11
Третья	6	0,073	0,876	6
Четвертая	9	0,048	0,793	8
Пятая	7	0,064	0,751	7
Шестая	9	0,051	0,708	8
Седьмая	11	0,046	0,652	10
Восьмая	10	0,044	0,655	10
Девятая	12	0,04	0,639	11

Общее количество крольчат, полученное за окролы, составляло соответственно 73, 72, 80 и 86 голов.

В таблице 2 приведены технологические и статистические показатели репродукторной секции модуля, рассчитанные по формулам 11–15.

**Таблица 2 – Технологические и статистические показатели репродукторной секции модуля**

Показатель	Окрол			
	первый	второй	третий	четвертый
Среднее значение поголовья крольчат в помете, гол.	8,11	8,00	8,89	9,55
Стандартная ошибка среднего поголовья крольчат в помете	0,55	0,77	0,45	0,63
Коэффициент вариации среднего поголовья крольчат в помете, %	20,5	28,75	15,4	19,7
Доверительный интервал среднего поголовья крольчат в помете	6,85– 9,38*	6,23– 9,77*	7,86– 9,93*	8,10– 11,00*
Средняя масса крольчонка при рождении, кг	0,059	0,061	0,052	0,05
Стандартная ошибка средней массы крольчонка при рождении	0,004	0,004	0,002	0,002
Коэффициент вариации средней массы крольчонка при рождении, %	22	21	13,4	14
Доверительный интервал средней массы крольчонка при рождении	0,05– 0,07*	0,05– 0,07*	0,04– 0,06*	0,04– 0,06*
Средняя масса крольчонка при отъеме, кг	0,772	0,816	0,725	0,709
Стандартная ошибка средней массы крольчонка при отъеме	0,035	0,046	0,025	0,025
Коэффициент вариации средней массы крольчонка при отъеме, %	13,0	16,7	10,2	10,7
Доверительный интервал средней массы крольчонка при отъеме	0,68– 0,86*	0,71– 0,94*	0,66– 0,8*	0,64– 0,78*
Среднее поголовье крольчат, переведенных на откорм, гол.	8,0	7,0	8,0	9,0
Стандартная ошибка поголовья крольчат, переведенных на откорм	0,52	0,62	0,58	0,56
Коэффициент вариации поголовья крольчат, переведенных на откорм, %	19,5	27	22	19
Доверительный интервал среднего значения поголовья крольчат, переведенных на откорм	6,81– 9,19*	5,57– 8,43*	6,67– 9,33*	7,71– 10,29*

*Примечание.* \* – достоверно с учетом вероятности безошибочного прогноза ( $P = 95\%$ ).



В таблице 3 представлены результаты сравнения всех производственных циклов опыта: оценка достоверности разности полученных значений по количеству крольчат в помете, поголовью крольчат, переведенных на откорм, массе крольчат при рождении и отъеме. Для достоверной разности по формуле (17) рассчитано количественное различие показателей. Вероятность безошибочного прогноза при определении разности значений принимали  $P = 95\%$ .

**Таблица 3 – Оценка разности значений полученных результатов**

Показатель	Номера сравниваемых окролов					
	первый и второй	первый и третий	первый и четвертый	второй и третий	второй и четвертый	третий и четвертый
Количество крольчат в помете	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Масса крольчат при рождении	нет	нет	да/-15	да/-14	да/-18	нет
Масса крольчат при отъеме	нет	нет	нет	нет	да/-13	нет
Поголовье крольчат, переведенных на откорм	нет	нет	нет	нет	да/29	нет

*Примечание.* да – достоверная разность, нет – недостоверная, «да/-15» – число после «да» означает разницу (в %) показателей.

Достоверная разность массы крольчат при рождении между первым и четвертым, вторым и третьим, вторым и четвертым окролами объясняется увеличением количества крольчат в помете, приводящему к снижению массы одного кролика. Достоверная разность массы крольчат при отъеме в четвертом и втором окролах объясняется большим поголовьем крольчат, переведенных на откорм за четвертый окрол. Достоверной является также разность показателя переведенных на откорм крольчат за второй и четвертый окрол, объясняется это увеличением многоплодия кроликоматок.

Показатели общего потребления корма, среднего значения количества корма на голову, падежа и выбраковки кроликов, а также среднее значение живой массы на откорме приведены в таблице 4.

**Таблица 4 – Показатели потребления кормов, падежа и выбраковки животных, изменения живой массы кроликов**

Месяц	Репродукторная секция		Откормочная секция			
	потребление корма, кг/мес.	потребление корма кроликоматкой, кг/мес.	потребление корма, кг/мес.	падеж, (гол)	потребление корма кроликом, кг/мес.	средняя масса кролика, кг
Март	54,84	6,09	-	-	-	-
Апрель	114,21	12,69	-	-	-	-
Май	61,38	6,82	294,6	3	4,09	1,531
Июнь	109,46	12,16	445,05	-	6,45	3,204
Июль	45,8	5,09	244,12	2	3,87	1,425
Август	105,44	11,7	389,5	-	6,38	3,053
Сентябрь	63,15	7,02	298,08	2	4,14	1,596
Октябрь	112,5	12,5	473,06	-	6,7	3,307
Ноябрь	-	-	289,17	3	3,57	1,427
Декабрь	-	-	469,09	-	6,01	3,119

Среднесуточное потребление корма кроликоматками в период сукрольности и лактации составило по каждому окролу: 0,197 и 0,423 кг, 0,22 и 0,405 кг, 0,164 и 0,377 кг, 0,234 и 0,403 кг.

За период проведения исследований выбраковку кроликоматок не производили из-за отсутствия прохолостов. Среднесуточное потребление корма откормочным поголовьем за первый и второй месяцы откорма в каждый откормочный цикл соответственно составило: 0,132 и 0,215 кг, 0,125 и 0,206 кг, 0,138 и 0,218 кг, 0,119 и 0,194 кг. Был определен процент падежа поголовья, за первый откормочный цикл составил 4,1 %, за второй – 3,17 %, за третий – 2,8 % и за четвертый – 3,7 %.

В таблице 5 приведены показатели потребления корма кроликоматками в период сукрольности и лактации, их средние значения, статистическая ошибка и коэффициент вариации.

**Таблица 5 – Технологические и статистические показатели кроликоматок**

Показатель	Окрол			
	первый	второй	третий	четвертый
Поголовье кроликоматок, гол.	9	9	9	9
Потребление корма кроликоматками в период сукрольности, кг	54,84	61,38	45,8	63,15
Среднее значение потребления корма кроликоматками в период сукрольности, кг	56,29			
Стандартная ошибка среднего значения потребления корма кроликоматками в период сукрольности	3,4			
Коэффициент вариации среднего значения потребления корма кроликоматками в период сукрольности, %	12,08			
Доверительный интервал среднего значения потребления корма кроликоматками в период сукрольности, кг	45,41–67,17*			
Потребление корма кроликоматками в период лактации, кг	114,21	109,46	105,44	112,5
Среднее значение потребления корма кроликоматками в период лактации, кг	110,4			
Стандартная ошибка среднего значения потребления корма кроликоматками в период лактации	1,67			
Коэффициент вариации среднего значения потребления корма кроликоматками в период лактации, %	3			
Доверительный интервал среднего значения потребления корма кроликоматками в период лактации, кг	105,06–115,74*			
Количество крольчат в помете, гол.	73	72	80	86
Среднее значение количества крольчат по проведенным окролам, гол.	77,75			
Стандартная ошибка среднего значения количества крольчат по проведенным окролам	2,8			
Коэффициент вариации среднего значения количества крольчат по проведенным окролам, %	7,2			
Доверительный интервал среднего значения количества крольчат по проведенным окролам, гол.	68,79–86,71*			
Количество крольчат, переведенных на откорм, гол.	72	63	72	81
Среднее значение количества крольчат, переведенных на откорм, гол.	72			
Стандартная ошибка среднего значения количества крольчат, переведенных на откорм	3,2			
Коэффициент вариации среднего значения количества крольчат, переведенных на откорм, %	8,8			
Доверительный интервал среднего значения количества крольчат, переведенных на откорм, гол.	61,76–82,24*			

*Примечание.* \*– достоверно с учетом вероятности безошибочного прогноза (P=95%)

В таблице 6 приведены данные по общему поголовью кроликов за каждый окрол и общему поголовью крольчат, переведенных на откорм, их средние значения, статистическая ошибка и коэффициент вариации.

**Таблица 6 – Технологические и статистические показатели кроликов**

Показатель	Окрол			
	первый	второй	третий	четвертый
Потребление корма кроликами за первый месяц откорма, кг	294,6	244,12	298,08	289,17
Среднее значение потребления корма за первый месяц откорма, кг	276,49			
Стандартная ошибка среднего значения потребления корма за первый месяц откорма	28,57			
Коэффициент вариации среднего значения потребления корма за первый месяц откорма, %	20,6			
Доверительный интервал среднего значения потребления корма за первый месяц откорма, кг	185,07–367,91*			
Потребление корма кроликами за второй месяц откорма, кг	445,05	389,5	473,06	469,09
Среднее значение потребления корма кроликами за второй месяц откорма, кг	444,175			
Стандартная ошибка среднего значения потребления корма кроликами за второй месяц откорма	16,67			
Коэффициент вариации среднего значения потребления корма кроликами за второй месяц откорма, %	7,5			
Доверительный интервал среднего значения потребления корма кроликами за второй месяц откорма, кг	390,84–497,52*			
Поголовье кроликов снятых на убой, гол.	69	61	70	78
Среднее значение поголовья кроликов снятых на убой, гол.	69,5			
Стандартная ошибка среднего значения поголовья кроликов снятых на убой	3,01			
Коэффициент вариации среднего значения поголовья кроликов снятых на убой, %	8,7			
Доверительный интервал среднего значения поголовья кроликов снятых на убой, гол.	59,87–79,13*			

*Примечание.* \* – достоверно с учетом вероятности безошибочного прогноза ( $P = 95\%$ ).

Расход воды и электроэнергии приведен в таблице 7.

**Таблица 7 – Расход воды и электроэнергии**

Окрол	Репродукторная секция		Откормочная секция	
	расход воды, л	расход электроэнергии, кВт×ч	расход воды, л	расход электроэнергии, кВт×ч
Первый	389,61	26,6	1033,7	4,37
Второй	433,1	21,3	1088,5	3,16
Третий	485,5	4,9	1040,2	2,94
Четвертый	423,2	18,4	1186,4	12,9

За время проведения исследований общий расход воды составили 6082,21 литра, а общий расход электроэнергии – 94,57 кВт×ч.

Показатели выхода навоза приведены в таблице 8.

Уборку навоза в репродукторной секции осуществляли один раз в месяц, всего за время проведения исследований произведено восемь уборок навоза, общее количество навоза составило 328,49 кг. В откормочной секции уборку навоза проводили с периодичностью один раз в две недели. Всего совершено шестнадцать уборок навоза, общее количество навоза составило 1392,61 килограмма.

Средние значения показателей микроклимата приведены в таблице 9.

**Таблица 8 – Выход навоза при выращивании кроликов в технологическом модуле**

Окрол	Выход навоза в репродукторной секции, кг	Выход навоза в откормочной секции, кг
Первый	73,68	352,84
Второй	85,77	276,8
Третий	80,3	390,02
Четвертый	88,74	372,95

**Таблица 9 – Показатели микроклимата при выращивании кроликов в технологическом модуле**

Окрол	Репродукторная секция				Откормочная секция			
	температура, °С	влажность, %	концентрация NH <sub>3</sub> , мг/м <sup>3</sup>	концентрация CO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	температура, °С	влажность, %	концентрация NH <sub>3</sub> , мг/м <sup>3</sup>	концентрация CO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>
Первый	15,6	72,3	2,5	931	16,6	70,8	3,4	1011
Второй	17,8	68,6	3,2	985	19,4	67,1	3,1	1075
Третий	26,7	55,8	3,1	925	27,4	57,6	3,7	1028
Четвертый	14,4	74,5	2,26	968	15,2	77,4	3,5	1004

Продолжительность сукрольности кроликоматок за четыре производственных цикла составила от 29 до 32 дней, что соответствует ранее проведенным исследованиям [16].

Технология содержания кроликоматок в модуле предусматривала ранний отъем молодняка, который производили после окончания второго месяца после осеменения. Возраст отнятых крольчат составлял от 29 до 32 дней.

Средняя живая масса крольчонка при рождении составила 0,056 кг, средняя масса при завершении производственного цикла составила 3,17 кг, что сопоставимо с результатами проводимых ранее исследований [16].

Исходя из представленных в таблице 2 данных о среднем значении потребления корма одним кроликом и среднем значении живой массы в начале и конце откормочного цикла, по выражениям 1–4 был определен коэффициент конверсии корма для четырех проведенных откормочных циклов, соответственно составивший 4,3; 4,6; 4,2 и 3,9, это сопоставимо с показателями крупных кролиководческих предприятий.

По поголовью рожденных крольчат и поголовью крольчат, переведенных на откорм, используя формулу (5), определили процент падежа молодняка в репродукторной секции модуля, который по четырем окролам соответственно составил 1,36; 12,5; 10,0; 5,8 %.

В откормочной секции процент падежа определяли аналогично с учетом поголовья кроликов, поставленных на откорм и снятых на убой. По четырем откормочным циклам падеж соответственно составил 4,17; 3,17; 2,8; 3,7 %.

Общее количество потребленной воды в репродукторной и откормочной секциях модуля представлено в таблице 7. Среднесуточное потребление воды одной кроликоматкой и одним кроликом на откорме по четырем производственным циклам

соответственно составило 0,71 и 0,24 л, 0,79 и 0,29 л, 0,87 и 0,24 л, 0,77 и 0,25 л, что не превышало нормативных показателей.

Учитывая полученные по формуле (8) данные, определили количество воды необходимое кролику на откорме для набора кг живой массы за каждый из проведенных откормочных циклов, соответственно составившее 6,15; 8,05 л; 5,71; 6,4 л.

Электроэнергию в технологическом модуле использовали для освещения, вентиляции и обогрева репродукторной и откормочной секции технологического модуля. Для освещения в каждой из секций установлены по два светодиодных светильника мощностью 12 Вт каждый. Свет в секциях включали во время проведения технологических операций и предусмотренных методикой исследований замеров. Для вентиляции секций технологического модуля применяли вытяжные вентиляторы в репродукторной секции мощностью по 14 Вт каждый, в секции для откорма мощностью 16 Вт. Осуществление необходимого воздухообмена предусматривало работу вентиляторов как по одиночке, так и совместно в зависимости от периода года, количества кроликов и их возраста. Температурный режим поддерживался работой обогревателей мощностью 800 Вт каждый, установленных в каждой секции модуля. Необходимая температура задавалась оператором, а ее поддержание осуществлялось в автоматическом режиме температурным датчиком и терморегулятором. В таблице 7 приведены общие затраты электроэнергии по каждому производственному циклу. Затраты электроэнергии, приходящиеся на одну кроликоматку и одного кролика на откорме, полученные по четырем производственным циклам, соответственно составляли: 0,048 и 0,001 кВт, 0,038 и 0,0008 кВт, 0,009 и 0,0006 кВт, 0,034 и 0,003 кВт. Необходимое количество электроэнергии для набора кг живой массы кроликом на откорме по четырем откормочным циклам соответственно составило 0,025; 0,022; 0,014; 0,077.

В таблице 8 приведены данные по выходу навоза в каждой из секций технологического модуля за каждый производственный цикл. Среднесуточный выход навоза от одного кролика в репродукторной и откормочной секции за каждый производственный цикл соответственно составил 0,134 и 0,084 кг, 0,156 и 0,074 кг, 0,146 и 0,091 кг, 0,162 и 0,078 кг.

В таблице 9 приведены показатели микроклимата в каждой секции технологического модуля за время проведения исследований. Концентрация вредных газов, таких как аммиак и углекислый газ не превышала предельно допустимых значений ни за один из производственных циклов, на основании чего сделан вывод о эффективности применяемой системы вентиляции. Температура воздуха в репродукторной секции технологического модуля изменялась от 14,4 до 26,7 °С, влажность воздуха изменялась от 55,8 до 74,5 % что соответствует нормативным значениям. В откормочной секции температура изменялась от 15,2 до 27,4 °С, а влажность – от 57,6 до 77,4 %, что также соответствует технологическим нормам.

#### **Выводы**

За время исследований проведено четыре производственных цикла с определением коэффициента конверсии корма, составившего от 3,9 до 4,6 единиц.

Определены затраты воды, необходимые для набора кроликом на откорме кг живой массы, составившие 6,15; 8,05; 5,71; 6,4 л.

Затраты электроэнергии для набора кроликом на откорме кг живой массы составили 0,025; 0,022; 0,014; 0,077 кВт.

Наибольшее количество крольчат в помете одной кроликоматки, составившее 9,55 голов, пришлось на четвертый окрол, а наименьшее, составившее восемь голов – на второй окрол. Также была определена средняя масса крольчонка при рождении, наибольшее значение данного показателя – 0,061 кг пришлось на второй окрол, а наименьшее, составившее 0,05 кг – на четвертый окрол. Полученные данные позволяют

сделать вывод о зависимости массы новорожденных крольчат от их количества в помете. Аналогичную зависимость наблюдали при переводе кроликов на откорм: наибольшее среднее значение по поголовью кроликов, составившее девять голов, пришлось на четвертый окрол, а наименьшее, составившее семь голов – на второй окрол, при том, что среднее значение живой массы во втором окроле было наибольшим и составило 0,816 кг, а во втором окроле наименьшим – 0,709 кг.

Потребление корма кроликоматками зависит от температуры воздуха в секции. Наибольшее количество комбикорма, потреблённое кроликоматками составившее 175,65 кг, пришлось на четвертый окрол, средняя температура в котором составила 14,4 °С, что являлось минимальным значением за все время проведения исследований. Превышение средней температуры в откормочной секции технологического модуля, зафиксированное в третьем окроле и составившее 27,4 °С, привело к увеличению потребления корма, что объясняется необходимостью терморегуляции организма. Концентрация вредных газов не превышала предельно допустимые значения во время проведения исследований.

### Литература

1. Цикунова О. Г., Турчанов С. О., Соляник Т. В., Кудрявец Н. И. Кролиководство. Горки: Изд-во Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. 193 с.
2. Велькина Л. В. Мировые тенденции развития кролиководства // Экономика сельского хозяйства России. 2019. № 3. С. 93–98. DOI: 10.32651/193-93.
3. Комлацкий Г. В., Туркова В. С. Перспективы создания кластеров в кролиководстве // Кролиководство и звероводство. 2022. № 3. С. 17–24. DOI: 10.52178/00234885\_2022\_3\_17.
4. Антипова Л. В., Попова Я. А., Черкасова А. В. Продукты из мяса кроликов для здорового питания: создание ассортиментных линеек, пищевая и биологическая ценность // Вестник ВГУИТ. 2019. №1 (79). С. 225–231. DOI: 10.20914/2310-1202-2019-1-225-231.
5. Федеральная служба государственной статистики. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://rosstat.gov.ru/enterprise\\_economy](https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy) (дата обращения 25.09.2023 г.)
6. Климова Н. В., Можегова В. Д. Эффективность инновационных вложений в развитие кролиководства // Научный журнал Кубанского ГАУ. 2017. № 125 (01). DOI: 10.21515/1990-4665-125-034. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/01/pdf/34.pdf> (дата обращения 25.09.2023).
7. Комлацкий В. И., Величко Л. Ф., Величко В. А., Цыганок Л. Э. Современные технологии кролиководства в условиях малых форм хозяйствования // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 85. С. 319–325. DOI: 10.21515/1999-1703-85-319-325.
8. Плаксин И. Е., Трифанов А. В., Базыкин В. И. Результаты исследования продуктивности откормочных свиней в технологическом модуле // Вестник НГАУ. 2022. № 4 (65). С. 183–196. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-183-196.
9. Сошнев Д. А., Трифанов А. В., Базыкин В. И., Плаксин И. Е. Результаты опытно-производственной проверки работы технологического модуля для выращивания бройлеров // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 3 (112). С. 121–129. DOI: 10.24412/2713-2641-2022-3112-121-129.
10. Плаксин И. Е., Трифанов А. В. Обоснование технико-экономических показателей технологического модуля для разведения и откорма кроликов // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 2 (99). С. 317–326. DOI: 10.24411/0131-5226-2019-10178.
11. Гладин Д. В. Светодиодное освещение: только преимущества // Животноводство России. 2012. № 9. С. 62–64.
12. Спирин Н. А., Лавров В. В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 257 с.
13. Вторый В. Ф., Вторый С. В., Ильин Р. М. Исследование параметров микроклимата коровника переносным измерительным комплексом // АгроЭкоИнженерия. 2021. № 3 (108). С. 154–164. DOI: 10.24412/2713-2641-2021-3108-154-163.
14. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Litres, 2022. 1920 с.
15. Нигматуллин Р. М., Балакирев Н. А. Кролиководство (в вопросах и ответах). Ч. 1. М.: Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина, 2009. 400 с.

16. Курчаева Е. Е., Востроилов А. В. Эффективность использования кормовой синбиотической добавки ПроСтор для получения ресурсов кролиководства // Вестник ВГУИТ. 2019. №3 (81). DOI: 10.20914/2310-1202-2019-3-50-56.

### References

1. Tsikunova O. G., Turchanov S. O., Solyanik T. V., Kudryavets N. I. Rabbit breeding. Gorki: Belarusian State Agricultural Academy Publ., 2022. 193 p.
2. Velkina L. V. Global trends in development of rabbit breeding // Economics of Agriculture of Russia. 2019. No. 3. P. 93–98. DOI: 10.32651/193-93.
3. Komlatsky G. V., Turkova V. S. Prospects for creating clusters in rabbit breeding // Krolikovodstvo i zverovodstvo. 2022. No. 3. P. 17–24. DOI: 10.52178/00234885\_2022\_3\_17.
4. Antipova L. V., Popova Ya. A., Cherkasova A. V. Products from rabbit meat for a healthy diet: the creation of assortment lines, nutritional and biological value // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2019. No. 1 (79). P. 225–231. DOI: 10.20914/2310-1202-2019-1-225-231.
5. Federal State Statistics Service. Agriculture, hunting and forestry [Electronic resource]. Access point: [https://rosstat.gov.ru/enterprise\\_economy](https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy) (references date 25.09.2023).
6. Klimova N. V., Mozhegova V. D. Efficiency of investments in development of rabbit breeding in Russia // Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. 2017. No. 125 (01). DOI: 10.21515/1990-4665-125-034. [Electronic resource]. Access point: <http://ej.kubagro.ru/2017/01/pdf/34.pdf> (references date 25.09.2023).
7. Komlatsky V. I., Velichko L. F., Velichko V. A., Tsyganok L. E. Modern technologies of rabbit breeding in small-scale farming // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2020. No. 85. P. 319–325. DOI: 10.21515/1999-1703-85-319-325.
8. Plaksin I. E., Trifanov A. V., Bazykin V. I. Results of research on the productivity of fattening pigs in the technological module // Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2022. No. 4(65). P. 183–196. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-183-196.
9. Soshnev D. A., Trifanov A. V., Bazykin V. I., Plaksin I. E. Results of experimental and production check of the operation of the technological module for growing broilers // AgroEcoEngineering. 2022. No. 3(112). P. 121–129. DOI: 10.24412/2713-2641-2022-3112-121-129.
10. Plaksin I. E., Trifanov A. V. Justification of technical and economic performance of the technological module for rabbit growing and fattening // Technologies, machines and equipment for mechanized crop and livestock production. 2019. No. 2(99). P. 317–326. DOI: 10.24411/0131-5226-2019-10178.
11. Gladin D. V. LED lighting: only advantages // Animal Husbandry of Russia. 2012. No. 9. P. 62–64.
12. Spirin N. A., Lavrov V. V. Methods of planning and processing the results of an engineering experiment. Ekaterinburg: Ural State Technical University – Ural Polytechnic Institute (USTU-UPI), 2004. 257 p.
13. Vtoryi V. F., Vtoryi S. V., Ilyin R. M. Study of the barn inside climate parameters with a portable measuring complex // AgroEcoEngineering. 2021. No. 3(108). P. 154–164. DOI: 10.24412/2713-2641-2021-3108-154-163.
14. Gmurman V. E. Probability theory and mathematical statistics. Moscow: Litres, 2022. 1920 p.
15. Nigmatullin R. M., Balakirev N. A. Rabbit breeding (in questions and answers). Part 1. Moscow: Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K. I. Scriabin, 2009. 400 p.
16. Kurchaeva E. E., Vostroilov A. V. The efficiency of use of feed synbiotic supplement the open ProStor resources of the rabbit // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2019. No. 3 (81). DOI: 10.20914/2310-1202-2019-3-50-56.

UDC 631.22

Plaksin I. E., Trifanov A. V.

### TECHNOLOGICAL MODULE FOR GROWING RABBITS: PILOT TESTING

**Summary.** *Small-scale rabbit farming produces more than 68% of rabbit products and plays an important role in the preservation and development of rural areas; therefore, the development of modern high-tech technical, technological and planning solutions for such enterprises is an urgent task. The purpose of the work was to determine the technical and technological parameters of rearing rabbits in a technological module. All measures and observations were carried out in 2022. For research purposes we built an experimental technological module for nine doe rabbits, in which four production cycles were carried out, including keeping single, brood and suckling doe rabbits with new-born rabbits, as well as*

*growing and fattening of up to 90 young animals. Subject of the research – technological parameters of raising rabbits in the technological module. The research was carried out using the passive experiment method to determine the technological indicators of raising rabbits. The average feed intake per one doe rabbit was 56.29 kg during pregnancy period and 110.4 kg throughout lactation. The average rabbit litter size after four kindlings was 77.7, number of young animals at the time of transferring to fattening – 72, at slaughter – 69.5. The average live weight of a baby rabbit at birth was 0.056 kg, at the time of transferring to fattening – 0.762 and at the end of the production cycle – 3.17 kg. The feed conversion ratio ranged from 3.9 to 4.6 units. Water consumption was 6.15, 8.05, 5.71 and 6.4 litres per kg of rabbit live weight. Electricity consumption to gain a kilogram of live weight reached 0.025, 0.022, 0.014 and 0.077 kW. The average daily manure yield from one rabbit in the reproduction and fattening section was 0.149 and 0.081 kg per each production cycle, respectively. As a result of the research, we came to the following conclusions: the use of the developed technological module is effective in small-scale rabbit production, the indicators obtained during the experiment correspond to similar values of large rabbit breeding enterprises.*

**Keywords:** *agriculture, rabbit breeding, small-scale production, technological module*

Плаксин Илья Евгеньевич, кандидат технических наук, научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»; 196634, Россия, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Филитровское ш., 3; e-mail: ilyaplaxin@gmail.com.

Трифанов Алексей Валериевич, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»; 196634, Россия, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филитровское ш., 3; e-mail: trifanovav@mail.ru.

Plaksin Ilya Evgenievich, Cand. Sc. (Techn.), researcher at the Department of agroecology in animal husbandry of the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of the FSBSI “Federal Scientific Agroengineering Center VIM” (FSAC VIM); 3, Filitrovskoe shosse, village of Tyarlevo, St. Petersburg, 196634, Russia; ilyaplaxin@gmail.com .

Trifanov Aleksey Valerievich, Cand. Sc. (Techn.), associate professor, leading researcher of the Department of agroecology in animal husbandry of the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of the FSBSI “Federal Scientific Agroengineering Center VIM” (FSAC VIM); 3, Filitrovskoe shosse, village of Tyarlevo, St. Petersburg, 196634, Russia; trifanovav@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 02.10.2023.*

*Дата принятия к печати – 17.11.2023.*



DOI 10.5281/zenodo.10280831

EDN KJNHPS

УДК 635.132:631.527:632.4

Тихонова Т. О., Козарь Е. Г., Енгальчева И. А., Степанов В. А.

## СКРИНИНГ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ МОРКОВИ СТОЛОВОЙ И ПОИСК ИСТОЧНИКОВ УСТОЙЧИВОСТИ К БЕЛОЙ ГНИЛИ

ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»

**Реферат.** В период хранения моркови столовой одной из вредоносных болезней является белая гниль. Исследования проводили с целью оценки коллекционного материала моркови столовой (*Daucus carota* L.) на устойчивость к возбудителям белой гнили. Экспериментальная часть работы выполнена в 2017–2023 гг. на базе лабораторий молекулярно-иммунологических исследований, селекции и семеноводства столовых корнеплодов ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства». Материал для исследований – 167 современных сортов и гибридов моркови отечественной и иностранной селекции. Оценку сохранности изучаемых сортообразцов проводили в период хранения, определяя степень поражения возбудителями белой гнили, иммунологическую оценку устойчивости *in vitro* – путем искусственного заражения дисков корнеплодов. О степени устойчивости сортообразцов судили на основании расчета объема зоны поражения относительно стандарта устойчивости – гибрида Надежда F<sub>1</sub> и последующей дифференциации на группы устойчивости. Установлено, что в условиях Московской области в патогенезе белой гнили наибольшей вредоносностью обладает возбудитель *Sclerotinia sclerotiorum*. Распространение *Sclerotinia nivalis* носит спорадический характер, достигая 16–23 % в зависимости от года и устойчивости образца, что актуализирует проведение исследований в отношении к *S. nivalis* в рамках опережающей селекции. При оценке в процессе хранения соотношение различных по устойчивости образцов в коллекционном питомнике по годам варьирует – степень распространения белой гнили изменялась от 18 % до 73 %. Изученные образцы проявили сортоспецифичный характер и различную экологическую изменчивость по признаку устойчивости к белой гнили. По результатам комплексного подхода оценки на устойчивость к белой гнили в условиях *in vivo* и *in vitro* в качестве источников устойчивости выделены II сортообразцов, из которых QSR-34, П-2, Каспий F<sub>1</sub>, CR 1596, Мелло-Йелло F<sub>1</sub>, Октаво F<sub>1</sub> включены в селекционный процесс.

**Ключевые слова:** морковь, болезни, белая гниль, устойчивость, селекция.

**Для цитирования:** Тихонова Т. О., Козарь Е. Г., Енгальчева И. А., Степанов В. А. Скрининг коллекционных образцов моркови столовой и поиск источников устойчивости к белой гнили // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4 (36). С. 159–173. EDN: KJNHPS. DOI: 10.5281/zenodo.10280831.

**For citation:** Tikhonova T. O., Kozar E. G., Engalycheva I. A., Stepanov V. A. Screening of carrot collection samples and search for sources of white rot resistance // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4(36). P. 159–173. EDN: KJNHPS. DOI: 10.5281/zenodo.10280831.

### Введение

Морковь столовая – одна из самых популярных и экономически значимых овощных культур, которая является одним из ключевых экспортных товаров для многих стран мира. Одной из основных причин снижения эффективности производства моркови столовой являются потери товарной продукции в результате длительного хранения, которые через три–шесть месяцев хранения могут достигать 25–60 % и выше [1, 2].

Известно, что в период хранения на корнеплодах может присутствовать до 75 % всех фитопатогенных видов микроорганизмов, поражающих культуру моркови столовой [3]. Под влиянием эколого-географических факторов, погодных условий, сортового разнообразия структура популяций патогенов овощных культур ежегодно меняется. Недостаточная изученность видового состава, уровня вирулентности различных фитопатогенов в отношении конкретных сортов и гибридов моркови часто является одной из причин неблагоприятной фитопатологической обстановки в период хранения [4]. Наибольший ущерб корнеплодным культурам в этот период причиняют низкотемпературные склероциальные грибы и грибоподобные организмы, вызывающие болезни кагатной гнили. Возбудители относятся к различным таксономическим группам и имеют общее свойство – адаптированность к холодным условиям окружающей среды.

В период хранения моркови столовой одной из наиболее вредоносных болезней является белая гниль, впервые обнаруженная на культуре в 1837 г. Libert M. A. в Бельгии, а в России в 1904 г. Ячевским А. А. [5, 6]. Основной возбудитель – низкотемпературный психротрофный склероциальный гриб (*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary). Другие фитопатогенные представители рода *Sclerotinia* (*S. nivalis*, *S. minor* и *S. trifolium*) также могут вызывать гнили, но они не так экономически значимы для культуры моркови, как *S. sclerotiorum* [7]. Представители рода *Sclerotinia* относятся к семейству Sclerotiniaceae, порядку Helotiales, подклассу Leotiomycetidae, классу Leotiomycetes, подотделу Pezizomycotina, отделу Ascomycota, царству Fungi [8]. По способу питания гриб является широко специализированным патогеном, поражающим более 400 видов растений, в том числе наиболее важные коммерческие культуры из семейств Solanaceae, Cruciferae, Umbelliferae, Asteraceae, Apiaceae, Chenopodiaceae и Leguminosae [9–15].

Развитию заболевания способствует дождливая погода с умеренными температурами. В первую очередь заражению подвергаются травмированные, физиологически не вызревшие, подмерзшие или подвявшие корнеплоды. При хранении инфицированный патогеном корнеплод заражает находящиеся рядом здоровые корнеплоды, поэтому в хранилище заболевание чаще носит очаговый характер, но при неблагоприятных условиях возникает эпифитотия.

Жизненный цикл видов рода *Sclerotinia* моноциклический, так как они не продуцируют вторичные конидии и существует только один цикл размножения путем образования аскоспор (рисунок 1).

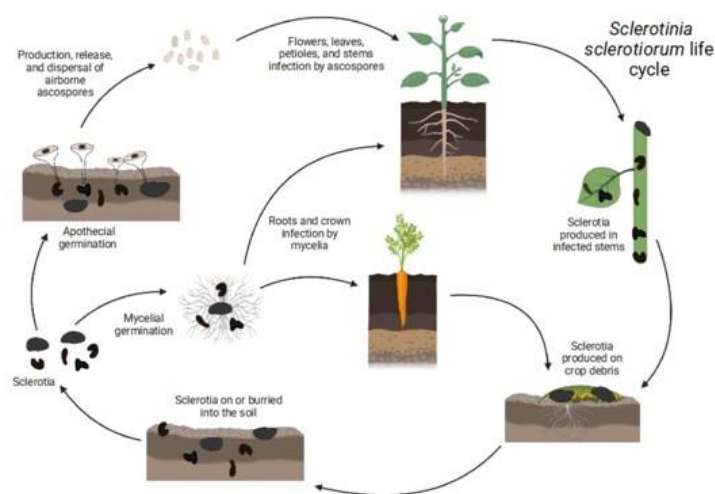


Рисунок 1 – Жизненный цикл *Sclerotinia sclerotiorum* на культуре *Daucus carota* (цит. по [17])

Второй путь размножения – образование склероциев трех типов: нормальные черные склероции, аномальные черные склероции и коричневые склероции [15, 16]. Склероции представляют собой зимующие структуры, которые в основном сохраняются на растительных остатках [17]. Мицелий *S. sclerotiorum* также может зимовать в зараженных растениях, но быстро теряет жизнеспособность весной и в начале лета [16]. Исследования показали, что склероции с меланизированной черной клеточной стенкой повышают выживаемость *S. sclerotiorum* при неблагоприятных условиях окружающей среды [17].

Возбудитель способен до 10 лет сохраняться в почве, а по последним исследованиям французских ученых – распространяться воздушным путем на расстоянии до 700 км от места локализации [18]. При склероциях может происходить как половое (карпогенное прорастание), так и бесполое (мицелиогенное прорастание) размножение [19]. Воздушная передача возможна тогда, когда склероции продуцируют апотеции и аскоспоры (карпогенное прорастание), а почвенная – непосредственно склероциями. В данном случае образуется мицелий в присутствии экзогенных питательных веществ (мицелиогенное прорастание), который впоследствии разрушает ткани растений-хозяев [10, 13, 15, 16, 20–22]. Длительное выживание склероциев в почве, даже в неблагоприятных условиях, их способность продуцировать аскоспоры, которые могут распространяться ветром, быстрая адаптация патогена к различным мерам борьбы с белой гнилью, затрудняет работу по защите растений [23].

Белая гниль связана со значительными потерями урожая в Австралии, Европе, Африке, Индии и Северной Америке. Например, в Канаде среднегодовая степень распространения склеротиниозной гнили варьирует от 10 % до 20 %, что приводит к 5–10 % потере урожая. В Китае *Sclerotinia* вызывает ежегодное снижение урожая до 10–20 %, а на сильно зараженных полях потери могут достигать 80 % [16]. По данным Станчук А. Э., в условиях республики Беларусь встречаемость белой гнили варьировала от 67,3 до 72,2 % от общего числа пораженных корнеплодов, поэтому в структуре фитопатогенного комплекса она занимала доминирующее положение [24]. Экономический ущерб во всем мире каждый год от белой гнили может достигать сотни миллионов долларов [10, 15, 20]. Так, в США, начиная с 2000 г., ежегодные убытки на культуре моркови составляют около 200 млн долл. [15, 25, 26]. В последние годы в условиях Московской области отмечается нарастание вредоносности и распространения этого возбудителя, вследствие чего потери могут достигать 80 %. Экономическая эффективность хранения моркови столовой определяется урожайностью и уровнем устойчивости сортов и гибридов. При этом по мере увеличения доли пораженных в образце корнеплодов рентабельность реализации после длительного хранения снижается по экспоненте. У неустойчивых образцов при 20 % уровне поражения рентабельность снижается в 2,6 раза, а при 40 % – в 28 раз [27].

Следует отметить, что изменению фитопатологической обстановки способствует то, что наряду с изменениями климата, нарастанием агрессивности местных рас патогенов, происходит интродуцирование новых рас, источником которых является ввозимая в страну товарная продукция, а также семена гибриды зарубежной селекции. Кроме того, иностранные образцы моркови столовой часто проявляют восприимчивость к местным расам фитопатогенов. Поэтому оценка устойчивости современного сортимента сортов и гибридов этой экономически важной овощной культуры с точки зрения рентабельности ее производства, охраны окружающей среды и снижения пестицидной нагрузки является актуальной задачей. Это направление имеет особую ценность также в связи с решением другой проблемы – перманентного поиска источников для создания сортов и гибридов с высокой резистентностью к этой вредоносной болезни, которая до сих пор является трудной задачей в связи со сложным

характером наследования этого признака из-за множества минорных генов, которые вносят свой вклад в устойчивость к *S. sclerotiorum*. Так как отсутствуют полностью иммунные генотипы, селекционеры в основном полагаются на относительную устойчивость моркови, которая может существенно снизить экономические потери производителей [28–30]. Создаваемые совместными усилиями селекционеров, фитопатологов и генетиков продуктивные сорта и гибриды моркови столовой российской селекции, обладающие высокой устойчивостью к местным популяциям фитопатогенов, следует рассматривать не только как основу стратегии интегрированной защиты культуры от болезней, но как поддержку интересов отечественных сельхозпроизводителей в рамках государственной политики импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны.

**Цель исследований** – поиск источников и оценка коллекционного материала моркови столовой на устойчивость к возбудителям белой гнили для селекции на иммунитет.

### Материалы и методы исследований

Экспериментальная часть работы выполнена в 2017–2023 гг. на базе лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, лаборатории селекции и семеноводства столовых корнеплодов ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (ФНЦО) в Одинцовском районе Московской области. Объект исследований – морковь столовая (*Daucus carota* L.); изоляты *S. sclerotiorum*, *S. nivalis*, выделенные с пораженных корнеплодов во время хранения. Идентификацию выделенных изолятов по морфолого-культуральным признакам проводили совместно с главным научным сотрудником, заведующим лабораторией защиты растений ФГБУ «Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН», д.б.н. Ткаченко О.Б., используя соответствующие определители [31, 32] и электрофорез глобулинов в полиакриламидном геле [33].

В исследованиях использовали коллекционный материал отечественной и зарубежной селекции. В период с 2017 по 2023 гг. проанализировано 167 сортов и гибридов моркови столовой (2017 г. – 27 образцов, 2018 г. – 18, 2019 г. – 36, 2020 г. – 27, 2021 г. – 18, 2022 г. – 15, 2023 г. – 15. В зависимости от количества образцов в коллекционном питомнике в эти годы всего заложено на хранение и проанализировано от 766 до 1352 корнеплодов. Корнеплоды моркови столовой выращивали по общепринятой для средней полосы РФ технологии, согласно методическим рекомендациям закладки коллекционных питомников [34, 35].

Агрохимическая характеристика почв опытных полей ФНЦО: рН<sub>KCl</sub> – 5,6–6,1 (потенциометрический метод); содержание гумуса 1,8–2,0 % (по Тюрину), подвижный фосфор (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – 420–480 мг/кг (по Кирсанову), обменный калий (K<sub>2</sub>O) – 165 мг/кг (по Кирсанову, ГОСТ Р 54650-2011); сумма обменных оснований (S) – 18,9 мг-экв./100 г (трилонометрический метод по Каппену-Гильковицу). Погодные условия периода вегетации в разные годы исследований существенно отличались – от относительно засушливого периода в 2018 г. (ГТК <1) до очень влажного в 2020 г. (ГТК >2) (рисунок 2).

Хранили корнеплоды в контейнерах в овощехранилище при температуре 1–2 °С и влажности 90–92 % в течение семи месяцев (со II декады сентября по II декаду апреля).

В работе использованы общие принципы и традиционная схема ведения фитопатологических исследований с целью поиска источников устойчивости к болезням корнеплодных культур, основные этапы которой представлены на рисунке 3.

В условиях естественного инфекционного фона проводили визуальное обследование корнеплодов анализируемых образцов перед закладкой, в период хранения и после него с оценкой степени их общей сохранности и степени поражения возбудителями белой гнили на естественном инфекционном фоне. Учитывали распространенность (Р, %), индекс поражения по пятибалльной шкале (I, балл) и степень

развития болезни (R, %) в пределах каждого образца и всей совокупности проанализированных корнеплодов [36, 37]. Дифференциацию коллекционного материала по группам устойчивости на естественном инфекционном фоне (*in vivo*) проводили в зависимости от показателя распространенности болезни в образце: У – практически устойчивые (P = 0 %), ОУ – относительно устойчивые (P = 1–10 %), СВ – средневосприимчивые (P = 16–25 %) и В – восприимчивые (P > 25 %).

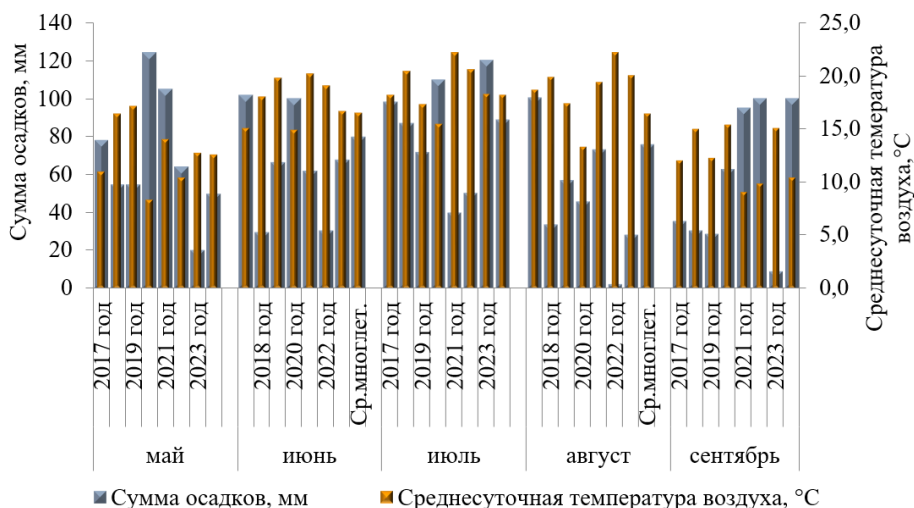


Рисунок 2 – Погодные условия периода исследований

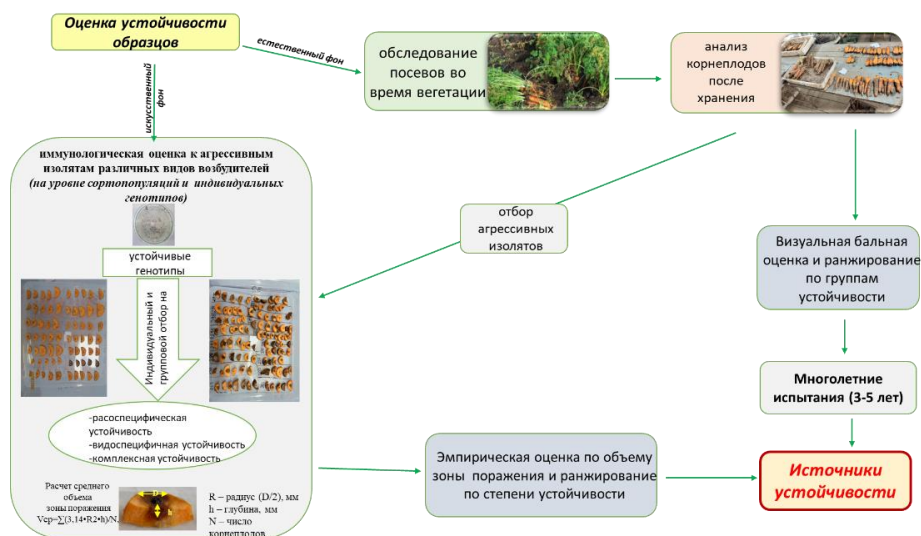


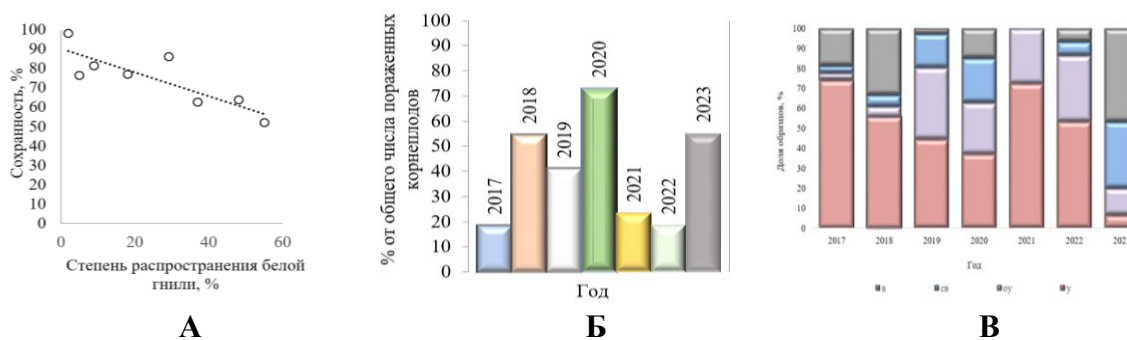
Рисунок 3 – Общая схема оценки коллекционных образцов моркови столовой и выделения источников устойчивости к болезням хранения [34, 36]

Иммунологическую оценку устойчивости *in vitro* проводили в лаборатории путем искусственного заражения дисков бессимптомных корнеплодов в условиях влажной камеры путем нанесения мицелиально-агаровых блоков десятисуточной культуры возбудителя, в контроле – стерильный агаровый блок питательной среды Чапека. Для заражения использовали изоляты видов рода *Sclerotinia* из коллекции лаборатории

иммунитета и защиты растений ФНЦО. Повторность в каждом коллекционном образце десятикратная. Учет степени поражения проводили на седьмые сутки после заражения, измеряя диаметр и глубину зоны поражения. Рассчитывали объем зоны поражения ( $V$ ,  $\text{см}^3$ ), который является наиболее информативным критерием оценки уровня устойчивости генотипов. Стандарт устойчивости – гибрид моркови столовой Надежда  $F_1$ . Ранжирование образцов проводили относительно стандарта устойчивости, выделяя следующие группы: устойчивые (У) – объем поражения на уровне или меньше стандарта, относительно устойчивые (ОУ) – объем поражения не превышает 25 % от стандарта, средневосприимчивые (СВ) – не более 50 % и восприимчивые (В) – более чем в 1,5 раза больше, чем у стандарта. Итоговую оценку и отбор селекционных ценных генотипов на устойчивость к белой гнили корнеплодов проводили на основе анализа всей совокупности данных, полученных в нескольких сериях независимых лабораторных опытов. Обработку данных проводили по соответствующим методам статистического анализа [38] и с использованием программы MS Excel 2010.

### Результаты и их обсуждение

Многолетний мониторинг санитарного состояния корнеплодов моркови столовой на естественном инфекционном фоне после хранения показывает, что среди наиболее вредоносных болезней в условиях Московской области доминирующей является белая гниль, от степени распространения которой зависит процент сохранности корнеплодов (рисунок 4А). Ранжирование образцов по общему показателю доли пораженных корнеплодов с учетом степени ее распространения (Р %) выявило, что в коллекционных питомниках практически каждый год присутствовали образцы всех групп устойчивости (исключение – 2021 г.), но их соотношение, как видно на рисунке 4В, существенно меняется в зависимости от набора анализируемых образцов и условий вегетационного периода и хранения. Эти факторы определяют напряженность естественного инфекционного фона и степень распространения белой гнили, которая в годы исследований изменялась от 18 % до 73 % от общей совокупности проанализированных корнеплодов (рисунок 4Б).



**Рисунок 4 – Вредоносность (А), распространенность белой гнили на корнеплодах (Б) и распределение образцов моркови столовой по группам устойчивости (В) в разные годы исследований**

Спорадический характер развития эпифитотий белой гнили делает проблематичным скрининг на устойчивость в условиях естественного инфекционного фона, так как свой вклад в резистентность к болезням вносит изменчивость других биологических свойств растений в зависимости от условий выращивания (скороспелость, архитектура и габитус растения, физиологические реакции на стрессы, продуктивность и др.), на что указывают в своих работах и другие исследователи [39, 40]. На примере некоторых коллекционных образцов в таблице 1

продемонстрирована высокая экологическая изменчивость этого признака. Характеристика некоторых из них может резко меняться от высокой устойчивости до восприимчивости и наоборот даже в пределах трех лет испытаний, то есть определяется напряженностью инфекционного фона и адаптивной способностью сорта реализовать свой потенциал в конкретных агроклиматических условиях региона и года испытания.

**Таблица 1 – Сохранность и группа устойчивости коллекционных образцов моркови столовой по степени развития белой гнили (\*) в период хранения в разные годы исследований**

Показатель	Лууван			02566-F			Narman- K 2525			Надежда F <sub>1</sub> (St.)		
	2017 г.	2019 г.	2021 г.	2017 г.	2019 г.	2021 г.	2017 г.	2019 г.	2021 г.	2017 г.	2019 г.	2021 г.
Сохранность, %	3	71	64	6	52	78	38	83	78	99	97	93
Степень развития БГ	***	*	-	***	***	-	***	**	-	*	-	-
Группа устойчивости	В	ОУ	У	В	В	У	В	СВ	У	ОУ	У	У

**Примечание.** Степень развития белой гнили: «-» – отсутствие симптомов; \* –  $R \leq 10\%$ ; \*\* –  $10 < R < 25\%$ ; \*\*\* –  $R \geq 25\%$ .

Поэтому объективные данные по уровню устойчивости образца на естественном инфекционном фоне (поле + хранение) дает только многолетняя оценка в условиях разных сред (регионы, годы). По результатам однолетних испытаний можно проводить только негативный отбор восприимчивых генотипов. В результате проведенной работы в качестве источников устойчивости выделено семь образцов моркови столовой различного происхождения и разных групп спелости, корнеплоды которых стабильно в течение трех–пяти лет испытаний на естественном инфекционном фоне не имели признаков поражения корнеплодов белой гнилью (таблица 2).

**Таблица 2 – Характеристика коллекционных образцов со стабильно высокой устойчивостью корнеплодов к белой гнили на естественном фоне (2017-2021 годы)**

Образец	Происхождение (страна, фирма)	Сортотип	Группа спелости	Сохранность, %
QSR-33	-	Нантский	среднеспелый (105–110 дней)	100
QSR-34	-	Нантский	среднеспелый (105–110 дней)	100
Бриллианс F <sub>1</sub>	Nunhems	Нантский	поздний (135 дней)	100
Олимпо F <sub>1</sub>	Vilmorin	Нантский	среднеспелый (105–110 дней)	100
Редсан F <sub>1</sub>	Vejo	Нантский	среднеспелый (105–110 дней)	100
Романс F <sub>1</sub>	Nunhems	Нантский	среднепоздний (120 дней)	100
Элеганс F <sub>1</sub>	Nunhems	Нантский	Среднепоздний (125 дней)	100
Каспий F <sub>1</sub>	Vejo	Шантанэ	среднеспелый (107 суток)	94
Tokushima F <sub>1</sub>	Япония	Шантанэ	ранний (100 суток)	93
Аурантина F <sub>1</sub>	Takii	Куроода/Шантанэ	ранний (95–100 дней)	90
Проминанс F <sub>1</sub>	Takii	Куроода/Шантанэ	среднеспелый (105–110 дней)	89
Хиросима F <sub>1</sub>	Япония	Куроода/Шантанэ	среднеспелый (105–110 дней)	86

Ускорить процесс скрининга и повысить объективность отбора позволяет проведение иммунологической оценки на искусственном инфекционном фоне в теплице или лаборатории (*in vitro*), которая в настоящее время становится неотъемлемой частью методологии селекции на иммунитет [41–43]. Сопоставление результатов весеннего анализа пораженности образцов белой гнилью в хранилище и параллельной иммунологической оценки путем заражения дисков корнеплодов чистой культурой агрессивного изолята *S. sclerotiorum* показало неполное их соответствие (таблица 3).

Таблица 3 – Оценка коллекционных образцов по устойчивости корнеплодов к белой гнили на естественном и искусственном инфекционном фоне (2020–2023 гг.)

Образец	Происхождение	Сохранность корнеплодов при хранении, %	Белая гниль		
			доля пораженных корнеплодов при хранении, %	группа устойчивости	
				<i>in vivo</i> *	<i>in vitro</i> **
Надежда F <sub>1</sub> (St.)	ФНЦО	96	0	У	У
П-2	-	100	0	У	У
Каспий F <sub>1</sub>	Bejo	94	0	У	У
CR 1596	ВИР	93	0	У	У
Мелло-Йелло F <sub>1</sub>	Bejo	93	0	У	У
Октаво F <sub>1</sub>	Vilmorin	93	0	У	У
Морелия F <sub>1</sub>	RIJK ZWAAN	82	0	У	У
Нерак F <sub>1</sub> В-MAX	Bejo	92	0	У	ОУ
Сильвано F <sub>1</sub>	Vilmorin	94	0	У	СВ
Экстремо F <sub>1</sub>	Vilmorin	88	0	У	СВ
Форвард F <sub>1</sub>	Россия	62	0	У	В
Вайт Сатин F <sub>1</sub>	Bejo	78	0	У	В
Шантанэ 2461	Аэлита	86	1,1	ОУ	ОУ
Престо F <sub>1</sub>	Vilmorin	94	2,4	ОУ	ОУ
Джерада F <sub>1</sub>	RIJK ZWAAN	89	2,8	ОУ	ОУ
Неликс F <sub>1</sub>	Bejo	81	3,1	ОУ	ОУ
CR 1672	ВИР	94	3,2	ОУ	ОУ
Назарет F <sub>1</sub>	Bejo	87	3,2	ОУ	ОУ
Навал F <sub>1</sub>	Bejo	97	2,5	ОУ	ОУ
Vak-70 F <sub>1</sub>	Vilmorin	92	4,2	ОУ	ОУ
Фидра F <sub>1</sub>	RIJK ZWAAN	87	8,3	ОУ	ОУ
ПёрплХейз F <sub>1</sub>	Bejo	92	3,8	ОУ	СВ
CR-1496	ВИР	85	5,3	ОУ	В
Нерак F <sub>1</sub>	Bejo	82	9,1	ОУ	В
Vilmorin spoto 72/1	Vilmorin	78	10,2	СВ	В
Saint Valery	Франция	80	15,0	СВ	СВ
Red Carrot	Vilmorin	76	27,7	В	В
Балтимор F <sub>1</sub>	Bejo	62	29,2	В	В

Так, из 11 образцов без признаков поражения корнеплодов белой гнилью на естественном фоне *in vivo* проявили устойчивость на искусственном фоне *in vitro* на уровне стандарта только шесть, тогда как гибриды Форвард F<sub>1</sub> и Вайт Сатин F<sub>1</sub> по результатам лабораторной оценки вошли в группу восприимчивых образцов. Относительную устойчивость при искусственном заражении показали образцы с уровнем поражения корнеплодов до 5 % в период хранения. Полное совпадение результатов двух параллельных оценок отмечено только в группе восприимчивых образцов, что еще раз подтверждает правомерность проведения их негативного отбора на естественном инфекционном фоне.

С точки зрения селекционной ценности в качестве источников устойчивости к белой гнили можно выделить только пять образцов из этой группы: П-2, Каспий F<sub>1</sub>, CR 1596, Мелло-Йелло F<sub>1</sub>, Октаво F<sub>1</sub>, которые уже включены в селекционный процесс. Исключение составил образец Морелия F<sub>1</sub>, корнеплоды которого имели низкую сохранность и поражались другими возбудителями болезней хранения. Среди коллекционных образцов, проявивших относительную устойчивость к белой гнили при искусственном заражении, определенный интерес могут представлять образцы с



высокой сохранностью корнеплодов, проявившие устойчивость и к другим возбудителям патогенов кагатной гнили корнеплодов, такие как ВАК 70 F<sub>1</sub> и Навал F<sub>1</sub>. Иммунологическая оценка индивидуальных маточных корнеплодов моркови столовой позволяет также выявить гетерогенность различных сортовых, инбредных и гибридных популяций по уровню устойчивости к белой гнили. Это имеет важное значение при работе не только с коллекционными образцами, но и с инбредными потомствами и линейным материалом для селекции на гетерозис, поскольку позволяет повысить результативность отбора устойчивых генотипов.

Кроме широко распространенного возбудителя *S. sclerotiorum*, отмечается возрастание агрессивности другого вида – *S. nivalis*, который впервые был обнаружен в патогенезе белой гнили в 2009 г. Характерной морфологической особенностью *S. sclerotiorum* (рисунок 5А), отличающей ее от *S. nivalis* (рисунок 5Б), является формирование на искусственной питательной среде более крупных склероциев.

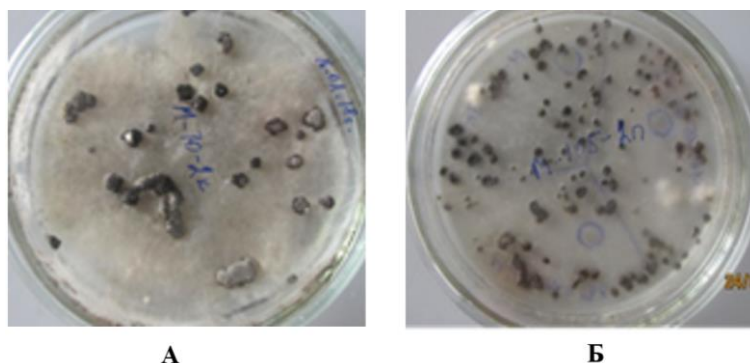


Рисунок 5 – Внешний вид колоний возбудителей белой гнили: А – *S. sclerotiorum*; Б – *S. nivalis*

Вид *S. nivalis* пока не имеет широкого распространения и регистрируется в составе патоконплекса в отдельные годы: в 2018 г. его распространенность на отдельных образцах достигала 16 %, а в 2023 г. – 23 %. При этом в одном образце могут присутствовать корнеплоды, пораженные обоими возбудителями, но в разной степени. Так, например, в образцах № № 9, 16, 20 корнеплоды были более восприимчивы к *S. sclerotiorum*, а в № № 17, 12, 15 – *S. nivalis* (рисунок 6).

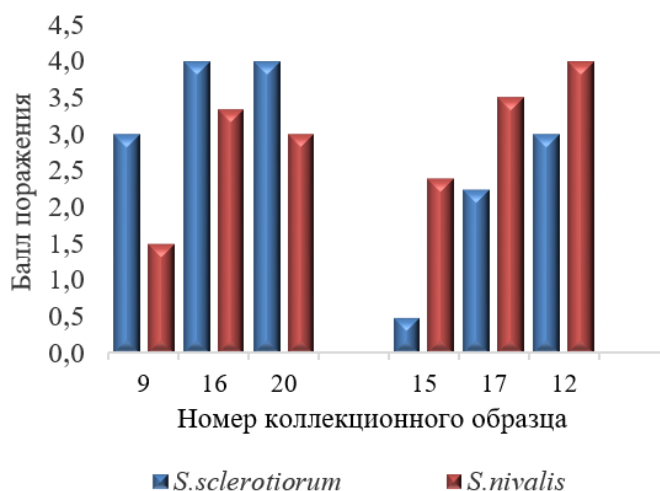


Рисунок 6 – Средний балл поражения корнеплодов разными видами возбудителей белой гнили у коллекционных образцов моркови столовой (2018 г.)

Кроме моркови, участие *S. nivalis* в патогенезе белой гнили в последние годы отмечено и на других корнеплодных культурах, в частности на корнеплодах пастернака посевного и редиса европейского [44]. Это свидетельствует о том, что наиболее агрессивные изоляты этого патогена в дальнейшем должны быть включены в селекционные программы по созданию устойчивых форм этих культур.

#### Выводы

Ежегодный мониторинг развития болезней хранения на культуре моркови столовой показал, что в условиях Московской области распространенность белой гнили в 2017–2023 гг. варьировала от 18 % до 73 %. В зависимости от напряженности естественного инфекционного фона доля устойчивых образцов к возбудителям белой гнили в разные годы составляла от 7 % до 74 %.

В результате многолетних испытаний в качестве источников резистентности к возбудителям белой гнили было выделено 17 образцов различных сортоформ и групп спелости, что составило 10 % от общего числа проанализированных. При естественном распространении инфекции в условиях хранения экологически стабильную устойчивость проявили образцы: QSR-33, QSR-34, Бриллианс F<sub>1</sub>, Олимпо F<sub>1</sub>, Редсан F<sub>1</sub>, Романс F<sub>1</sub>, Элеганс F<sub>1</sub>, Tokushima F<sub>1</sub>, Аурантина F<sub>1</sub>, Проминанс F<sub>1</sub>, Хиросима F<sub>1</sub>, процент сохранности корнеплодов которых был высоким и составил 86–100 %. Высокую устойчивость проявили образцы П-2, CR 1596, Каспий F<sub>1</sub>, Мелло-Йелло F<sub>1</sub>, Октаво F<sub>1</sub>, Морелия F<sub>1</sub>.

К наиболее агрессивным аборигенным изолятам *S. sclerotiorum in vivo* при хранении (сохранность 100 %) и при искусственном заражении в строго контролируемых лабораторных условиях. Данные образцы включены в селекционный процесс по созданию новых линий и гибридов F<sub>1</sub> моркови столовой.

#### Литература

1. Борисов В. А., Романова А. В., Янченко Е. В., Масловский С. А., Андрианов С. А., Янченко А. В., Гренадеров Н. В., Скрипник А. В. Технология хранения и сроки реализации столовых корнеплодов. М.: ВНИИО, 2010. 80 с.
2. Борисов В. А., Романова А. В., Янченко Е. В. Сохраняемость и сроки проявления болезней моркови столовой отечественной и зарубежной селекции // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. № 11. С. 44–46.
3. Соколова Л. М., Масловский С. А., Панова М. Б., Замятина М. Е., Карпова Н. А. Устойчивость сортообразцов моркови к болезням при хранении в зависимости от инфекционного фона и послеуборочного фитосанитарного состояния растений // Аграрный научный журнал. 2019. № 1. С. 26–31. DOI: 10.28983/asj.v0i1.687.
4. Тимина Л. Т., Енгальцева И. А. Комплекс патогенов на овощных культурах в условиях Центрального региона РФ // Овощи России. 2015. № 3-4. С. 123–129.
5. Fatehpuria P. K., Sasode R. S., Kaurav A. S., Triverdi H., Pandya R. K. Management prospects against stem canker of mustard // In book: Current Research and Innovations in Plant Pathology. New Delhi: AkiNik Publications, 2020. P. 33–34. [Electronic resource]. Access point: [https://www.researchgate.net/profile/T-Suthin-Raj/publication/344224718\\_Current\\_Research\\_and\\_Innovations\\_in\\_Plant\\_Pathology/links/5f5db2384585154dbbce1989/Current-Research-and-Innovations-in-Plant-Pathology.pdf](https://www.researchgate.net/profile/T-Suthin-Raj/publication/344224718_Current_Research_and_Innovations_in_Plant_Pathology/links/5f5db2384585154dbbce1989/Current-Research-and-Innovations-in-Plant-Pathology.pdf) (references date 20.11.2023).
6. Сазонова Л. В., Власова Э. А. Корнеплодные растения (морковь, сельдерей, петрушка, пастернак, редис, редька). Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение, 1990. 296 с.
7. Clarkson J. P., Staveley J., Phelps K., Young C. S., Whipps J. M. Ascospore release and survival in *Sclerotinia sclerotiorum* // Mycol. Res. 2003. Vol. 107. No. 2. P. 213–222. DOI: 10.1017/s0953756203007159.
8. Index Fungorum. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.indexfungorum.org> (дата обращения: 20.11.2023).
9. Bolton M. D., Thomma B. P., Nelson B. D. *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary: biology and molecular traits of a cosmopolitan pathogen // Mol. Plant Pathol. 2006. Vol. 7. No. 1. P. 1–16. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2005.00316.x.
10. Ficker A. L. *Sclerotinia sclerotiorum* impacts on host crops. Author's abstract Diss. ... Dr. Sc. (Agr.). USA: Iowa State University, 2019. 40 p.

11. Gebily D. A., Ghanem G. A., Ragab M. M., Ali A. M., Soliman N. E. D. K., Abd El-Moity T. H. Characterization and potential antifungal activities of three *Streptomyces spp.* as biocontrol agents against *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary infecting green bean // Egyptian Journal of Biological Pest Control. 2021. Vol. 31. P. 1–15. DOI: 10.1186/s41938-021-00373-x.
12. Khangura R., Burgel A. J. Foliar fungicides and their optimum timing reduce sclerotinia stem rot incidence, improve yield and profitability in canola (*Brassica napus* L.) // Indian Phytopathology. 2021. Vol. 74. No. 2. P. 549–558. DOI:10.1007/s42360-021-00321-7.
13. Smolinska U., Kowalska B. Biological control of the soil-borne fungal pathogen *Sclerotinia sclerotiorum* – a review // Journal of Plant Pathology. 2018. Vol. 100. P. 1–12. DOI: 10.1007/s42161-018-0023-0.
14. Williams B., Kabbage M., Kim H. J., Britt R., Dickman M. B. Tipping the balance: *Sclerotinia sclerotiorum* secreted oxalic acid suppresses host defenses by manipulating the host redox environment // PLoS Pathogens. 2011. Vol. 7. No. 6. Art. No. e1002107. DOI: 10.1371/journal.ppat.1002107.
15. Carpenter K. A., Sisson A. J., Kandel Y. R., Ortiz V., Chilvers M. I., Smith D. L., Mueller D. S. Effects of mowing, seeding rate, and foliar fungicide on soybean *Sclerotinia* stem rot and yield // Plant Health Progress. 2021. Vol. 22. No. 2. P. 129–135.
16. Seifbarghi S., Borhan M. H., Wei Y., Coutu C., Robinson, S. J., Hegedus, D. D. Changes in the *Sclerotinia sclerotiorum* transcriptome during infection of *Brassica napus* // BMC Genom. 2017. Vol. 18. Art. No. 266. DOI: 10.1186/s12864-017-3642-5.
17. Albert D., Dumonceaux T., Carisse O., Beaulieu C., Filion M. Combining desirable traits for a good biocontrol strategy against *Sclerotinia sclerotiorum* // Microorganisms. 2022. Vol. 10. No. 6. Art. No.1189. DOI: 10.3390/microorganisms10061189.
18. Leyronas C., Halkett F., Faloya V. Airborne versus soilborne inoculum: white mould, where do you come from? // Plant Pathology. 2023. Vol. 72. No. 4. P. 677–685. DOI: 10.1111/ppa.13699.
19. Derbyshire M. C., Denton-Giles M. The control of sclerotinia stem rot on oilseed rape (*Brassica napus*): current practices and future opportunities // Plant Pathology. 2016. Vol. 65. No. 6. P. 859–877. DOI: 10.1111/ppa.12517.
20. Sharma P., Meena P. D., Verma P. R., Saharan G. S., Mehta N., Singh D., Kumar A. *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary causing Sclerotinia rot in oilseed Brassicas: a review // Oilseed Brassica. 2016. Vol. 1. No. 2. P. 1–44.
21. Baldrian P., Valaskova V. Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi // FEMS microbiol. Rev. 2008. Vol. 32. No. 3. P. 501–521. DOI: 10.1111/j.1574-6976.2008.00106.x.
22. Heller A., Witt-Geiges, T. Oxalic acid has an additional, detoxifying function in *Sclerotinia sclerotiorum* pathogenesis // PLoS One. 2013. Vol. 8. No. 8. Art. No. e72292. DOI: 10.1371/journal.pone.0072292.
23. Fernando W. G. D., Nakkeeran S., Zhang Y. Ecofriendly methods in combating *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary // Research Signpost. 2004. Vol. 661. P. 329–347. [Electronic resource]. Access point: [https://www.researchgate.net/publication/238111476\\_Ecofriendly\\_methods\\_in\\_combating\\_Sclerotinia\\_sclerotiorum\\_Lib\\_de\\_Bary](https://www.researchgate.net/publication/238111476_Ecofriendly_methods_in_combating_Sclerotinia_sclerotiorum_Lib_de_Bary) (references date 20.11.2023).
24. Станчук А. Э. Распространенность и вредоносность гнилей корнеплодов моркови столовой в условиях Беларуси // Овощеводство. 2019. № 27. С. 232–239.
25. Petrofeza S., Nasser L. C. B. Case study: *Sclerotinia sclerotiorum*: genetic diversity and disease control // In book: The Molecular Basis of Plant Genetic Diversity. UK: InTech, 2012. P. 275-296. DOI: 10.5772/33780.
26. Smith D., Bradley C., Chilvers M., Esker P., Malvick D., Mueller D., Peltier, A., Sisson A., Wise K., Faske T. White Mold. 2021. [Electronic resource]. Access point: <https://cropprotectionnetwork.org/resources/publications/white-mold> (references date 01.11.2023).
27. Engalycheva I. A., Kozar E. G., Stepanov V. A., Sirota S.M., Soldatenko A. V. Resistance of carrots to diseases as a factor of increasing production profitability // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. “Sustainable and Innovative Development in the Digital Age”. 2021. Vol. 650. Art. No. 012054. DOI: 10.1088/1755-1315/650/1/012054.
28. Reich J., Chatterton S. Predicting field diseases caused by *Sclerotinia sclerotiorum*: A review // Plant Pathology. 2023. Vol. 72. No. 1. P. 3–18.
29. Miklas P. N., Porter L. D., Kelly J. D., Myers, J. R. Characterization of white mold disease avoidance in common bean // European Journal of Plant Pathology. 2013. Vol. 135. P. 525–543. DOI: 10.1007/s10658-012-0153-8.
30. Wang Z., Ma L. Y., Cao J., Li Y. L., Ding L. N., Zhu K. M., Yang Y. H., Tan X. L. Recent advances in mechanisms of plant defense to *Sclerotinia sclerotiorum* // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol. 10. Art. No. 1314. DOI: 10.3389/fpls.2019.01314.
31. Пидопличко Н. М. Грибы паразиты культурных растений. Т. 2. Киев: Наукова думка, 1977. 299 с.

32. Левкина Л. М. Род *Alternaria* Nees // В кн.: Новое в систематике и номенклатуре грибов // Под ред. Дьякова Ю. Т., Сергеева Ю. В. М.: Национальная академия микологии, 2003. С. 276–303.
33. Ткаченко О. Б., Новожилова О. А., Тимина Л. Т. Возбудители низкотемпературных склероциальных гнилей моркови при хранении // Иммунопатология. 2009. № 1. С. 107–108.
34. Буренин В. И., Пивоварова Н. С., Власова Э. А. Методические указания по изучению и поддержанию мировой коллекции корнеплодов. Л.: БИ, 1977. 88 с.
35. Методы селекции и семеноводства овощных корнеплодных растений (морковь, свёкла, редис, дайкон, редька, репа, брюква, пастернак) // Под ред. Пивоварова В. Ф., Бунина М. С. М.: РАСХН, 2003. 284 с.
36. Билай В. И., Элланская И. А. Основные микологические методы в фитопатологии. Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1982. 552 с.
37. Самохвалов А. Н. Методы селекции овощных растений на устойчивость к болезням. М. ВНИИССОК, 1997. 205 с.
38. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
39. Nelson B. D., Helms T. C., Olson M. A. Comparison of laboratory and field evaluations of resistance in soybean to *Sclerotinia sclerotiorum* // Plant Disease. 1991. Vol. 75. P. 662–665. DOI: 10.1094/PD-75-0662.
40. Kim H. S., Diers B. W. Inheritance of partial resistance to *Sclerotinia* stem rot in soybean // Crop Science. 2000. Vol. 40. No. 1. P. 55–61. DOI: 10.2135/cropsci2000.40155x.
41. Whipps J. M., Budge S. P., Mc Clement, S., Pink, D. A. C. A glasshouse cropping method for screening lettuce lines for resistance to *Sclerotinia sclerotiorum* // European Journal of Plant Pathology. 2002. Vol. 108. P. 373–378. DOI: 10.1023/A:1015637018474.
42. Piszczek J., Czekalska A. Resistance of *Cercospora beticola* Sacc. to fungicides used against this pathogen in Poland // Progress in Plant Protection. 2006. Vol. 46. No. 1. P. 375–379.
43. Zhao J., Peltier A. J., Meng J., Osborn T. C., Grau C. R. Evaluation of sclerotinia stem rot resistance in oilseed *Brassica napus* using a petiole inoculation technique under greenhouse conditions // Plant Disease. 2004. Vol. 88. No. 9. P. 1033–1039. DOI: 10.1094/PDIS.2004.88.9.1033.
44. Engalycheva I., Kozar E., Ushakov A. Cornerstone of strategy aimed at creation of resistant variants of carrot (*Daucus carota* L.) to white and gray rot pathogens at the Federal Scientific Vegetable Center (FGBNU FNCO, Russia) // Proceedings of the X International Scientific Agricultural Symposium “AgroSym 2019”. Jahorina (Bosnia and Herzegovina), 2019. P. 1090–1098.

## References

1. Borisov V. A., Romanova A. V., Yanchenko E. V., Maslovsky S. A., Andrianov S. A., Yanchenko A. V., Grenaderov N. V., Skripnik A. V. Storage technology and terms of realization of table root crops. Moscow: All-Russian Research Institute of Vegetable Crops (VNIIO), 2010. 80 p.
2. Borisov V. A., Romanova A. V., Yanchenko E. V. Keeping quality and timing of the disease carrots dining domestic and foreign selection // Storage and Processing of Farm Products. 2012. No. 11. P. 44–46.
3. Sokolova L. M., Maslovsky S. A., Panova M. B., Zamyatina M. E., Karpova N. A. Stability of carrots collection for diseases in storage depending on infectious and post-temporary phytosanitary status of plants // The Agrarian Scientific Journal. 2019. No. 1. P. 26–31. DOI: 10.28983/asj.v0i1.687.
4. Timina L. T., Engalycheva I. A. Complex of pathogens on vegetable crops in conditions of Central region of Russia // Vegetable Crops of Russia. 2015. No. 3–4. P. 123–129.
5. Fatehpuria P. K., Sasode R. S., Kaurav A. S., Triverdi H., Pandya R. K. Management prospects against stem canker of mustard // In book: Current Research and Innovations in Plant Pathology. New Delhi: AkiNik Publications, 2020. P. 33–34. [Electronic resource]. Access point: [https://www.researchgate.net/profile/T-Suthin-Raj/publication/344224718\\_Current\\_Research\\_and\\_Innovations\\_in\\_Plant\\_Pathology/links/5f5db2384585154dbbce1989/Current-Research-and-Innovations-in-Plant-Pathology.pdf](https://www.researchgate.net/profile/T-Suthin-Raj/publication/344224718_Current_Research_and_Innovations_in_Plant_Pathology/links/5f5db2384585154dbbce1989/Current-Research-and-Innovations-in-Plant-Pathology.pdf) (references date 20.11.2023).
6. Sazonova L. V., Vlasova E. A. Root plants (carrot, celery, parsley, parsnip, radish, radishes). Leningrad: Agrompromizdat. Leningrad Branch, 1990. 296 p.
7. Clarkson J. P., Staveley J., Phelps K., Young C. S., Whipps J. M. Ascospore release and survival in *Sclerotinia sclerotiorum* // Mycol. Res. 2003. Vol. 107. No. 2. P. 213–222. DOI: 10.1017/s0953756203007159.
8. Index Fungorum. [Electronic resource]. Access point: <https://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=212553> (references date 20.11.2023).
9. Bolton M. D., Thomma B. P., Nelson B. D. *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary: biology and molecular traits of a cosmopolitan pathogen // Mol. Plant Pathol. 2006. Vol. 7. No. 1. P. 1–16. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2005.00316.x.
10. Ficker A. L. *Sclerotinia sclerotiorum* impacts on host crops. Author’s abstract Diss. ... Dr. Sc. (Agr.). USA: Iowa State University, 2019. 40 p.

11. Gebily D. A., Ghanem G. A., Ragab M. M., Ali A. M., Soliman N. E. D. K., Abd El-Moity T. H. Characterization and potential antifungal activities of three *Streptomyces spp.* as biocontrol agents against *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary infecting green bean // Egyptian Journal of Biological Pest Control. 2021. Vol. 31. P. 1–15. DOI: 10.1186/s41938-021-00373-x.
12. Khangura R., Burgel A. J. Foliar fungicides and their optimum timing reduce sclerotinia stem rot incidence, improve yield and profitability in canola (*Brassica napus* L.) // Indian Phytopathology. 2021. Vol. 74. No. 2. P. 549–558. DOI: 10.1007/s42360-021-00321-7.
13. Smolinska U., Kowalska B. Biological control of the soil-borne fungal pathogen *Sclerotinia sclerotiorum* – a review // Journal of Plant Pathology. 2018. Vol. 100. P. 1–12. DOI: 10.1007/s42161-018-0023-0.
14. Williams B., Kabbage M., Kim H. J., Britt R., Dickman M. B. Tipping the balance: *Sclerotinia sclerotiorum* secreted oxalic acid suppresses host defenses by manipulating the host redox environment // PLoS Pathogens. 2011. Vol. 7. No. 6. Art. No. e1002107. DOI: 10.1371/journal.ppat.1002107.
15. Carpenter K. A., Sisson A. J., Kandel Y. R., Ortiz V., Chilvers M. I., Smith D. L., Mueller D. S. Effects of mowing, seeding rate, and foliar fungicide on soybean *Sclerotinia* stem rot and yield // Plant Health Progress. 2021. Vol. 22. No. 2. P. 129–135.
16. Seifbarghi S., Borhan M. H., Wei Y., Coutu C., Robinson, S. J., Hegedus, D. D. Changes in the *Sclerotinia sclerotiorum* transcriptome during infection of *Brassica napus* // BMC Genom. 2017. Vol. 18. Art. No. 266. DOI: 10.1186/s12864-017-3642-5.
17. Albert D., Dumonceaux T., Carisse O., Beaulieu C., Filion M. Combining desirable traits for a good biocontrol strategy against *Sclerotinia sclerotiorum* // Microorganisms. 2022. Vol. 10. No. 6. Art. No. 1189. DOI: 10.3390/microorganisms10061189.
18. Leyronas C., Halkett F., Faloya V. Airborne versus soilborne inoculum: white mould, where do you come from? // Plant Pathology. 2023. Vol. 72. No. 4. P. 677–685. DOI: 10.1111/ppa.13699.
19. Derbyshire M. C., Denton-Giles M. The control of sclerotinia stem rot on oilseed rape (*Brassica napus*): current practices and future opportunities // Plant Pathology. 2016. Vol. 65. No. 6. P. 859–877. DOI: 10.1111/ppa.12517.
20. Sharma P., Meena P. D., Verma P. R., Saharan G. S., Mehta N., Singh D., Kumar A. *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary causing Sclerotinia rot in oilseed Brassicas: a review // Oilseed Brassica. 2016. Vol. 1. No. 2. P. 1–44.
21. Baldrian P., Valaskova V. Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi // FEMS microbiol. Rev. 2008. Vol. 32. No. 3. P. 501–521. DOI: 10.1111/j.1574-6976.2008.00106.x.
22. Heller A., Witt-Geiges, T. Oxalic acid has an additional, detoxifying function in *Sclerotinia sclerotiorum* pathogenesis // PLoS One. 2013. Vol. 8. No. 8. Art. No. e72292. DOI: 10.1371/journal.pone.0072292.
23. Fernando W. G. D., Nakkeeran S., Zhang Y. Ecofriendly methods in combating *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary // Research Signpost. 2004. Vol. 661. P. 329–347. [Electronic resource]. Access point: [https://www.researchgate.net/publication/238111476\\_Ecofriendly\\_methods\\_in\\_combating\\_Sclerotinia\\_sclerotiorum\\_Lib\\_de\\_Bary](https://www.researchgate.net/publication/238111476_Ecofriendly_methods_in_combating_Sclerotinia_sclerotiorum_Lib_de_Bary) (references date 20.11.2023).
24. Stanchuk A. E. Incidence and harmfulness of rots of garden carrot root crops in the conditions of Belarus // Vegetable Growing. 2019. No. 27. P. 232–239.
25. Petrofeza S., Nasser L. C. B. Case study: *Sclerotinia sclerotiorum*: genetic diversity and disease control // In book: The Molecular Basis of Plant Genetic Diversity. UK: InTech, 2012. P. 275-296. DOI: 10.5772/33780
26. Smith D., Bradley C., Chilvers M., Esker P., Malvick D., Mueller D., Peltier, A., Sisson A., Wise K., Faske T. White Mold. 2021. [Electronic resource]. Access point: <https://cropprotectionnetwork.org/resources/publications/white-mold> (references date 01.11.2023).
27. Engalycheva I. A., Kozar E. G., Stepanov V. A., Sirota S.M., Soldatenko A. V. Resistance of carrots to diseases as a factor of increasing production profitability // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. “Sustainable and Innovative Development in the Digital Age”. 2021. Vol. 650. Art. No. 012054. DOI: 10.1088/1755-1315/650/1/012054.
28. Reich J., Chatterton S. Predicting field diseases caused by *Sclerotinia sclerotiorum*: A review // Plant Pathology. 2023. Vol. 72. No. 1. P. 3–18.
29. Miklas P. N., Porter L. D., Kelly J. D., Myers, J. R. Characterization of white mold disease avoidance in common bean // European Journal of Plant Pathology. 2013. Vol. 135. P. 525–543. DOI: 10.1007/s10658-012-0153-8.
30. Wang Z., Ma L. Y., Cao J., Li Y. L., Ding L. N., Zhu K. M., Yang Y. H., Tan X. L. Recent advances in mechanisms of plant defense to *Sclerotinia sclerotiorum* // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol. 10. Art. No. 1314. DOI: 10.3389/fpls.2019.01314.
31. Pidoplichko N. M. Fungi parasites of cultivated plants. Vol. 2. Kiev: Naukova dumka, 1977. 299 p.
32. Levkina L. M. The genus *Alternaria* Nees // In book: New in systematics and nomenclature of fungi // Ed. by Dyakov Yu. T., Sergeev Yu.V. Moscow: National Academy of Mycology, 2003. P. 276–303.

33. Tkachenko O. B., Novozhilova O. A., Timina L. T. The causative agents of low-temperature sclerotial rots of carrots during storage // *Immunopathology*. 2009. No. 1. P. 107–108.
34. Burenin V. I., Pivovarova N. S., Vlasova E. A. Methodical guidelines for the study and maintenance of the world collection of root crops. Leningrad: w/o publisher, 1977. 88 p.
35. Methods of selection and seed production of vegetable root crops (carrot, beet, radishes, daikon, radish, turnip, rutabaga, parsnip) // Ed. by Pivovarov V. F., Bunin M. S. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences (RASKhN), 2003. 284 p.
36. Bilay V. I., Ellanskaya I. A. Basic mycological methods in phytopathology. Methods of experimental mycology. Kiev: Naukova dumka, 1982. 552 p.
37. Samokhvalov A. N. Methods of selection of vegetable plants for resistance to diseases. Moscow. All-Russian Research Institute of Vegetable Breeding and Seed Production (VNISSOK), 1997. 205 p.
38. Dospekhov B. A. Methods of field research: with the basics of statistical processing of research results. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
39. Nelson B. D., Helms T.C., Olson M. A. Comparison of laboratory and field evaluations of resistance in soybean to *Sclerotinia sclerotiorum* // *Plant Disease*. 1991. Vol. 75. P. 662–665. DOI: 10.1094/PD-75-0662.
40. Kim H. S., Diers B. W. Inheritance of partial resistance to sclerotinia stem rot in soybean // *Crop Science*. 2000. Vol. 40. No. 1. P. 55–61. DOI: 10.2135/cropsci2000.40155x.
41. Whipps J. M., Budge S. P., Mc Clement, S., Pink, D.A.C. A glasshouse cropping method for screening lettuce lines for resistance to *Sclerotinia sclerotiorum* // *European Journal of Plant Pathology*. 2002. Vol. 108. P. 373–378. DOI: 10.1023/A:1015637018474.
42. Piszczek J., Czekalska A. Resistance of *Cercospora beticola* Sacc. to fungicides used against this pathogen in Poland // *Progress in Plant Protection*. 2006. Vol. 46. No. 1. P. 375–379.
43. Zhao J., Peltier A. J., Meng J., Osborn T. C., Grau C. R. Evaluation of sclerotinia stem rot resistance in oilseed *Brassica napus* using a petiole inoculation technique under greenhouse conditions // *Plant Disease*. 2004. Vol. 88. No. 9. P. 1033–1039. DOI: 10.1094/PDIS.2004.88.9.1033.
44. Engalycheva I., Kozar E., Ushakov A. Cornerstone of strategy aimed at creation of resistant variants of carrot (*Daucus carota* L.) to white and gray rot pathogens at the Federal Scientific Vegetable Center (FGBNU FNCO, Russia) // *Proceedings of the X International Scientific Agricultural Symposium “AgroSym 2019”*. Jahorina (Bosnia and Herzegovina), 2019. P. 1090–1098.

UDC 635.132:631.527:632.4

Tikhonova T. O., Kozar E. G., Engalycheva I. A., Stepanov V. A.

### SCREENING OF CARROT COLLECTION SAMPLES AND SEARCH FOR SOURCES OF WHITE ROT RESISTANCE

**Summary.** *White rot (*Sclerotinia sclerotiorum*) is one of the most damaging diseases of table carrots during storage. This research aimed to evaluate the collection material of table carrots (*Daucus carota* L.) in terms of its resistance to white rot pathogens. The experimental part of the work was carried out in 2017–2023 at the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Vegetable Center”; two laboratories (Molecular Immunological Research, Breeding and Seed Production of Edible Root Crops) were involved in the research. Material for research – 167 modern varieties and hybrids of carrots of domestic and foreign breeding. During storage, we evaluated the studied varieties by determining the degree of damage caused by white rot and assessing the resistance of *D. carota* to this pathogen in vitro by artificial infection of root discs. In the course of our research, we revealed that *Sclerotinia sclerotiorum* is the most harmful pathogen in the pathogenesis of white rot in the Moscow region. The distribution of *Sclerotinia nivalis* is sporadic (16–23 %, depending on the year and sample resistance), which emphasizes the need for further research on this pathogen in the context of advanced breeding. Proportion of differently resistant samples from the collection nursery varied annually – the degree of damage by white rot varied from 18 to 73 %. Furthermore, the studied samples demonstrated varietal specificity and ecological variability in terms of resistance to white rot. Following a comprehensive in vivo and in vitro evaluation for white rot resistance, 11 varieties have been identified as sources of resistance to the pathogen, of which ‘QSR-34’, ‘P-2’, ‘Caspiy F<sub>1</sub>’, ‘CR 1596’, ‘Mello-Yello F<sub>1</sub>’, ‘Octavo F<sub>1</sub>’ are currently included in the breeding process.*

**Keywords:** *Daucus carota L., diseases, white rot, resistance, breeding.*

Тихонова Татьяна Олеговна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»; 143072, Россия Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14; e-mail: tat-paslova94@yandex.ru.

Козарь Елена Георгиевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»; 143072, Россия Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14; e-mail: kozar\_eg@mail.ru.

Енгальчева Ирина Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, зав. лаборатории молекулярно-иммунологических исследований ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»; 143072, Россия Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14; e-mail: engirina1980@mail.ru.

Степанов Виктор Алексеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, зав. лаборатории селекции и семеноводства столовых корнеплодов ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»; 143072, Россия Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14; e-mail: vstepanov8848@mail.ru.

Tikhonova Tatyana Olegovna, postgraduate student, junior researcher at the Laboratory of molecular immunological research, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" (FSBSI FSVC); 14, Selektionnaya str., village of VNISSOK, Odintsovsky district, Moscow region, 143072, Russia; email: tat-paslova94@yandex.ru.

Kozar Elena Georgievna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher at the Laboratory of molecular immunological research, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" (FSBSI FSVC); 14, Selektionnaya str., village of VNISSOK, Odintsovsky district, Moscow region, 143072, Russia; email: kozar\_eg@mail.ru.

Engalycheva Irina Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher at the Laboratory of molecular immunological research, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" (FSBSI FSVC); 14, Selektionnaya str., village of VNISSOK, Odintsovsky district, Moscow region, 143072, Russia; email: engirina1980@mail.ru.

Stepanov Viktor Alekseevich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher head of the Laboratory of breeding and seed production of edible root crops, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" (FSBSI FSVC); 14, Selektionnaya str., village of VNISSOK, Odintsovsky district, Moscow region, 143072, Russia; email: vstepanov8848@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 14.10.2023*

*Дата принятия к печати – 20.11.2023*

DOI 10.5281/zenodo.10281197

EDN FILGZQ

УДК 633.81:57.085.2

Якимова О. В., Егорова Н. А.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ, ГЕНОТИПА И УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ НА СОХРАНЕНИЕ *IN VITRO* СОРТОВ И ОБРАЗЦОВ ДУШИЦЫ

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** В связи с развитием эфиромасличной отрасли значительное внимание уделяется пополнению и изучению коллекции генофонда эфиромасличных и лекарственных культур, в том числе рода *Origanum L.* Для поддержания коллекций ценных генотипов на современном уровне эффективно использовать биотехнологии сохранения *in vitro*. Цель исследования – изучение влияния состава питательной среды, генотипа и длительности депонирования на развитие эксплантов сортов и образцов душицы при низких положительных температурах *in vitro*. Исследования проводили в 2021–2022 гг. в лаборатории биотехнологии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». Материалом для исследования служили сегменты стебля с одним узлом шести генотипов *Origanum vulgare L.* (образцы г31, г163 и сорта Славница, Квазар, Ак-Кая, Урусвати), полученные при клональном микроразмножении. Экспланты культивировали на пяти модификациях питательной среды Мурасиге и Скуга (МС) при температуре 4–6 °С и освещенности 500–600 лк. Анализ морфометрических параметров проводили после шести и 12 месяцев хранения. Показано, что после года депонирования на средах с 0,5 мг/л бензиламинопурина (БАП) и 0,4 %-ми сорбита, или 0,4 г/л хлорхолинхлорида с 2 % сахарозы количество жизнеспособных эксплантов варьировало в пределах 25,0–84,6 %, при этом у большинства генотипов отмечали некроз верхушек побегов. Наибольшее количество сохранённых эксплантов получили при культивировании в банках или пробирках на среде МС с 0,5 мг/л БАП и 6 % сахарозой. На этой среде отмечали 61,3–91,6 % жизнеспособных эксплантов и формирование 1,6–6,7 побегов 37,0–64,5 мм длиной (в зависимости от генотипа). Установлено, что для успешного возобновления роста эксплантов после депонирования изученных образцов и сортов душицы в условиях культуральной комнаты при 26 °С достаточно одного субкультивирования. Более интенсивное развитие микропобегов при отрастании отмечено у сортов Квазар и Ак-Кая. Проведенные исследования могут служить основой для дальнейшей разработки методики депонирования *O. vulgare in vitro*.

**Ключевые слова:** душица обыкновенная (*Origanum vulgare L.*), депонирование *in vitro*, эксплант, состав питательной среды, генотип, культуральный сосуд.

**Для цитирования:** Якимова О. В., Егорова Н. А. Анализ влияния питательной среды, генотипа и условий культивирования на сохранение *in vitro* сортов и образцов душицы // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4(36). С. 174–189. EDN: FILGZQ. DOI: 10.5281/zenodo.10281197.

**For citation:** Yakimova O. V., Yegorova N. A. *In vitro* preservation of oregano cultivars and samples: analysis of the influence of culture medium, genotype and cultivation conditions // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4(36). P. 174–189. EDN: FILGZQ. DOI: 10.5281/zenodo.10281197.

### Введение

В последние годы в связи с развитием эфиромасличной отрасли особое внимание уделяют пополнению, изучению и поддержанию коллекции генофонда эфиромасличных и лекарственных культур при сохранении генетической стабильности и



жизнеспособности образцов [1–3]. В настоящее время ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма является основным держателем коллекции эфиромасличных, пряноароматических и лекарственных растений (зарегистрирована как уникальная научная установка № 507515 (<http://www.ckr-rf.ru>)). В нее входят специализированные коллекции основных и перспективных эфиромасличных культур, в том числе душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.) [4, 5]. Душица – перспективное эфиромасличное и пряноароматическое растение, которое широко применяют как пряность в кулинарии, в фармацевтической, парфюмерно-косметической, лакокрасочной промышленности, а также в традиционной и народной медицине [6–8]. Особую ценность имеет эфирное масло душицы – источник фенолов тимола и карвакрола, превосходящих по своим свойствам многие иммуномодуляторы, антибиотики и антигистаминные препараты [9, 10]. Коллекция душицы насчитывает 48 образцов, включая три новых сорта селекции ФГБУН «НИИСХ Крыма» [1, 11]. Душица – вегетативно размножаемая культура, поэтому основным методом сохранения ценных для селекции образцов и сортов является поддержание растений в полевых коллекциях. Однако данный прием считают достаточно трудозатратным, коллекционные питомники занимают обширные площади, также высока вероятность поражения образцов болезнями и вредителями.

Для проведения селекции и поддержания коллекций сортов и ценных образцов на современном уровне эффективно использование биотехнологических методов. В частности, создание медленно растущих коллекций *in vitro* путем снижения температуры культивирования, а также добавления в состав питательной среды осмотиков или ингибиторов роста. Использование данной технологии имеет ряд преимуществ: значительное снижение площади для культивирования растений, увеличение интервала между субкультивированиями, снижение затрат [12–14]. Правильный подбор типа экспланта, состава питательной среды и условий депонирования *in vitro* позволяет минимизировать возможность появления соматоклональных вариантов и эффективно сохранить ценные образцы и сорта [14–16].

В литературе представлен обширный материал, касающийся сохранения редких и исчезающих видов растений [17–19], так как на сегодняшний день в Красной книге Международного союза охраны природы насчитывается более 8000 видов растений [20]. Есть данные о создании медленно растущих коллекций тропических, плодово-ягодных, декоративных и основных сельскохозяйственных культур [21–25]. Показана возможность сохранения микрорастений киви, фейхоа, абрикоса, сливы, клематиса, юкки при низких положительных температурах в течение 6–24 месяцев в зависимости от вида растения [12]. Разработан протокол депонирования виноградной лозы на протяжении шести и 12 месяцев с последующим анализом генетической стабильности методом RAPD- и ISSR-ПЦР [26]. Оптимизированы условия холодого хранения трех сортов канны садовой с использованием в составе питательной среды МС 0,15–0,25 г/л ССС [27]. Однако литературные сведения, касающиеся сохранения *in vitro* эфиромасличных и лекарственных культур, достаточно ограничены и представлены лишь для некоторых видов растений [12, 28]. Так, E. R. J. Keller с коллегами разработали протокол сохранения нескольких генотипов мяты (*Mentha villosa* Huds., *Mentha piperita* L.) при 2 и 10 °С на безгормональной питательной среде МС на протяжении шести месяцев [29]. На примере нескольких сортов мяты и лаванды изучено влияние разных типов эксплантов (меристемы, микрочеренки), длительности холодого хранения и концентраций сахарозы в питательной среде на развитие микрорастений при депонировании [30]. Показана возможность успешного депонирования сортов мяты Ажурная и Бергамотная при температуре 4–6 °С без освещения в течение 12 месяцев. При этом микропобеги изучаемых сортов сохраняли генетическую стабильность [31].

Большинство исследований по культуре ткани *in vitro* душицы посвящены оптимизации протоколов микроразмножения этого ценного растения [32–34]. Встречаются работы, в которых сохранение микрорастений душицы осуществляли с использованием методов клонального микроразмножения *in vitro* и дальнейшим культивированием микропобегов на свету при 22–26 °С [35–38]. Так, показано влияние происхождения донорного растения [37], типа экспланта и его расположения на побеге [36], состава питательной среды [37, 39] и количества субкультивирований [32] на развитие микропобегов некоторых видов душицы на разных этапах размножения *in vitro*. Sargoroulou V. с соавторами выявили возможность сохранения редких эндемичных видов душицы путем микрочеренкования проростков из семян и дальнейшего их культивирования на питательной среде МС с добавлением 2,2 мкМ БАП и 0,25 мкМ ИМК в условиях культуральной комнаты с переносом на свежие питательные среды каждые 30 суток [40]. Однако исследований, посвященных вопросам создания медленно растущих коллекций *O. vulgare in vitro* при низких температурах, в доступной литературе мы не встречали.

**Цель исследований** – изучение влияния состава питательной среды, генотипа и длительности депонирования на развитие эксплантов сортов и образцов душицы при низких положительных температурах *in vitro*.

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

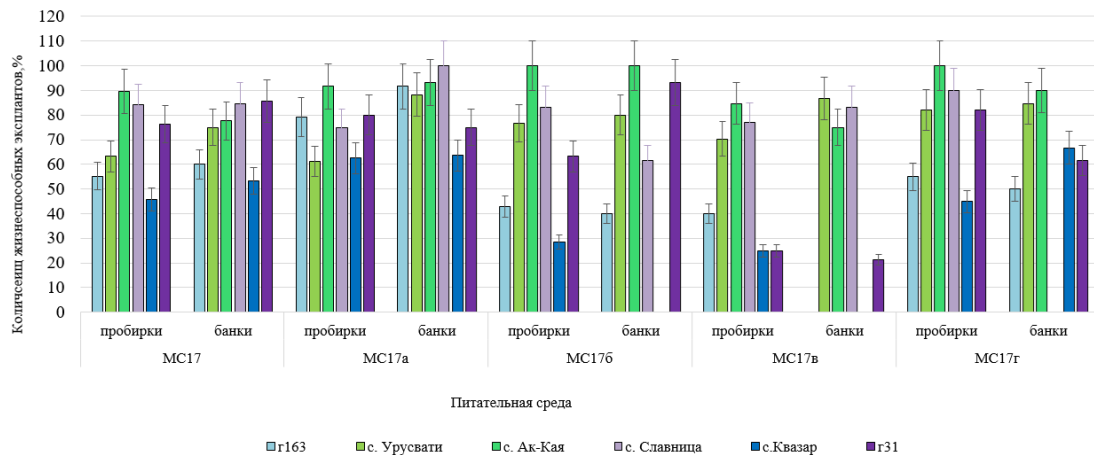
Исследования проводили в 2021–2022 гг. в лаборатории биотехнологии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». Для проведения исследований использовали растения шести сортов и селекционных образцов душицы (сорта Славница, Квазар, Ак-Кая, Урусвати и образцы г31, г163), которые выращивали в условиях закрытого грунта. Все работы по введению в культуру *in vitro* и микрочеренкованию побегов проводили в условиях операционной комнаты в ламинар-боксе БАВнп-01-«Ламинар-С»-1,2 (Россия). Для работы в асептических условиях подготовку материалов, оборудования, питательных сред, а также анализ ростовых процессов в ходе эксперимента осуществляли согласно общепринятым методам в культуре клеток, тканей и органов растений *in vitro* [41, 42], а также разработанным нами для душицы [41].

В качестве эксплантов для депонирования использовали сегменты стебля с одним узлом, полученные путем микрочеренкования побегов со второго этапа микроразмножения *in vitro*, культивируемых на оптимизированной для сортов и образцов душицы питательной среде МС с 0,5 мг/л бензиламинопурина (БАП) [34]. Экспланты помещали на поверхность агаризованной питательной среды Мурасиге и Скуга (МС) [43] с 0,5 мг/л БАП, сорбита, хлорхолинхлорида (ССС) и 2–6 %-ми сахарозы. Экспланты выращивали в пробирках с ватно-марлевыми пробками (пробирки) и стеклянных банках, закрытых фольгой (банки). Количество эксплантов в культуральном сосуде рассчитывали исходя из соотношения 10 мл питательной среды на один эксплант. Микрочеренки культивировали в холодильной камере при температуре 4–6 °С и освещенности 500–600 лк в течение одного года без пересадки. Анализ основных морфометрических показателей проводили после шести и 12 месяцев холодого хранения. Полученные микропобеги черенковали в асептических условиях, пересаживали на свежую питательную среду (оптимальную для микроразмножения сортов и образцов душицы) и помещали в условия культуральной комнаты (при 26 °С, влажности 70 % и освещенности 2–3 клк с 16-часовым фотопериодом), где дважды проводили субкультивирование. После каждого субкультивирования анализировали морфометрические показатели. Коэффициент размножения (К.Р.) рассчитывали как произведение количества микропобегов на эксплант и количества узлов на побеге.

В каждом варианте опыта (при депонировании и микроразмножении *in vitro*) использовали 20 эксплантов в двукратной повторности. Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета Microsoft Office Excel (2010) и программы Statistica 10.0. Результаты представлены в таблицах в виде средней арифметической величины со стандартной ошибкой. Для анализа достоверности различий применяли многодиапазонный тест Тьюки при  $p \leq 0,05$ .

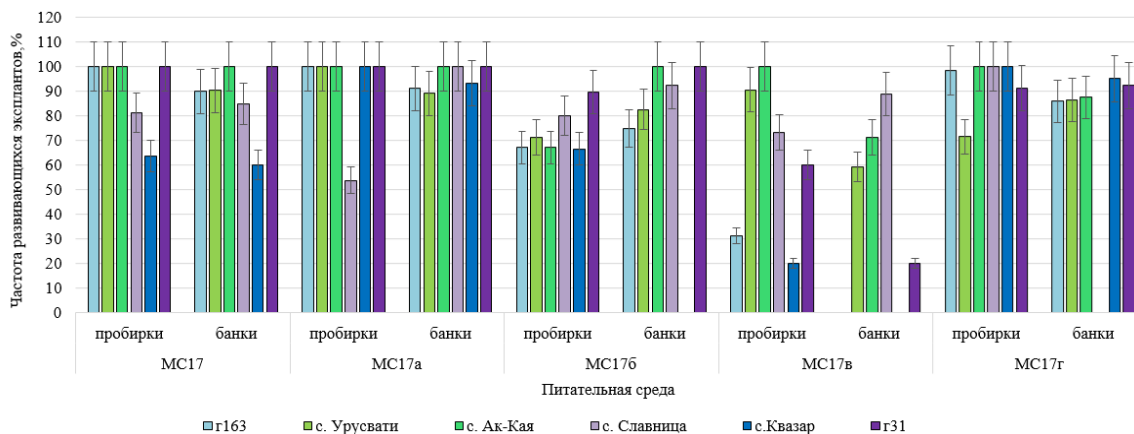
### Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований выявлено, что на средах с 0,5 мг/л БАП, сорбита или ССС с 2 %-ми сахарозы, после шести месяцев культивирования количество жизнеспособных эксплантов (рисунок 1) и частота развивающихся побегов (рисунок 2) у изучаемых генотипов в зависимости от варианта опыта варьировали в пределах 25,0–84,6 % и 20,0–90,9 % соответственно.



**Рисунок 1 – Влияние состава питательной среды, генотипа и типа культурального сосуда на количество жизнеспособных эксплантов после шести месяцев депонирования**

**Примечание.** Здесь и далее: добавки в среде MC: MC 17 – 0,5 мг/л БАП, 2 % сахарозы; MC 17a – 0,5 мг/л БАП, 6 % сахарозы; MC 17b – 0,5 мг/л БАП, 0,4 % сорбита, 2 % сахарозы; MC 17v – 0,5 мг/л БАП, 0,4 г/л ССС, 2 % сахарозы; MC 17g – 0,5 мг/л БАП, 0,4 % сорбита, 4 % сахарозы.



**Рисунок 2 – Влияние состава питательной среды, генотипа и типа культурального сосуда на частоту развивающихся эксплантов после шести месяцев депонирования**

У сорта Квазар при культивировании в банках на питательных средах МС17б и МС17в наблюдали полную гибель эксплантов. Жизнеспособные экспланты всех изучаемых генотипов медленно развивались, формируя при этом 1,2–6,0 пазушных и адвентивных побегов, длиной 21,6–57,8 мм (таблица 1). У изучаемых образцов и сортов максимальное число жизнеспособных эксплантов (62,5–100 %) и наиболее высокие морфометрические параметры микропобегов отмечали при культивировании на питательных средах с добавлением 0,5 мг/л БАП и 2 или 6 % сахарозы. Минимальные значения параметров развития эксплантов наблюдали у сорта Квазар, при этом из эксплантов развивались слабые истонченные побеги с сильно удлинненными междоузлиями. Так, количество побегов на эксплант у этого сорта было в 2,3–2,8 раза меньше по сравнению с другими изучаемыми образцами и сортами.

В работах многих авторов показано замедление роста и развития растений в условиях *in vitro* под воздействием низких положительных температур [14, 15, 19]. Митрофанова И. В. с соавторами депонировали микропобеги розы эфиромасличной, лавандина и лаванды узколистной при снижении концентрации микросолей в составе питательной среды и добавлении 0,2–0,4 г/л ССС и 6,0 % сахарозы. При этом жизнеспособность эксплантов после шести месяцев депонирования составила 95 % [12].

**Таблица 1 – Влияние состава питательной среды, генотипа и типа культурального сосуда на развитие эксплантов душицы после шести месяцев депонирования**

Питательная среда, состав, мг/л	Сорт, образец	Тип культурального сосуда	Длина побега, мм	Количество побегов, шт./эксплант	Количество узлов, шт./побег	
1	2	3	4	5	6	
МС 17 БАП-0,5; 2 % сахарозы	г163	пробирки	29,1 ± 3,8 <sup>abcde</sup> ghijklm	1,6 ± 0,2 <sup>abcde</sup>	2,9 ± 0,2 <sup>bcdefghijlm</sup>	
		банки	24,2 ± 2,9 <sup>ijklmnopqrs</sup>	2,1 ± 0,3 <sup>abcdef</sup>	2,5 ± 0,2 <sup>bcdefghi</sup>	
	Урусвати	пробирки	24,3 ± 3,1 <sup>bcdefghijkl</sup>	1,4 ± 0,2 <sup>abc</sup>	2,8 ± 0,3 <sup>efghijklm</sup>	
		банки	29,3 ± 2,3 <sup>cdefghijklmp</sup>	2,5 ± 0,3 <sup>bcdef</sup>	2,8 ± 0,2 <sup>bcdefg</sup>	
	Ак-Кая	пробирки	41,6 ± 3,2 <sup>kmnoqr</sup>	1,8 ± 0,2 <sup>bcde</sup>	3,1 ± 0,1 <sup>cdefghilm</sup>	
		банки	40,9 ± 3,4 <sup>ijklmnopqrs</sup>	1,9 ± 0,1 <sup>bcde</sup>	3,7 ± 0,3 <sup>efghijklmn</sup>	
	Славница	пробирки	26,0 ± 3,1 <sup>bcdefghijklmp</sup>	1,4 ± 0,1 <sup>abc</sup>	2,3 ± 0,2 <sup>bcdefg</sup>	
		банки	27,6 ± 2,7 <sup>bcdefghijklmp</sup>	1,9 ± 0,2 <sup>abcde</sup>	2,2 ± 0,2 <sup>bcdefg</sup>	
	Квазар	пробирки	13,4 ± 2,7 <sup>abcdefg</sup>	1,5 ± 0,2 <sup>abcde</sup>	1,5 ± 0,2 <sup>abcd</sup>	
		банки	20,8 ± 0,3 <sup>abcde</sup> ghijklm	1,8 ± 0,5 <sup>abcde</sup>	2,0 ± 0,3 <sup>abcde</sup> gh	
	г31	пробирки	27,2 ± 2,0 <sup>bcdefghijk</sup>	1,8 ± 0,2 <sup>abcde</sup>	1,8 ± 0,2 <sup>bcdefghi</sup>	
		банки	52,9 ± 4,4 <sup>oqrs</sup>	2,5 ± 0,3 <sup>bcdef</sup>	4,1 ± 0,3 <sup>ghijklmn</sup>	
	МС 17а БАП-0,5; 6 % сахарозы	г163	пробирки	57,8 ± 3,5 <sup>s</sup>	2,3 ± 0,2 <sup>bcde</sup>	5,2 ± 0,3 <sup>cdefghilm</sup>
			банки	34,8 ± 1,6 <sup>diklmnop</sup>	6,0 ± 0,4 <sup>h</sup>	3,1 ± 0,2 <sup>bcdefghijlm</sup>
Урусвати		пробирки	43,4 ± 5,7 <sup>klmnopqrs</sup>	1,4 ± 0,1 <sup>abc</sup>	3,7 ± 0,4 <sup>efghijklmn</sup>	
		банки	25,8 ± 1,2 <sup>cdefghijklp</sup>	3,2 ± 0,4 <sup>cdefg</sup>	2,4 ± 0,1 <sup>bcdefg</sup>	
Ак-Кая		пробирки	52,8 ± 4,1 <sup>oqrs</sup>	1,6 ± 0,1 <sup>bce</sup>	4,6 ± 0,3 <sup>ijkn</sup>	
		банки	54,6 ± 3,8 <sup>qrs</sup>	3,5 ± 0,3 <sup>dfg</sup>	4,3 ± 0,3 <sup>ijkn</sup>	
Славница		пробирки	51,9 ± 5,2 <sup>noqrs</sup>	3,0 ± 0,4 <sup>bcdefg</sup>	4,3 ± 0,4 <sup>hijklmn</sup>	
		банки	40,1 ± 2,3 <sup>iklmnopr</sup>	4,3 ± 0,6 <sup>efg</sup>	3,2 ± 0,2 <sup>cdefghijlm</sup>	
Квазар		пробирки	21,6 ± 2,8 <sup>abcde</sup> ghijkl	1,3 ± 0,1 <sup>ab</sup>	2,7 ± 0,3 <sup>bcdefghijkm</sup>	
		банки	36,9 ± 3,8 <sup>cdefghijklmnopqrs</sup>	2,1 ± 0,4 <sup>abcde</sup>	3,0 ± 0,3 <sup>bcdefghijklmn</sup>	
г31		пробирки	39,9 ± 2,6 <sup>hijklmnopqrs</sup>	1,5 ± 0,2 <sup>abcde</sup>	1,6 ± 0,2 <sup>bcdefghijklmn</sup>	
		банки	52,7 ± 5,5 <sup>noqrs</sup>	1,8 ± 0,2 <sup>abcde</sup>	4,8 ± 0,5 <sup>ln</sup>	
		г163	пробирки	14,0 ± 1,9 <sup>abcde</sup> ghij	1,3 ± 0,1 <sup>abc</sup>	1,9 ± 0,3 <sup>abcde</sup> fg
			банки	24,5 ± 2,5 <sup>abcde</sup> ghijklmnopqrst	1,3 ± 0,2 <sup>abcde</sup>	2,3 ± 0,3 <sup>abcde</sup> ghijklmn
	Урусвати	пробирки	15,2 ± 2,1 <sup>abce</sup> g	1,4 ± 0,2 <sup>abc</sup>	2,1 ± 0,3 <sup>bcde</sup>	
		банки	28,9 ± 3,2 <sup>bcde</sup> ghijklmp	2,2 ± 0,3 <sup>bcde</sup>	2,5 ± 0,2 <sup>bcdefg</sup>	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
МС 176	Ак-Кая	пробирки	37,7 ± 2,6 <sup>cdefghijklmp</sup>	1,7 ± 0,1 <sup>bcde</sup>	2,8 ± 0,2 <sup>bcdefghm</sup>
		банки	37,9 ± 4,6 <sup>cdefghijklmn</sup>	1,8 ± 0,2 <sup>bcde</sup>	3,6 ± 0,4 <sup>defghijklmn</sup>
БАП-0,5; 0,4 % сорбита, 2 % сахарозы	Славница	пробирки	32,3 ± 3,1 <sup>cdefghijklmp</sup>	2,5 ± 0,3 <sup>bcdef</sup>	2,9 ± 0,2 <sup>hijklmn</sup>
		банки	39,5 ± 4,3 <sup>ghijklmnopqrs</sup>	1,6 ± 0,3 <sup>abcde</sup>	2,8 ± 0,3 <sup>cdefghijklmn</sup>
	Квазар	пробирки	18,9 ± 1,6	1,3 ± 0,2 <sup>abcde</sup>	2,3 ± 0,3 <sup>bcdefghijkm</sup>
		банки	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	г31	пробирки	20,6 ± 2,3 <sup>abcdifghijkl</sup>	1,6 ± 0,2 <sup>abcde</sup>	3,1 ± 0,2 <sup>bcdefghijklmn</sup>
		банки	47,3 ± 3,0 <sup>mnoqrs</sup>	2,1 ± 0,4 <sup>bcde</sup>	3,3 ± 0,2 <sup>ln</sup>
МС 17в	г163	пробирки	54,3 ± 4,6 <sup>opqrs</sup>	1,2 ± 0,1 <sup>ab</sup>	4,9 ± 0,6 <sup>ijklmn</sup>
		банки	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	Урусовати	пробирки	11,0 ± 1,5 <sup>abce</sup>	1,3 ± 0,1 <sup>ab</sup>	3,0 ± 0,2 <sup>bcdefghijklm</sup>
		банки	18,5 ± 1,6 <sup>abcde</sup>	2,0 ± 0,3 <sup>bcde</sup>	1,9 ± 0,1 <sup>abc</sup>
БАП-0,5; 0,4 г/л ССС, 2 % сахарозы	Ак-Кая	пробирки	8,7 ± 0,9 <sup>ab</sup>	1,7 ± 0,2 <sup>bcde</sup>	1,4 ± 0,2 <sup>ab</sup>
		банки	13,1 ± 1,6 <sup>bcdefghij</sup>	1,6 ± 0,2 <sup>abcde</sup>	1,9 ± 0,3 <sup>abcde</sup>
	Славница	пробирки	14,3 ± 2,1 <sup>abce</sup>	1,7 ± 0,2 <sup>abcde</sup>	2,0 ± 0,3 <sup>bcd</sup>
		банки	31,7 ± 3,7 <sup>abcdeghijklmnopqrst</sup>	2,0 ± 0,3 <sup>abcde</sup>	2,6 ± 0,3 <sup>bcdefghijklmn</sup>
	Квазар	пробирки	4,3 ± 0,2 <sup>bcdef</sup>	1,3 ± 0,2 <sup>abcd</sup>	1,2 ± 0,1 <sup>abcde</sup>
		банки	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	г31	пробирки	8,8 ± 0,6 <sup>bcdefghijklmnopq</sup>	1,3 ± 0,1 <sup>abcde</sup>	1,6 ± 0,2 <sup>bcdefghijklmn</sup>
		банки	5,0 ± 0,5 <sup>bcdefghijklmn</sup>	1,3 ± 0,3 <sup>abcde</sup>	1,2 ± 0,2 <sup>bcdefghijklm</sup>
МС 17г	г163	пробирки	84,8 ± 4,6 <sup>t</sup>	2,1 ± 0,2 <sup>abcde</sup>	8,5 ± 0,8 <sup>o</sup>
		банки	63,0 ± 5,1 <sup>mrs</sup>	2,0 ± 0,2 <sup>abc</sup>	6,0 ± 0,5 <sup>mn</sup>
	Урусовати	пробирки	42,2 ± 4,1 <sup>klmnopqrs</sup>	1,7 ± 0,2 <sup>bcde</sup>	3,7 ± 0,3 <sup>ghijklm</sup>
		банки	19,6 ± 1,1 <sup>abce</sup>	4,8 ± 0,4 <sup>fg</sup>	2,3 ± 0,2 <sup>bcde</sup>
БАП-0,5; 0,4 % сорбита, 4 % сахарозы	Ак-Кая	пробирки	36,3 ± 2,2 <sup>kmnoqr</sup>	1,5 ± 0,1 <sup>abc</sup>	3,1 ± 0,2 <sup>cdefghijklm</sup>
		банки	57,1 ± 5,7 <sup>ijklmnopqrs</sup>	3,9 ± 0,6 <sup>efgh</sup>	4,2 ± 0,3 <sup>kn</sup>
	Славница	пробирки	37,5 ± 4,3 <sup>bcdefghijklmnopqrst</sup>	1,4 ± 0,2 <sup>abc</sup>	3,3 ± 0,3 <sup>bcdefghijklmn</sup>
		банки	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	Квазар	пробирки	27,9 ± 1,6 <sup>bcdefghijklmnopq</sup>	1,8 ± 0,2 <sup>abcde</sup>	2,9 ± 0,1 <sup>bcdefghijklm</sup>
		банки	35,7 ± 3,1 <sup>defghijklmnopqrst</sup>	2,6 ± 0,4 <sup>bcde</sup>	2,8 ± 0,2 <sup>bcdefghijkm</sup>
	г31	пробирки	38,0 ± 3,5 <sup>dfhijklmnopqrst</sup>	1,5 ± 0,1 <sup>abce</sup>	3,1 ± 0,2 <sup>bcdefghijklm</sup>
		банки	33,8 ± 2,7 <sup>bcdefghijklmnopqrst</sup>	1,9 ± 0,1 <sup>abcde</sup>	2,8 ± 0,5 <sup>bcdefghijklmn</sup>

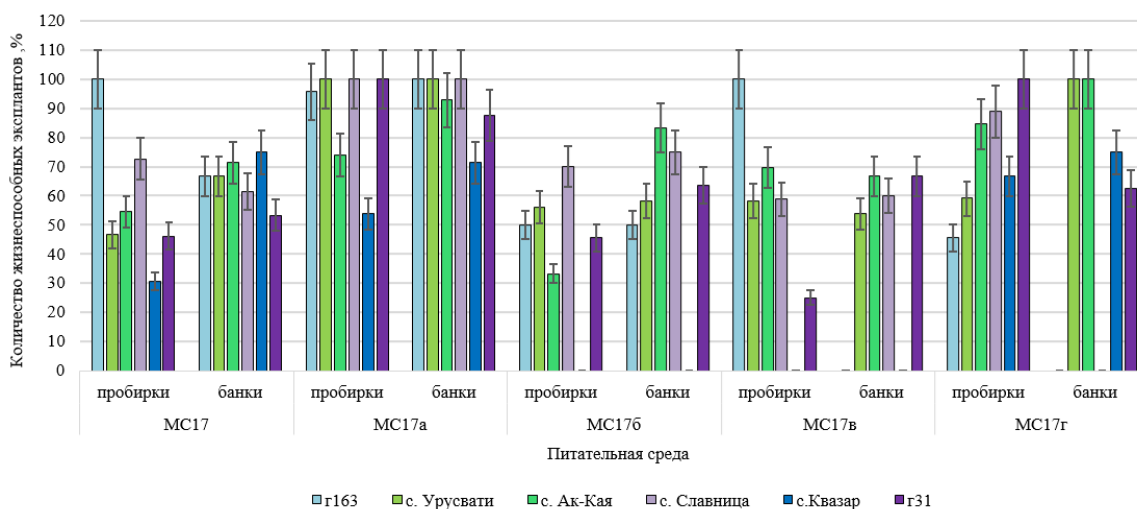
Примечание. Здесь и далее: в каждом столбце разными буквами обозначены достоверно различающиеся значения ( $p \leq 0,05$ ).

В то же время, в наших исследованиях добавление в состав питательной среды ССС оказывало негативное влияние на депонирование эксплантов душицы, а в некоторых вариантах опыта приводило к их гибели. Следует отметить, что при культивировании микрорастений в банках, закрытых фольгой, из эксплантов развивалось в 1,4–2,6 раза больше побегов, чем в пробирках, в то время как на длину побега и количество узлов на побеге этот фактор не оказывал достоверно значимого влияния.

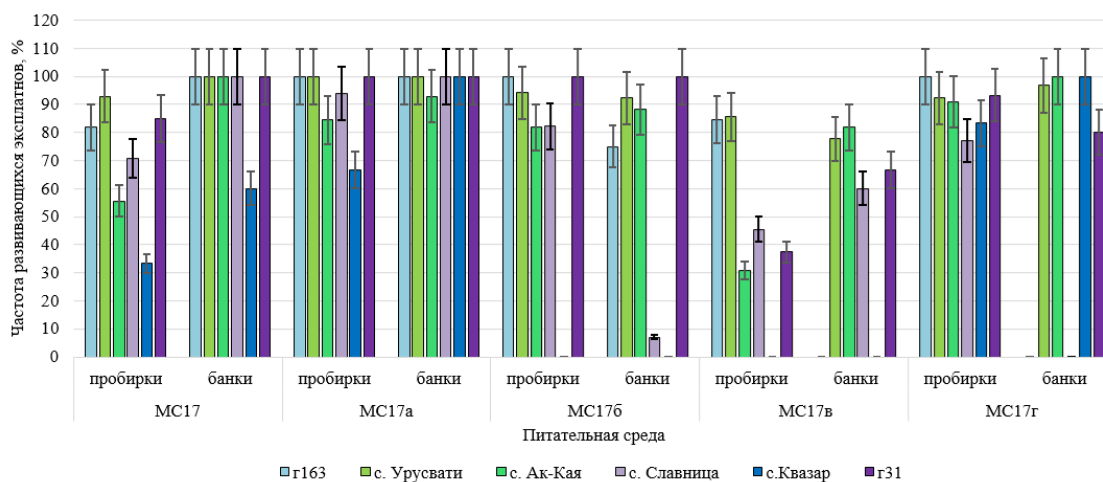
После 12 месяцев культивирования на питательных средах с сорбитом или ССС и 2 % сахарозы у исследуемых образцов и сортов наблюдали тенденцию к снижению числа жизнеспособных эксплантов, а также некроз верхушек побегов по сравнению с более кратковременным хранением, что свидетельствует о низкой способности эксплантов переносить холодовой стресс. Наибольшее число жизнеспособных (61,3–91,6 %) (рисунок 3) и развивающихся (66,7–100 %) (рисунок 4) эксплантов при хранении в течение года выявлено при добавлении в состав среды 0,5 мг/л БАП и 6 % сахарозы. Для некоторых видов растений эффективным приемом для поддержания коллекции *in vitro* было повышение концентрации сахарозы в питательной среде [12]. В то же время, при оптимизации условий депонирования нескольких сортов лаванды добавление в состав среды высоких концентраций сахарозы приводило к снижению отдельных

морфометрических показателей развития эксплантов, а при холододовом хранении *in vitro* сортов мяты повышение концентрации сахарозы не влияло на показатели жизнеспособности и развития эксплантов [30]. Бразильскими учеными был разработан эффективный протокол холододового хранения *in vitro* в течение полугодия четырех генотипов мяты на питательной среде без гормонов, содержащей 2 % сахарозы [29]. Также показана возможность успешного депонирования мяты на оптимальной для микроразмножения питательной среде МС с добавлением 2% сахарозы, 1,0 мг/л БАП и 0,5 мг/л ИУК [31].

С помощью трехфакторного дисперсионного анализа установлено, что на количество жизнеспособных эксплантов душицы после 12 месяцев холододового хранения определяющее влияние оказывали состав питательной среды (26,6 %) и совместное действие питательной среды и генотипа (26,7 %) (рисунок 5).



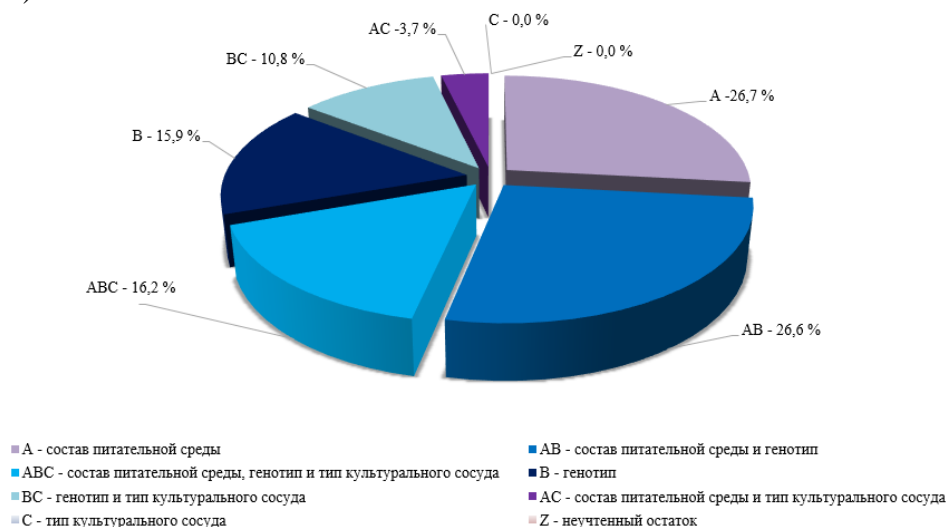
**Рисунок 3 – Влияние состава питательной среды, генотипа и типа культурального сосуда на количество жизнеспособных эксплантов после 12 месяцев депонирования**



**Рисунок 4 – Влияние состава питательной среды, генотипа и типа культурального сосуда на частоту развивающихся эксплантов после 12 месяцев депонирования**

Установлено, что тип культурального сосуда не влиял на данный показатель. Вместе с тем анализ морфометрических параметров показал, что при культивировании микрорастений на оптимальной питательной среде в пробирках у некоторых генотипов

длина побегов была в 1,3–1,6 раз выше по сравнению с культивированием в банках (таблица 2).



**Рисунок 5 – Доля влияния фактора (состав питательной среды, генотип и тип культурального сосуда) на количество жизнеспособных эксплантов после 12 месяцев депонирования**

**Таблица 2 – Влияние состава питательной среды, генотипа и типа культурального сосуда на развитие эксплантов душицы при депонировании в течение 12 месяцев**

Питательная среда, состав, мг/л	Сорт, образец	Тип культурального сосуда	Длина побега, мм	Количество побегов, шт./эксплант	Количество узлов, шт./побег
1	2	3	4	5	6
МС 17 БАП-0,5; 2 % сахарозы	г163	пробирки	28,9 ± 3,0 <sup>bcdefghij</sup>	1,6 ± 0,2 <sup>abc</sup>	2,5 ± 0,2 <sup>bcdefghijkp</sup>
		банки	36,5 ± 4,3 <sup>ghijklmnop</sup>	2,1 ± 0,2 <sup>abcdefghijk</sup>	3,1 ± 0,2 <sup>defghijklmnop</sup>
	Урусвати	пробирки	40,5 ± 3,2 <sup>fghijklmnop</sup>	1,9 ± 0,3 <sup>abcdefghi</sup>	3,4 ± 0,5 <sup>efghijklmnop</sup>
		банки	34,2 ± 3,1 <sup>defghijkl</sup>	2,4 ± 0,3 <sup>abcdefghi</sup>	3,4 ± 0,2 <sup>defghijklp</sup>
	Ак-Кая	пробирки	36,4 ± 3,1 <sup>fghijkl</sup>	2,9 ± 0,2 <sup>bcdefghijk</sup>	2,6 ± 0,2 <sup>cdefghijkmp</sup>
		банки	47,5 ± 4,2 <sup>hijklmnop</sup>	1,9 ± 0,2 <sup>abcdefghi</sup>	4,2 ± 0,4 <sup>ijklmnop</sup>
	Славница	пробирки	24,1 ± 3,1 <sup>abcdefgh</sup>	2,5 ± 0,3 <sup>abcdefghi</sup>	2,2 ± 0,2 <sup>abcdifghi</sup>
		банки	33,7 ± 3,8 <sup>defghijklmn</sup>	1,9 ± 0,2 <sup>abcdefghi</sup>	2,9 ± 0,2 <sup>defghijklmnop</sup>
	Квазар	пробирки	22,2 ± 3,7 <sup>abcdefghij</sup>	1,9 ± 0,2 <sup>abcdefgh</sup>	1,7 ± 0,2 <sup>abcdefghijk</sup>
		банки	22,7 ± 3,4 <sup>abcdefghijk</sup>	2,0 ± 0,3 <sup>abcdefghi</sup>	2,5 ± 0,2 <sup>abcdefghijklmn</sup>
	г31	пробирки	30,5 ± 2,8 <sup>cdefghijkl</sup>	3,0 ± 0,4 <sup>abcdefghik</sup>	2,6 ± 0,2 <sup>bcdefghijkmp</sup>
		банки	20,8 ± 2,5 <sup>abcdefghij</sup>	1,8 ± 0,4 <sup>abcdefghi</sup>	2,1 ± 0,2 <sup>abcdefghijkl</sup>
МС 17а БАП-0,5; 6 % сахарозы	г163	пробирки	60,6 ± 2,9 <sup>mnp</sup>	3,4 ± 0,3 <sup>l</sup>	4,7 ± 0,3 <sup>klnp</sup>
		банки	37,0 ± 1,9 <sup>hijkl</sup>	6,7 ± 0,5 <sup>defghijk</sup>	4,0 ± 0,2 <sup>gijklmnop</sup>
	Урусвати	пробирки	56,3 ± 3,3 <sup>hijklmnop</sup>	1,6 ± 0,2 <sup>abcdefghi</sup>	6,3 ± 0,2 <sup>mnp</sup>
		банки	42,2 ± 3,6 <sup>hijklp</sup>	3,6 ± 0,3 <sup>efghijk</sup>	3,4 ± 0,2 <sup>fgijkl</sup>
	Ак-Кая	пробирки	50,7 ± 3,9 <sup>ijklmnop</sup>	3,1 ± 0,4 <sup>cddefghi</sup>	3,8 ± 0,3 <sup>gijklmnop</sup>
		банки	51,4 ± 3,3 <sup>ijmnop</sup>	4,2 ± 0,3 <sup>fghijkl</sup>	4,6 ± 0,3 <sup>ijklmnop</sup>
	Славница	пробирки	64,5 ± 3,2 <sup>p</sup>	4,7 ± 0,7 <sup>hijkl</sup>	6,9 ± 0,9 <sup>q</sup>
		банки	48,6 ± 2,6 <sup>ijklmnop</sup>	4,6 ± 0,5 <sup>hijkl</sup>	3,4 ± 0,4 <sup>fgijklmnop</sup>
	Квазар	пробирки	36,3 ± 3,5 <sup>defghijkl</sup>	2,2 ± 0,3 <sup>abcdefghi</sup>	2,4 ± 0,3 <sup>abcdefghijk</sup>
		банки	49,8 ± 5,6 <sup>hijklmnop</sup>	2,8 ± 0,3 <sup>abcdefghij</sup>	4,1 ± 0,3 <sup>ghijklmnopq</sup>
	г31	пробирки	38,9 ± 3,5 <sup>fghijklmnop</sup>	2,3 ± 0,4 <sup>abcdefghikl</sup>	3,1 ± 0,4 <sup>abcdefghijklmnop</sup>
		банки	56,3 ± 5,1 <sup>klmnop</sup>	2,1 ± 0,3 <sup>abcdefghi</sup>	5,2 ± 0,5 <sup>mnoq</sup>
МС 17б	г163	пробирки	21,0 ± 2,6 <sup>abcdefghijklmnop</sup>	2,0 ± 0,2 <sup>abcdefghi</sup>	2,2 ± 0,2 <sup>abcdefghijklmnopq</sup>
		банки	21,5 ± 3,1 <sup>abcdefghijklmnop</sup>	1,3 ± 0,1 <sup>abcdefghijk</sup>	2,0 ± 0,2 <sup>abcdefghijklmnopq</sup>

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	
БАП-0,5; 0,4 % сорбита, 2 % сахарозы	Урусвати	пробирки	31,8 ± 4,1 <sup>cdefghijkl</sup>	1,3 ± 0,1 <sup>abcdeghi</sup>	3,2 ± 0,3 <sup>efghijklmnp</sup>	
		банки	31,9 ± 2,4 <sup>cdefghijklmnop</sup>	1,9 ± 0,2 <sup>abcde</sup>	2,8 ± 0,2 <sup>abcdeghijklkopq</sup>	
	Ак-Кая	пробирки	34,2 ± 4,0 <sup>abcdeghijklmnop</sup>	2,2 ± 0,2 <sup>abcdeghijkl</sup>	2,9 ± 0,3 <sup>abcdeghijklmnop</sup>	
		банки	36,6 ± 3,6 <sup>fijklmnop</sup>	1,7 ± 3,4 <sup>abcdeghi</sup>	4,2 ± 0,5 <sup>gijklmnop</sup>	
	Славница	пробирки	34,3 ± 3,2 <sup>ifhijkl</sup>	5,6 ± 0,4 <sup>kl</sup>	2,9 ± 0,2 <sup>defghijmp</sup>	
		банки	37,2 ± 4,1 <sup>fghijklmnop</sup>	1,7 ± 0,3 <sup>abcdeghi</sup>	2,5 ± 0,3 <sup>abcdeghijklmnop</sup>	
	Квазар	пробирки	-	-	-	
		банки	-	-	-	
	г31	пробирки	31,4 ± 2,6 <sup>cdefghijkl</sup>	1,9 ± 0,2 <sup>abcdeghi</sup>	2,5 ± 0,2 <sup>bcdeghijklp</sup>	
		банки	49,5 ± 3,5 <sup>ijklmnop</sup>	2,3 ± 0,5 <sup>abcdeghi</sup>	3,2 ± 0,3 <sup>defghijklmnop</sup>	
МС 17в БАП-0,5; 0,4 г/л ССС, 2 % сахарозы	г163	пробирки	60,0 ± 7,5 <sup>lmnop</sup>	1,3 ± 0,1 <sup>abcde</sup>	6,1 ± 0,1 <sup>oq</sup>	
		банки	-	-	-	
	Урусвати	пробирки	20,6 ± 0,2 <sup>abcdifghijk</sup>	1,3 ± 0,2 <sup>abcdegh</sup>	3,5 ± 0,5 <sup>abcdeghijklmn</sup>	
		банки	24,2 ± 0,9 <sup>abcdifghijklm</sup>	1,3 ± 0,2 <sup>abcdegh</sup>	2,1 ± 0,3 <sup>abcdeghijklmnop</sup>	
	Ак-Кая	пробирки	11,7 ± 1,1 <sup>abcdg</sup>	2,7 ± 0,2 <sup>abcdeghik</sup>	1,3 ± 0,3 <sup>abcdeh</sup>	
		банки	16,2 ± 1,2 <sup>abcdeghi</sup>	1,6 ± 0,3 <sup>abcdeghi</sup>	2,2 ± 0,4 <sup>abcdeghijklm</sup>	
	Славница	пробирки	15,6 ± 1,4 <sup>abcdegh</sup>	2,1 ± 0,3 <sup>abcdegh</sup>	1,8 ± 0,2 <sup>abcdegh</sup>	
		банки	28,6 ± 2,9 <sup>abcdeghijklmnop</sup>	1,7 ± 0,3 <sup>abcdeghijk</sup>	2,6 ± 0,4 <sup>abcdeghijklmnopq</sup>	
	Квазар	пробирки	-	-	-	
		банки	-	-	-	
	г31	пробирки	20,7 ± 1,4 <sup>abcdeghijklmnop</sup>	1,3 ± 0,2 <sup>abcdeghijk</sup>	1,6 ± 0,4 <sup>abcdeghijklmn</sup>	
		банки	5,3 ± 0,3 <sup>abcdeghijklm</sup>	1,1 ± 0,1 <sup>abcdef</sup>	2,0 ± 0,1 <sup>abcdifghijklmnopq</sup>	
	МС 17г БАП-0,5; 0,4 % сорбита, 4 % сахарозы	г163	пробирки	63,7 ± 6,1 <sup>op</sup>	1,7 ± 0,2 <sup>abcdeghi</sup>	5,2 ± 0,6 <sup>noq</sup>
			банки	-	-	-
Урусвати		пробирки	41,4 ± 4,5 <sup>hijklmno</sup>	2,1 ± 0,3 <sup>abcdeghi</sup>	4,2 ± 0,6 <sup>gijklmnop</sup>	
		банки	35,6 ± 3,8 <sup>efhikl</sup>	5,4 ± 0,3 <sup>jl</sup>	3,9 ± 0,3 <sup>gijklmnopq</sup>	
Ак-Кая		пробирки	43,2 ± 2,7 <sup>hijklmnop</sup>	1,8 ± 0,2 <sup>abcdeghi</sup>	1,8 ± 0,2 <sup>gijklmnop</sup>	
		банки	62,7 ± 5,1 <sup>np</sup>	4,3 ± 0,5 <sup>ghijkl</sup>	5,1 ± 0,3 <sup>lno</sup>	
Славница		пробирки	30,9 ± 8,9 <sup>cdeghijkl</sup>	2,9 ± 0,3 <sup>abcdeghijk</sup>	2,5 ± 0,2 <sup>bcdeghijk</sup>	
		банки	-	-	-	
Квазар		пробирки	27,3 ± 1,8 <sup>abcdeghijkl</sup>	2,0 ± 0,3 <sup>abcdeghi</sup>	2,8 ± 0,3 <sup>abcdifghijklmnop</sup>	
		банки	50,0 ± 4,4 <sup>ijklmnop</sup>	3,3 ± 0,3 <sup>abcdeghijk</sup>	4,3 ± 0,3 <sup>gijklmnop</sup>	
г31	пробирки	36,5 ± 3,7 <sup>fghijklmnop</sup>	1,9 ± 0,3 <sup>abcdeghi</sup>	3,0 ± 0,2 <sup>difghijklmnop</sup>		
	банки	36,7 ± 2,6 <sup>fghijklmnop</sup>	2,0 ± 0,3 <sup>abcdeghij</sup>	3,3 ± 0,3 <sup>abcdifghijklmnop</sup>		

В то же время, количество побегов, сформированных в пробирках, было в 1,3–2,3 раза ниже, чем в банках. Тем не менее, основным показателем успешного депонирования растений является количество жизнеспособных эксплантов. В наших экспериментах на лучшей для депонирования питательной среде этот показатель для эксплантов изучаемых образцов и сортов душицы имел одинаково высокие значения при культивировании и в пробирках, и в банках.

Важным этапом при формировании коллекций является проверка жизнеспособности культур при их отрастании в обычных условиях культивирования *in vitro*. На примере нескольких генотипов было изучено влияние холодого хранения на развитие эксплантов (микрочеренков, полученных после микрочеренкования) душицы при их переносе на свежие питательные среды и выращивании в условиях культуральной комнаты при 26 °С и освещенности 2–3 клк с 16-часовым фотопериодом для оценки их способности к восстановлению роста.

Анализ отрастания культур показал, что после 12 месяцев хранения при первом субкультивировании все морфометрические показатели были достаточно высокими. Частота жизнеспособных развивающихся эксплантов варьировала в пределах 60,8–100 %, при этом, в зависимости от генотипа формировалось от 3,1 до 20,3 побегов длиной до 42,4 мм (таблица 3). Следует отметить, что у изученных генотипов (за исключением сорта



Урусвати) в первом пассаже отмечали высокие коэффициенты размножения, которые в зависимости от образца варьировали от 9,4 до 74,6. Во втором субкультивировании в большинстве вариантов опыта наблюдали достоверно значимое снижение основных морфометрических параметров. В частности, коэффициент размножения у большинства изучаемых образцов и сортов при втором субкультивировании уменьшился в 1,3–15,5 раза по сравнению с первым. У сорта Урусвати достоверно значимых различий данного показателя в зависимости от количества субкультивирований не выявлено.

**Таблица 3 – Влияние генотипа на развитие эксплантов душицы в условиях культуральной комнаты после 12 месяцев депонирования**

Сорт, образец	Количество субкультивирований	Количество жизнеспособных эксплантов, %	Длина побега, мм	Количество побегов, шт./эксплант	Количество узлов, шт./побег	К.Р.
г163	1	100 <sup>a</sup>	26,7 ± 1,1 <sup>abcde</sup>	3,1 ± 0,1 <sup>ab</sup>	5,6 ± 0,6 <sup>abc</sup>	17,4 ± 1,2 <sup>c</sup>
	2	74,3 ± 8,9 <sup>a</sup>	20,3 ± 1,5 <sup>abc</sup>	2,7 ± 0,3 <sup>a</sup>	2,0 ± 0,1 <sup>a</sup>	5,4 ± 0,3 <sup>b</sup>
Урусвати	1	77,0 ± 3,1 <sup>a</sup>	22,9 ± 1,6 <sup>a</sup>	3,4 ± 0,3 <sup>a</sup>	2,8 ± 0,2 <sup>a</sup>	9,4 ± 0,9 <sup>a</sup>
	2	100 <sup>a</sup>	33,6 ± 3,1 <sup>bcdefg</sup>	2,6 ± 0,3 <sup>a</sup>	3,4 ± 0,3 <sup>abc</sup>	9,0 ± 0,8 <sup>a</sup>
Ак-Кая	1	90,2 ± 5,5 <sup>a</sup>	27,8 ± 1,6 <sup>abcde</sup>	7,4 ± 0,4 <sup>ab</sup>	3,3 ± 0,1 <sup>abc</sup>	24,4 ± 2,1 <sup>e</sup>
	2	100 <sup>a</sup>	38,2 ± 2,4 <sup>fg</sup>	4,8 ± 0,1 <sup>a</sup>	3,9 ± 0,2 <sup>bc</sup>	18,7 ± 1,8 <sup>c</sup>
Славница	1	100 <sup>a</sup>	21,4 ± 0,7 <sup>a</sup>	15,1 ± 0,9 <sup>bc</sup>	3,1 ± 0,2 <sup>ab</sup>	46,6 ± 3,8 <sup>f</sup>
	2	12,5 ± 1,2 <sup>b</sup>	5,5 ± 0,2 <sup>abc</sup>	2,7 ± 0,3 <sup>abc</sup>	1,1 ± 0,1 <sup>abc</sup>	3,0 ± 0,2 <sup>b</sup>
Квазар	1	100 <sup>a</sup>	42,4 ± 1,2 <sup>g</sup>	20,3 ± 1,6 <sup>c</sup>	3,7 ± 0,1 <sup>c</sup>	74,6 ± 7,1 <sup>g</sup>
	2	80,9 ± 6,6 <sup>a</sup>	24,2 ± 1,4 <sup>abd</sup>	3,8 ± 0,4 <sup>a</sup>	2,5 ± 0,1 <sup>a</sup>	9,5 ± 0,8 <sup>a</sup>
г31	1	100 <sup>a</sup>	33,2 ± 1,5 <sup>cef</sup>	7,7 ± 0,6 <sup>ab</sup>	2,8 ± 0,2 <sup>a</sup>	21,6 ± 1,9 <sup>d</sup>
	2	90,3 ± 6,6 <sup>a</sup>	34,1 ± 2,2 <sup>defg</sup>	3,2 ± 0,3 <sup>a</sup>	3,2 ± 0,2 <sup>abc</sup>	10,1 ± 0,6 <sup>a</sup>

Следует отметить, что лучшее развитие побегов в условиях культуральной комнаты после 12 месяцев холодного хранения наблюдали у сортов Квазар, Ак-Кая. У них выявлено максимальное число жизнеспособных эксплантов (100,0 %) и высокие К.Р. (до 74,6). У сорта Славница и образцов г163, г31 эти параметры также были высоки, однако формировались нетипичные, тонкие и часто витрифицированные микропобеги с укороченными междоузлиями. Учитывая эффективное отрастание эксплантов у большинства генотипов уже в первом субкультивировании после депонирования и высокие К.Р., можно рекомендовать при поддержании коллекции душицы *in vitro* использовать для возобновления роста только один пассаж и дальше после микрочеренкования снова переводить культуры в холодильную камеру. Для других видов растений иногда требуется более продолжительный период для возобновления роста. Так, у мяты при анализе отрастания эксплантов после холодного хранения, наоборот, было выявлено слабое развитие эксплантов после первого субкультивирования (количество жизнеспособных эксплантов не превышало 45 %), а после второго данный параметр увеличился до 100 % [31].

#### Выводы

В результате проведенных исследований изучено влияние состава питательной среды, генотипа и типа культурального сосуда на развитие эксплантов шести сортов и образцов душицы обыкновенной при их сохранении *in vitro* в течение 6–12 месяцев в холодильной камере при температуре 4–6 °С и освещенности 500-600 лк.

Показано, что лучшее развитие эксплантов при депонировании в течение 12 месяцев наблюдали на питательной среде МС, дополненной 0,5 мг/л БАП и 6 % сахарозы при культивировании в банках или пробирках. На этой среде в зависимости от генотипа количество жизнеспособных эксплантов варьировало в пределах 61,3–91,6 %. На данный показатель достоверно значимое влияние оказывал состав питательной среды (26,6 %) и

совместное действие состава питательной среды и генотипа (26,7 %). При этом из эксплантов развивалось 1,6–6,7 побегов длиной 37,0–64,5 мм.

Установлено, что при последующем отрастании для успешного возобновления роста эксплантов изученных образцов и сортов душицы в условиях культуральной комнаты достаточно одного субкультивирования. При этом количество жизнеспособных эксплантов достигало 80,9–100 %, а коэффициент размножения – до 9,4–74,6 (в зависимости от генотипа). Лучшее развитие микропобегов при отрастании наблюдали у сортов Квазар и Ак-Кая. Проведенные исследования являются основой для разработки методики депонирования сортов и образцов *O. vulgare in vitro*.

### Литература

1. Мягких Е. Ф., Каширина Н. А. Прикладное значение фундаментальных исследований в сфере эфиромасличных и лекарственных растений // Материалы международной научно-практической конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки». Симферополь: Ариал, 2023. С. 50–51. DOI: 10.5281/zenodo.8354252.
2. Паштецкий В. С., Невкрытая Н. В., Мишнев А. В., Назаренко Л. Г. Эфиромасличная отрасль Крыма. Вчера, сегодня, завтра: монография. Симферополь: Ариал, 2018. 320 с.
3. Myagkikh E., Babanina S., Mishnev A., Radchenko L., Pashtetskiy V., Nevkrytaya N., Loretts O. Ecological adaptability of some cultivars and breeding samples of *Origanum vulgare* L. // Agronomy. 2022. Vol. 12. No. 1. Art. No.16. DOI: 10.3390/agronomy12010016.
4. Myagkikh E. F., Babanina S. S., Pashtetsky V. S., Karpukhin M. Yu. Morphological variability of phenotypic traits in of Oregano samples // Agronomy Research. 2020. Vol. 18. No. 4. P. 2489–2500. DOI: 10.15159/AR.20.217.
5. Alekseeva M., Zagorcheva T., Rusanova M., Rusanov K., Atanassov I. Genetic and flower volatile diversity in natural populations of *Origanum vulgare* subsp. *hirtum* (Link) Ietsw. in Bulgaria: toward the development of a core collection // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12. DOI: 10.3389/fpls.2021.679063.
6. Chishti Sh., Kaloo Z. A., Sultan Ph. Medicinal importance of genus *Origanum*: a review // Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy. 2013. Vol. 5 (10). P. 170–177. DOI: 10.5897/JPP2013.0285.
7. Idir F., Van Ginneken S., Coppola G. A., Grenier D., Steenackers H. P., Bendali F. *Origanum vulgare* ethanolic extracts as a promising source of compounds with antimicrobial, anti-biofilm, and anti-virulence activity against dental plaque bacteria // Frontiers in Microbiology. 2022. Vol. 13. Art. No. 999839. DOI: 10.3389/fmicb.2022.999839.
8. Veenstra J. P., Johnson J. J. Oregano (*Origanium vulgare*) extract for food preservation and improving gastrointestinal health // International Journal of Nutrition. 2019. Vol. 3(4). P. 43–52. DOI: 10.14302/issn.2379-7835.ijn-19-2703.
9. Mashhadi F., Ghorbani N. M., Yaraee R. Immunomodulatory effects of *Origanum vulgare* L. and *Origanum majorana* L. ethanolic extracts *in vitro* // Immunoregulation. 2021. Vol. 4(1). P. 21–32. DOI: 10.32598/Immunoregulation.4.1.1.
10. Alekseeva M., Zagorcheva T., Atanassov I., Rusanov K. *Origanum vulgare* L. – a review on genetic diversity, cultivation, biological activities and perspectives for molecular breeding // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2020. Vol. 26. No. 6. P. 1183–1197.
11. Мягких Е. Ф., Марченко М. П., Новиков И. А. Сравнительный анализ гибридов *Origanum vulgare* L. по комплексу признаков // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 2 (14). С. 89–95.
12. Основы создания генобанка *in vitro* видов, сортов и форм декоративных, ароматических и плодовых культур: коллективная монография // Под ред. Митрофановой И. В. Симферополь: Ариал, 2018. 260 с. DOI: 10.32514/978-5-907118-87-4.
13. Дунаева С. Е., Гавриленко Т. А. Коллекции плодовых и ягодных культур *in vitro* (стратегии создания и хранение) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 161. С. 10–19.
14. Chauhan R., Singh V., Quraishi A. *In vitro* conservation through slow-growth storage // In book: Synthetic Seeds. Springer Nature (Switzerland), 2019. P. 397–416. DOI: 10.1007/978-3-030-24631-0\_19.
15. Молканова О. И., Коновалова Л. Н., Стахеева Т. С. Особенности размножения и сохранения коллекции ценных и редких видов растений в условиях *in vitro* // Бюллетень государственного Никитского ботанического сада. 2016. № 120. С. 17–23.
16. Спиридович Е. В., Фоменко Т. И., Власова А. Б., Козлова О. Н., Вайновская И. Ф., Юхимук А. Н. Кузьменкова С.М., Носиловский О.А., Решетников В.Н. Асептическая коллекция и банк ДНК

Центрального ботанического сада НАН Беларуси как эффективные инструменты сохранения редких растений // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. 2017. № 3. С. 117–128.

17. Крицкая Т. А., Кашин А. С. Особенности длительного депонирования культуры *in vitro* некоторых редких и исчезающих видов растений Саратовской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2016. Т. 16. С. 74–80. DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-1-74-80.

18. Мурасева Д. С., Звягина Н. С., Новикова Т. И., Дорогина О. В. Сохранение эндемика Западного Саяна *Fritillaria sonnikovae* Schaulo et A. Erst (Liliaceae) в коллекции *in vitro* // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21(5). С. 554–560. DOI: 10.18699/VJ17.272.

19. Носов А. М., Юрин В. М., Спиридович Е. В., Высоцкая О. Н., Решетников В. Н. Биотехнологические коллекции растений и криобанки – важная часть Национального банка-депозитария живых систем // Материалы Международной научной конференции, посвященной 85-летию Центрального ботанического сада НАН Беларуси. М.: Медисонт, 2017. С. 284–290.

20. Chauhan R. S. Biotechnological approaches for conservation of rare, endangered and threatened plants // International Journal of Scientific and Research Publications. 2016. Vol. 6. P. 10–14.

21. Cha-um S., Kirdmanee C. Minimal growth *in vitro* culture for preservation of plant species // Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology. 2007. Vol. 1 (1). P. 13–25.

22. Концевая И. И. Эффект абсцизовой кислоты при депонировании карельской березы в культуре *in vitro* // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. № 7. С. 11–16. DOI: 10.5281/zenodo.1312145.

23. Дорошенко Н. П. К вопросу создания коллекции генофонда винограда *in vitro* // Русский виноград. 2017. Т. 5. С. 68–86.

24. Кушнаренко С. В., Ромаданова Н. В., Аралбаева М. М., Матакова Г. Н., Бекебаева М. О., Бабисекова Д. И. Создание коллекции *in vitro* сортов и гибридов картофеля как исходного материала для криоконсервации // Биотехнология. Теория и практика. 2013. № 1. С. 28–33. DOI: 10.11134/btp.1.2013.6.

25. Ruzic Dj., Vujovic T., Cerovic R. *In vitro* preservation of autochthonous plum genotypes // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2012. Vol. 18. No. 1. P. 55–62.

26. Dessoky E. S., Attia A. O., Ismail I. A., Sadik A. S., Al-Sodany Y. M. Preservation and genetic stability for *in vitro* propagated taify grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Al-Bayadi // Bioscience Research. 2017. Vol. 14(3). P. 616–625.

27. Тевфик А. Ш., Митрофанова И. В. Особенности получения и сохранения *Canna × hybridia Hort. ex Backter* в условиях *in vitro* // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2017. Т. 7. № 3. С. 99–109. DOI: 10.21285/2227-2925-2017-7-3-99-109.

28. Егорова Н. А., Тевфик А. Ш., Ставцева И. В., Якимова О. В., Загорская М. С., Коваленко М. С., Бабанина С. С. Особенности депонирования некоторых эфиромасличных растений в коллекции *in vitro* // Материалы международной научной конференции, посвященной 65-летию деятельности Отдела биохимии и биотехнологии растений Государственного научного учреждения «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» «Настоящее и будущее биотехнологии растений». М.: ИВЦ Минфина, 2023. С. 118.

29. Keller E. R. J., Senula A., Dreiling M. Genebanking of vegetatively propagated medicinal plants – two cases: *Allium* and *Mentha* // Acta Horticulturae. 2005. No. 676. P. 103–109. DOI: 10.17660/ActaHortic.2005.676.12.

30. Егорова Н. А., Ставцева И. В., Якимова О. В., Каменек Л. И., Кривоухатко А. Г. Некоторые аспекты клонального микроразмножения и сохранения *in vitro* эфиромасличных растений // Таврический вестник аграрной науки. 2015. № 1 (3). С. 18–24.

31. Егорова Н. А., Загорская М. С., Абдурашитов С. Ф. Особенности длительного сохранения мяты сортов Ажурная и Бергамотная в коллекции *in vitro* // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12. № 1. С. 64–75.

32. Егорова Н. А., Якимова О. В. Влияние длительного субкультивирования на клональное микроразмножение *Melissa officinalis* L. И *Origanum vulgare* L. // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 47. С. 22–39. DOI: 10.17223/19988591/47/2.

33. Якимова О. В., Егорова Н. А. Влияние состава питательной среды и генотипа на клональное микроразмножение душицы *in vitro* // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. Вып. 4 (55). С. 304–309.

34. Якимова О. В., Егорова Н. А. Клональное микроразмножение душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.) в культуре *in vitro*: методические рекомендации. Симферополь: ФГБУН «НИИСХ Крыма», 2017. 24 с.
35. Benkaddour R., Ali N. B., Hamdoun O., Badoc A., Azaroual L., Martin P., Lamarti A. Micropropagation and acclimatization of common oregano (*Origanum vulgare* L. subsp. *vulgare*) by shoot tip culture // American Journal of Plant Sciences. 2022. Vol. 13. P. 833–855. DOI: 10.4236/ajps.2022.136056.
36. Fokina A. V., Satarova T. M., Smetanin V. T., Kucenko N. I. Optimization of microclonal propagation *in vitro* of oregano (*Origanum vulgare*) // Biosystems Diversity. 2018. Vol. 26. No. 2. P. 98–102. DOI: 10.15421/011815.
37. Oluk E. A., Cakir A. Micropropagation of *Origanum sipyleum* L., an endemic medicinal herb of Turkey // African Journal of Biotechnology. 2009. Vol. 8 (21). P. 5769–5772. DOI:10.5897/AJB09.1216.
38. Goleniowski M. E., Flamarique C., Bima P. Micropropagation of oregano (*Origanum vulgare* × *apalii*) from meristem tips // *In vitro* Cellular and Developmental Biology – Plant. 2003. Vol. 39. P. 125–128. DOI: 10.1079/IVP2002361.
39. Korkor A. M., Mohamed S. A., Abd El-kane O. M., Gohar A. A. Adaptation of the *in vitro* culture of *Origanum majorana* L. for production of phenolic acids // IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences. 2017. Vol. 12. No. 2. P. 30–38. DOI: 10.9790/3008-1202013038.
40. Sarropoulou V., Maloupa E., Grigoriadou K. *In vitro* direct organogenesis of the Creta dittany (*Origanum dictamnus* L.), an important threatened Greek endemic species // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2021. Vol. 49. No. 1. DOI: 10.15835/nbha50212715.
41. Davey M. R., Anthony P. Plant cell culture: essential methods. Singapore: Markono Print Media Pte. Ltd, 2010. 335 p. DOI: 10.1002/9780470686522.
42. Кушнір Г. П., Сарнацька В. В. Мікроклональне розмноження рослин. Теорія і практика. К.: Наукова думка, 2005. 270 с.
43. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue culture // Physiologia Plantarum. 1962. Vol. 15. No. 3. P. 473–497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x.

## References

1. Myagkikh E. F., Kashirina N. A. Practical value of fundamental research in the field of essential oil and medicinal plants // Proceedings of VII international scientific conference “Current State, Problems and Prospects of the Development of Agrarian Science”. Simferopol: Arial, 2023. P. 50–51. DOI: 10.5281/zenodo.8354252.
2. Pashtetsky V. S., Nevkrytaya N. V., Mishnev A. V., Nazarenko L. G. Essential oil industry in the Crimea. Yesterday, today, tomorrow: monograph. Simferopol: Arial, 2018. 320 p.
3. Myagkikh E., Babanina S., Mishnev A., Radchenko L., Pashtetskiy V., Nevkrytaya N., Loretts O. Ecological adaptability of some cultivars and breeding samples of *Origanum vulgare* L. // Agronomy. 2022. Vol. 12. No. 1. Art. No.16. DOI: 10.3390/agronomy12010016.
4. Myagkikh E. F., Babanina S. S., Pashtetsky V. S., Karpukhin M. Yu. Morphological variability of phenotypic traits in of Oregano samples // Agronomy Research. 2020. Vol. 18. No. 4. P. 2489–2500. DOI: 10.15159/AR.20.217.
5. Alekseeva M., Zagorcheva T., Rusanova M., Rusanov K., Atanassov I. Genetic and flower volatile diversity in natural populations of *Origanum vulgare* subsp. *hirtum* (Link) Ietsw. in Bulgaria: toward the development of a core collection // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12. DOI: 10.3389/fpls.2021.679063.
6. Chishti Sh., Kaloo Z. A., Sultan Ph. Medicinal importance of genus *Origanum*: a review // Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy. 2013. Vol. 5 (10). P. 170–177. DOI: 10.5897/JPP2013.0285.
7. Idir F., Van Ginneken S., Coppola G. A., Grenier D., Steenackers H. P., Bendali F. *Origanum vulgare* ethanolic extracts as a promising source of compounds with antimicrobial, anti-biofilm, and anti-virulence activity against dental plaque bacteria // Frontiers in Microbiology. 2022. Vol. 13. Art. No. 999839. DOI: 10.3389/fmicb.2022.999839.
8. Veenstra J. P., Johnson J. J. Oregano (*Origanum vulgare*) extract for food preservation and improving gastrointestinal health // International Journal of Nutrition. 2019. Vol. 3(4). P. 43–52. DOI: 10.14302/issn.2379-7835.ijn-19-2703.
9. Mashhadi F., Ghorbani N. M., Yaraee R. Immunomodulatory effects of *Origanum vulgare* L. and *Origanum majorana* L. ethanolic extracts *in vitro* // Immunoregulation. 2021. Vol. 4(1). P. 21–32. DOI: 10.32598/Immunoregulation.4.1.1.
10. Alekseeva M., Zagorcheva T., Atanassov I., Rusanov K. *Origanum vulgare* L. – a review on genetic diversity, cultivation, biological activities and perspectives for molecular breeding // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2020. Vol. 26. No. 6. P. 1183–1197.

11. Myagkih E. F., Marchenko M. P., Novikov I. A. Comparative analysis of *Origanum vulgare* L. hybrides according to the complex of characteristics // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2018. No. 2 (14). P. 89–95.
12. Fundamentals of creating an *in vitro* gene bank of species, varieties and forms of ornamental, aromatic and fruit crops: collective monograph // Ed. by Mitrofanova I. V. Simferopol: Arial, 2018. 260 p. DOI: 10.32514/978-5-907118-87-4.
13. Dunaeva S. E., Gavrilenko T. A. *In vitro* collections of fruit and berry crops: establishment and conservation strategy // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2007. Vol. 161. P. 10–19.
14. Chauhan R., Singh V., Quraishi A. *In vitro* conservation through slow-growth storage // In book: Synthetic Seeds. Springer Nature (Switzerland), 2019. P. 397–416. DOI: 10.1007/978-3-030-24631-0\_19.
15. Molkanova O. I., Konovalova L. N., Stakheeva T. S. Propagation and conservation characteristics of valuable and rare species collection *in vitro* // Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden. 2016. No. 120. P. 17–23.
16. Spiridovich E. V., Fomenko T. I., Vlasova A. B., Kozlova O. N., Vainovskaya I. F., Yukhimuk A. N., Kuzmenkova S.M., Nosilovsky O.A., Reshetnikov V.N. Conservation of rare plants in the aseptic collection and DNA bank of the Central Botanical Garden of NAS of Belarus // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Series. 2017. No. 3. P. 117–128.
17. Kritskaya T. A., Kashin A. S. Features of *in vitro* cold storage of some of rare and endangered plants of Saratov region // Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Chemistry. Biology. Ecology. 2016. Vol. 16. P. 74–80. DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-1-74-80.
18. Muraseva D. S., Zvyagina N. S., Novikova T. I., Dorogina O. V. Conservation of the Western Sayan endemic *Fritillaria sonnikovae* Schaulo et A. Erst (Liliaceae) in *in vitro* collection // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017. Vol. 21(5). P. 554–560. DOI: 10.18699/VJ17.272.
19. Nosov A. M., Yurin V. M., Spiridovich E. V., Vysotskaya O. N., Reshetnikov V. N. Plant biotechnological collections and cryobanks are an important part of the National bank – depository of living systems // Proceedings of the International Conference “Role of Botanical Gardens and Arboretums in conservation, investigation and sustainable using diversity of the plant world” dedicated to the 85th anniversary of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus. Moscow: Medisont, 2017. P. 284–290.
20. Chauhan R. S. Biotechnological approaches for conservation of rare, endangered and threatened plants // International Journal of Scientific and Research Publications. 2016. Vol. 6. P. 10–14.
21. Cha-um S., Kirdmanee C. Minimal growth *in vitro* culture for preservation of plant species // Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology. 2007. Vol. 1 (1). P. 13–25.
22. Kontsevaya I. I. Effect of abscisic acid on depositing of the Karelian birch *in vitro* // Bulletin of Science and Practice. 2018. Vol. 4. No. 7. P. 11–16. DOI: 10.5281/zenodo.1312145.
23. Doroshenko N. P. About creation of vine gene pool collection *in vitro* // Russian grapes. 2017. Vol. 5. P. 68–86.
24. Kushnarenko S. V., Romadanova N. V., Aralbaeva M. M., Matakova G. N., Bekebaeva M. O., Babisekova D. I. Preservation of a collection *in vitro* of potato varieties and hybrids as starting material for cryopreservation // Biotechnology. Theory and practice. 2013. No. 1. P. 28–33. DOI: 10.11134/btp.1.2013.6.
25. Ruzic Dj., Vujovic T., Cerovic R. *In vitro* preservation of autochthonous plum genotypes // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2012. Vol. 18. No. 1. P. 55–62.
26. Dessoky E. S., Attia A. O., Ismail I. A., Sadik A. S., Al-Sodany Y. M. Preservation and genetic stability for *in vitro* propagated taify grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Al-Bayadi // Bioscience Research. 2017. Vol. 14(3). P. 616–625.
27. Tevfik A. Sh., Mitrofanova I. V. *In vitro* derivation and storage characteristics of *Canna × hybrida* Hort. ex Backer // Izvestia Vuzov. Prikladnaya Chimia I Biotechnologia [Proceedings of Universitets. Applied chemistry and biotechnology]. 2017. Vol. 7. No. 3. P. 99–109. DOI: 10.21285/2227-2925-2017-7-3-99-109
28. Yegorova N. A., Tevfik A. Sh., Stavtseva I. V., Yakimova O. V., Zagorskaya M. S., Kovalenko M. S., Babanina S. S. Features of depositing some essential oil plants in *in vitro* collections // Materials of the International Scientific Conference “The present and future of plant biotechnology” dedicated to the 65th anniversary of the Department of Biochemistry and Plant Biotechnology of the State Scientific Institution “Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus”. Moscow: Information and computing center of the Ministry of Finance, 2023. P. 118.
29. Keller E. R. J., Senula A., Dreiling M. Genebanking of vegetatively propagated medicinal plants – two cases: *Allium* and *Mentha* // Acta Horticulturae. 2005. No. 676. P. 103–109. DOI: 10.17660/ActaHortic.2005.676.12.
30. Yegorova N. A., Stavtzeva I. V., Yakimova O. V., Kamenyok L. I., Krivochatko A. G. Some aspects of clonal micropropagation and conservation *in vitro* of essential oil plants // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2015. No. 1 (3). P. 18–24.

31. Yegorova N. A., Zagorskaya M. S., Abdurashytov S. F. Features of long-term preservation of Azhurnaya and Bergamotnaya mint cultivars in an *in vitro* collection // *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. 2022. Vol. 12. No. 1. P. 64–75. DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-1-64-75.
32. Yegorova N. A., Yakimova O. V. The effect of long-term subcultivation on clonal micropropagation of *Melissa officinalis* L. and *Origanum vulgare* L. // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Series "Biology"*. [Tomsk State University Journal of Biology]. 2019. Vol. 47. P. 22–39. DOI: 10.17223/19988591/47/2.
33. Yakimova O. V., Yegorova N. A. The influence of the composition of the nutrient medium and genotype on clonal micropropagation of *Origanum in vitro* // *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2015. Vol. 4 (55). P. 304–309.
34. Yakimova O. V., Yegorova N. A. Clonal micropropagation of oregano (*Origanum vulgare* L.) in *in vitro* culture: methodological recommendations. Simferopol: Research Institute of Agriculture of Crimea. 2017. 24 p.
35. Benkaddour R., Ali N. B., Hamdoun O., Badoc A., Azaroual L., Martin P., Lamarti A. Micropropagation and acclimatization of common oregano (*Origanum vulgare* L. subsp. *vulgare*) by shoot tip culture // *American Journal of Plant Sciences*. 2022. Vol. 13. P. 833–855. DOI: 10.4236/ajps.2022.136056.
36. Fokina A. V., Satarova T. M., Smetanin V. T., Kucenko N. I. Optimization of microclonal propagation *in vitro* of oregano (*Origanum vulgare*) // *Biosystems Diversity*. 2018. Vol. 26. No. 2. P. 98–102. DOI: 10.15421/011815.
37. Oluk E. A., Cakir A. Micropropagation of *Origanum sipyleum* L., an endemic medicinal herb of Turkey // *African Journal of Biotechnology*. 2009. Vol. 8 (21). P. 5769–5772. DOI:10.5897/AJB09.1216.
38. Goleniowski M. E., Flamarique C., Bima P. Micropropagation of oregano (*Origanum vulgare* × *applii*) from meristem tips // *In vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2003. Vol. 39. P. 125–128. DOI: 10.1079/IVP2002361.
39. Korkor A. M., Mohamed S. A., Abd El-kane O. M., Gohar A. A. Adaptation of the *in vitro* culture of *Origanum majorana* L. for production of phenolic acids // *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences*. 2017. Vol. 12. No. 2. P. 30–38. DOI: 10.9790/3008-1202013038.
40. Sarropoulou V., Maloupa E., Grigoriadou K. *In vitro* direct organogenesis of the Creta dittany (*Origanum dictamnus* L.), an important threatened Greek endemic species // *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2021. Vol. 49. No. 1. DOI: 10.15835/nbha50212715.
41. Davey M. R., Anthony P. Plant cell culture: essential methods. Singapore: Markono Print Media Pte. Ltd, 2010. 335 p. DOI: 10.1002/9780470686522.
42. Kushnir G. P., Sarnatska V. V. Microclonal propagation of plants. Theory and practice. Kyiv: Naukova dumka, 2005. 270 p.
43. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue culture // *Physiologia Plantarum*. 1962. Vol. 15. No. 3. P. 473–497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x.

UDC 633.81:57.085.2

Yakimova O. V., Yegorova N. A.

**IN VITRO PRESERVATION OF OREGANO CULTIVARS AND SAMPLES:  
ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CULTURE MEDIUM, GENOTYPE AND  
CULTIVATION CONDITIONS**

**Summary.** Currently, the development of the essential oil industry causes the considerable attention to the replenishment and studying the collection of the essential oil and medicinal crops gene pool, including genus *Origanum* L. To maintain valuable genotypes collections at the current level, it is effective to use biotechnological methods of preservation *in vitro*. The aim of this study was to investigate the effect of culture medium composition, genotype and deposition duration on the development of explants of cultivars and samples of oregano under low positive temperatures *in vitro*. The studies were carried out in 2021–2022 at the Laboratory of Biotechnology, a structural unit of the Research Institute of Agriculture of Crimea. Stem segments with one node from six *Origanum vulgare* L. genotypes (samples 'g31', 'g163' and cultivars 'Slavnitsa', 'Kvazar', 'Ak-Kaya', 'Urusvati'; all obtained by clonal micropropagation) were used as a material for the study. Explants were cultivated on five Murashige and Skoog (MS) culture medium modifications at a temperature of 4–6 °C and illumination of 500–600 lux. Morphometric parameters were analyzed after 6 and 12 months of storage. After one year of deposition on media supplemented with 0.5 mg/l

*benzylaminopurine (BAP) and 0.4% sorbitol, or 0.4 g/l chlorocholine chloride with 2% sucrose, the number of viable explants varied from 25.0 to 84.6 % but it should be mentioned that shoot tip necrosis in this case was observed in most genotypes. Better preservation of explants was observed when they were cultivated in jars or test tubes on MS medium with 0.5 mg/l BAP and 6 % sucrose. On this medium, 61.3–91.6% of viable explants with 1.6–6.7 shoots ranging in length from 37.0 to 64.5 mm (depending on the genotype) were formed. It had been established that one subcultivation was enough for successful resumption of explants growth after depositing (the studied oregano samples and cultivars were placed in a culture room conditions at 26 °C). The best development of microshoots during regrowth was in cultivars 'Kvazar' and 'Ak-Kaya'. These studies can serve as the basis for further development of the method for *O. vulgare* preservation in vitro.*

**Keywords:** *Origanum vulgare L., in vitro deposition, explant, culture medium composition, genotype, culture vessel.*

Якимова Ольга Валерьевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биотехнологии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: olyyakimova@yandex.ru.

Егорова Наталья Алексеевна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией биотехнологии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: yegorova.na@mail.ru.

Yakimova Olga Valerievna, Cand. Sc. (Biol.), researcher of the Laboratory of biotechnology, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: olyyakimova@yandex.ru.

Yegorova Natalia Alekseevna, Dr. Sc. (Biol.), chief researcher, head of the Laboratory of biotechnology FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: yegorova.na@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 18.09.2023*

*Дата принятия к печати – 10.11.2023*

DOI 10.5281/ZENODO.10297886

EDN GKIFKA

UDC 579.64: 582.675.1: 581.192

Chaikovskaya L. A., Nemtinov V. I., Baranskaya M. I., Pashtetsky V. S., Pekhova O. A.,  
Timasheva L. A., Radchenko L. A., Yakusheva N. N., Belova I. V.

**EFFECT OF MICROBIAL PREPARATIONS ON THE CONTENT OF  
CHLOROPHYLLS, BIOCHEMICAL INDICATORS AND PRODUCTIVITY OF  
NIGELLA DAMASCENA L.**

FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”

**Summary.** Use of microbial preparations is one of the elements of modern agricultural technologies. Such preparations are produced on the basis of effective bacterial strains with a wide range of useful properties: nitrogen fixation, phosphate mobilization, production of phytohormones and other physiologically active substances. Objects of research: *Nigella damascena* L.; microbial preparations Azostim<sup>agro</sup> (A), Phosphostim<sup>agro</sup> (P), Bioprofid<sup>agro</sup> (B) and Microbiocom<sup>agro</sup> (M) created at the Department of Agricultural Microbiology – structural unit of Research Institute of Agriculture of Crimea. The aim of our research was to determine the effect of microbial preparations (pre-sowing seed inoculation) on chlorophyll content, seed yield, as well as productivity and biochemical composition of phytomass of *Nigella damascena* L. (variety ‘Yalita’) under conditions of micro-field experiments. The studies were carried out from 2012 to 2022. Pre-sowing seed bacterization had a positive effect on the content of ascorbic acid and sugars in the phytomass of *N. damascena* L. On average for two years, in variants with Azostim<sup>agro</sup> and Phosphostim<sup>agro</sup> application, we observed the greatest increase in accumulation of ascorbic acid (by 13 %), as well as total sugars, mono- and disaccharides (by 8 %, 5 % and 12 %, respectively). Pre-sowing seed inoculation with microbial preparations increased the content of chlorophylls a and b in the leaves of *N. damascena* L. (on average by 19-24% compared to control values), which in turn allowed to obtain a reliable increase in phytomass (average, dry weight of one plant grown from bacterized seeds was 1.8 times higher than the control figures: 0.94 g vs. 0.54 g, respectively); Microbiocom<sup>agro</sup> application also improved seed yield (by 1.8 times or 13 % compared to control). These studies show that pre-sowing seed bacterization with microbial preparations, as an element of *nigella* cultivation technology, is quite promising.

**Keywords:** *Nigella damascena* L., microbial preparations, photosynthetic pigments, ascorbic acid, sugars, productivity.

**Для цитирования:** Чайковская Л. А., Немтинов В. И., Баранская М. И., Паштецкий В. С., Пехова О. А., Тимашева Л. А., Радченко Л. А., Якушева Н. Н., Белова И. В. Оценка влияния микробных препаратов на содержание хлорофиллов, продуктивность и биохимические показатели *Nigella damascena* L. // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4 (36). С. 190–202. EDN: GKIFKA. DOI: 10.5281/zenodo.10297886.

**For citation:** Chaikovskaya L. A., Nemtinov V. I., Baranskaya M. I., Pashtetsky V. S., Pekhova O. A., Timasheva L. A., Radchenko L. A., Yakusheva N. N., Belova I. V. Effect of microbial preparations on the content of chlorophylls, biochemical indicators and productivity of *Nigella damascena* L. // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4(36). P. 190–202. EDN: GKIFKA. DOI: 10.5281/zenodo.10297886.

## Introduction

Currently, the key goal for agriculture is its greening, transition to organic farming, environmentally friendly technologies and resource conservation, i.e. rational use of soil potential to preserve and increase its fertility [1, 2]. A significant role in this direction is given to soil microbiota, which determines soil biological activity, as well as microbiological



processes direction (nitrogen fixation, phosphate mobilization, transformation of substances, mineralization, humification, etc.) in ecosystems. Microbiota is an integral component of biogeocenoses; it takes an active part in the geochemical cycles of biogenic elements. In the rhizosphere of plants, root exudates create selective conditions for the formation of a specific community of microorganisms. These microorganisms provide plant with available elements of mineral nutrition and synthesize physiologically active substances, which subsequently affect the plant's productivity and immunity [3, 4].

Rhizospheric bacteria have a complex of beneficial properties, one of which is nitrogen fixation. Thanks to the functioning of nitrogen-fixing microorganisms (diazotrophs), both plant nitrogen requirements are met and N is reserved in the soil in the form of nitrogen-containing compounds [5, 6]. Studies aimed at improving the productivity of agrophytocenoses, taking into account diazotrophs as a factor contributing to an increase in the degree of realization of the genetic potential of agricultural crops and their resistance to biotic and abiotic stresses, are topical fundamental and applied issues in agrobiotechnology. Associative microorganisms are an integral part of plant life, contributing to nutrition improvement, growth stimulation and protection against phytopathogens.

A promising direction for improving plant nutrition, in particular phosphorus nutrition, is biological phosphate mobilization, which is carried out by soil microorganisms (micromycetes, bacteria) that are recognized as powerful phosphate solubilizers or converters of poorly soluble phosphorus compounds into forms available for plants [7–9]. The main factors of this conversion (transformation) in soil are the products of microbial metabolism. There are two main strategies for increasing P availability in soil through the action of phosphate-mobilizing microorganisms: 1) enhanced dissolution of mineral phosphates due to acidification of soil solution and release of the metal complexing agents (mainly anions of organic acids); 2) enzymatic degradation of organic phosphates [10, 11].

Thus, management of biological processes in agrocenoses is possible through the introduction of agronomically useful strains of microorganisms. Therefore, use of microbial preparations based on active strains of rhizobacteria is an important technique in agriculture, as well as one of the promising ways to improve mineral nutrition of crops and increase their productivity [12]. Microbial preparations also contribute to an increase in the adaptive potential of winter wheat plants to stress factors (in particular, to heavy metals), which is manifested in oxidative stress reduction [13] and chlorophyll content (in leaves) increment [14]. In literature sources, there are data on the effect of *Bacillus thuriangiensis* on the pigment complex of potato and oregano leaves: *B. thuriangiensis* strains contain  $\beta$ -exotoxin and, therefore, reduce the amount of chlorophylls in potato leaves during different phases of vegetation, e.g. germination, budding, flowering [15]. Effect of *B. thuriangiensis* var. *darmstadiensis* 0271 and *B. thuriangiensis* 888 on the content of chlorophyll in the leaves of various oregano cultivars depended on the component composition of the synthesized bactericidal secondary metabolites – carvacrol,  $\gamma$ -terpinene, and p-cymene [16, 17]. Based on the foregoing, the development of environmentally friendly biological methods of growing plants using microbial preparations to increase plant productivity and improve the product quality is an urgent task.

It should be noted that the use of microbial preparations is advisable not only for growing traditional crops, but also in the cultivation of medicinal and essential oil crops, in particular *N. damascena* L. Thanks to its spicy-aromatic properties, nigella can be widely used in perfumery, baking and food industries, as well as in folk medicine. The content of essential oil in the seeds of different types of nigella (0.92%) determines their high aromaticity and consumer properties [18]. *Nigella damascena* seeds are used as medicinal raw material (VFS 42-1691-87) for the preparation “Nigedaza”, which is used for the treatment of chronic gastrointestinal tract diseases; is especially useful for older and elderly people [19]. However, the issues of improving the efficiency of nigella production have not been studied sufficiently,

namely the relationship between the biological characteristics of the plant and microbial preparations [20].

**The aim of our research** was to determine the effect of microbial preparations (pre-sowing seed inoculation) on the content of photosynthetic pigments (chlorophyll *a* and *b*), productivity and biochemical parameters of *N. damascena* L. (variety ‘Yalita’).

#### **Materials and methods**

Materials of research: microbial preparations and their complex; plants of *N. damascena* L. variety ‘Yalita’ [21]. Field experiments were carried out at the trial plots of the Department of Plant Breeding and Seed Production of Vegetable and Melon Crops – structural unit of the Research Institute of Agriculture of Crimea in 2021–2022. Soil of the experimental plot – chernozem southern calcareous; granulometric composition can be defined as heavy weak-structural loam. The content of humus in the arable layer – 4.3 %, nitrogen – 3.2 mg/100 g, phosphorus – 8.9 mg/100 g, potassium – 64.8 mg/100 g of soil, pH – 8.3 units. Irrigation of the plot – drip irrigation (we maintained 70% soil water holding capacity).

For pre-sowing inoculation, we used microbial preparations Azostim<sup>agro</sup>, Phosphostim<sup>agro</sup> [22], Bioprofid<sup>agro</sup> and Microbiocom<sup>agro</sup> [23] created at the Department of Agricultural Microbiology – structural unit of the Research Institute of Agriculture of Crimea. Azostim<sup>agro</sup> (based on *Rhizobium radiobacter* 204) improves nitrogen nutrition in crop plants and stimulates plant growth and development; Phosphostim<sup>agro</sup> (based on *Lelliottia nimipressuralis* CCM 32-3) is a strain that produces phytohormones and converts hard soluble phosphorus compounds into forms available for plants; Bioprofid<sup>agro</sup> (based on *Paenibacillus polymyxa* P) synthesizes chitinase and antifungal components; Microbiocom<sup>agro</sup> is a universal multystrain microbial preparation composed of the three aforementioned strains. All these strains are registered in the Crimean Collection of Microorganisms (CCM) – unique scientific facility created by the scientists of the Research Institute of Agriculture of Crimea (<http://www.ckp-rf.ru>, No. 507484). Control – moistening seeds with water.

Micro-field experimental design included the following options: 1. Control (without inoculation); 2. Phosphostim<sup>agro</sup> (P); 3. Azostim<sup>agro</sup> (A); 4. Bioprofid<sup>agro</sup> (B); 5. Microbiocom<sup>agro</sup> (M). Square of the experimental plots – 2.0 m<sup>2</sup>; position of the plots – randomized, fourfold replication (IST (industry standard) 46 71-78, 1979). Morphometric studies of plants were carried out in three replications on accounting plots with an area of 1.8 m<sup>2</sup> in the budding phase according to the “Method of testing for distinctness, uniformity and stability” [24].

Differential extraction of photosynthetic pigments (chlorophylls *a* + *b*) was carried out with 96% ethyl alcohol; their quantitative determination was carried out by the colorimetric method [25]. Biochemical analysis was carried out in the Laboratory of Processing and Standardization of Essential Oils – structural unit of the Research Institute of Agriculture of Crimea in full compliance with generally accepted methods of chemical analyses. The content of dry matter was determined by the thermogravimetric method (GOST 28561-90, 2011). The content of total ash in plant material was determined by the method based on the determination of the incombustible residue of inorganic substances after burning and calcination of raw materials [26]. The content of sugars in nigella plant material was determined by the Bertran photocolometric method [27]. The content of vitamin C (ascorbic acid) in the plant material of nigella was determined by the titrimetric method using Tillmans dye [27].

Field experiments were carried out according to generally accepted methods [28]; data obtained were processed by statistical methods using S\_O\_2 and Statistica 7 software package.

#### **Results and discussion**

**Effect of pre-sowing inoculation on the content of photosynthetic pigments in *N. damascena* leaves.** We studied the content of photosynthetic pigments (chlorophylls *a* + *b*) in nigella leaves as it is one of the main indicators of the physiological state of the photosynthetic apparatus. Analysis of the obtained results showed that the use of microbial preparations for

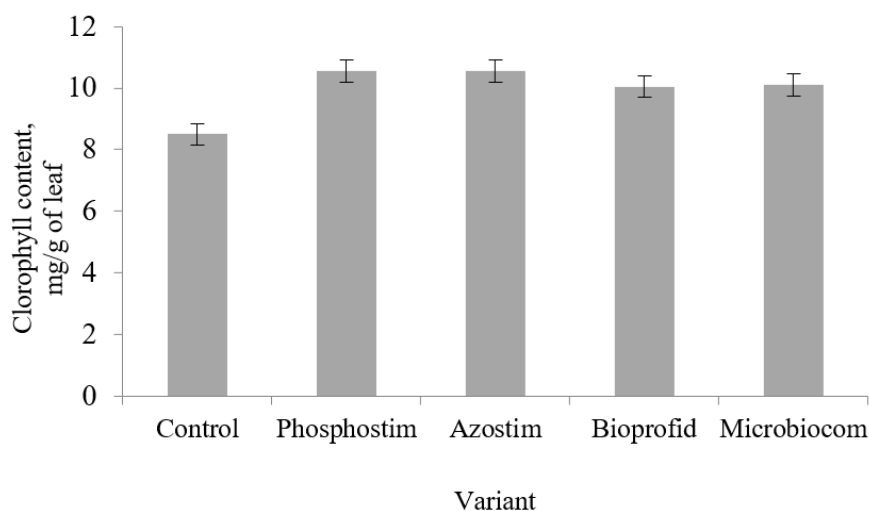
pre-sowing inoculation of *N. damascena* seeds contributed to an increase in the content of photosynthetic pigments in leaves (Table 1). So, in the first year of research, the content of the sum of chlorophylls *a + b* in the leaves of plants grown from bacterized seeds varied within 11.3–12.3 mg/g, which significantly exceeded the control indicators by 31–43 % (8.6 mg/g). But in the second year of research situation was different: a reliable increase in the content of photosynthetic pigments in nigella leaves (compared to control) was only in variant with P and M application – by 11 % and 6 %, respectively.

**Table 1 – Content of chlorophylls *a+b* in *N. damascena* leaves, budding phase**

Variant	2021		2022	
	mg/g	%	mg/g	%
Control	8.6	100	8.4	100
Phosphostim <sup>agro</sup>	*11.6	134	*9.5	111
Azostim <sup>agro</sup>	*12.3	143	8.8	105
Bioprofid <sup>agro</sup>	*11.6	134	8.5	101
Microbiocom <sup>agro</sup>	*11.3	131	*8.9	106
LSD <sub>05</sub>	0.31		0.40	

*Note.* \* – Variants have differences at 5 % significance level.

On average, for two years of research, the sum of chlorophylls *a + b* in the control variant was 8.5 mg/g of the raw weight (Figure 1). At the same time, in the leaves of *N. damascena* L. grown from bacterized seeds, the content of photosynthetic pigments increased to 10.6 mg/g (P, A) and 10.1 mg/g (B, M), which exceeded the control figures by 24 % and 19 %, respectively. These results confirm our previous studies, in which a positive effect of microbial preparations on the content of photosynthetic pigments in winter wheat leaves was established under conditions of both vegetative and field experiments [29].



**Figure 1 – Content of chlorophylls *a+b* in *N. damascena* leaves, budding phase (average for 2 years)**

Photosynthesis plays an important role in plant productivity. This process occurs in leaves and provides emerging seeds with necessary assimilants. In literature sources, there is information that chlorophyll, which is the main component of plant photosystems, can affect productivity, but its content in leaves can be both high and low. A number of studies showed that high content of this pigment in leaves has a positive effect on the yield of cereals. For instance, as reported by Priadkina et al., yield increase of modern winter wheat variety

‘Favoritka’ was associated with a rise of content and gross amount of chlorophyll and a prolongation of functioning of crop photosynthetic apparatus during the reproductive period [30]. It was proved that an increase in chlorophyll concentration in leaves of the high-yielding winter wheat variety played a major role in obtaining higher productivity [31]. Research results of Gu et al. [32] indicate that low concentration of chlorophyll in the leaves of rice had a negative impact on grain productivity. At the same time, there was no significant relationship between the content of chlorophyll in the leaves of 30 spring wheat genotypes and their productivity under different irrigation regimes [33].

**Effect of pre-sowing inoculation on the productivity of *N. damascena*.** The use of microbial preparations for pre-sowing seed bacterization also contributed to the increase in phytomass compared to control: by 71–105 % in 2021 and 31–92 % in 2022 (Table 2). Reliable results were noted in 2021 when A, B and M were applied, as well as in 2022 after bacterization with P: absolutely dry weight of one plant exceeded control figures by almost twice and by 92 %, respectively. On average, for two years of research, dry weight of one plant grown from bacterized seeds varied within 0.91–0.97 g, which was 1.8 times higher than the control figures that reach only 0.54 g.

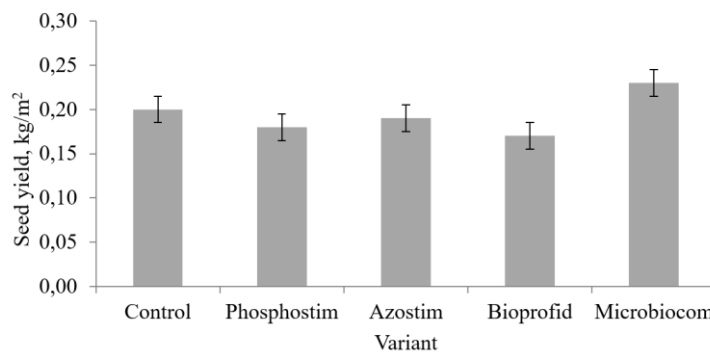
**Table 2 – Effect of microbial preparations on *N. damascena* productivity**

Variant	Weight of one plant, absolutely dry				Seed yield			
	2021		2022		2021		2022	
	g	%	g	%	kg/m <sup>2</sup>	%	kg/m <sup>2</sup>	%
Control	0.59	100	0.49	100	0.13	100	0.26	100
Phosphostim <sup>agro</sup>	1.01	171	0.94*	192	0.10	77	0.27	104
Azostim <sup>agro</sup>	1.17*	198	0.74	151	0.11	85	0.27	104
Bioprofid <sup>agro</sup>	1.21*	205	0.72	147	0.13	100	0.22	85
Microbiocom <sup>agro</sup>	1.18*	200	0.64	131	0.15*	115	0.31*	119
LSD <sub>05</sub>	0.470		0.300		0.010		0.028	

*Note.* \* – Variants have differences at 5% significance level.

Seed yield of *N. damascena* L. in variants with the use of microbial preparations varied within 0.10–0.15 kg/m<sup>2</sup> in 2021 and 0.22–0.31 kg/m<sup>2</sup> in 2022; control figures – 0.13 and 0.26 kg/m<sup>2</sup>, respectively. A significant increase in the yield of nigella seeds in 2021 and 2022 compared to control (by 15 % and 19 %, respectively) was detected only in case of pre-sowing seed bacterization with M. In our opinion, the differences in nigella seed yield over the years of research can be explained by the difference in weather conditions (temperature and air humidity).

On average, for two years, seed productivity of bacterized plants varied within 0.17–0.23 kg/m<sup>2</sup> compared to 0.20 kg/m<sup>2</sup> in the control variant; significant increase (by 13 %) was in variant with M application (Figure 2).



**Figure 2 – Effect of microbial preparations on *N. damascena* seed yield (average for 2 years)**

According to the results of our studies, pre-sowing seed bacterization with P, A, B and M significantly increased the content of chlorophylls *a + b* in *N. damascena* leaves: up to 19-24 % compared to control. This circumstance can be considered as one of the main aspects that allowed to obtain a reliable increase in phytomass, e.g. in our research, on average for two years, that of in bacterized plants exceeded control by 1.8 times. Furthermore, it should be noted that M application for pre-sowing seed treatment significantly increased nigella seed yield.

**Effect of pre-sowing inoculation on *N. damascena* plant height and morphometric parameters.** It is well known that many effective strains of bacteria, which are the basis of microbial preparations, have the ability to produce growth-stimulating substances. In the experiments carried out in 2021, a positive effect of the tested preparations on the height of nigella was established: it exceeded the control plants by 19–32 % (Table 3). Thus, pre-sowing seed bacterization with P, A, B and M contributed to an increase in plant height compared to the control values by 19 %, 32 %, 26 % and 29 %, respectively. It should be noted that reliable results were obtained in variants with A, B and M. However, in 2022, no significant effect of the studied microbial preparations was revealed. On average, for two years of research, a trend towards an increase in the height of bacterized plants compared to the control ones was revealed.

Evaluation of the effect of microbial preparations on the morphometric parameters of nigella indicates that seed inoculation did not have a significant effect either on the length of leaves or on their number per one plant (Table 3).

**Table 3 – Effect of microbial preparations on *N. damascena* plant height and morphometric parameters**

Variant	Plant height, cm			Number of leaves on one plant, pcs	Leaf length, cm
	2021	2022	average	average for two years	average for two years
Control	22.3	20.2	21.3	9.7 ± 1.24	8.1 ± 1.79
Phosphostim <sup>agro</sup>	26.5	20.1	23.3	8.8 ± 0.22	8.1 ± 0.82
Azostim <sup>agro</sup>	29.5*	21.4	25.5	8.6 ± 0.10	8.4 ± 0.77
Bioprofid <sup>agro</sup>	28.2*	21.5	24.9	10.1 ± 0.77	7.7 ± 1.05
Microbiocom <sup>agro</sup>	28.8*	21.9	25.4	7.5 ± 0.51	8.2 ± 1.00
LSD <sub>05</sub>	4.38	4.40			

*Note.* \* – Variants have differences at 5 % significance level; ± mean error at 5 % significance level.

**Effect of pre-sowing inoculation on the biochemical parameters in fresh raw materials of *N. damascena*.** A study of the biochemical composition of nigella phytomass showed that in the budding phase the content of dry matter in fresh raw materials varied within 17.9–18.5 % in the first and second years of the experiments (Table 4). There was no clear effect of microbial preparations on this indicator. However, in 2022, reliable results were noted in variants with P and A – dry matter content in inoculated plants increased by 2.2–2.5% compared to control. On average, for two years of research, a trend towards an increase in dry matter in the phytomass of nigella was revealed.

**Table 4 – Dry matter and total ash contents in fresh raw materials of *N. damascena* (budding phase)**

Variant	Dry matter content, %			Total ash content, %		
	2021	2022	average	2021	2022	average
Control	18.2	18.0	18.1	11.5	10.6	11.1
Phosphostim <sup>agro</sup>	18.0	18.4*	18.2	10.2	11.2*	10.7
Azostim <sup>agro</sup>	17.9	18.5*	18.3	11.7	12.1*	11.9
Bioprofid <sup>agro</sup>	18.1	18.2	18.2	11.9	11.6*	11.7
Microbiocom <sup>agro</sup>	18.4	17.9	18.3	10.0*	11.2*	10.6
LSD <sub>05</sub>	0.34	0.33		1.35	0.45	

*Note.* \* – Variants have differences at 5% significance level.

**The content of total ash** in the phytomass of *N. damascena* over the years of research varied within 10.0–12.1 % (Table 4) or was 6 to 15 times higher than typical indicator of the most studied green crops [34]. Results obtained in 2018 testify to the ambiguous effect of bacterization on the content of total ash in plants: there were both positive (A, B) and negative (P, M) effects compared to control. However, reliable data were noted only in variants with M application: 9.5 % vs. 11.5 % in the control. A significant effect of inoculation on the content of total ash in the aboveground mass of nigella in 2022 was noted: the use of microbial preparations contributed to an increase by 5 % (P, M), 10 % (B) and 15 % (A) compared to control figures.

**Carbohydrates** make up 75–80 % of organic matter in plants and are the main product of photosynthesis, as well as the main respiratory material. A significant part of sugars is used for polymerization and formation of polysaccharides – starch and cellulose. Results of our studies showed that the content of total sugars in the phytomass of nigella on average over two years of research varied within 11.1–12.8 %, monosaccharides – 5.5–6.2 %, disaccharides – 5.1–6.6 % (Table 5). An ambiguous effect of microbial preparations on the accumulation of sugars in fresh raw materials of *N. damascena* should be noted: it was both positive and negative. Thus, pre-sowing seed bacterization with P and A contributed to a significant increase in the content of total, mono- and disaccharides in the plant phytomass, B – led to its significant decrease compared to control. Results obtained in the variant with M revealed a trend towards a decrease in the content of monosaccharides, but the amount of disaccharides was at the level of control figures.

**Table 5 – Sugars and ascorbic acid content in fresh raw materials of *N. damascena* (budding phase), average for two years**

Variant	Sugars content, %			Ascorbic acid content, mg/100 g
	total	monosaccharides	disaccharides	
Control	11.8	5.9	5.9	178.2
Phosphostim <sup>agro</sup>	12.8*	6.2*	6.6*	201.3*
Azostim <sup>agro</sup>	12.4*	6.2*	6.2	201.7*
Bioprofid <sup>agro</sup>	11.1*	6.0	5.1*	183.8
Microbiocom <sup>agro</sup>	11.4	5.5*	5.9	187.3
LSD <sub>05</sub>	0.56	0.25	0.34	11.14

*Note.* \* – Variants have differences at 5 % significance level.

**Ascorbic acid** is a unique polyfunctional plant compound that can be reversibly oxidized and reduced. It takes part in the energy processes in the plant cell and is a recognized antioxidant. According to our research results, the content of ascorbic acid in the phytomass of nigella varied within 178.2–201.7 mg/100 g. The use of microbial preparations for seed inoculation also contributed to an increase in the content of ascorbic acid in fresh raw materials of *N. damascena*: up to 201.7 mg/100 g vs. 178.3 mg/100 g in control. However, it should be noted that significant differences were revealed only in case of pre-sowing seed treatment with P and A, but in variants with B and M, results were within the experimental error.

**Correlation analysis** showed a significant inverse average relationship ( $r = -0.62$ ) between the content of chlorophylls in leaves and the yield of nigella seeds. This indicates that a decrease in the content of chlorophylls leads to a drop in seed yield (Table 6). Thus, our results indicate that microbial preparations increase the content of chlorophylls *a + b* in nigella leaves, which in turn contributes to the phytomass productivity and seed yield improvement.

Between the content of total sugars and monosaccharides, as well as total sugars and disaccharides in the phytomass of nigella, a significant direct medium and strong relationship has been established (correlation coefficients – 0.61 and 0.81, respectively). At the same time, a significant direct average relationship was noted between the content of total sugars and

ascorbic acid, as well as monosaccharides and ascorbic acid in *N. damascena* plants: correlation coefficients – 0.65 and 0.54, respectively.

**Table 6 – Correlations between indicators of nigella under the influence of bacterization (2021–2022)**

Indicator	Content in leaves					Seed yield, kg/m <sup>2</sup>
	chlorophylls, mg/g	total sugars, %	monosaccharides, %	disaccharides, %	ascorbic acid, mg/100 g	
Chlorophylls, mg/g of leaves	1.00	-0.06	-0.33	0.16	-0.13	-0.62
Total sugars, %	<b>-0.06</b>	1.00	0.61	0.81	0.65	0.24
Monosaccharides, %	<b>-0.33</b>	<b>0.61*</b>	1.00	0.03	0.54	0.53
Disaccharides, %	<b>0.16</b>	<b>0.81*</b>	<b>0.03</b>	1.00	0.42	-0.09
Ascorbic acid, mg/100 g	<b>-0.13</b>	<b>0.65*</b>	<b>0.54*</b>	<b>0.42*</b>	1.00	0.30
Seed yield, kg/m <sup>2</sup>	<b>-0.62*</b>	<b>0.24</b>	<b>0.53*</b>	<b>-0.09</b>	<b>0.30</b>	1.00

*Note.* \* – Marked correlations are significant at  $p < 0.05000$ .

A significant direct average relationship ( $r = 0.53$ ) between the content of monosaccharides in the phytomass and the yield of nigella seeds was also revealed. The increase in the content of disaccharides in the leaves of nigella had a significant impact on the increase in the amount of ascorbic acid in plants: relationship was direct average ( $r = 0.42$ ).

### Conclusions

In the course of the research, we studied the effect of microbial preparations (A, P, B, M) on the chlorophyll content, phytomass productivity and seed yield, as well as on the morphometric parameters and biochemical composition of the aboveground mass of *N. damascena* under conditions of micro-field experiments. The use of microbial preparations contributed to an increase in the content of chlorophylls *a + b* in the leaves (by 19–24 % vs. control), which had a positive effect on the phytomass productivity. Positive effect of P and A on the improvement of the biochemical composition of *N. damascena* green mass was also established: the content of sugars (12.8 %) and ascorbic acid (201.7 mg/100 g) significantly exceeded control values by 1 % and 23.5 mg/100 g, respectively. The use of M significantly increased *N. damascena* L. seed yield: by 13% compared to control. Correlation analysis showed that under the influence of bacterization, on average for two years, the most significant impact on seed yield was caused by a change in the content of chlorophylls ( $r = -0.62$ ) and monosaccharides ( $r = 0.53$ ) in leaves. These studies show that pre-sowing seed bacterization with microbial preparations, as an element of nigella cultivation technology, is quite promising.

### References

1. Zavalin A. A., Almetov N. S., Berdnikov V. V., Blagoveshchenskaya G.G. Efficiency of biopreparations in a crop rotation // *Agrohimia*. 2010. Vol. 6. P. 28–37.
2. Zavalin A. A., Sokolov O. A., Shmyreva N. Ya. Nitrogen flows in agrophytocenosis on soddy-podzolic soil (research with 15N) // *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2018. Vol. 5. P. 17–21. DOI: 10.30850/vrsn/2018/5/17-21.
3. Tikhonovich I. A., Andronov E. E., Provorov N. A. Microevolutionary processes in plant-microbe symbiosis // In book: *Genetics, Evolution and Radiation. Crossing Borders, The Interdisciplinary Legacy of Nikolay W. Timofeeff-Ressovsky*. Cham: Springer, 2016. P. 441–454. DOI: 10.1007/978-3-319-48838-7\_36.
4. Provorov N. A., Tikhonovich I. A. Agricultural microbiology and symbiogenetics: synthesis of classical ideas and construction of highly productive agrocenoses (review) // *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2022. Vol. 57. No. 5. P. 821–831. DOI: 10.15389/agrobiol.2022.5.821eng.
5. Zavalin A. A., Kozhemyakov A. P., Andreev O. A., Laktionov Y. V., Popova T. A. [et al.]. New technologies of promotion and application of biopreparations with complex impact. Saint-Petersburg: Khimizdat, 2010. 64 p.

6. Kots S. Ya., Morgun V. V., Patyka V. F., Datsenko V. K., Krugova E. D., Kirichenko E. V., Melnikova N. N., Mikhalkiv L. M. Biological nitrogen fixation: bean-rhizobial symbiosis: Monograph in 4 volumes. Vol. 1. Kyiv: Logos, 2010. 508 p.
7. Khan M. S., Zaidi A., Musarrat J. Phosphate solubilizing microorganisms: principles and application of microphos technology. Cham: Springer, 2014. 307 p. DOI: 10.1007/978-3-319-08216-5.
8. Satyaprakash M., Nikitha T., Reddi E.U.B., Sadhana B., Satya Vani S. Phosphorous and phosphate solubilising bacteria and their role in plant nutrition // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017. Vol. 6. No. 4. P. 2133–2144. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.604.251.
9. Chaikovskaya L. A., Ovsienko O. L. Phosphate-mobilizing microorganisms: 1. Biodiversity, influence on plants mineral nutrition and productivity // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4 (28). P. 159–182. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-159-182.
10. Jain P., Khichi D. S. Phosphate solubilizing microorganism (PSM): an ecofriendly biofertilizer and pollution manager // Journal of Dynamics in Agricultural Research. 2014. Vol. 1 (4). P. 23–28.
11. Jones D. L., Oburger E. Solubilization of phosphorus by soil microorganisms // In Book: Phosphorus in Action. Biological Processes in Soil Phosphorus Cycling. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. P. 169–198. DOI: 10.1007/978-3-642-15271-9\_7.
12. Tikhonovich I. A., Zavalin A. A. Application potential of nitrogen-fixing and phyto-stimulating microorganisms for increasing the efficiency of the agroindustrial complex and improving the agroecological situation in Russian Federation // Plodorodie. 2016. No. 5 (92). P. 28–32.
13. Ovsienko O. L., Chaikovskaya L. A. The effect of a microbial preparation on the lipid-pigment complex of *Triticum aestivum* L. when soil is contaminated by heavy metals // Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry. 2022. Vol. 8(74). No. 4. P. 166–177.
14. Chaikovskaya L. A., Baranskaya M. I., Ovsienko O. L., Klimenko N. N. Effect of microbial preparations on the adaptive potential of winter wheat under the influence of heavy metals // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2019. No. 4(20). P. 123–132. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-4-20-123-132.
15. Kryzhko A. V., Kuznetsova L. N. Effect of bioinsecticides based on *Bacillus thuringiensis* on the pigment complex and the activity of oxidases in potato leaves // Vestnik of the North-Eastern Federal University. 2018. No. 4(66). P. 5–13. DOI: 10.25587/SVFU.2018.66.16113.
16. Kryzhko A. V., Budzhurova U. M. Effects of *Bacillus thuringiensis* 0271 on individual indicators of nonspecific resistance of *Origanum vulgare* L. to stressful conditions // Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2020. No. 10(4). P. 647–656. DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-4-647-656.
17. Kryzhko A. V. Plants and entomopathogenic bacteria *Bacillus thuringiensis* interaction in the agroecosis of *Origanum vulgare* L. // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2021. No. 91. P. 174–180. DOI: 10.21515/1999-1703-91-174-180.
18. Nemtinov V. I. *Nigella sativa* in the Crimea // Potato and Vegetables. 2016. No. 10. P. 22–23.
19. Orlovskaya T. V., Mashirova S. Yu. Morphoanatomic study seeds *Nigella sativa* L. and *Nigella damascena* L. // Traditional medicine. 2012. Vol. 3(30). P. 54–57.
20. Baranskaya M. I., Chaikovskaya L. A., Nemtinov V. I. Effect of biological agents of microbial preparations (*Rhizobium radiobacter* 204, *Lelliottia nimipressuralis* CCM 32-3, *Paenibacillus polymyxa* P) on the seeds of *Nigella damascena* L. // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 3(23). P. 18–25. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-18-25.
21. Patent RF No. 11207. *Nigella damascena* L. ‘Yalita’ // Authors: Glumova V. I., Nemtinov V. I., Patent holder: FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. 2020.
22. Patent RF No. 2676926. “Phosphate-mobilizing strains of soil bacteria *Lelliottia nimipressuralis* CCM 32-3 and biopreparation on its basis for the optimization of mineral nutrition of plants, stimulates their growth and increase yields application” // Authors: Chaikovskaya L. A., Melnichuk T. N., Kameneva I. A., Baranskaya M. I., Ovsienko O.L. Patent holder: FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. 2019.
23. Patent RF No. 2777194. “Complex biopreparation for optimizing mineral nutrition of plants, protection from phytopathogens, increasing productivity and a method for obtaining this biopreparation” // Authors: Kameneva I. A., Melnichuk T. N., Yakubovskaya A. I., Chaikovskaya L. A., Pashetsky V. S., Gritchin M. V., Konopleva G. N. Patent holder: FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. 2022.
24. Methodology of testing for distinctness, uniformity and stability. *Nigella* L. // Official Bulletin of Federal State Budgetary Institution “State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Breeding Achievements”. 2019. Section 8. No. 9(249). P. 674–682.
25. Gavrilenko V. F., Ladygina M. E., Khandobina L. M. Big practicum on plant physiology: training manual. Moscow: Vysshaya shkola, 1975. 392 p.
26. OFS 1.2.2.2.0013.15 Total ash. [Electronic resource]. Access point: <https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-2-2-2-0013-15-zola-obshhaya> (reference’s date 04.07.2023).
27. Ermakov A. I., Arasimovich V. V., Yarosh N. P., Peruansky Yu.V., Lukovnikova G. A., Ikonnikova M. I. Methods of biochemical research of plants. Leningrad: Agropromizdat, 1987. 430 p.



28. Dospikhov B. A. Methods of field research. Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 351 p.
29. Chaikovskaya L. A., Ovsienko O. L., Baranskaya M. I., Klyuchenko V. V., Lipieva N. N. The impact of microbial preparations on the content of water soluble forms of copper in the rhizosphere of winter wheat and grain quality // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2018. No. 2(14). P. 46–53. DOI: 10.25637/TVAN.2018.02.04.
30. Priadkina G. A. Pigments, efficiency of photosynthesis and winter wheat productivity // Plant varieties studying and protection. 2018. Vol. 14. No. 1. P. 97–108. DOI: 10.21498/2518-1017.14.1.2018.126524.
31. Sui N., Li M., Meng Q.-W., Tian J.-Ch., Zhao Sh.-J. Photosynthetic characteristics of a super high yield cultivar of winter wheat during late grown period // Agricultural Science in China. 2010. Vol. 9(3). P. 346–354. DOI: 10.1016/S1671-2927(09)60103-6.
32. Gu J., Yin X., Stomph E.J., Struik P.C. Can exploiting natural genetic variation in leaf photosynthesis contribute to increase rice productivity? A simulation analysis // Plant, Cell and Environment. 2014. Vol. 37(1). P. 22–34. DOI: 10.1111/pce.12173.
33. Li P., Wu P., Chen J. Evaluation of flag leaf chlorophyll content index in 30 spring wheat genotypes under three irrigation regimes // Australian Journal of Crop Science. 2012. Vol. 6(6). P. 1123–1130.
34. Ash content in greens, herbs, leaves and salads. [Electronic resource]. Access point: <https://fitaudit.ru/categories/lvs/ash/> (reference's date 04.07.2023).

### Литература

1. Завалин А. А., Алметов Н. С., Бердников В. В., Благовещенская Г. Г. Эффективность применения биопрепаратов в севообороте // Агрохимия. 2010. № 6. С. 28–37.
2. Завалин А. А., Соколов О. А., Шмырева Н. Я. Потоки азота в агрофитоценозе на дерново-подзолистой почве // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 5. С. 17–21. DOI: 10.30850/vrsn/2018/5/17-21.
3. Tikhonovich I. A., Andronov E. E., Provorov N. A. Microevolutionary processes in plant-microbe symbiosis // In book: Genetics, Evolution and Radiation. Crossing Borders, The Interdisciplinary Legacy of Nikolay W. Timofeeff-Ressovsky. Cham: Springer, 2016. P. 441–454. DOI: 10.1007/978-3-319-48838-7\_36.
4. Проворов Н. А., Тихонович И. А. Сельскохозяйственная микробиология и симбиогенетика: синтез классических идей и конструирование высокопродуктивных агроценозов (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2022. Vol. 57. No. 5. С. 821–831. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.5.821rus.
5. Завалин А. А., Кожемяков А. П., Андреев О. А., Лактионов Ю. В., Попова Т. А. [и др.]. Новые технологии производства и применения биопрепаратов комплексного действия. Санкт-Петербург: Химиздат, 2010. 64 с.
6. Коць С. Я., Моргун В. В., Патыка В.Ф., Даценко В. К., Круглова Е. Д., Кириченко Е. В., Мельникова Н. Н., Михалкив Л. М. Биологическая фиксация азота: Монография в 4-х т. Т.1. К.: Логос, 2010. 508 с.
7. Khan M. S., Zaidi A., Musarrat J. Phosphate solubilizing microorganisms: principles and application of microphos technology. Cham: Springer, 2014. 307 p. DOI: 10.1007/978-3-319-08216-5.
8. Satyaprakash M., Nikitha T., Reddi E.U.B., Sadhana B., Satya Vani S. Phosphorous and phosphate solubilising bacteria and their role in plant nutrition // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017. Vol. 6. No. 4. P. 2133–2144. DOI:10.20546/ijemas.2017.604.251.
9. Чайковская Л. А., Овсиенко О. Л. Фосфатмобилизующие микроорганизмы: 1. Биоразнообразие, влияние на минеральное питание растений и их продуктивность // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4 (28). С. 159–182. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-159-182.
10. Jain P., Khichi D.S. Phosphate solubilizing microorganism (PSM): an ecofriendly biofertilizer and pollution manager // Journal of Dynamics in Agricultural Research. 2014. Vol. 1 (4). P. 23–28.
11. Jones D. L., Oburger E. Solubilization of phosphorus by soil microorganisms // In Book: Phosphorus in action. Biological Processes in Soil Phosphorus Cycling. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. P. 169–198. DOI: 10.1007/978-3-642-15271-9\_7.
12. Тихонович И. А., Завалин А. А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации в РФ // Плодородие. 2016. № 5 (92). P. 28–32.
13. Овсиенко О. Л., Чайковская Л. А. Влияние микробного препарата на липидно-пигментный комплекс *Triticum aestivum* L. При загрязнении почвы тяжелыми металлами // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, Химия». 2022. Т. 8. № 4. С. 166–177.
14. Чайковская Л. А., Баранская М. И., Овсиенко О. Л., Клименко Н. Н. Влияние микробных препаратов на адаптивный потенциал озимой пшеницы при воздействии тяжелых металлов // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 4 (20). С. 113–132. DOI 10.33952/2542-0720-2019-4-20-123-132.

15. Крыжко А. В., Кузнецова Л. Н. Влияние биоинсектицидов на основе *Bacillus thuringiensis* на пигментный комплекс и активность оксидаз в листьях картофеля // Вестник Северо-восточного федерального университета. 2018. № 4 (66). С. 5–13. DOI 10.25587/SVFU.2018.66.16113.
16. Крыжко А. В., Буджурова У. М. Особенности влияния *Bacillus thuringiensis* 0271 на отдельные показатели неспецифической резистентности *Origanum vulgare* L. к стрессовым условиям // Известия вузов: Прикладная химия и биотехнология. 2020. № 10 (4). С. 647–656. DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-4-647-656.
17. Крыжко А. В. Взаимодействие растений и энтомопатогенных бактерий *Bacillus thuringiensis* а агроценозе *Origanum vulgare* L. // Труды КубГАУ. 2021. № 91. С. 174–180. DOI: 10.21515/1999-1703-91-174-180.
18. Немтинов В. И. Нигелла посевная в Крыму // Картофель и овощи. 2016. № 10. С. 22–23.
19. Орловская Т.В., Маширова С.Ю. Морфолого-анатомическое изучение семян чернушки посевной (*Nigella sativa* L.) и чернушки дамасской (*Nigella damascena* L.) // Традиционная медицина. 2012. № 3 (30). С. 54–57.
20. Баранская М. И., Чайковская Л. А., Немтинов В. И. Воздействие биоагентов микробных препаратов (*Rhizobium radiobacter* 204, *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3, *Paenibacillus polymyxa* П) на семена *Nigella damascena* L. // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 3 (23). С. 18–25. DOI 10.33952/2542-0720-2020-3-23-18-25.
21. Патент России № 11207. «*Nigella damascena* L. сорт Ялита» // Авторы: Глумова В. И., Немтинов В. И. Патентообладатель: ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». 2020.
22. Патент РФ № 2676926. «Фосфатмобилизующий штамм почвенных бактерий *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3 и биопрепарат на его основе для оптимизации минерального питания растений, стимуляции их роста и повышения урожайности» // Авторы: Чайковская Л. А., Мельничук Т. Н., Каменева И. А., Баранская М. И., Овсиенко О. Л. Патентообладатель: ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». 2019.
23. Патент РФ №.2777194. «Комплексный биопрепарат для оптимизации минерального питания растений, защиты от фитопатогенов, повышения продуктивности и способ получения этого биопрепарата» // Авторы: Каменева И. А., Мельничук Т. Н., Якубовская А. И., Чайковская Л. А., Паштецкий В. С., Гритчин М. В., Коноплева Г. Н. Патентообладатель ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». 2022.
24. Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность», вид Нигелла (*Nigella* L.). // Официальный бюллетень ФГБНУ «Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений». 2019. № 9 (249). Секция 8. С. 674–682.
25. Гавриленко В. Ф., Ладыгина М. Е., Хандобина Л. М. Большой практикум по физиологии растений: учебное пособие. М.: Высшая школа, 1975. 392 с.
26. ОФС 1.2.2.2.0013.15. Зола общая. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pharmacosroieia.ru/ofs-1-2-2-2-0013-15-zola-obshhaya/> (дата обращения 04.07.2023).
27. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П., Перуанский Ю. В., Луковникова Г. А., Иконникова М. И. Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 456 с.
28. Доспехов Б. А. Методы полевых исследований. М.: Книга по требованию, 2012. 351 с.
29. Чайковская Л. А., Овсиенко О. Л., Баранская М. И., Ключенко В. В., Липиева Н. Н. Воздействие микробных препаратов на содержание водорастворимых форм меди в ризосфере озимой пшеницы и качество зерна // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 2 (14). С. 46–53. DOI: 10.25637/TVAN.2018.02.04.
30. Прядкина Г. А. Пигменты, эффективность фотосинтеза и продуктивность пшеницы // Физиология и генетика растений. 2018. Т. 14. № 1. С. 97–108. DOI: 10.21498/2518-1017.14.1.2018.126524.
31. Sui N., Li M., Meng Q.-W., Tian J.-Ch., Zhao Sh.-J. Photosynthetic characteristics of a super high yield cultivar of winter wheat during late grown period // Agricultural Science in China. 2010. Vol. 9(3). P. 346–354. DOI:10.1016/S1671-2927(09)60103-6.
32. Gu J., Yin X., Stomph E. J., Struik P. C. Can exploiting natural genetic variation in leaf photosynthesis contribute to increase rice productivity? A simulation analysis // Plant, Cell and Environment. 2014. Vol. 37(1). P. 22 – 34. DOI: 10.1111/pce.12173.
33. Li P., Wu P., Chen J. Evaluation of flag leaf chlorophyll content index in 30 spring wheat genotypes under three irrigation regimes // Australian Journal of Crop Science. 2012. Vol. 6(6). P. 1123–1130.
34. Ash content in greens, herbs, leaves and salads. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fitaudit.ru/categories/lvs/ash/> (дата обращения 04.07.2023).

УДК 579.64: 582.675.1: 581.192

Чайковская Л. А., Немтинов В. И., Баранская М. И., Паштецкий В. С., Пехова О. А.,  
Тимашева Л. А., Радченко Л. А., Якушева Н. Н., Белова И. В.

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА СОДЕРЖАНИЕ  
ХЛОРОФИЛЛОВ, ПРОДУКТИВНОСТЬ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
*NIGELLA DAMASCENA* L.**

**Реферат.** Одним из элементов современных агротехнологий выращивания растений является применение микробных препаратов на основе эффективных штаммов бактерий, обладающих широким спектром полезных свойств: азотфиксацией, фосфатмобилизацией, способностью продуцировать фитогормоны и другие физиологически активные вещества. Объекты исследований: нигелла (*Nigella damascena* L.) и микробные препараты, созданные в отделе сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»: Азостим<sup>аэро</sup> (А), Фосфостим<sup>аэро</sup> (Ф), Биопрофид<sup>аэро</sup> (Б) и Микробиоком<sup>аэро</sup> (М.). Цель наших исследований заключалась в определении влияния микробных препаратов (предпосевная инокуляция семян) на содержание хлорофиллов, урожайность семян *Nigella damascena* L. (сорт Ялита), а также продуктивность и биохимический состав фитомассы в условиях микрополевых экспериментов. Исследования проводили в 2021–2022 гг. Анализ полученных результатов показал позитивное влияние предпосевной бактериализации семян на содержание аскорбиновой кислоты и сахаров в фитомассе *N. damascena*. Наибольшая прибавка по сравнению с контролем получена в вариантах с применением А и Ф: накопление аскорбиновой кислоты увеличилось на 13 %; общих сахаров, моно- и дисахаров – на 8 %, 5 % и 12 % соответственно (среднее за два года). Установлено, что применение микробных препаратов для предпосевной инокуляции семян *N. damascena* способствовало повышению содержания хлорофиллов а и b (в среднем на 19–24 % по сравнению с контролем) в её листьях, что в свою очередь позволило получить достоверную прибавку фитомассы (в среднем а.с.м. бактеризованных растений превышала контроль в 1,8 раза: 0,94 г против 0,54 в контроле), а при использовании М – также и урожайности семян (в 1,8 раза и на 13 % против контроля соответственно). Проведенные исследования свидетельствуют о перспективе применения предпосевной бактериализации семян микробными препаратами как элемента агротехнологии при выращивании нигеллы.

**Ключевые слова:** нигелла (*Nigella damascena* L.), микробные препараты, фотосинтезирующие пигменты, аскорбиновая кислота, сахара, продуктивность.

Chaikovskaya Ludmila Aleksandrovna, Dr. Sc. (Agr.), senior researcher, Laboratory of physiology and ecology of microorganisms, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: ludachaika@mail.ru.

Nemtinov Viktor Illarionovich, Dr. Sc. (Agr.), chief researcher, Laboratory of vegetable and melon crops plant breeding, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: nemtin2@mail.ru.

Baranskaya Marina Ivanovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, Laboratory of of physiology and ecology of microorganisms, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: baranskaya@rambler.ru.

Pashtetsky Vladimir Stepanovich, Dr. Sc. (Agr.), director of the FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: pvs98a@gmail.com.

Pekhova Olga Antonovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, Laboratory of processing and standardization of plant raw materials, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: isocrimea@gmail.com.

Timasheva Lidiya Alekseevna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, Laboratory of processing and standardization of plant raw materials, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: isocrimea@gmail.com.

Radchenko Lyudmila Anatolyevna, Cand. Sc. (Agr.), deputy director for scientific work, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: radchenkolydmila@yandex.ru.

Yakusheva Nina Nikolaevna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, Laboratory of physiology and ecology of microorganisms, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: ninaklymenko@yandex.ru.

Белова Ирина Викторовна, Cand. Sc. (Agr.), researcher, Laboratory of processing and standardization of plant raw materials, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 295453, 150 Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, Russia; e-mail: isocrimea@gmail.com.

Чайковская Людмила Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии и физиологии микроорганизмов, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ludachaika@mail.ru.

Немтинов Виктор Илларионович, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела селекции и семеноводства овощных и бахчевых культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: nemtin2@mail.ru.

Баранская Марина Ивановна, 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; e-mail: baranskaya@gambler.ru

Паштецкий Владимир Степанович, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, старший научный сотрудник, директор ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: pvs98a@gmail.com.

Пехова Ольга Антоновна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий 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: e-mail: isocrimea@gmail.com.

Тимашева Лидия Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела переработки и стандартизации эфиромасличного сырья ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: isocrimea@gmail.com.

Радченко Людмила Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская 150; e-mail: radchenkolydmila@yandex.ru.

Якушева Нина Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии и физиологии микроорганизмов, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ninaklymenko@yandex.ru.

Белова Ирина Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела переработки и стандартизации эфиромасличного сырья, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: isocrimea@gmail.com.

*Дата поступления в редакцию – 28.09.2023  
Дата принятия к печати – 18.11.2023*







Свободная цена