



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

# ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
DOI:10.33952/2542-0720

TAURIDA HERALD  
OF THE AGRARIAN SCIENCES

№ 3 (23)

DOI:10.33952/2542-0720-2020-3-23

2020

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 - Мягих Е.Ф.  
Выпускающий редактор - Овчаренко Н.С.  
Технический редактор - Козак И.Е.  
Ответственный секретарь - Дунаева Е.А.

#### Адрес редакции:

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

#### Издатели:

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

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/10,  
Тираж 500 экз.

Подписано к печати 11.12.2020.

Отпечатано с оригинал-макета  
в типографии «ИТ «АРИАЛ».  
295015, Республика Крым,  
г. Симферополь, ул. Севастопольская, 31-а/2,  
тел.: +7 978 71 72 901,  
e-mail: it.arial@yandex.ru,  
www.arial.3652.ru

Дата выхода: 14.12.2020.  
Дизайн и верстка - Н.С. Овчаренко,  
Е.А. Дунаева  
© ФГБУН «НИИСХ Крыма», 2020.  
© Авторы статей, 2020.  
© Авторы иллюстраций, 2020.

№3 (23), 2020

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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., ФГБУН «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., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Завалий А.А., д.т.н., профессор ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»; Клименко Н.П., к.т.н., ФГБОУ ВО «КГМТУ»; 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., ФГБУН «ИКИ РАН»; Мельничук Т.Н., д.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Митрофанова И.В., д.б.н., ФГБУН «НБС-ННЦ», профессор ФГБОУ ВПО «Уральский ГАУ»; Мишнёв А.В., к.с.-х.н., ФГБУН «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., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Немтинов В.И., д.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Остапчук П.С., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Паштецкий В.С., д.с.-х.н., директор ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Плугатарь Ю.В., д.с.-х.н., директор ФГБУН «НБС-ННЦ»; Просянникова 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., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Song J., Ph.D (candidate), King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang; Soytong K., Dr.Ph., president of Association of Agricultural Technology in Southeast Asia, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang; Соколенко О.Н., к.т.н., ФГБОУ ВО «КубГАУ им. И.Т. Трубилина»; Тарасенко В.С., д.г.-м.н., профессор, ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Терлеев В.В., д.с.-х.н., профессор СПбПУ; Тимашёва Л.А., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Тихонович И.А., д.б.н., академик РАН, директор ФГБНУ «ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии»; Ткаченко О.Б., д.б.н., ФГБУН «ГБС РАН»; Топунов А.Ф., д.б.н., профессор ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН; Турина Е.Л., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Фарниев А.Т., д.с.-х.н., профессор ФГБОУ ВО «Горский ГАУ»; 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., ФГБУН «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»; Шхагапсоев С.Х., д.б.н., профессор «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова».

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Бабанина С.С., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Дидович С.В., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Донник И.М., д.б.н., профессор, академик РАСХН, вице-президент РАН; Дунаева Е.А., к.т.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Мягих Е.Ф., к.б.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Овчаренко Н.С., к.б.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Паштецкий В.С., д.с.-х.н., директор ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Радченко Л.А., к.с.-х.н., ФГБУН «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 Российской Федерации: 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.ru](mailto:priemnaya@niishk.ru)

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:

##### Биологические науки 03.00.00:

03.02.00 – Общая биология

03.02.03 – Микробиология

03.02.14 – Биологические ресурсы

##### Сельскохозяйственные науки 06.00.00:

06.01.00 – Агрономия

06.01.01 – Общее земледелие

06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

06.01.05 – Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений

##### Технические науки 05.00.00:

05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем

05.20.01 – Технология и средства механизации сельского хозяйства

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).

Каждой статье, опубликованной в журнале, редакция издания присваивает идентификатор цифрового объекта DOI (Crossref).

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

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

Russian Science  
Citation Index



РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС  
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

Science Index



Crossref



AGRIS



ULRICHSWEB™  
GLOBAL SERIALS DIRECTORY



Google  
Академия



АНТИПЛАГИАТ

СОДЕРЖАНИЕ

Агасьева И. С., Исмаилов В. Я., Нефедова М. В., Федоренко Е. В., Настасий А. С. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ БОРЬБЫ С ХЛОПКОВОЙ СОВКОЙ НА КУКУРУЗЕ ДЛЯ ЭКОЛОГИЗИРОВАННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ	8
Баранская М. И., Чайковская Л. А., Немтинов В. И. ВОЗДЕЙСТВИЕ БИОАГЕНТОВ МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ ( <i>RHIZOBIUM RADIOBACTER</i> 204, <i>LELLIOTIA NIMIPRESSURALIS</i> ССМ 32-3, <i>PAENIBACILLUS POLYMYXA</i> П) НА СЕМЕНА <i>NIGELLA DAMASCENA</i> L.	18
Богоутдинов Д. З., Гирсова Н. В., Кастальева Т. Б. АНАЛИЗ ВИДОВОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ, ПОРАЖАЕМЫХ ФИТОПЛАЗМОЙ ГРУППЫ СТОЛБУРА В РОССИИ	26
Волкова Л. В., Лисицын Е. М., Амунова О. С. РОЛЬ ГЕНОТИПА И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ В ФОРМИРОВАНИИ МОРФОБИОЛОГИЧЕСКИХ И ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ	43
Высоцкая Л. Б., Четвериков С. П., Кузина Е. В., Архипова Т. Н., Рафикова Г. Ф., Шарипов Д. А., Худайгулов Г. Г., Четверикова Д. В., Бакаева М. Д., Коршунова Т. Ю., Логинов О. Н., Кудоярова Г. Р. ВЛИЯНИЕ АУКСИНПРОДУЦИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРИКОРНЕВОЙ ЗОНЕ ЯЧМЕНЯ ПРИ НЕФТЯНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ	59
Галушко Н. А., Корнеева В. И. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ СЕЛЕКЦИИ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО ФНАЦ	70
Гулянов Ю. А. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ВЛАГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРИЁМОВ В ЛАНДШАФТНО-АДАПТИВНЫХ СИСТЕМАХ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ОРЕНБУРГСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ	79
Золотилов В. А., Невкрытая Н. В., Золотилова О. М., Скипор О. Б. ИТОГИ СЕЛЕКЦИИ РОЗЫ ЭФИРОМАСЛИЧНОЙ НА ВЫСОКИЙ ВЫХОД КОНКРЕТА	93
Измаилова Д. С. ПОВЫШЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА <i>TRITICUM DURUM</i> ПУТЕМ ВНЕСЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЯ ВНЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК	105
Камбулов С. И., Пархоменко Г. Г., Семенихина Ю. А., Божко И. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬЧИРУЮЩИХ КАТКОВ В КОНСТРУКЦИИ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ	113
Некрасов Е. И., Ионова Е. В. ВОДОУДЕРЖИВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВЫРАЩИВАНИЯ	122
Приходько А. В., Караева Н. В., Зубоченко А. А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРИТИКАЛЕ ОЗИМОЙ НА ЗЕЛЕНое УДОБРЕНИЕ В РАЗЛИЧНЫЕ ФАЗЫ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ	131

Симонова О. А., Симонов М. В., Товстик Е. В. СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОАККУМУЛЯЦИИ ЖЕЛЕЗА В РАСТЕНИЯХ ЯЧМЕНЯ	142
Терлеев В. В., Дунаева Е. А., Гиневский Р. С., Лазарев В. А., Топаж А. Г. ГИСТЕРЕЗИС ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВЫ: СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ПЫЛЕВАТОГО СУГЛИНКА	152
Турин Е. Н., Женченко К. Г., Гонгало А. А., Зубоченко А. А., Сусский А. Н. ВЫРАЩИВАНИЕ СОРГО ДВУЦВЕТНОГО ( <i>SORGHUM BICOLOR</i> (L.) MOENCH) ПО НУЛЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ (NO-TILL) В СРАВНЕНИИ С ТРАДИЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ В СТЕПНОМ КРЫМУ	168
Baranskaya M. I., Chaikovskaya L. A. INFLUENCE OF PLANT GROWTH REGULATORS ON RESISTANCE OF <i>LELLIOTTIA NIMIPRESSURALIS</i> CCM 32-3 TO GRAIN PROTECTANTS	179

CONTENTS

Agasyeva I. S., Ismailov V. Ya., Nefedova M. V., Fedorenko E. V., Nastasiy A. S. DEVELOPMENT OF THE METHODS OF BIOLOGICAL CONTROL OF <i>HELICOVERPA ARMIGERA</i> HÜBNER ON CORN FOR ECO-SAFE FARMING	8
Baranskaya M. I., Chaikovskaya L. A., Nemtinov V. I. EFFECT OF BIOLOGICAL AGENTS OF MICROBIAL PREPARATIONS ( <i>RHIZOBIUM RADIOBACTER</i> 204, <i>LELLIOTTIA NIMIPRESSURALIS</i> CCM 32-3, <i>PAENIBACILLUS POLYMYXA</i> P) ON THE SEEDS OF <i>NIGELLA DAMASCENA</i> L.	18
Bogoutdinov D. Z., Girsova N. V., Kastaleva T. B. ANALYSIS OF THE SPECIES COMPOSITION OF PLANTS INFECTED WITH PHYTOPLASMA OF THE STOLBUR GROUP IN RUSSIA	26
Volkova L. V., Lisitsyn E. M., Amunova O. S. ROLE OF GENOTYPE AND WEATHER CONDITIONS IN THE FORMATION MORPHOBIOLOGICAL AND ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS OF SPRING SOFT WHEAT	43
Vysotskaya L. B., Chetverikov S. P., Kuzina E. V., Arkhipova T. N., Rafikova G. F., Sharipov D. A., Khudaygulov G. G., Chetverikova D. V., Bakaeva M. D., Korshunova T. Yu., Loginov O. N., Kudoyarova G. R. INFLUENCE OF AUXIN PRODUCING BACTERIA ON THE AMOUNT OF ORGANIC COMPOUNDS IN THE ROOT ZONE OF BARLEY DURING OIL POLLUTION	59
Galushko N. A., Korneeva V. I. ECOLOGICAL PLASTICITY OF WINTER WHEAT VARIETIES SELECTED IN THE NORTH CAUCASUS FARC.	70
Gulyanov Yu. A. EFFICIENCY OF NATURE-LIKE WATER-SAVING METHODS IN LANDSCAPE-ADAPTIVE FARMING SYSTEMS OF STEPPE ZONE OF ORENBURG URALS	79
Zolotilov V. A., Nevkrytaya N. V., Zolotilova O. M., Skipor O. B. RESULTS OF THE ESSENTIAL OIL ROSE BREEDING TO OBTAIN HIGH YIELD OF CONCRETE	93
Izmailova D. S. INCREASING YIELD AND QUALITY OF <i>TRITICUM DURUM</i> GRAIN BY APPLYING NITROGEN FERTILIZERS AND FOLIAR DRESSING	105
Kambulov S. I., Parkhomenko G. G., Semenikhina Yu. A., Bozhko I. V. USE OF MULCHING ROLLERS IN THE DESIGN COMBINED SOIL PROCESSING UNITS	113
Nekrasov E.I., Ionova E. V. WATER-HOLDING CAPACITY OF WINTER SOFT WHEAT VARIETIES UNDER VARIOUS GROWING CONDITIONS	122
Prikhodko A. V., Karaeva N. V., Zubochenko A. A. WINTER TRITICALE USED AS GREEN MANURE AT DIFFERENT PHASES OF THE VEGETATIVE CYCLE	131

Simonova O. A., Simonov M. V., Tovstik E. V. VARIETAL FEATURES OF IRON BIOACCUMULATION IN BARLEY PLANTS	142
Terleev V. V., Dunaieva Ie. A., Ginevsky R. S., Lazarev V. A., Topazh A. G. HYSTERESIS OF SOIL WATER-RETENTION CAPACITY: COMPARISON OF MODELS ON THE EXAMPLE OF SILT LOAM	152
Turin E. N., Zhenchenko K. G., Gongalo A. A., Zubochenko A. A., Susskiy A. N. COMPARISON OF NO-TILL AND TRADITIONAL FARMING SYSTEM IN THE CONTEXT OF <i>SORGHUM BICOLOR</i> (L.) MOENCH CULTIVATION IN THE STEPPE CRIMEA	168
Baranskaya M. I., Chaikovskaya L. A. INFLUENCE OF PLANT GROWTH REGULATORS ON RESISTANCE OF <i>LELLIOTTIA NIMIPRESSURALIS</i> CCM 32-3 TO GRAIN PROTECTANTS	179

DOI 10.33952/2542-0720-2020-3-23-8-17

УДК 632.937

Агасьева И. С., Исмаилов В. Я., Нефедова М. В., Федоренко Е. В., Настасий А. С.

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ БОРЬБЫ С ХЛОПКОВОЙ СОВКОЙ НА  
КУКУРУЗЕ ДЛЯ ЭКОЛОГИЗИРОВАННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений»

**Реферат.** Хлопковая совка (*Helicoverpa armigera* Hübner) – один из наиболее опасных вредителей сельскохозяйственных культур на юге России. В последние годы потери урожая кукурузы от хлопковой совки в среднем составляли 25 %. Контроль ее численности недостаточно эффективен, так как регулярные химические обработки традиционными инсектицидами приводят к формированию резистентных популяций вредителя. Цель исследований – разработка системы биологической защиты кукурузы от хлопковой совки на основе применения энтомофагов, энтомопатогенов и естественной биоценотической регуляции. Исследования проводили в 2017–2019 гг. во Всероссийском НИИ биологической защиты растений и базовых хозяйствах Краснодарского края: ООО «Кубанские консервы», Тимашевский район (88 га), ООО «Агронова», Лабинский район (170 га), выращивающих сельскохозяйственные культуры по технологиям органического земледелия. Сезонную динамику численности хлопковой совки определяли с помощью ловушек с синтетическим феромоном – 1 ловушка/4–5 га. Массовое разведение эктопаразита *Nabrobracon hebetor* Say для интродукции в посевы кукурузы проводили, используя в качестве насекомого-хозяина гусениц воцинной огневки (*Galleria mellonella* L.), норма выпуска энтомофага – 1–2 тыс. особей/га. Характерная особенность фенологического развития хлопковой совки в 2018–2019 гг. – очень высокая численность перезимовавшего поколения – отлов в феромонные ловушки за семь суток составлял 23–28 самцов/ловушка, что превышало экономический порог вредоносности (5–8 самцов/ловушка). Отмечены три четко выраженные генерации вредителя с пиками летней активности бабочек в июне, июле и августе. Против вредителя проведены испытания биологических препаратов «Аккар», Ж (4 л/га), «Лепидоцид», СК (2 л/га) и «ФермоВирин», ВЯП ХС (2 г/га), средние показатели эффективности которых после обработки составили на третьи сутки 88,9; 86,5 и 86,7 % соответственно. В технологиях органического растениеводства для контроля численности и вредоносности хлопковой совки рекомендован выпуск энтомофагов – трихограммы и габробракона в сочетании с обработками биопрепаратами.

**Ключевые слова:** хлопковая совка, биологическая защита, биопрепараты, энтомофаги, *Nabrobracon hebetor* Say, трихограмма.

**Введение**

Хлопковая совка (*Helicoverpa armigera* Hübner) является многоядным фитофагом, повреждающим около 200 видов растений, среди которых основными являются хлопчатник, кукуруза, томаты, подсолнечник, соя, нут и другие. Именно она является распространенным и опасным вредителем кукурузы в мировом растениеводстве. Заселенность посевов кукурузы этим вредителем нередко достигает 50–60 %, в результате заметно уменьшается число початков, снижается масса и качество зерна [1–3]. В последние годы сообщают о необходимости проведения защитных мероприятий от *H. armigera* в виноградниках [4]: в определенных условиях совка способна уничтожить свыше 50 % урожая винограда, то есть до 60 ц/га [5].



Бабочки хлопковой совки способны к миграции на дальние расстояния, что приводит к широкому и быстрому ее распространению: присутствие популяций вредителя зафиксировано в Австралии, Азии, Африке, Европе [6, 7] и совсем недавно – в Южной Америке [8].

Высокая миграционная способность, полифагия и прожорливость *H. armigera*, а также способность быстро развивать устойчивость к инсектицидам делают изучаемый объект серьезной и постоянной угрозой для многих сельскохозяйственных культур в странах Старого и Нового Света [1, 9, 10].

Полевые популяции *H. armigera* быстро становятся резистентными и достигают таких уровней устойчивости, которые снижают эффективность препаратов всех химических групп инсектицидов, обычно используемых для управления численностью этого вредителя [1, 8, 11, 12]. В нескольких исследованиях сообщалось, что *H. armigera* проявляла устойчивость к В-трансгенным растениям, содержащим гены бактерии *Bacillus thuringiensis* [13, 14].

Все чаще вредитель встречается на томатах, нуте, подсолнечнике, сое, люцерне, табаке, хлопчатнике. Потери урожая могут достигать: кукурузы – 20 %, томата – 35 %, табака – 30–50 % [15, 16]. Большая доля (81 %) повреждений зерна сои принадлежит гусеницам хлопковой совки, а в годы массового развития вредитель может полностью уничтожать урожай сои.

Для улучшения экологической обстановки и развития органического земледелия необходимо постепенно отказываться от химических средств защиты растений в пользу экологически малоопасных биоинсектицидов на основе вирусов, бактерий, грибов и других естественных врагов насекомых. На сегодня вирусные инсектицидные препараты, благодаря их высокой эффективности и безопасности для человека и окружающей среды рассматривают как один из перспективных и важнейших компонентов интегрированной защиты овощных, плодовых и зерновых культур [17–19]. Помимо использования вирусов в качестве биопрепаратов представляется перспективной их роль как естественных регуляторов для численности насекомых-вредителей на экономически и экологически безопасном уровне путём создания интродуцированных эпизоотий.

Высокая вредоносность и миграционная активность хлопковой совки, сопровождаемые масштабными обработками традиционными инсектицидами, приводящими к быстрому формированию резистентных популяций вредителя [20], а также принятие закона об органическом земледелии требуют ускорения научно-исследовательских работ по созданию беспестицидных систем защиты кукурузы, среди которых большое значение необходимо уделять методам, нарушающим нормальные репродуктивные функции и метаморфоз насекомых.

**Цель исследований** – разработка системы биологической защиты кукурузы от хлопковой совки *H. armigera* на основе применения энтомофагов, энтомопатогенов и естественной биоценотической регуляции.

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

Исследования проводили в 2017–2019 гг. на базе десятипольного зернопропашного севооборота ФГБНУ «ВНИИБЗР» на посевах кукурузы площадью 1 га, засеянных гибридом среднего срока созревания Краснодарский 291 АМВ; в хозяйстве ООО «Кубанские консервы» Тимашевского района, площадью 88 га, сорт – Турбо; хозяйстве, сертифицированном по органическому стандарту ООО «Агронова» Лабинского района, площадью 170 га, на гибридах ГС-370, КСС 5230.

Тенденцию лёта самцов вредителя определяли с помощью феромонных ловушек «Атракон А» с клеевыми вкладышами из бумаги «Тетропак» [20]. Для этого за 10–15 дней до начала сезонного лёта устанавливали три контрольные

ловушки, а при отлове первых самцов хлопковой совки проводили размещение учетных ловушек из расчета одна ловушка на 4–5 га. Учеты отловленных бабочек проводили один–два раза в неделю до уборки урожая (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Феромонная ловушка с отловленными самцами хлопковой совки**

Учет численности хлопковой совки проводили на 30–35 растениях, просматривая початки кукурузы в разных точках поля в четырех повторностях [20].

Для биологического контроля хлопковой совки использовали эктопаразита *Nabrobracon hebetor* Say, которого разводили в лаборатории Государственной коллекции энтомоакарифагов и первичной оценки биологических средств защиты растений. Разведение проводили, используя в качестве объекта заражения гусениц вошинной огневки (*Galleria mellonella* L.) [20, 21]. Для этого по 100 гусениц помещали в стеклянные емкости объемом 1 л. Далее к гусеницам *G. mellonella* подсеяли от 30 до 40 самок габробракона. По прошествии 10–14 суток сформировавшихся имаго паразитов распределяли в специальную стеклянную тару емкостью 0,5 л с изолирующими бумажными лентами, сложенными гармошками, которые помещали в сумки-холодильники, доставляли к месту интродукции и выпускали в количестве 1–2 тыс. особей на 1 га, равномерно расселяя по всей территории опытного участка [21]. Сигналом для внесения энтомофага служило обнаружение на посевах кукурузы до 50 % гусениц средних возрастов хлопковой совки, повторная колонизация паразита осуществлялась через пять–восемь суток.

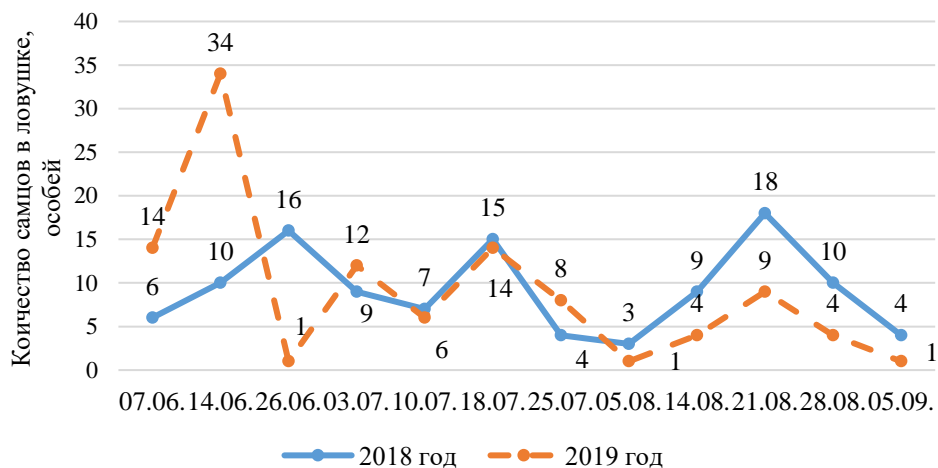
Испытания биопрепаратов «Аккар», Ж (*Verticillium lecanii* F 239, 1 млн/мл; *Hirsutella thompsonii* AC-963, 1 млн/мл; *Beauveria bassiana* F-1357, 1 млн/мл; *Bacillus thuringiensis* ИВМ В-7072, 2 млрд/мл; абамектин, 18 г/л), норма расхода – 4 л/га и «Лепидоцид», СК (БА 2000 ЕА/мг, титр – 10 млрд/г), норма расхода – 2 л/га и вирусного инсектицида «ФермоВирин», ВЯП ХС при нормах расхода – 1 г/га и 2 г/га проводили в период массового отрождения гусениц хлопковой совки из яиц.

Первоначальные данные статистически обработаны при помощи программы Statistica 13 с использованием теста Дункана.

Работу проводили на материально-технической базе УНУ (уникальной научной установки) «Технологическая линия по массовому разведению насекомых-энтомофагов» (<http://ckp-rf.ru/> реестровый № 671922), с использованием объектов БРК (биоресурсной коллекции) «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов» ФГБНУ ВНИИБЗР (БРК «ГКЭМ» <http://ckp-rf.ru/>, реестровый № 585858).

### **Результаты и их обсуждение**

Характерная особенность фенологического развития хлопковой совки в 2018–2019 гг. – очень высокая численность перезимовавшего поколения вредителя [20], что подтверждается массовым лётом самцов в первой и второй декадах июня – от 15 до 35 экз./ловушку за семь–восемь суток (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Динамика лёта самцов хлопковой совки *H. armigera* Hübner (ФГБНУ ВНИИБЗР)**

Количество самцов перезимовавшего поколения, отловленных феромонными ловушками, с 14 июня начало снижаться, лёт бабочек практически прекратился. Лёт первой летней генерации хлопковой совки начался пятого июля и носил непрерывный характер, а своего максимума достигал в период с пятого по 25 июля, который составлял в среднем 10–15 особей/лов., и затем незначительно снижался до трех–четырёх самцов на ловушку (05.07.), но после замены феромонных диспенсеров лёт опять вырос до 10 экз./лов. за неделю (рисунок 2). В 2019 г. отмечены три четко выраженные генерации хлопковой совки с пиками лёта в июне, июле и августе.

В течение вегетации 2018–2019 гг. в хозяйствах ООО «Кубанские консервы» и ООО «Агронова» против хлопковой совки проводили обработки биопрепаратами «Аккар», Ж и «Лепидоцид», СК. Обработку против гусениц хлопковой совки проводили в фазе развития растений Zad.71 – налив–молочная спелость, в этот период наблюдали массовый лёт бабочек и отрождение гусениц из яйцекладок. Для предупреждения внедрения отродившихся гусениц в початки провели обработку. Учет эффективности препаратов «Аккар», Ж и «Лепидоцид», СК проводили на третьи, седьмые и 14-е сутки после обработки, просматривая по 50 початков в каждой повторности. В каждом учете – четыре повторности. На третьи сутки после обработки оценили эффективность действия препарата «Аккар», Ж и «Лепидоцид», СК. В опытных вариантах в ООО «Кубанские консервы» (2018 г.) их эффективность составила 89,0 и 87,3 %, в ООО «Агронова» (2019 г.) – 88,8 и 85,6 % соответственно. В контроле численность хлопковой совки в годы исследований составила 11,9–12,5 особей на 25 початков. Через семь суток после обработки эффективность препаратов немного снизилась и составила в хозяйстве ООО «Кубанские консервы» 84,5 % («Аккар», Ж) и 80,5 % («Лепидоцид», СК), в ООО «Агронова» – 87,7 % («Аккар», Ж) и 83,4 % («Лепидоцид», СК). Через 14 суток после обработки количество хлопковой совки в контроле продолжало увеличиваться и составило в 2018 г. 18,0 особей на 25 початков, в 2019 г. – 19,5 особей. Эффективность «Аккара», Ж за два года составила 81,8 и 80,0 %, «Лепидоцида», СК – 74,4 и 75,8 % (таблица 1).

В борьбе с гусеницами вредителя второй летней генерации был испытан препарат на основе вируса ядерного полиэдроза хлопковой совки «ФермоВирин», ВЯП ХС. В фазе развития растения Zad.19 – девятый и последующие листья на опытных делянках были вывешены феромонные ловушки для мониторинга хлопковой совки и определения оптимального срока проведения обработок. Первую

обработку против гусениц хлопковой совки провели (фаза развития растения –Zad.55-59 – конец цветения) в период активного лёта бабочек и яйцекладки, что позволило предотвратить внедрение отродившихся гусениц в початки. В связи с непрерывным летом хлопковой совки через 10 дней (фаза развития растения – Zad.69-71 – конец цветения–начало образования зерна) была проведена вторая обработка.

**Таблица 1 – Биологическая эффективность инсектицида «Аккар», Ж и «Лепидоцид», СК в борьбе с хлопковой совкой (*H. armigera*) на кукурузе в Краснодарском крае (2018–2019 гг.)**

Вариант	Норма расхода, л/га	Число гусениц на 25 початков после обработки по суткам учетов			Снижение численности относительно контроля после обработки по суткам учетов, %		
		3	7	14	3	7	14
ООО «Кубанские консервы», 2018 г.							
«Аккар», Ж	4,0	1,3 <sup>a*</sup>	2,3 <sup>b</sup>	3,4 <sup>c</sup>	89,0	84,5	81,8
«Лепидоцид», СК	2,0	1,5 <sup>a</sup>	2,9 <sup>bc</sup>	4,6 <sup>s</sup>	87,3	80,5	74,4
Контроль	-	11,9 <sup>d</sup>	14,9 <sup>e</sup>	18,0 <sup>f</sup>	-	-	-
ООО «Агронова», 2019 г.							
«Аккар», Ж	4,0	1,4 <sup>a*</sup>	2,7 <sup>b</sup>	3,9 <sup>c</sup>	88,8	87,7	80,0
«Лепидоцид», СК	2,0	1,8 <sup>a</sup>	2,5 <sup>bc</sup>	4,7 <sup>s</sup>	85,6	83,4	75,8
Контроль	-	12,5 <sup>d</sup>	15,1 <sup>e</sup>	19,5 <sup>f</sup>	-	-	-

**Примечание.** \* при сравнении в пределах столбцов между вариантами, обозначенными одинаковыми буквенными индексами, отсутствуют статистически достоверные различия по критерию Дункана при 95 % уровне вероятности.

Учет эффективности препарата «ФермоВирин», ВЯП ХС проводили (фаза развития растения – Zad.83 – ранняя восковая спелость), просматривая по 50 початков в каждой повторности. Результаты испытаний, представленные в таблице 2, показывают, что препарат эффективен против хлопковой совки: эффективность при нормах расхода 1,0 и 2,0 г/га в среднем за два года исследований составила 77,7 и 86,7 % соответственно.

**Таблица 2 – Биологическая эффективность инсектицида «ФермоВирин», ВЯП ХС, в борьбе с хлопковой совкой (*H. armigera*) на кукурузе в Краснодарском крае (Лабинский район, 2017–2018 гг.)**

Вариант	Норма расхода, г/га	Число поврежденных початков из 50 просмотренных, шт.*	Снижение поврежденности относительно контроля, %
2017 г.			
«ФермоВирин», ВЯП ХС	1,0	4,7 <sup>b*</sup>	76,9
«ФермоВирин», ВЯП ХС	2,0	2,5 <sup>a</sup>	87,7
Контроль	-	20,4 <sup>c</sup>	-
2018 г.			
«ФермоВирин», ВЯП ХС	1,0	5,5 <sup>b*</sup>	78,5
«ФермоВирин», ВЯП ХС	2,0	3,9 <sup>a</sup>	85,6
Контроль	-	25,7 <sup>c</sup>	-

**Примечание.** \* при сравнении в пределах столбцов между вариантами, обозначенными одинаковыми буквенными индексами, отсутствуют статистически достоверные различия по критерию Дункана при 95 % уровне вероятности.

В период начала массовой яйцекладки хлопковой совки был проведён выпуск трихограммы (*Trichogramma evanescens* West.) из расчета 3 г/га. Интродукцию биоагента производили с помощью беспилотного гексакоптера «Фитосан 2Б»,

оснащенного специальным оборудованием и лётной программой. Эффективность применения трихограммы составила 55–60 %.

Перспективным энтомофагом является *H. hebetor* [20], поэтому в очаги по гусеницам средних и старших возрастов хлопковой совки проводили его выпуск. Для учета эффективности габробракона регулярно вывешивали специальные кассеты с гусеницами хлопковой совки (рисунок 3).



Рисунок 3 – Кассеты с гусеницами хлопковой совки разных возрастов

По зараженности гусениц-вредителей проводили первичную оценку паразитической активности энтомофага, которую определяли по количеству парализованных и паразитированных гусениц хлопковой совки [21]. Численность хлопковой совки эффективно сдерживалась (на уровне ниже ЭПВ) до конца июля регулярным выпуском энтомофагов и обработками биопрепаратами. Комплексная эффективность защитных мероприятий против хлопковой совки составила 83–91 %.

#### Выводы

Эффективная система защиты кукурузы от хлопковой совки определяется достоверными методами феромониторинга вредного объекта, позволяющими проводить оптимизацию защитных мероприятий в условиях сочетания комплекса биологических и биорациональных средств защиты растений, главными составляющими которой являются энтомопатогенные микроорганизмы и энтомофаги.

Эффективность препаратов «Аккар», Ж и «Лепидоцид», СК на третьи сутки составила 90,3% и 87,2% соответственно. Через 14 суток после обработки количество хлопковой совки продолжало увеличиваться, эффективность препаратов составила 82,6–76,1% соответственно.

Препарат «ФермоВирин», ВЯП ХС проявил эффективность против гусениц хлопковой совки при норме расхода 2,0 г/га 86,4 %.

Совместный выпуск энтомофагов хлопковой совки *T. evanescens* и *H. hebetor* позволил эффективно сдерживать численность хлопковой совки (на уровне ниже ЭПВ) до конца июля. Комплексная эффективность защитных мероприятий против хлопковой совки составила 83–91 %.

*Исследования выполнены согласно Государственному заданию № 075-00376-19-00 Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № 0686-2019-0009.*

### Литература

1. Fitt G. P., Wilson L. J. Genetic engineering in IPM: Bt cotton // In: Kennedy G. G., Sutton T. B. Emerging technologies in integrated pest management: concepts, research and implementation. USA: St. Paul, MN, APS Press, 2000. P. 108–125.
2. Pogue M. G. A new synonym of *Helicoverpa zea* (Boddie) and differentiation of adult males of *H. zea* and *H. armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae: Heliiothinae) // Ann. Entomol. Soc. Am. 2004. Vol. 97. P. 1222–1226.
3. Хужамшукуров Н. А. Влияние биопрепарата Antibas\_Uz на хлопковую совку (*Helicoverpa armigera* Hb.) хлопчатника в условиях Узбекистана // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 12 (146). С. 18–25.
4. Юрченко Е. Г. Комплекс фитофагов в экосистемах виноградников Западного Предкавказья // Защита и карантин растений. 2011. № 12. С. 38–39.
5. Евдокимов А. Б. Влияние насекомых-полифагов на урожай винограда и его качество // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 4 (20). С. 218–220.
6. Feng H., Wu K., Ni Y. X., Chen D., Guo Y. Return migration of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) during autumn in northern China // B. Entomol. Res. 2007. No. 95. P. 361–370.
7. Wu K., Xu G., Guo Y. Observations on migratory activity of cotton bollworm moths across the Bohai Gulf in China // Acta Phytophys. 1998. Vol. 25. No. 4. P. 337–340.
8. Tay W. T., Soria M. F., Walsh T., Thomazoni D., Silvie P., Behere G. T., Anderson C., Downes S. A brave new world for an old world pest: *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil // PLoS One. 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0080134.
9. Martin T., Ochou O. G., Djihinto A., Traore D., Togola M., Vassal J. M., Vaissayre M., Fournier D. Controlling an insecticide-resistant bollworm in West Africa // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2005. Vol. 107. No. 4. P. 409–411. DOI: 10.1016/j.agee.2004.11.006.
10. Yang Y., Li Y., Wu Y. Current status of insecticide resistance in *Helicoverpa armigera* after 15 years of bt cotton planting in China // Journal of Economic Entomology. 2013. Vol. 106. No. 1. P. 375–381. DOI: 10.1603/EC12286.
11. Викторов А. Г. Можно ли создать эффективное инсектицидное растение или эволюция резистентности фитофагов к трансгенным коммерческим Bt-растениям // Физиология растений. 2015. Т. 62. № 1. С. 17. DOI: 10.7868/S0015330315010157.
12. Ходжаев Ш. Т., Сагдуллаев А. У., Исаев О. Б., Юсупова М. Н. Проблемы защиты растений в Узбекистане // Защита и карантин растений. 2011. № 8. С. 23–24.
13. Gunning R. V., Dang H. T., Kemp F. C., Nicholson I. C., Moores G. D. New resistance mechanism in *Helicoverpa armigera* threatens transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* Cry 1 Ac toxin // Applied Environmental Microbiology. 2005. Vol. 71. No. 5. P. 2558–2563. DOI: 10.1128/AEM.71.5.2558–2563.2005.
14. Zhang H., Tian W., Zhao J., Jin L., Yang J., Liu C., Yang Y., Wu S., Wu K., Cui J., Tabashnik B. E., Wu Y. Diverse genetic basis of field-evolved resistance to Bt cotton in cotton bollworm from China // PNAS (Proceedings of the National Academy of Science of the USA). 2012. Vol. 109. No. 26. P. 10275–10280. DOI: 10.1073/pnas.1200156109.
15. Говоров Д. Н. Живых А. В., Проскурякова М. Ю. Хлопковая совка – периодическая угроза сельскохозяйственным посевам // Защита и карантин растений. 2013. № 5. С. 18–20.
16. Агасьева И. С., Нефедова М. В., Федоренко Е. В., Исмаилов В. Я. Оценка биологической эффективности биологических средств защиты растений против особо опасного адвентивного вредителя коричнево-мраморного клопа *Halyomorpha halys* Stål. // Успехи современного естествознания. 2019. № 3-2. С. 182–187. DOI: 10.17513/use.37090.
17. Glare T. R., Caradus J., Gelernter W., Jackson T., Keyhani N., Kohl J., Marrone P., Morin L., Stewart A. Have biopesticides come of age? // Trends Biotechnol. 2012. Vol. 30. No. 5. P. 250–258. DOI: 10.1016/J.Tibtech.2012.01.003.
18. Lacey L. A., Grzywacz D., Shapiro-Ilan D. I., Frutos R., Brownbridge M., Goettel M. S. Insect pathogens as biological control agents: back to the future // Journal of Invertebrate Pathology. 2015. No. 132. P. 1–41. DOI: 10.1016/J.JIP.2015.07.009.
19. Fuller E., Elder B.D., Dwyer G. Pathogen persistence in the environment and insect-baculovirus interactions: disease-density thresholds, epidemic burnout, and insect outbreaks // The American Naturalist. 2012. Vol. 179. No. 3. P. 1–27. DOI: 10.1086/664488.
20. Агасьева И. С., Федоренко Е. Ф., Нефедова М. В., Исмаилов В. Я. Оценка биологической эффективности биологических средств защиты растений против основных вредителей кукурузы // Масличные культуры. 2019. № 3 (179). С. 124–129. DOI: 10.25230/2412–608X–2019–3–179–124–129.
21. Агасьева И. С., Исмаилов В. Я., Федоренко Е. В., Настасий А. С. Разработка методов биологического контроля яблонной плодовой гнили для технологий органического плодоводства // Плодоводство и ягодоводство России. 2019. Т. 56. С. 96–105. DOI: 10.31676/2073-4948-2019-56-96–105.

## References

1. Fitt G. P., Wilson L. J. Genetic engineering in IPM: Bt cotton // In: Kennedy G. G., Sutton T. B. Emerging technologies in integrated pest management: concepts, research and implementation. USA: St. Paul, MN, APS Press, 2000. P. 108–125.
2. Pogue M. G. A new synonym of *Helicoverpa zea* (Boddie) and differentiation of adult males of *H. zea* and *H. armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae: Heliethinae) // Ann. Entomol. Soc. Am. 2004. Vol. 97. P. 1222–1226.
3. Khujamshukurov N. A. The effect of Antibac\_Uz biological product on cotton bollworm (*Helicoverpa armigera* Hb.) in Uzbekistan // Bulletin of Altai State Agrarian University. 2016. No. 12 (146). P. 18–25.
4. Yurchenko E. G. Phytofagues complex in the ecosystems of the vineyards in the Western Forecaucasus // Plant protection and quarantine. 2011. No. 12. P. 38–39.
5. Evdokimov A. B. Influence of insect polyphages on yield and quality of grapes // Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2015. No. 4 (20). P. 218–220.
6. Feng H., Wu K., Ni Y. X., Chen D., Guo Y. Return migration of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) during autumn in northern China // B. Entomol. Res. 2007. No. 95. P. 361–370.
7. Wu K., Xu G., Guo Y. Observations on migratory activity of cotton bollworm moths across the Bohai Gulf in China // Acta Phytophys. 1998. Vol. 25. No. 4. P. 337–340.
8. Tay W. T., Soria M. F., Walsh T., Thomazoni D., Silvie P., Behere G. T., Anderson C., Downes S. A brave new world for an old world pest: *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil // PLoS One. 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0080134.
9. Martin T., Ochou O. G., Djihinto A., Traore D., Togola M., Vassal J. M., Vaissayre M., Fournier D. Controlling an insecticide-resistant bollworm in West Africa // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2005. Vol. 107. No. 4. P. 409–411. DOI: 10.1016/j.agee.2004.11.006.
10. Yang Y., Li Y., Wu Y. current status of insecticide resistance in *Helicoverpa armigera* after 15 years of Bt cotton planting in China // Journal of Economic Entomology. 2013. Vol. 106. No. 1. P. 375–381. DOI: 10.1603/EC12286.
11. Zhang H., Tian W., Zhao J., Jin L., Yang J., Liu C., Yang Y., Wu S., Wu K., Cui J., Tabashnik B. E., Wu Y. Diverse genetic basis of field-evolved resistance to Bt cotton in cotton bollworm from China // PNAS (Proceedings of the National Academy of Science of the USA). 2012. Vol. 109. No. 26. P. 10275–10280. DOI: 10.1073/pnas.1200156109.
12. Viktorov A. G. Can efficient insecticidal plants be created or the evolution of phytophage resistance to commercial transgenic Bt-plants // Plant Physiology. 2015. Vol. 62. No. 1. P. 17. DOI: 10.7868/S0015330315010157.
13. Khodzhaev Sh. T., Sagdullaev A. U., Isaev O. B., Yusupova M. N. Plant protection problems in Uzbekistan // Plant protection and quarantine. 2011. No. 8. P. 23–24.
14. Gunning R. V., Dang H. T., Kemp F. C., Nicholson I. C., Moores G. D. New resistance mechanism in *Helicoverpa armigera* threatens transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* Cry 1 Ac toxin // Applied Environmental Microbiology. 2005. Vol. 71. No. 5. P. 2558–2563. DOI: 10.1128/AEM.71.5.2558–2563.2005.
15. Govorov D. N., Zhiviykh A. V., Proskuryakova M. Yu. Cotton bollworm – a periodical threat to the agricultural crops // Plant protection and quarantine. 2013. No. 5. P. 18–20.
16. Agasyeva I. S., Nefedova M. V., Fedorenko E. V., Ismailov V. Ya. Assessment of the efficacy of biological plant protection rproducts against the most harmful adventive pest brown marbled bug *Halyomorpha halys* Stål. // Advances in Current Natural Sciences. 2019. No. 3-2. P. 182–187. DOI: 10.17513/use.37090.
17. Glare T. R., Caradus J., Gelernter W., Jackson T., Keyhani N., Kohl J., Marrone P., Morin L., Stewart A. Have biopesticides come of age? // Trends Biotechnol. 2012. No. 30 (5). P. 250–258. DOI: 10.1016/J.Tibtech.2012.01.003.
18. Lacey L. A., Grzywacz D., Shapiro - Ilan D. I., Frutos R., Brownbridge M., Goettel M.S. Insect pathogens as biological control agents: back to the future // Journal of Invertebrate Pathology. 2015. No. 132. P. 1–41. DOI: 10.1016/J.JIP.2015.07.009.
19. Fuller E., Elderd B. D., Dwyer G. Pathogen persistence in the environment and insect-baculovirus interactions: disease-density thresholds, epidemic burnout, and insect outbreaks // The American Naturalist. 2012. Vol. 179. No 3. P. 1–27. DOI: 10.1086/664488.
20. Agasyeva I. S., Fedorenko E. V., Nefedova M. V., Ismailov V. Ya. Estimation of biological efficacy of biological methods for plant protection against main corn pests // Oil Crops. 2019. No. 3 (179). P. 124–129. DOI: 10.25230/2412–608X–2019–3–179–124–129.
21. Agasyeva I. S., Ismailov V. Ya., Fedorenko E. V., Nastasiy A. S. Elaboration of biological control methods of the apple moth for organic fruit farming technologies // Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2019. Vol. 56. P. 96–105. DOI: 10.31676/2073-4948-2019-56-96-105.

UDC 632.937

Agasyeva I. S., Ismailov V. Ya., Nefedova M. V., Fedorenko E. V., Nastasiy A. S.

**DEVELOPMENT OF THE METHODS OF BIOLOGICAL CONTROL OF  
*HELICOVERPA ARMIGERA* HÜBNER ON CORN FOR ECO-SAFE FARMING**

**Summary.** *Helicoverpa armigera* Hübner is one of the most dangerous pests in southern Russia. In recent years, corn crop losses from cotton bollworms have averaged up to 25 %. Controlling its number is not effective enough, since regular chemical treatments with traditional insecticides lead to the formation of resistant pest populations. The aim of the research was to develop the system of biological control of *H. armigera* on corn, which is based on entomophages, entomopathogens and natural biocenotic regulation. The studies were carried out in 2017–2019 on the experimental fields of the All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection and basic farms of the Krasnodar Territory: “ООО Кубанские Консервы” LLC, Timashevsky District (88 ha); “ООО Агронова” LLC, Labinsky District (170 ha). All the aforementioned agricultural enterprises grow crops using organic farming technologies. Seasonal dynamics of the number of cotton bollworm was analyzed using traps with a synthetic pheromone – 1 trap per 4–5 ha. The mass growing of *Habrobracon hebetor* Say (ectoparasite) for the introduction into corn crops was carried out using the wax moth caterpillars (*Galleria mellonella* L.) as a host; the number of the entomophages – 1–2 thousand individuals per 1 ha. A key feature of the phenological development of the cotton bollworms in 2018–2019 – a great number of overwintered individuals; the catch in pheromone traps for seven days was 23–28 males per trap, which exceeded the economic threshold of harmfulness (ETH for the cotton bollworm is 5–8 males per trap). We noticed three distinct generations of cotton bollworms with peaks of flying activity of butterflies in June, July, and August. Biological preparations “Аккар”, G (4 l/ha); “Lepidocide”, SK (2 l/ha); “FermoVirin”, HPP XC (2 g/ha) were tested against the pest. On the third day, the effectiveness after treatment was 88.9; 86.5 and 86.7 %, respectively. To control the number and harmfulness of the cotton bollworm in organic crop production technologies, it is recommended to use entomophages – *Trichogramma* and *Habrobracon hebetor* combined with biological products application.

**Keywords:** *Helicoverpa armigera* Hübner, biological protection, biological products, entomophages, *Habrobracon hebetor* Say, *Trichogramma*.

Агасьева Ирина Сергеевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией Государственной коллекции энтомоакарифагов и первичной оценки биологических средств защиты растений ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений»; 350039, Россия, г. Краснодар, п/о 39; e-mail: agasieva5@yandex.ru.

Исмаилов Владимир Яковлевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией Химической коммуникации и массового разведения насекомых, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений»; 350039, Россия, г. Краснодар, п/о 39; e-mail: vlyaism@yandex.ru.

Нефедова Мария Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории Государственной коллекции энтомоакарифагов и первичной оценки биологических средств защиты растений ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений»; 350039, Россия, г. Краснодар, п/о 39; e-mail: dollkaSneba@yandex.ru.

Федоренко Елена Валентиновна, младший научный сотрудник лаборатории Государственной коллекции энтомоакарифагов и первичной оценки биологических средств защиты растений ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений»; 350039, Россия, г. Краснодар, п/о 39; e-mail: ms.fedor1960@mail.ru.

Настасий Антон Сергеевич, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории Государственной коллекции энтомоакарифагов и первичной оценки биологических средств защиты



растений ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений»; 350039, Россия, г. Краснодар, п/о 39; e-mail: nastasy.anton@yandex.ru.

Agasyeva Irina Sergeevna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher, head of the Laboratory of the state collection of entomoakariphages and initial evaluation of biological means of plant protection, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection; 1, VNIIBZR str., (p/o 39), Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: agasyeva5@yandex.ru.

Ismailov Vladimir Yakovlevich, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher, head of the Laboratory of chemical communication and mass breeding of insects, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection; 1, VNIIBZR str., (p/o 39), Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: vlyaism@yandex.ru.

Nefedova Mariya Vladimirovna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher of the Laboratory of the state collection of entomoakariphages and initial evaluation of biological means of plant protection, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection; 1, VNIIBZR str., (p/o 39), Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: dollkaSneba@yandex.ru.

Fedorenko Elena Valentinovna, junior researcher of the Laboratory of the state collection of entomoakariphages and initial evaluation of biological means of plant protection, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection; 1, VNIIBZR str., (p/o 39), Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: ms.fedor1960@mail.ru.

Nastasiy Anton Sergeevich, junior researcher of the Laboratory of the state collection of entomoakariphages and initial evaluation of biological means of plant protection, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection; 1, VNIIBZR str., (p/o 39), Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: nastasy.anton@yandex.ru.

*Дата поступления в редакцию – 21.06.2020.*

*Дата принятия к печати – 10.08.2020.*

DOI 10.33952/2542-0720-2020-3-23-18-25

УДК 579.64:631.531:633.8

Баранская М. И., Чайковская Л. А., Немтинов В. И.

**ВОЗДЕЙСТВИЕ БИОАГЕНТОВ МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ  
(*RHIZOBIUM RADIOBACTER* 204, *LELLIOTTIA NIMIPRESSURALIS* ССМ 32-3,  
*PAENIBACILLUS POLYМУХА* II) НА СЕМЕНА *NIGELLA DAMASCENA* L.  
ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»**

**Реферат.** В последние годы в России возникает интерес к использованию и возделыванию новых лекарственных, эфиромасличных и пряно-ароматических растений. Одно из них – нигелла дамасская (*Nigella damascena* L.). Однако до настоящего времени остаются мало изученными вопросы повышения эффективности производства продукции нигеллы за счет применения микробных препаратов, поэтому исследования в этом направлении являются актуальными. Цель исследований – изучить совместимость бактерий-биоагентов микробных препаратов с семенами нигеллы дамасской (*N. damascena*) и влияние биологических препаратов на посевные качества семян чернушки. Лабораторные опыты проведены в 2018–2019 гг. в отделе сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «НИИСХ Крыма». Фитонцидную активность семян нигеллы по отношению к штаммам-биоагентам микробных препаратов оценивали по Данини Е. М. Изучение влияния биопрепаратов на посевные качества нигеллы проведено в серии лабораторных опытов по общепринятым методикам. Для обработки семян использовали микробные препараты: «Диазофит» (основа – бактерия *Rhizobium radiobacter* 204), препарат на основе *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3, «Биополицид» (основа – бактерия *Paenibacillus polyмуха* II) и их комплекс (смесь биопрепаратов в соотношении 1:1:1). Установлено, что экстрактивные вещества семян нигеллы не оказывают бактериостатического действия на штаммы *R. radiobacter* 204, *L. nimipressuralis* ССМ 32-3 и *P. polyмуха* II. Выявлено, что применение комплекса микробных препаратов (КМП) для обработки семян способствовало достоверному возрастанию скорости, энергии прорастания и всхожести на 22,5 %, 49,0 % и 7,0 % соответственно по сравнению с контролем. Показано, что численность КОЕ эпифитных микроорганизмов семян нигеллы дамасской достигает 25 тыс. КОЕ/г семян. Наибольшая численность среди микроорганизмов, населяющих карпосферу нигеллы, отмечена для стрептомицетов, их количество достигает 21,4 тыс. КОЕ/г семян, а меньше всего – представителей спорообразующих бактерий и микромицетов: 0,5 и 0,3 тыс. КОЕ/г семян соответственно.

**Ключевые слова:** микробные препараты, нигелла дамасская (*Nigella damascena* L.), посевные качества семян, эпифитная микрофлора.

#### **Введение**

Нигелла (*Nigella* L.) или чернушка – однолетнее травянистое растение семейства лютиковые (*Ranunculaceae*). В настоящее время культура привлекает к себе внимание благодаря широкому спектру хозяйственно полезных свойств и приобретает все большее значение как эфиромасличное, лекарственное, пряно-ароматическое и декоративное растение [1, 2]. В семенах чернушки накапливается до 40 % жирного масла, 0,5–1,9 % эфирного масла, аминокислоты, витамины, белки, углеводы и минералы [3–6]. Благодаря широкому спектру содержащихся в растении полезных веществ культуру можно использовать в пищевой и косметической отраслях промышленности, а также в

медицине и сельском хозяйстве. Наибольшее распространение получили два вида нигеллы: дамасская (*N. damascena* L.) и посевная (*N. sativa* L.).

Однако до настоящего времени остаются мало изученными вопросы повышения эффективности производства продукции нигеллы, особенно взаимосвязь биологических особенностей растения с микроорганизмами. Применение препаратов на основе полезных и эффективных штаммов микроорганизмов является одним из элементов биологизации современного земледелия. Штаммы-биоагенты микробных препаратов позволяют улучшить азотное и фосфорное питание сельскохозяйственных растений, продуцируют биологически активные вещества, позволяют снизить численность патогенной микрофлоры, что в конечном итоге способствует повышению урожайности культур и обеспечивает получение экологически чистых продуктов питания [7, 8]. В отделе сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «НИИСХ Крыма» создана коллекция микроорганизмов (<https://niishk.ru/innovacionnye-razrabotki/kollekciya-mikroorganizmov/>), насчитывающая более 200 штаммов симбиотических, ассоциативных с растениями и свободноживущих бактерий. На основе активных бактерий разработаны микробные препараты, эффективные при выращивании зерновых, зернобобовых, овощных, технических и других культур [9–12]. Однако в литературных источниках не встречается информация об использовании биопрепаратов при выращивании нигеллы, что определяет новизну и актуальность исследования.

Учитывая то, что семена многих эфиромасличных культур, в том числе и нигеллы, содержат компоненты, оказывающие бактерицидное воздействие на микроорганизмы, представляет интерес исследовать возможность применения некоторых микробных препаратов для предпосевной обработки их семян. В связи с этим **цель исследований** – определение совместимости семян нигеллы дамасской (*Nigella damascena* L.) с бактериями-биоагентами микробных препаратов «Диазофит», «Биополицид», а также на основе штамма *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3 и влияния предпосевной инокуляции на посевные качества семян.

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

Серия лабораторных опытов проведена в 2018–2019 гг. в отделе сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «НИИСХ Крыма». В опытах использованы семена нигеллы дамасской (*N. damascena*) сорта Ялита и микробные препараты: «Диазофит» (основа – штамм *Rhizobium radiobacter* 204, обладающий азотфиксирующей и ростстимулирующей активностью), препарат на основе штамма *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3 (фосфатмобилизатор и продуцент фитогормонов) [13], «Биополицид» (основа – штамм *Paenibacillus polymyxa* П, синтезирующий хитиназу и антифунгальные компоненты), а также их комплекс (КМП) – смесь препаратов в соотношении 1:1:1.

Фитонцидную активность семян нигеллы по отношению к штаммам биоагентам микробных препаратов оценивали по Данини Е. М. [14]. Для этого чашки Петри со средой мясо-пептонный агар (МПА) засеивали 0,1 мл суточной культуры исследуемых штаммов. Бактериальную суспензию для засева чашек Петри готовили путем последовательных разведений. Посев в чашки Петри проведен: для *L. nimipressuralis* ССМ 32-3 и *R. radiobacter* 204 из четвертого–восьмого разведений, для *P. polymyxa* П – из третьего–шестого разведения. В центре диска засеянной среды вырезали с помощью стерильного сверла кружок агара (диаметр 10 мм) и удаляли его. В углубление помещали 0,5 г свежеприготовленной семенной кашицы (семена нигеллы, растертые в фарфоровой ступке). В контрольных вариантах растертые семена в лунку не вносили. Повторность опытов – трехкратная. Инкубацию чашек проводили в термостате в течение суток при температуре 28 °С.

Учет количества колоний в чашках Петри проводили для штаммов *L. nimipressuralis* ССМ 32-3 и *R. radiobacter* 204 на седьмом разведении, а для штамма *P. polymyxa* П – на четвертом.

Определение численности эпифитной микрофлоры семян нигеллы дамасской проведено методом посева смыва с семян на твердые питательные среды [15]. Учет количества колониеобразующих единиц (КОЕ) микроорганизмов проводили на следующих средах: сапрофитные бактерии – МПА, спорообразующие бактерии – смесь МПА и сусло-агара (1:1), стрептомицеты – крахмало-аммиачный агар (КАА), микромицеты – среда Чапека.

Для изучения влияния биопрепаратов на посевные качества нигеллы провели серию лабораторных опытов по общепринятым методикам [16]. Для этого семена нигеллы инокулировали водными суспензиями биологических препаратов (разведение 1:100) из расчета 2 % от массы семян, время экспозиции – один час. Контролем служили семена, замоченные в воде. Затем семена раскладывали в чашки Петри на увлажненную стерильную фильтровальную бумагу по 50 штук и выдерживали в термостате при 28 °С. Повторность опыта – девятикратная. Ежедневно отмечали число проросших семян. Для всесторонней оценки влияния биопрепаратов на процесс прорастания семян учитывали ряд принятых в растениеводстве показателей: всхожесть, энергию, дружность и скорость прорастания.

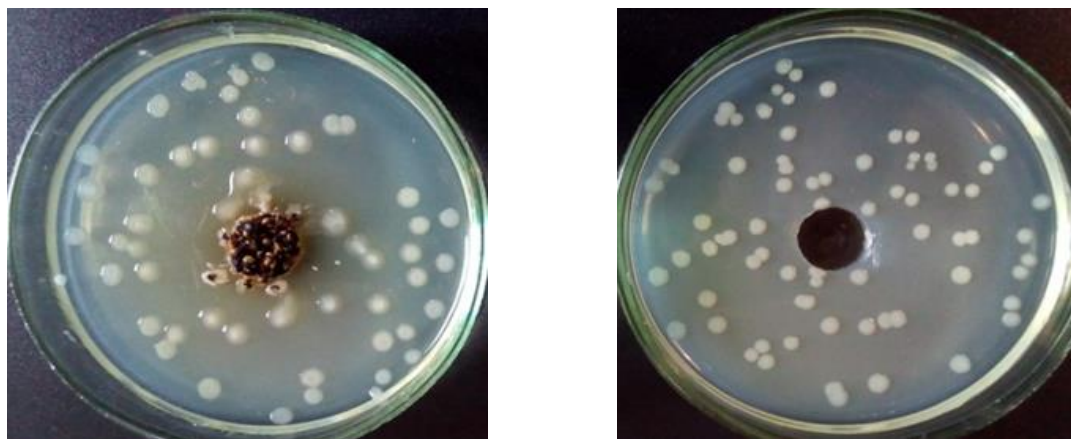
#### Результаты и их обсуждение

Микроорганизмы населяют и ведут активный образ жизни как внутри, так и на поверхности различных частей растений: зеленой части, корнях и семенах. В связи с этим нами определена численность эпифитной микрофлоры семян нигеллы. В ходе эксперимента установлено, что микробный ценоз карпосферы нигеллы дамасской достигает 25 тыс. КОЕ/г семян. Наиболее многочисленной группой микроорганизмов, населяющих поверхность семян чернушки, являются стрептомицеты, их численность составила 21,4 тыс. КОЕ/г семян. Количество сапрофитной микрофлоры составило 2 тыс. КОЕ/г семян. Установлено, что карпосфера чернушки наименее заселена спорообразующими бактериями и микромицетами: 0,5 и 0,3 тыс. КОЕ/г семян соответственно.

Как известно, в семенах нигеллы накапливается эфирное масло, содержание которого достигает 2 % [17]. Основные компоненты эфирного масла семян чернушки: тимохинон, тимол, р-цимен, цимол, карвакрол и другие [18, 19], которые могут оказывать антимикробное действие на штаммы-биоагенты микробных препаратов. Поэтому, с целью научного обоснования целесообразности применения биологических препаратов при выращивании нигеллы дамасской проведена оценка действия экстрактивных веществ её семян, диффундирующих в толщу питательной среды (МПА), на штаммы *R. radiobacter* 204, *L. nimipressuralis* ССМ 32-3 и *P. polymyxa* П.

Анализируя полученные результаты, необходимо отметить, что при действии экстрактивных веществ семян нигеллы на штамм *L. nimipressuralis* ССМ 32-3 зона отсутствия роста бактерий не выявлена (рисунок).

Результаты исследований показали, что количество колоний *L. nimipressuralis* ССМ 32-3 в чашках с кашицей семян чернушки и испытывавших влияние их экстрактивных веществ составило в среднем 4,9 млрд КОЕ/мл, что на 0,8 млрд/мл КОЕ ниже, чем в контроле (таблица 1). Поскольку снижение численности клеток находилось в пределах ошибки опыта, можно предположить, что экстрактивные вещества нигеллы не оказывали угнетающего действия на *L. nimipressuralis* ССМ 32-3.



А

Б

**Рисунок – Влияние экстрактивных веществ семян нигеллы на жизнеспособность штамма *Lelliottia nimipressuralis* CCM 32-3 (лабораторные опыты)**

*Примечание.* А – с кашицей семян, Б – контроль.

**Таблица 1 – Влияние экстрактивных веществ семян нигеллы на численность КОЕ штаммов-биоагентов микробных препаратов**

Вариант опыта	Контроль	С измельченной массой семян
	КОЕ/1 мл	КОЕ/1 мл
<i>Lelliottia nimipressuralis</i> CCM 32-3	$5,7 \times 10^9 \pm 0,20$	$4,9 \times 10^9 \pm 0,09$
<i>Rhizobium radiobacter</i> 204	$8,8 \times 10^9 \pm 0,15$	$8,3 \times 10^9 \pm 0,40$
<i>Paenibacillus polymyxa</i> П	$8,0 \times 10^6 \pm 0,18$	$7,9 \times 10^6 \pm 0,15$

Изучено также влияние экстрактивных веществ семян нигеллы на жизнеспособность штамма *R. radiobacter* 204. Отмечено, что вещества, диффундирующие в толщу питательной среды, не оказывали заметного бактериостатического действия на исследуемый штамм: отсутствовала зона угнетения роста бактерии, а количество КОЕ штамма составило 8,3 млрд/мл (в контроле – 8,8 млрд/мл).

Подобные результаты получены и при изучении бактериостатического влияния фитонцидов семян нигеллы на штамм *P. polymyxa* П. Проведенные опыты показали, что каша семян не оказывала бактериостатического действия на жизнеспособность *P. polymyxa* П. При учете количества колоний этого штамма не выявлено существенной разницы между контрольным и опытным вариантом: 8,0 и 7,9 млн КОЕ (см. таблицу 1).

Поскольку микробные препараты используют для предпосевной инокуляции семян, важное значение имеет изучение их действия в прикорневой зоне при появлении всходов, росте проростков и корешков. Имеются сведения, что обработка семян гороха вторичными метаболитами грибов рода *Trichoderma* позволила повысить их лабораторную всхожесть [20]. Кроме того, показана возможность улучшения посевных качеств семян льна и кориандра за счет бактериализации полифункциональными препаративными формами и гомогенатами на основе смешанных культур штаммов *Nostoc linckia* 144 и *Agrobacterium radiobacter* 204 [21].

При анализе результатов наших исследований по изучению влияния микробных препаратов на посевные качества семян нигеллы получены следующие данные (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние микробных препаратов на посевные качества семян нигеллы

Вариант	Всхожесть семян, %	Дружность прорастания, %	Энергия прорастания, %	Скорость прорастания, шт./сут.
Контроль (вода)	77,3	5,3	3,8	26,2
«Фосфоэнтерин»	77,3	55,2	46,0	29,5
«Диазофит»	80,9	57,8	41,4	29,3
«Биополицид»	79,1	56,5	40,0	38,3
КМП	82,5	58,9	50,4	32,1
НСР <sub>05</sub>	5,21	3,72	12,7	3,75

Выявлено, что микробные препараты не оказывали влияния на дружность прорастания семян нигеллы, однако отмечена тенденция к увеличению скорости прорастания семян исследуемой культуры, но достоверное возрастание данного показателя выявлено в случае применения «Биополицида» и КМП: 38 и 32 шт./сут, что превысило контроль на 46,0 и 22,5 % соответственно. Наиболее значимое влияние на энергию прорастания и всхожесть семян чернушки оказывал КМП. Так, его применение для обработки семян привело к возрастанию энергии прорастания и всхожести до 50,4 % и 82,5 %, что превышало контроль на 49,0 % и 7,0 % соответственно.

Таким образом, изучена совместимость бактерий-биоагентов микробных препаратов с семенами нигеллы дамасской, показано их влияние на посевные качества семян чернушки, а также исследован микробиоценоз поверхности семян.

#### Выводы

Показано, что экстрактивные вещества семян нигеллы не оказывают бактериостатического действия на жизнеспособность штаммов *Rhizobium radiobacter* 204, *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3 и *Paenibacillus polymyxa* П.

Установлено, что применение КМП для обработки семян чернушки способствовало достоверному возрастанию скорости, энергии прорастания и всхожести семян на 22,5 %, 49,0 % и 7,0 % соответственно по сравнению с контролем.

#### Литература

1. Botnick I. Distribution of primary and specialized metabolites in nigella sativa seeds, a spice with vast traditional and historical uses // *Molecules*. 2012. No. 17. P. 10159–10177.
2. Исакова А. Л., Исаков А. В. Нигелла – перспективная эфиромасличная культура // *Наше сельское хозяйство*. 2016. № 11. С. 83–85.
3. Cheikh-Rouhou S., Besbes S., Hentati B., Blecker C., Deroanne C., Attia H. *Nigella sativa* L.: chemical composition and physicochemical characteristics of lipid fraction // *Food Chemistry*. 2007. No. 101. P. 673–681. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.02.022.
4. Рудь Н. К., Сампиев А. М., Давитавян Н. А. Основные результаты фитохимического и фармакологического исследования чернушки посевной // *Научные ведомости БелГУ. Серия «Медицина, Фармация»*. 2013. № 25 (168). Вып. 24. С. 207–212.
5. Исакова А. Л., Исаков А. В., Прохоров В. Н. Содержание витаминов и минеральных веществ в семенах разных видов нигеллы // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. № 2. С. 85–87.
6. Исакова А. Л., Прохоров В. Н. Изучение аминокислотного состава семян нигеллы (*Nigella* L.) // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. № 2. С. 73–75.
7. Тихонович И. А., Проворов Н. А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты // *Сельскохозяйственная биология*. 2011. № 3. С. 3–9.
8. 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). С. 28–32.
9. Чайковская Л. А., Ключенко В. В., Баранская М. И., Овсиенко О. Л. Фосфатмобилизирующие бактерии в агроценозах Крыма: монография // Под ред. Чайковской Л. А. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. 156 с.

10. Турина Е. Л., Дидович С. В., Кулинич Р. А. Применение полифункциональных биопрепаратов при выращивании бобовых культур в Крыму // Земледелие. 2015. № 2. С 31–33.
11. Арифова З. И. Влияние микробиологических препаратов на морфоструктуру, урожайность и качество ягод малины // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 1 (17). DOI: 10.33952/2542-0720-2019-1-17-6-12.
12. Yakubovskaya A. I., Melnichuk T. N., Kameneva I. A., Shaposhnikov A. I., Puhalsky Y. V., Sazanova A. L. *Flavobacterium sp.* strain No 72 – associative symbiont of *Oryza sativa* L. plants // Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences. 2019. No. 21 (3). P. 566–571.
13. 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» // Л. А. Чайковская, Т. Н. Мельничук, И. А. Каменева, М. И. Баранская, О. Л. Овсиенко. 2019. Бюлл. № 2. 12 с.
14. Данини Е. М. Элементарные методики изучения антибактериальных свойств фитонцидов высших растений // Фитонциды, их роль в природе и значение для медицины. М.: Изд-во академии медицинских наук СССР, 1952. 330 с.
15. Мишустин Е. Н., Трисвятский Л. А. Микробы и зерно. М. Изд-во Академии наук СССР, 1963. С. 239–247.
16. Некоторые новые методы количественного учета почвенных микроорганизмов и изучения их свойств: Методические рекомендации // Под ред. Возняковской Ю. М. Л.: Изд-во ВНИСХМ, 1982. С. 31–35.
17. Kumar S., Venkatachallam T., Pattekhan H. Chemical composition of *Nigella sativa* L. seed extracts obtained by supercritical carbon dioxide // J. Food Sci. Technol. 2010. Vol. 47. No. 6. P. 598–605.
18. Исакова А. Л., Исаков А. В., Коваленко И. А., Феськова Е. В., Супиченко Г. Н., Сачивко Т. В. Биохимический состав семян *Nigella sativa* L., выращенных в условиях Беларуси // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. 2019. Т. 64. № 4. С. 440–447. DOI: 10.29235/029-8940-2019-64-4-440-447.
19. Феськова Е. В., Игнатовец О. С., Тычина И. Н., Савич И. М., Святияшук Д. С. Определение компонентного состава семян чернушки посевной (*Nigella sativa*) // Труды БГТУ. 2018. Серия 2. № 2. С. 167–170.
20. Павловская Н. Е., Гнеушева И. А., Солохина И. Ю., Яковлева В. В. Влияние вторичных метаболитов грибов рода *Trichoderma* на посевные качества семян гороха // Сельскохозяйственная биология. 2012. № 3. С. 114–117.
21. Алексеенко О. П., Дидович С. В. Влияние бактериализации на посевные качества семян *Linum usitatissimum* (L.) и *Coriandrum sativum* (L.) // Наука вчера, сегодня, завтра. 2016. № 8-1 (30). С. 6–10.

## References

1. Botnick I. Distribution of primary and specialized metabolites in *nigella sativa* seeds, a spice with vast traditional and historical uses // Molecules. 2012. No. 17. P. 10159–10177.
2. Isakova A. L., Isakov A. V. *Nigella* – promising oil-bearing culture // Nashe selskoe khozyaystvo. 2016. No. 11. P. 83–85.
3. Cheikh-Rouhou S., Besbes S., Hentati B., Blecker C., Deroanne C., Attia H. *Nigella sativa* L.: chemical composition and physicochemical characteristics of lipid fraction // Food Chemistry. 2007. No. 101. P. 673–681. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.02.022.
4. Rud N. K., Sampiev A. M., Davitavyan N. A. Main results of phytochemical and pharmacological research of *Nigella sativa* L. (review) // Belgorod State University Scientific Bulletin. Series “Medicine. Pharmacia”. 2013. No. 25 (168). Iss. 24. P. 207–212.
5. Isakova A. L., Isakov A. V., Prokhorov V. N. The content of vitamins and mineral substances in seeds of *nigella* of different species // Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy. 2018. No. 2. P. 85–87.
6. Isakova A. L., Prokhorov V. N. Research into amino acid composition of seeds of *Nigella* L. // Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy. 2018. No. 2. P. 73–75.
7. Tikhonovich I. A., Provorov N. A. Agricultural microbiology as the basis of ecologically sustainable agriculture: fundamental and applied aspects // Agricultural Biology. 2011. No. 3. P. 3–9.
8. Tikhonovich I. A., Zavalin A. A. Application potential of nitrogen-fixing and phytostimulating 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.
9. Chaikovskaya L. A., Klyuchenko V. V., Baranskaya M. I., Ovsienko O. L. Phosphate-mobilizing bacteria in agrocenoses of the Crimea: monography // Ed. by Chaikovskaya L. A. Simferopol: Publishig house “ARIAL”, 2018. 156 p.

10. Turina E. L., Didovich S. V., Kulinich R. A. Multifunctional biological preparations application at legumes cultivation in the Crimea // *Zemledelie*. 2015. No. 2. P. 31–33.
11. Arifova Z. I. Influence of microbiological preparations on morphostructure, yield, and quality of raspberries // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2019. No. 1 (17). P. 6–12. DOI 10.33952/2542-0720-2019-1-17-6-12.
12. Yakubovskaya A. I., Melnichuk T. N., Kameneva I. A., Shaposhnikov A. I., Puhalsky Y. V., Sazanova A. L. *Flavobacterium sp.* strain No 72 – associative symbiont of *Oryza sativa* L. plants // *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*. 2019. No. 21 (3). P. 566–571.
13. 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” // Chaikovskaya L. A., Melnichuk T. N., Kameneva I. A., Baranskaya M. I., Ovsienko O. L. 2019. Bul. No. 2. 12 p.
14. Danini E. M. Elementary methods for studying the antibacterial properties of higher plant phytoncides // *Phytoncides, their role in nature and significance for medicine*. Moscow: Publishing house of the Academy of Medical Sciences of the USSR, 1952. 330 p.
15. Mishustin E. N., Trisvyatskiy L. A. *Microbes and grain*. Moscow: Academy of Sciences of the USSR, 1963. P. 239–247.
16. Some new methods for quantifying soil microorganisms and studying their properties: Methodical recommendation // Ed. by Voznyakovskaya Yu. M. Leningrad: ARRIAM, 1982. P. 31–35.
17. Kumar S., Venkatachallam T., Pattekhani H. Chemical composition of *Nigella sativa* L. seed extracts obtained by supercritical carbon dioxide // *J. Food Sci. Technol.* 2010. Vol 47. No. 6. P. 598–605.
18. Isakova A. L., Isakov A. V., Kovalenko N. A., Feskova A., Supichenko G. N., Sachivko T. V. Biochemical composition of seeds *Nigella sativa* L., growth in the conditions of Belarus // *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*. 2019. Vol. 64. No. 4. P. 440–447. DOI: 10.29235/029-8940-2019-64-4-440-447.
19. Feskova E. V., Ignatovets O. S., Tychina I. N., Savich I. M., Svityashchuk D. S. Determination of the component composition of *Nigella sativa* seeds // *Proceedings of BSTU*. 2018. Series 2. No. 2. P. 167–170.
20. Pavlovskaya N. E., Gneusheva I. A., Solokhina I. Yu., Yakovleva I. V. Effect of secondary fungal metabolites from *Trichoderma* genus on sowing quality of pea seeds // *Agricultural Biology*. 2012. No. 3. P. 114–117.
21. Alekseenko O. P., Didovich S. V. The influence bacterization on sowing quality of seeds of *Linum usitatissimum* (L.) and *Coriandrum sativum* (L.) // *Science yesterday, today, tomorrow*. 2016. No. 8-1 (30). P. 6–10.

UDC 579.2: 631.531:633.8

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.**

**Summary.** In recent years, increased attention in the Russian Federation has been given to the use and cultivation of new medicinal, essential oil and spicy-aromatic plants. However, up to the present time, the issues of improving the efficiency of production of *Nigella* products achieved by the application of microbial preparations remain poorly studied. Hence, research in this direction is new and relevant. The aim of our research was to study the compatibility of bacteria – bioagents of microbial preparations – with seeds of *N. damascena* and the influence of biological preparations on the sowing qualities of *nigella* seeds. Laboratory experiments were conducted in 2018–2019 in the Department of Agricultural Microbiology of the FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. Phytoncidic activity of *Nigella* seeds concerning strains – bioagents of microbial preparations was evaluated according to E. M. Danini. The study of the influence of biopreparations on the sowing qualities of *Nigella* seeds was conducted in a series of laboratory experiments using generally accepted methods. For seed inoculation, we used microbial preparation “Diazofit” (based on the bacteria *Rhizobium radiobacter* 204); preparation based on *Lelliottia nimipressuralis* CCM 32-3; microbial preparation “Biopolycide” (based on the bacteria *Paenibacillus polymyxa* P); Complex of Microbial Preparations (a mixture of



*biopreparation in the ratio 1:1:1). It was found that extractive substances of Nigella seeds did not have any bacteriostatic effect on the strains of R. radiobacter 204, L. nimipressuralis CCM 32-3 and P. polymyxa P. We also detected that the use of the Complex of Microbial Preparations (CMP) for seed treatment contributed to a significant increase in speed, germination energy and seed germination by 22.5 %, 49.0 % and 7.0 %, respectively, compared to control. It is well demonstrated that the number of CFU of epiphytic microorganisms of the seeds of Nigella damasceana is quite numerous and is up to 25 thousand CFU/g of seeds. At the same time, the least of all – representatives of spore-forming bacteria and micromycetes: 0.5 and 0.3 thousand CFU/g of seeds, respectively.*

**Keywords:** *microbial preparations, Nigella damascena, seed sowing qualities, epiphytic microflora.*

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@rambler.ru.

Чайковская Людмила Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия 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 лаборатории селекции овощных и бахчевых культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: nemtin2@mail.ru.

Baranskaya Marina Ivanovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, Laboratory of plant-microbe interaction, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295000, Russia; e-mail: baranskaya@rambler.ru.

Chaikovskaya Ludmila Aleksandrovna, Dr. Sc. (Agr.), senior researcher, chief researcher, Laboratory of plant-microbe interaction, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295000, Russia; e-mail: ludachaika@mail.ru.

Nemtinov Viktor Illarionovich, Dr. Sc. (Agr.), chief researcher of the Laboratory of vegetable and melon crops plant breeding, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295000, Russia; e-mail: nemtin2@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 22.04.2020.*

*Дата принятия к печати – 14.08.2020.*

DOI 10.33952/2542-0720-2020-3-23-26-42

УДК 632.3

Богоутдинов Д. З., Гирсова Н. В., Кастальева Т. Б.  
**АНАЛИЗ ВИДОВОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ, ПОРАЖАЕМЫХ  
ФИТОПЛАЗМОЙ ГРУППЫ СТОЛБУРА В РОССИИ**

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»

**Реферат.** Фитоплазменное заболевание «столбур» относится к числу наиболее вредоносных трансмиссивных заболеваний, поражающих многие виды сельскохозяйственных культур. Оно известно в России с начала 1930-х годов и наносит значительный экономический урон урожаю овощных культур (особенно семейства пасленовых (*Solanaceae* Juss)), плодовых и винограда. Цель исследований – уточнение ареала фитоплазменной инфекции группы столбура в России, определение видового состава поражаемых культурных растений и растений дикой флоры, в том числе сорных, способных быть резерваторами инфекции. В задачи исследования входило определение видового состава насекомых – возможных переносчиков фитоплазмы в Московской и Самарской областях РФ. Материалом для исследований служили свежие или высушенные (гербарные) образцы растений с признаками фитоплазменного инфицирования, собранные авторами, а также виды подотряда полужесткокрылых цикадовых (*Auchenorrhyncha* Dimeril.). Растения отбирали в 18 административных образованиях восьми экономических районов РФ. Фитоплазма, родственная виду '*Ca. P. solani*', выявлена в 51 виде растений, принадлежащих к 21 семейству высших растений. Лабораторные анализы проводили в 2006–2020 гг. в отделе молекулярной биологии ФГБНУ «ВНИИФ». Объем ДНК фитоплазмы нарабатывали с использованием вложенной ПЦР (*nested PCR*) с парой праймеров P1/I6S-SR для первой амплификации и R16F2n/R16R2 – для второй. Для определения принадлежности к таксономической группе/подгруппе использовали анализ полиморфизма длины рестрикционных фрагментов. Наибольшее количество видов, инфицированных этой фитоплазмой, обнаружено у растений семейства пасленовых (9), розовых (7), бобовых (6) и астровых (5). В числе инфицированных было 24 вида культурных и декоративных растений (47%), 13 видов дикорастущих травянистых, включая сорные (24,5%), и 14 древесных и кустарниковых видов (27,5%). Молекулярно-генетические анализы подтвердили векторную роль вьюнковой (*Hyalesthes obsoletus* Sign.) и корневой цикадок (*Pentastiridius leporinus* L.) из семейства Cixiidae (Hemiptera: Fulgoromorpha). Показано, что вьюнковая цикадка из популяции Самарской области генетически связана с популяцией из Западной Европы и может иметь трофические связи с вьюнком полевым и крапивой двудомной. Для предупреждения заражения фитоплазмой столбура следует использовать оздоровленный посадочный материал вегетативно размножаемых культур, применять меры контроля, основанные на интегрировании карантинных, агротехнических, химических и биологических методов защиты растений, контролировать плотность популяций переносчиков и сдерживать распространение растений-резерваторов в агроценозах.

**Ключевые слова:** '*Candidatus Phytoplasma solani*', столбур, растения-хозяева, насекомые-переносчики.

### Введение

За последние десятилетия в ряде регионов мира, в том числе и в России трансмиссивные болезни сельскохозяйственных культур становятся доминирующими, что вызвано, по всей вероятности, изменением климата.

Ожидается, что число заболеваний, связанных с фитоплазмой, возрастет из-за глобального потепления (изменения климата), что благоприятно для чувствительных к холоду переносчиков фитоплазмы. Также этому будет способствовать введение новых и более строгих правил использования многих пестицидов для борьбы с насекомыми, питающимися флоэмой, и развитие органического сельского хозяйства. Фитоплазмы – это внутриклеточные паразиты – бактерии, лишённые клеточной стенки, и обладающие минимальным среди клеточных организмов геномом. Они биологически связаны как с растениями-хозяевами, так и с насекомыми-переносчиками и могут вызывать заболевания с катастрофическим снижением урожая [1].

Термин столбур (от украинского «стовбур» – ствол) впервые появился в отечественной научной литературе в 30-е годы XX века для обозначения группы вирусоподобных заболеваний типа желтух, характерных для паслёновых культур в Крыму, и в первоначальном словоупотреблении означал одревеснение, характерное для патологии плодов томатов [2, 3]. Плоды (ягоды) больных растений становятся ребристыми, приобретают плотную консистенцию с развитой системой одревесневающих сосудов, простирающихся от чашелистика внутрь мякоти. У перца, баклажана и картофеля одревеснение охватывает стебель, что в итоге приводит к увяданию и усыханию растения.

В дальнейшем, в соответствии с классификацией, разработанной для фитоплазм и основанной на последовательности консервативного гена, кодирующего 16S рибосомную РНК, термин Stolbur (STOL) закрепился за фитоплазмами, принадлежащими к группе 16SrXII / подгруппе 16SrXII-A, получившими видовое название '*Candidatus Phytoplasma solani*' [4].

Чтобы классифицировать штамм фитоплазмы как вид '*Ca. P. solani*' необходимо, чтобы последовательность его гена 16S рРНК размером 1200 пар нуклеотидов (пн) имела более 99 % сходства с эталонным штаммом STOL. Кроме того, есть еще два условия, касающихся строгой идентичности трех конкретных областей этой последовательности (нуклеотиды 189...221, 452...480 и 602...627) эталонному штамму, при отсутствии которых штамм может рассматриваться как '*Ca. P. solani*' лишь с оговоркой «родственный» виду (related '*Ca. P. solani*') [5, 6]. '*Ca. P. solani*' вызывает целый ряд болезней растений в различных агроэкосистемах во многих странах по всему миру [5]. Природный ареал обитания этой фитоплазмы совпадает с распространением специфических полифаговых переносчиков семейства циклииды (Cixiidae), основным из которых является вьюнковая цикадка – *Hyalesthes obsoletus* (Sign.) [7, 8]. Другие переносчики этого семейства – *Pentastiridius leporinus* (L.), *Reptalus panzeri* (Löw) и *Reptalus quinquecostatus* (Dufour) – имеют местное значение [8]. Кроме того, в отдельных странах показана векторная роль некоторых видов из семейства цикадовых (Cicadellidae), например: *Anaceratagallia ribauti* Ossiannilsson [9, 10], *Macrostelus quadripunctulatus* Forbes [11], *Neotalitrus fenestratus* Herrich-Schäffer [12], *Aphrodes bicincta* (Schrank), *Empoasca decipiens* (Paoli), *Euscelidius variegatus* (Kirschbaum) [10] и *Euscelis incisus* (Kirschbaum) [13].

Полифаговый характер переносчиков определил широкий круг поражаемых видов растений. В мире, главным образом в Европе, патоген '*Ca. Phytoplasma solani*' обнаружен более чем у 100 видов высших растений из 40 семейств и 22 родов, включающих большинство культивируемых и дикорастущих растений. Среди них – такие экономически значимые культуры, как картофель, томат, перец, баклажан, а также виноград, кукуруза, морковь, сельдерей, петрушка, бобы, лаванда и другие [5]. Ареал этой фитоплазмы на Евразийском континенте охватывает главным образом Средиземноморский и Черноморский регионы Европы, откуда, в связи с

потеплением климата распространился далее на север. Так, в прошлом веке ареал основного переносчика фитоплазмы столбура – вьюнковой циксииды (*Hyalestes obsoletus* Sign.) в РФ с юга достигал широты Саратовской области. С 2010 г. эта циксиида обнаружена и в Самарской области, расположенной севернее, что определило эпифитотийный характер заболевания столбура на паслёновых и других культурах в 2011–2015 гг., в том числе в Татарстане (идентифицирован по симптомам) [14]. В Самарской области в 2010–2015 гг. поражённость кустов в посадках картофеля составляла 20–100 % при соответствующем снижении урожая [15]. По этой причине в большинстве районов области в последнее десятилетие прекратили организованные массовые посадки картофеля и скорректировали меры защитных мероприятий в специализированных семеноводческих хозяйствах. В пределах ареала вредоносности столбур поражает широкий круг растений.

В Европе полный цикл развития вьюнковой цикадки в природе проходит на дикорастущих и сорных многолетних растениях, включая: вьюнок *Convolvulus arvensis* L., повой заборный *Calystegia sepium* (L.) R. Br., крапиву двудомную *Urtica dioica* L., витекс священный *Vitex agnus-castus* L. и скерду вонючую *Crepis foetida* L. Растением-хозяином считается вид, на корнях которого происходит перезимовка личинок (нимф) цикадки. Именно в этой стадии происходит заражение цикадок фитоплазмой от корней растения-хозяина. Вылетевшие имаго случайным образом заселяют также другие виды растений и, делая пробные проколы, заносят фитоплазменную инфекцию. Но большинство культурных растений, за исключением лаванды *Lavandula* L., не являются постоянными кормовыми растениями цикадки. Первоначально в Центральной и Северо-Западной Европе описаны три основные природные экологические связи: 1) вьюнок – *H. obsoletus* – фитоплазма, относящаяся к штаммам типа tuf-b; 2) крапива – *H. obsoletus* – фитоплазма, относящийся к типу tuf-a; 3) повой – *H. obsoletus* – фитоплазма, относящаяся к типу tuf-c [16].

Более поздние исследования мультилокусных последовательностей рибосомных (*gplV* и *gpcC*) и экстрарибосомных генов (*secY*, *map*, *uvrB*, *degV* и *tuf*) выявили высокий уровень генетической гетерогенности фитоплазмы столбура. Векторы, инфицированные столбуром, почти всегда (> 95%) имеют такой же штамм 'Ca. P. solani', как и у растения-хозяина, на котором они были отловлены. Выяснено, что в отдельных географических районах могут существовать популяции цикадок, питающихся комбинацией трех вышеупомянутых растений-хозяев, образуя тройные ассоциации. Например, на Балканском полуострове первые достоверные данные свидетельствовали об ассоциации *H. obsoletus* с растением вьюнка *C. arvensis* – источником патогена. В течение следующих 50-ти лет, согласно фаунистическим данным и сводным данным из музейных коллекций этого региона, появление *H. obsoletus* отмечено, в первую очередь на *Vitex sp.*, реже – на *Quercus sp.* и только спорадически – на *Urtica sp.* и *Convolvulus sp.* Недавние исследования специализации вектора в шести странах юго-восточной Европы на четырех растениях (*Convolvulus arvensis* (Ca), *Urtica dioica* (Ud), *Vitex agnus-castus* (Vac) и *Crepis foetida* (Cf)) выявили генетическое разнообразие популяции *H. obsoletus*. Генетический анализ митохондриальной ДНК цикадки показал, что популяции *H. obsoletus* в юго-восточной Европе имеют высокую плотность и очень часто встречаются на крапиве, также наблюдается редкая и низкая плотность в связи с вьюнком и обычно очень распространенная, с высокой плотностью, популяция в сочетании с витекс, что, однако, ограничено прибрежным распространением растения-хозяина; существует популяция с высокой численностью и очень распространенная в связи со скердой в восточных частях обследуемой области, но

отсутствующая на юге. В целом, популяции *H. obsoletus*, собранные в шести странах, имели следующие ассоциации растений-хозяев: Сербия (Ca, Ud и Cf), Румыния (Ca и Cf), Черногория (Ca, Ud и Vac), Македония (Ca и Ud), Греция (Ca, Ud и Vac) и Турция (Ca и Cf). Идентифицировано двадцать девять гаплотипов, три из которых ранее были обнаружены в популяциях *H. obsoletus*, связанных с Ca и Ud из центральной Европы (AB, EC и FC), и 26 гаплотипов из юго-восточной Европы и Турции, которые были недавно описаны. Особи цикадки, отобранные исследователями в п. Маяк Краснодарского края РФ, были отнесены к одному новому гаплотипу (QB), полученному из гаплотипа AB метапопуляции Ca-Ud.

Популяции, связанные с *C. arvensis* и *U. dioica*, имеют пять гаплотипов и соответственно 10 и 17 частот. Они были разделены на два филогеографических субклада: западноевропейская гаплогруппа (гаплотипы, полученные из BB и AB) и восточноевропейская гаплогруппа (гаплотипы, полученные из EC). Исключением из этого географического распределения был русский гаплотип QB, принадлежавший к западной гаплогруппе. Сводные данные указывают на врожденную способность *H. obsoletus* использовать оба растения (вьюнок и крапиву) в предковом ареале произрастания. Популяции цикадки, связанные с этими двумя растениями, принадлежали к подстилам AB и EC соответственно. Эти сублинии также генетически расходятся и по микросателлитным локусам. Генетической гомогенности *H. obsoletus* на вьюнке и крапиве противостоят две различные растительные ассоциации патогена: tuf-b и tuf-a соответственно. Криптические виды *V. agnus-castus* и *C. foetida* содержат только tuf-b [17]. Полученные данные уточняют особенности циркуляции фитоплазмы столбура в природе и агроценозах, что является научной основой организации эффективных мер контроля.

Вместе с тем, до сих пор многие российские специалисты часто принимают фитоплазменную патологию за воздействие неблагоприятных абиотических факторов, а вследствие большей восприимчивости заражённых растений к патогенам иной природы ассоциируют заболевания, например, с грибной, легко диагностируемой инфекцией [13]. Практики и узкие специалисты других областей фитопатологии с трудом диагностируют признаки фитоплазмозов, особенно если заболевание сопровождается вторичной или сопутствующей инфекцией вирусов, бактерий и грибов. В связи с этим, приведём перечень типичных признаков, по нашему мнению, характерных для фитоплазменной инфекции (таблица 1) и фото некоторых фитоплазмозов (рисунок 1).

**Таблица 1 – Симптомы на различных органах растений при инфицировании фитоплазмой группы столбура и другими фитоплазмами**

Орган растения	Симптом поражения
Лист	Хлороз – более бледная окраска листа, иногда до полного обесцвечивания, и пожелтение листа.
	Антоцианирование – антоциановое окрашивание листа от слабого покраснения до пурпурного цвета.
	Мелколистность.
	Гофрированность, морщинистость.
	Скручивание – скручивание листьев вверх в виде лодочки или вовнутрь в виде треугольного конверта (виноград).
	Изменение формы листа.
	Усыхание.
Эпинастия и гипонастия – искажённое развитие с нетипичной ориентацией листьев и побегов в пространстве.	

Продолжение таблицы 1

Стебель	Пролиферация побегов – повышенное образование пазушных побегов.
	Ведьмина метла – многочисленные утончённые и укороченные пазушные побеги.
	Локальные утолщения побегов, образование пазушных воздушных клубней у картофеля.
	Уменьшение или увеличение длины междоузлий.
	Задержка роста, карликовость.
	Усыхание отдельных побегов.
	Некроз флоэмы – отмирание клеток флоэмы с характерным потемнением.
	Гуттаперчивость – избыточная гибкость побегов при уменьшенном образовании лигнина, отсутствие характерного одревеснения (у древесных).
	Фасциация – лентовидное уплощение.
Осенний прирост.	
Соцветие	Филлодия – превращение чашелистиков или лепестков в листья, большой бутон.
	Пролиферация соцветий – увеличенное образование недоразвитых цветков в соцветии, превращение элементов цветка, чаще пестика, в побег.
	Виресценция – обесцвечивание и позеленение лепестков цветка.
	Раннее или позднее, в том числе осеннее, цветение.
	Отмирание, опадение.
Плод	Одревеснение (у томата, баклажана).
	Измельчение размеров.
	Изменение формы.
Корнеплод / клубнеплод	Вялость, преждевременное созревание, обрастание многочисленными утончёнными вторичными корнями («бородатость, волосатость»).
Общий вид растения	Карликовость, пендульность, отсутствие доминирования верхушки.
	Усыхание и отмирание отдельных ветвей и всего растения.



Рисунок 1 – Типичные признаки фитоплазмозов некоторых видов растений (Фото Богоутдинова Д. З., 2007–2015 гг.)

**Примечание.** А – измельчение и антоцианирование листьев петрушки; Б – «ведьмина метла» люцерны; В – покраснение листьев груши; Г – антоцианирование и скручивание листьев картофеля; Д – филлодия (большой бутон) томата; Е – хлороз и мелколистность яблони (слева нормальный лист); Ж – филлодия (большой бутон) дурмана вонючего; И – этинастия и скручивание листьев груши; К – изменение формы листа яблони; Л – осеннее цветение и асимметрия цветка вишни; М – скручивание, хлороз и антоцианирование листьев яблони; Н – увеличение размера прилистников у яблони.

**Цель исследований** – уточнение ареала фитоплазменной инфекции группы столбура (*Ca. Phytoplasma solani*) в России, определение видового состава поражаемых культурных растений и растений дикой флоры, в том числе сорных, способных быть резерваторами инфекции.

В задачи исследований входило определить видовой состав растений-резерваторов и насекомых – возможных переносчиков в разных регионах РФ.

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

Аналізу на наличие ДНК фитоплазмы подвергали свежие или засушенные образцы растений, собранные в 17 административных образованиях восьми экономических районов РФ: Архангельской, Астраханской, Белгородской, Волгоградской, Воронежской, Ленинградской, Московской, Новосибирской, Оренбургской, Ростовской, Рязанской, Самарской, Тамбовской областях, Краснодарском и Ставропольском краях, Республиках Крым и Татарстан. Виды подотряда полужесткокрылых – цикадовых (*Auchenorrhyncha* Dumeril.), отловленные в Московской и Самарской областях (2009–2012 гг.) также были проверены на наличие фитоплазмы. Насекомых фиксировали в 70–90 % этаноле и определяли в соответствии с определителем насекомых [18]. В 2006–2019 гг. были проведены исследования ДНК. Суммарную ДНК экстрагировали из каждого насекомого отдельно в соответствии протоколом, описанный Tanne et al. (2001), и незначительно измененным [19]. Затем суммарную ДНК экстрагировали из 0,5 г предварительно мелко нарезанных и замороженных жилок листа с использованием наборов Qiagen DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen, Valencia, CA) [20]. В 2014–2019 гг. для выделения ДНК использовали методику, описанную Maixner и др. [21], с небольшими модификациями.

ДНК фитоплазмы выявляли с помощью вложенной ПЦР (nested PCR) с парой праймеров P1/16S-SR в первой амплификации и R16F2п/R16R2 – во второй [22, 23]. Полученные продукты обрабатывали эндонуклеазами рестрикции, фрагменты ДНК разделяли электрофорезом, а ПДРФ-профили использовали для идентификации группы (подгруппы) фитоплазм [24, 25].

#### **Результаты и их обсуждение**

За последние 14 лет проведения мониторинга фитоплазменных болезней в европейской части России фитоплазмы 10 групп выявлены у 122 видов растений из 36 семейств. Фитоплазма группы столбура 16SrXII-A обнаружена у 51 вида растений из 21 семейства: Adoxaceae – адоксовые, Amaranthaceae – амарантовые, Apiaceae – сельдерейные, Asteraceae – астровые, Betulaceae – березовые, Brassicaceae – капустные, Campanulaceae – колокольчиковые, Cannabaceae – коноплевые, Caryophyllaceae – гвоздичные, Convolvulaceae – вьюнковые, Cupressaceae – кипарисовые, Fabaceae – бобовые, Lamiaceae – яснотковые, Poaceae – злаки, Rosaceae – розовые, Salicaceae – ивовые, Sapindaceae – сапиндовые, Solanaceae – пасленовые, Tamaricaceae – тамариковые, Ulmaceae – вязовые, Vitaceae – виноградные (таблица 2). В числе инфицированных – 24 вида культурных и декоративных растений (47 %), 13 видов дикорастущих травянистых, включая сорные (24,5 %), и 14 древесных и кустарниковых видов (27,5 %). Наибольшее количество видов, инфицированных столбуром, выявлено в семействах: паслёновых – 9, розовых – 7, бобовых – 6, астровых – 5. Остальные 17 семейств содержали один-три вида. В таблице 2 представлены виды растений из 17 административно-территориальных образований РФ (республик, краев и областей) и восьми экономических районов. Образцы, собранные в Среднем Поволжье (Самарская область), составляли 80,0 % всего видового разнообразия, образцы из других областей – от 2,0 % до 8,0 % и, в основном, были связаны с видом *Solanum tuberosum* L.

Таблица 2 – Растения, собранные в ряде республик, краев, областей РФ в 2006–2019 гг., инфицированные фитоплазмой группы столбура, подгруппы 16SrXII-A

Вид растения	Семейство	Административное образование, год сбора
<i>Aesculus hippocastanum</i> L. (конский каштан обыкновенный)	Sapindaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Ambrosia trifida</i> L. (амброзия трёхраздельная)	Asteraceae	Краснодарский край (2008)
<i>Armoracia rusticana</i> G.Gaertn., В. Mey. & Scherb. (хрен обыкновенный)	Brassicaceae	Самарская обл. (2013)
<i>Artemisia absinthium</i> L. (полынь горькая)	Asteraceae	Самарская обл. (2010)
<i>Beta vulgaris</i> L. subsp. <i>vulgaris</i> (свёкла сахарная, свёкла кормовая)	Amaranthaceae	Воронежская обл. (2012), Белгородская обл. (2013)
<i>Betula pendula</i> Roth (берёза повислая)	Betulaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Bromus inermis</i> L. (костёр безостый)	Poaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth (вейник наземный)	Poaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Campanula patula</i> L. (колокольчик раскидистый)	Campanulaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Capsicum annuum</i> L. (перец стручковый)	Solanaceae	Астраханская обл. (2011), Ростовская обл. (2011, 2012), Самарская обл. (2012, 2014), Краснодарский (2012) и Ставропольский края (2012)
<i>Chrysanthemum × morifolium</i> Ramat. (хризантема садовая)	Asteraceae	Самарская обл. (2018)
<i>Convolvulus arvensis</i> L. (вьюнок полевой)	Convolvulaceae	Самарская обл. (2008, 2011, 2012, 2016), Московская обл. (2012), Рязанская обл. (2012)
<i>Coriandrum sativum</i> L. (кориандр посевной)	Apiaceae	Московская обл. (2008)
<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav. (космея дваждыперистая)	Asteraceae	Московская обл. (2010)
<i>Cuscuta campestris</i> Yunck. (повилика полевая)	Convolvulaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Datura metel</i> L. (дурман индийский)	Solanaceae	Республика Крым, г. Алушта (2017)
<i>Datura stramonium</i> L. (дурман вонючий)	Solanaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Daucus carota</i> subsp. <i>sativus</i> (Hoffm.) Schübl. & G.Martens (морковь посевная)	Apiaceae	Ростовская обл. (2007), Московская обл. (2012), Самарская обл. (2012, 2014)
<i>Humulus lupulus</i> L. (хмель обыкновенный)	Cannabaceae	Самарская обл. (2008)
<i>Hyoscyamus niger</i> L. (белена чёрная)	Solanaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Juniperus sabina</i> L. (можжевельник казацкий)	Cupressaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Laburnum anagyroides</i> Medik. (бобовник анагировидный)	Fabaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Lychnis chalcidonica</i> L. (лихнис халцедонский)	Caryophyllaceae	Самарская обл. (2013)
<i>Malus domestica</i> Borkh. (яблоня домашняя)	Rosaceae	Самарская обл. (2014)
<i>Medicago sativa</i> L. (люцерна посевная)	Fabaceae	Самарская обл. (2011, 2012, 2014)
<i>Melilotus albus</i> Medik. (донник белый)	Fabaceae	Самарская обл. (2013)
<i>Melissa officinalis</i> L. (мелисса лекарственная)	Lamiaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Petroselinum sativum</i> Hoffm. (петрушка посевная)	Apiaceae	Самарская обл. (2014)
<i>Petunia × hybrida</i> Hort. ex E.Vilm. (петуния гибридная)	Solanaceae	Московская обл. (2012)
<i>Physalis alkekengi</i> L. (физалис обыкновенный)	Solanaceae	Самарская обл. (2014)
<i>Populus nigra</i> var. <i>italica</i> Münchh. (тополь пирамидальный)	Salicaceae	Самарская обл. (2014)
<i>Prunus cerasus</i> L. (вишня обыкновенная)	Rosaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Prunus virginiana</i> L. (черёмуха виргинская)	Rosaceae	Самарская обл. (2013)
<i>Pyrus communis</i> L. (груша домашняя)	Rosaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Rosa × damascena</i> Mill. (роза дамасская)	Rosaceae	Республика Крым, г. Ялта (2018)
<i>Rosa rugosa</i> Thunb. (шиповник морщинистый)	Rosaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Salix acutifolia</i> Willd. (ива остролистая – краснотал)	Salicaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Salix babylonica</i> L. (ива плакучая = ива вавилонская)	Salicaceae	Самарская (2012)



## Продолжение таблицы 2

<i>Sambucus racemosa</i> L. (бузина красная)	Adoxaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Securigera varia</i> (L.) Lassen (секироплодник пёстрый = вязель пёстрый)	Fabaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Solanum lycopersicum</i> L. (томат)	Solanaceae	Ростовская обл. (2006, 2011), Астраханская обл. (2008), Краснодарский край (2010), Самарская обл. (2012)
<i>Solanum melongena</i> L. (баклажан)	Solanaceae	Республика Крым, г. Симферополь (2019)
<i>Solanum tuberosum</i> L. (картофель)	Solanaceae	Московская обл. (2006–2010), Вологодская обл. (2006), Самарская обл. (2006, 2008, 2012, 2014), Оренбургская обл. (2008), Ленинградская обл. (2008), Республика Татарстан, Краснодарский край (2008, 2009), Ставропольский край (2009), Архангельская обл. (2010), Новосибирская обл. (2010), Астраханская обл. (2012), Тамбовская обл. (2013, 2018), Волгоградская обл. (2015)
<i>Spartium junceum</i> L. (метельник ситниковый)	Fabaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Spiraea hypericifolia</i> L. (спирея зверобоелистная)	Rosaceae	Самарская обл. (2013)
<i>Tamarix gracilis</i> Willd. (гребенщик изящный)	Tamaricaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. (одуванчик лекарственный)	Asteraceae	Самарская обл. (2010)
<i>Thuja occidentalis</i> L. (туя западная)	Cupressaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Trifolium medium</i> L. (клевер средний)	Fabaceae	Новосибирская обл. (2012)
<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq. (вяз мелколистный)	Ulmaceae	Самарская обл. (2012)
<i>Vitis vinifera</i> L. (виноград культурный)	Vitaceae	Самарская обл. (2012, 2014), Республика Крым (2018, 2019)

В РФ наибольший урон столбур наносит паслёновым культурам, в частности картофелю (*Solanum tuberosum* L.). Фитоплазма группы столбура на картофеле была выявлена в 12 административно-территориальных образованиях, представляющих восемь экономических регионов РФ. Наиболее часто инфицирование фитоплазмой группы столбура обнаруживали в южных районах, что и составляет ареал её вредоносности [26]. Однако полученные нами данные свидетельствуют о более широком ареале этой фитоплазмы, включающем также Западно-Сибирский, Северо-Западный и Северный экономические районы РФ. Распространению фитоплазмы столбура способствуют засушливые условия сезонов, а в некоторых случаях и сезонный занос переносчиков из южных регионов в более северные. Меняющиеся погодные условия могут влиять на многолетние данные распространения патогена. В 2006 г. фитоплазма столбура обнаружена в образцах картофеля в Поволжском, Северном и Центральном регионах, в 2007 г. – в Центральном, в 2008 г. – в Поволжском, Северо-Западном, Северо-Кавказском, Уральском и Центральном, в 2009 г. – в Северо-Кавказском и Центральном, в 2010 г. – в Западно-Сибирском, Северном и Центральном, в 2012 г. – в Поволжском и Центральном, в 2013 и 2018 г. – в Центрально-Чернозёмном, в 2014 и 2015 – в Поволжском (см. таблицу 2). В 2011 и 2016 гг. не выявлено случаев инфицирования этой фитоплазмой собранных образцов, что могло быть вызвано незначительным заселением агроценозов насекомыми-векторами и меньшим распространением растений-резерваторов, а также небольшим количеством отобранных для анализа образцов.

В южных районах РФ (Нижнее Поволжье, Ростовская область, Северный Кавказ, Крым) столбур наносит значительный урон урожаю и других видов пасленовых культур – томату (*Solanum lycopersicum* L.) и перцу (*Capsicum annuum* L.). В 2001–2004 гг. эпифитотийные ситуации столбура пасленовых отмечены в Ростовской области. В 2003 г. в хозяйствах области распространённость столбура на томате и перце составляла 65–100 % [27]. В Астраханской области эпифитотия столбура на томатах была зарегистрирована в 2007 г. [28, 30].

В Поволжье и в Ростовской области фитоплазма столбура, кроме томатов (*Solanum lycopersicum* L.) и перцев, была также выявлена в моркови (*Daucus carota* subsp. *sativus* (Hoffm.) Arcang.), хрене обыкновенном (*Armoracia rusticana* G. Gaertn., B. Mey. & Scherb.), петрушке посевной (*Petroselinum sativum* Hoffm) и мелиссе лекарственной (*Melissa officinalis* L.), а в Московской области – в кориандре посевном (*Coriandrum sativum* L.) (см. таблицу 2). Значительный ущерб может вызывать фитоплазма столбура в Центрально-Чернозёмном районе на свёкле сахарной (*Beta vulgaris* L.) [29].

В Центральном и Поволжском экономических районах РФ в 2012–2017 гг., фитоплазма подгруппы столбура выявлена в вишне обыкновенной (*Prunus subg. cerasus* (Mill.) A. Gray), груше домашней (*Pyrus communis* L.), черемухе виргинской (*Prunus virginiana* L.) и яблоне домашней (*Malus domestica* Borkh.) (см. таблицу 2). Однако чаще плодовые культуры страдают от инфицирования фитоплазмой другого вида – ‘*Ca. P. mali*’, относящейся к группе 16SrX.

Еще больший урон столбур наносит культуре винограда (*Vitis vinifera* L.). Заболевание, известное под названием «почернение древесины» – “bois noir” (BN), вызываемое ‘*Ca. P. solani*’, распространено в районах возделывания винограда по всему миру, особенно в Европе, в странах Средиземноморского бассейна в зоне естественного распространения переносчиков. В 2012 и 2014 гг. эта фитоплазма выявлена в винограде из Самарской области, а в 2018 и 2019 гг. – в различных сортах винограда из Республики Крым (см. таблицу 2). В 2019 и 2020 г. появились сообщения об инфицировании винограда в Краснодарском крае [31, 32].

По данным специалистов ФГБУН “Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН» заболевание “Bois noir” впервые выявлено в Крыму в 2012 г. На отдельных участках Юго-западной зоны виноградарства до 95 % кустов сорта Шардоне имели симптомы поражения фитоплазмой. Потери урожая на участке достигали 40 %. В 2015 г. интенсивность проявления симптомов заболевания увеличилась в 2,2 раза по сравнению с 2014 г. [33]. Специалисты ФГБУ «ВНИИКР» фитоплазму группы столбура также выявили на винограде с симптомами пожелтения, скручивания листьев и почернения коры в Дагестане [37].

В степных районах ареала (южнее областей Среднего Поволжья и Южного Урала) распространения циклиид – переносчиков фитоплазмы столбура – этот патоген может наносить значительный ущерб кормовым бобовым травам. Фитоплазма группы 16SrXII-A была выявлена у донника белого, клевера среднего и люцерны посевной. Также она обнаружена у бобовых дикорастущей и декоративной флоры: в бобовнике анагировидном (*Laburnum anagyroides* Medik.), метельнике ситниковом (*Spartium junceum* L.) и секироплоднике пёстром (*Securigera varia* (L.) Lassen) (см. таблицу 2). Наибольшую вредоносность может представлять ведьмина метла люцерны (*Medicago sativa* L.), имеющая распространение от широты Татарстана до южных регионов РФ. Под воздействием патогена люцерна становится карликовой с множеством утончённых побегов и измельчённых листьев, отсутствующими или редуцированными генеративными органами. Вредоносность и

распространённость заболевания увеличивается на 10–20 % с каждым годом существования травостоя. При этом продуктивность семян и зелёной массы в итоге может снизиться более чем на 50 % [35]. Учитывая многолетний характер произрастания люцерны (и других многолетних трав), такой посев становится одним из устойчивых резерватов патогенов и векторов в агроценозах, оказывая постоянное негативное влияние на соседние поля.

Это же относится к посевным и дикорастущим злаковым травам. В Самарской области фитоплазма подгруппы 16SrXII-A была выявлена в вейнике наземном (*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth) и костреце безостом (*Bromus inermis* Leyss.) (см. таблицу 2). В результате многолетнего использования кормовых посевов костреца увеличивается количество инфицированных растений и одновременно снижается продуктивность вегетативной массы и семян [36]. Часто после летнего укоса на полях образуются плеси с отсутствующим травостоем, которые частично отрастают только осенью при снижении температуры и увеличении количества осадков. Такие посевы также могут быть резерватами фитоплазмы столбура и переносчиков.

Существенный вред, нередко приводящий к гибели, фитоплазма столбура может наносить дикорастущим и декоративным древесным и кустарниковым растениям. Фитоплазма подгруппы 16SrXII-A была выявлена в древесных и кустарниковых дикорастущих и декоративных растениях: берёзе повислой (*Betula pendula* Roth), бузине красной (*Sambucus racemosa* L.), вязе мелколистном (*Ulmus parvifolia* Jacq.), иве краснотал (*Salix acutifolia* Willd) и иве плакучей (*Salix babylonica* L.), можжевельнике казацком (*Juniperus sabina* L.), туе западной (*Thuja occidentalis* L.), спирее зверобоелистной (*Spiraea hypericifolia* L.), розе эфиромасличной (*Rosa* × *damascena* Mill.) и морщинистой (*Rosa rugosa* Thunb.), черёмухе виргинской (*Prunus virginiana* L), каштане конском (*Aesculus hippocastanum* L.), тамариксе изящном (*Tamarix gracilis* Willd.), а также в декоративных травянистых видах: дурмане индийском (*Datura metel* L.), космее дваждыперистой (*Cosmos bipinnatus* Cav.), петунии гибридной (*Petunia* × *hybrida* Hort. ex E.Vilm.), физалисе обыкновенном (*Physalis alkekengi* L.) и хризантеме садовой (*Chrysanthemum* × *morifolium* Ramat.) (см. таблицу 2). После чрезвычайно засушливого 2010 г. в Самарской области и в областях, расположенных южнее, зарегистрировано массовое усыхание искусственных насаждений берёзы повислой и вяза мелколистного, инфицированных фитоплазмой группы столбура. Заражение фитоплазмой приводит к снижению декоративности посадок, используемых в озеленении населённых пунктов, что требует их замены и вложения дополнительных материальных средств.

Среди сельскохозяйственных культур, представленных в таблице 2, нет кукурузы (*Zea mays* L.), но столбур кукурузы был выявлен в Крыму [38], а сходные симптомы на этой культуре наблюдали и в Самарской области. Растения кукурузы в зависимости от сорта имели красные или желтые листья, высота растений снижалась более чем в два раза. Початки, если и образовывались, то укороченные, уродливой формы и неполной озернённости.

Фитоплазма столбура была выявлена в широком круге травянистых растений, большая часть которых – злостные сорняки, являющиеся резерватами фитоплазмы. В первую очередь, это – вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.), с которым ассоциирована зимующая личиночная стадия переносчика фитоплазмы циклиды *Hyalesthes obsoletus*, кроме того, амброзия трёхраздельная (*Ambrosia trifida* L.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* (L.) Webb ex F. N. Wigg.), белена черная (*Hyoscyamus niger* L.) и дурман обыкновенный (*Datura stramonium* L.) (см. таблицу 2). Также фитоплазма столбура обнаружена в растении-паразите

повилике полевой (*Cuscuta campestris* Yunck.), способной увеличивать количество инфицированных растений. Многие из этих видов являются многолетними (вьюнок, белена, одуванчик и другие), а значит, могут сохранять инфекцию в зимний период и значительно влиять на распространение столбура.

Впервые переносчик столбура, циксида *H. obsoletus*, или как ее называют, вьюнковая цикадка, была выявлена К. С. Суховым и А. М. Вовк в 1946 г. при изучении эпифитотии столбура паслёновых в Краснодарском крае [7]. Но в то время ареал этого насекомого ограничивался с севера 52 параллелью, а в начале XXI в. он сдвинулся к северу и с 2010 г. эту цикадку обнаруживали уже в Самарской области. Причем, появившаяся здесь вьюнковая цикадка, в отдельных станциях имела рекордно высокую плотность, достигая численности более 700 экземпляров на 100 взмахов сачка, тогда как в 1989–1991 гг. в Чечено-Ингушетии при заболеваемости томата столбуром 40–80 %, количество цикадки не превышало 2–12 экземпляров на 100 взмахов сачка [39]. Очевидно, что способностью к дальним миграциям обладают наиболее жизнеспособные особи. В подходящих для обитания местах они реализуют максимальную репродуктивную способность. Как следствие, это привело к длительной эпифитотийной ситуации после 2010 г.

Переносчиком столбура в Самарской области может быть и корневая цикадка (*Pentastiridius leporinus* L.), относящаяся, как и вьюнковая цикадка, к семейству Cixiidae, в которой была выявлена фитопlasма группы столбура [40]. Джес Йоханнесен (Jes Johannesen, Institute of Organismic and Molecular Evolution, Mainz University, Mainz, Germany) любезно проанализировал цикадок, отловленных в Самарской области. У них был установлен гаплотип мтДНК типа «АВ» (как и из Краснодарского края), который распространён в основном в средиземноморском регионе западной Европы. Проанализированный бактериальный эндосимбионт цикадки – «*Candidatus Sulcia muelleri*» имел гаплотип «е». Этот гаплотип встречается в Словении и на юге Балкан и относится к западноевропейскому штамму *Sulcia muelleri* Moran. (не опубликованные данные). Эти результаты показывают, что популяции *H. obsoletus* из Западной Европы и России значительно более связаны между собой, чем с популяцией на Балканах.

В Московской области в 2012 г. фитопlasма группы 16SrXII-A была обнаружена в единичных особях *Eupteryx atropunctata* Goetze и *Aphrodes bicinctus* Schrk., векторная роль последней в передаче столбура показана в Чехии [10]. Однако точно установить векторную роль фитопlasмы группы столбура этими насекомыми в Московской области пока не удалось.

### Выводы

В России, как и в других странах Европы, широко распространены заболевания растений, вызванные фитопlasмой группы столбура. В результате генетических исследований в РФ в 2006–2020 гг., фитопlasма, родственная виду ‘*Ca. P. solani*’, выявлена на 51 виде растений, принадлежащих к 21 семейству из 17 административных образований восьми экономических районов РФ. Ареал обитания фитопlasмы столбура включает территорию от Северного Кавказа на юге до Архангельской области на севере и от Ленинградской области на западе до Новосибирской области на востоке. Ареал вредоносности охватывает южные регионы (Северный Кавказ, Крым, Нижнее Поволжье, Ростовскую область) и доходит на севере до Среднего Поволжья (Самарская область, Татарстан). Наибольшее количество видов, инфицированных этой фитопlasмой, обнаружено у растений семейства паслёновых (9), розовых (7), бобовых (6) и астровых (5). В числе инфицированных было 24 вида культурных и декоративных растений (47 %), 13 видов дикорастущих травянистых, включая сорные (24,5 %), и 14 дикорастущих древесных и кустарниковых видов (27,5 %). Образцы, собранные в

Среднем Поволжье (Самарская область), представляли 80,0 % всего видового разнообразия, образцы из других областей – от 2,0 % до 8,0 % и в основном были связаны с видом *Solanum tuberosum* L. Генетические анализы подтвердили векторную роль вьюнковой (*Hyalesthes obsoletus* Sign.) и корневой (*Pentastiridius leporinus* L.) цикадок для фитоплазмы столбура в РФ. Установлено, что вьюнковая цикадка из популяции Самарской области генетически связана с популяцией из Западной Европы и имеет трофические связи с вьюнком полевым и крапивой двудомной. Носителями и вероятными переносчиками столбура могут быть и другие виды цикадовых, например, *Aphrodes bicinctus* Schrk. Оценка фитосанитарного риска в каждой природно-климатической зоне должна быть основой в организации приемов контроля заболеваний. Принимая во внимание латентный и хронический характер фитоплазменной инфекции, для определения фитосанитарного риска следует использовать молекулярно-генетические методы диагностики фитоплазм: ПЦР, ПДРФ.

*Авторы выражают благодарность научному сотруднику Института органической и молекулярной эволюции Университета Майнца (Германия) Джесу Йоханнесу (Jes Johannesen, Institute of Organismic and Molecular Evolution, Mainz University, Germany), проанализировавшему образцы вьюнковой цикадки из Самарской области.*

### Литература

1. Hogenhout S. A., Oshima K., Ammar EL-D., Kakizawa S., Kingdom H. M., Namba S. Phytoplasmas: bacteria that manipulate plants and insects // *Mol. Plant Pathol.* 2008. Vol. 9(4). P. 403–423. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2008.00472.x.
2. Корачевский И. К. Вирусные болезни томата в Крыму // Вирусные болезни растений в Крыму и на Украине // Под ред. Рыжкова В. Л. Симферополь, 1934. С. 39–58.
3. Рыжков В. Л., Корачевский И. К. Вирусные болезни помидора в опытах по искусственному заражению // Вирусные болезни растений в Крыму и на Украине. Симферополь, 1934. С. 7–30.
4. Lee I.-M., Gundersen-Rindal D. E., Davis R. E., Bartoszyk I. M. Revised classification scheme of phytoplasmas based on RFLP analyses of 16S rRNA and ribosomal protein gene sequences // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 1998. Vol. 48. P. 1153–1169. DOI: 10.1099/00207713-48-4-1153.
5. Candidatus *Phytoplasma solani* (Stolbur phytoplasma) // Datasheet invasive species pest natural enemy. Compendium invasive species CABI. Last modified 02 December 2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/108243> (дата обращения 04.08.2020).
6. Quaglino F., Zhao Y., Casati, P., Bulgarii D., Bianco P. A., Wei, W. 'Candidatus Phytoplasma solani', a novel taxon associated with stolbur and bois noir related diseases of plants // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 2013. Vol. 63. P. 2879–2894. DOI: 10.1099/ijs.0.044750-0.
7. Сухов К. С., Вовк А. М. Цикадка *Hyalesthes obsoletus* Sign. // Доклады АН СССР. 1946. Т. 53. № 2. С. 153–156.
8. Jović J., Riedle-Bauer M., Chuche J. Vector role of cixiids and other planthopper species // In book: *Phytoplasmas: Plant Pathogenic Bacteria – II* // Ed. by Bertaccini A., Weintraub P., Rao G., Mori N. Singapore: Springer, 2019. P. 1–345. DOI: 10.1007/978-981-13-2832-9\_4.
9. Riedle M., Sára A., Regner F. Transmission of a stolbur phytoplasma by the Agalliinae Leafhopper *Anaceratagallia ribauti* (Hemiptera, Auchenorrhyncha, Cicadellidae) // *Journal of Phytopathology.* 2008. Vol. 156 (11-12). P. 687–690. DOI: 10.1111/j.1439-0434.2008.01416.x.
10. Šafářová D., Lauterer P., Starý M., Válová P., Navrátil M. Insight into epidemiological importance of phytoplasma vectors in vineyards in South Moravia, Czech Republic // *Plant Protect. Sci.* 2018. Vol. 54. No. 4. P. 234–239. DOI:10.17221/8/2018-PPS.
11. Batlle A., Altabella N., Sabaté J., Laviña A. Study of the transmission of stolbur phytoplasma to different crop species, by *Macrosteles quadripunctulatus* // *Annals of Applied Biology.* 2008. Vol. 152. Iss. 2. P. 235–242. DOI:10.1111/j.1744-7348.2007.00210.x.
12. Mitrovic M., Trivellone V., Cvrkovic T., Jakovljevic M., Krstic O., Jovic J., Tosevski I. Experimental and molecular evidence of *Neoaliturus fenestratus* role in the transmission of “stolbur” phytoplasma to lettuce and carrot plants // *Phytopathogenic Mollicutes.* 2019. Vol. 9. Iss. 1. P. 109–110. DOI: 10.5958/2249-4677.2019.00055.0.

13. Jakovljević M., Jović J., Krstić O., Mitrović M., Marinković S., Toševski I., Cvrković T. Diversity of phytoplasmas identified in the polyphagous leafhopper *Euscelis incisus* (Cicadellidae, Deltocephalinae) in Serbia: pathogen inventory, epidemiological significance and vectoring potential // Eur. J. Plant Pathol. 2020. Vol. 156. P. 201–221. DOI: 10.1007/s10658-019-01878-w.
14. Замалиева Ф. Ф., Зайцева Т. В., Рыжих Л. Ю., Салихова З. З. Фузариозное увядание картофеля и рекомендации по защите // Защита картофеля. 2015. № 2. С. 3–9. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://kartofel.org/zakart/zk2\\_2015.pdf](http://kartofel.org/zakart/zk2_2015.pdf) (дата обращения 04.08.2020).
15. Бакунов А. Л., Дмитриева Н. Н. Столбур – опасное заболевание // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 4(3). С. 570–572. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015\\_4\\_570\\_572.pdf](http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015_4_570_572.pdf) (дата обращения 04.08.2020).
16. Langer M., Maixner M. Molecular characterization of grapevine yellows associated phytoplasmas of the stolbur-group based on RFLP-analysis of non-ribosomal DNA // Vitis: Journal of Grapevine Research. 2004. Vol. 43 (4). P. 191–199. DOI: 10.5073/vitis.2004.43.191-199.
17. Kosovac A., Johannesen J., Krstić O., Mitrović M., Cvrković T., Toševski I., Jović J. Widespread plant specialization in the polyphagous planthopper *Hyalesthes obsoletus* (Cixiidae), a major vector of stolbur phytoplasma: evidence of cryptic speciation // Mol. Ecol. 2013. Vol. 22(8). P. 188–203. DOI: 10.1111/mec.12237.
18. Емельянов А. Ф. Подотряд Цикадовые Cicadinea (Auchenorrhyncha) // Определитель насекомых в европейской части СССР / Под ред. Бей-Биенко Г. Я. М.-Л.: Наука, 1964. С. 337–437.
19. Tanne E., Boudon-Padieu E., Clair D., Davidovich M., Melamed S., Meir K. Detection of *Phytoplasma* by polymerase chain reaction of insect feeding medium and its use in determining vectoring ability // Phytopathology. 2001. Vol. 91. P. 741–746. DOI: 10.1094/PHYTO.2001.91.8.741.
20. Green M. J., Thompson D. A., Mackenzie D. J. Easy and efficient DNA extraction from woody plants for the detection of phytoplasmas by polymerase chain reaction // Plant Disease. 1999. Vol. 83. P. 482–485. DOI: 10.1094/PDIS.1999.83.5.482.
21. Maixner M., Ahrens U., Seemüller E. Detection of the German grapevine yellows (Vergilbungskrankheit) MLO in grapevine, alternative hosts and a vector by a specific PCR procedure // Eur. J. Plant Pathol. 1995. Vol. 101. P. 241–250. DOI: 10.1007/BF01874780.
22. Deng S., Hiruki C. Amplification of 16S rRNA genes from culturable and non-culturable mollicutes // J. Microbiol. Meth. 1991. Vol. 14. P. 53–61. DOI: 10.1016/0167-7012(91)90007-D.
23. Gundersen D. E., Lee I.-M. Ultrasensitive detection of phytoplasmas by nested-PCR assays using two universal primer pairs // Phytopathologia Mediterranea. 1996. Vol. 35. P. 144–151. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.jstor.org/stable/42685262?seq=1> (дата обращения 04.08.2020).
24. Lee I.-M., Gundersen-Rindal D. E., Davis R. E., Bartoszyk I. M. Revised classification scheme of phytoplasmas based on RFLP analyses of 16S rRNA and ribosomal protein gene sequences // Int. J. Syst. Bacteriol. 1998. Vol. 48. 1998. P. 1153–1169. DOI: 10.1099/00207713-48-4-1153.
25. Wei W., Davis R. E., Lee I.-M., Zhao Y. Computer-simulated RFLP analysis of 16S rRNA genes: identification of ten new phytoplasma groups // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2007. Vol. 57. P. 1855–1867. DOI: 10.1099/ijs.0.65000-0.
26. Girsova N. V., Bottner-Parker K. D., Bogoutdinov D. Z., Meshkov Yu. I., Mozhaeva K. A., Kastalyeva T. B., Lee I. M. Diverse phytoplasmas associated with potato stolbur and other related potato diseases in Russia // Eur J Plant Pathol. 2016. No. 145. P. 139–153. DOI: 10.1007/s10658-015-0824-3.
27. Рекомендации по защите овощных культур и картофеля от столбура // Сост. Богоутдинов Д. З., Паршин В. Г., Барбарийский А. Ю., Трофимов С. Н., Вошедский Н. Н., Сорокин Н. С. Ростов-на-Дону: ООО «ЦВВР», 2004. 15 с.
28. Фоминых Т. С., Белых Е. Б., Адайкина Р. К., Орина А. С., Уткина В. Ю., Богоутдинов Д. З., Тимофеев А. С. Фитосанитарное состояние посадок томата в Астраханской области (Выявление вирусных, фитоплазменных и грибных болезней) // Вестник овощевода. 2011. № 3. С. 30–33.
29. Кастальева Т. Б., Богоутдинов Д. З., Боттнер-Паркер К. Д., Гирсова Н. В., Ли И. М. О разнообразии фитоплазмозов сельскохозяйственных культур в России // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 3. С. 367–375. DOI: 10.15389/agrobiol.2016.3.367rus.
30. Фоминых Т. С., Богоутдинов Д. З., Иванова Г. П., Белых Е. Б., Нестеренко И. А., Тимофеев А. С., Дубинин Р. И., Знаменщиков Г. К., Васильев Ю. В. Система мероприятий по защите овощных культур от вирусных и фитоплазменных болезней в условиях Астраханской области РФ: Методические рекомендации. Астрахань: ООО КПЦ «Полиграфком», 2012. 51 с.
31. Porotikova E., Yurchenko E., Vinogradova S. Molecular identification of phytoplasmas in Russian vineyards // Phytopathogenic Mollicutes. 2019. Vol. 9 (1). P. 25–26. DOI: 10.5958/2249-4677.2019.00013.6.

32. Porotikova E. V., Yurchenko E. G., Vinogradova S. V. First Report of 'Candidatus Phytoplasma solani' associated with Bois Noir on Grapevine (*Vitis vinifera*) in Krasnodar Region of Russia // Plant Disease. 2020. Vol. 104. P. 277. DOI: 10.1094/PDIS-03-19-0508-PDN.
33. Алейникова Н. В., Радионовская Я. Э. Интродуцированный посадочный материал – источник фитоплазменной инфекции на виноградниках Крыма // Защита и карантин растений. 2015. № 9. С. 34–39. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/introdutsirovannyy-posadochnyy-material-istochnik-fitoplazmennoy-infektsii-na-vinogradnikah-kryma> (дата обращения 04.08.2020).
34. Girsova N. V., Bottner-Parker K. D., Bogoutdinov D. Z., Kastalyeva T. B., Meshkov Y. I., Mozhaeva K. A., Lee I. M. Diverse phytoplasmas associated with leguminous crops in Russia // European Journal of Plant Pathology. 2017. Vol. 149. P. 599–610. DOI: 10.1007/s10658-017-1209-6.
35. Гирсова Н. В., Кастальева Т. Б., Мешков Ю. И., Можасва К. А., Богоутдинов Д. З. Фитоплазмы бобовых растений // Известия ТСХА. 2015. Вып. 2. С. 58–73.
36. Богоутдинов Д. З., Кастальева Т. Б., Гирсова Н. В. Фитоплазменные заболевания злаковых растений в Среднем Поволжье // Защита и карантин растений. 2018. № 1. С. 21–25.
37. Матяшова Г. Н., Заец В. Г. Исследование метода ПЦР в режиме реального времени для обнаружения и идентификации возбудителей фитоплазмозов винограда // Вестник РУДН. Серия «Агрономия и животноводство». 2015. № 4. С. 7–14. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-metoda-ptsr-v-rezhime-realnogo-vremeni-dlya-obnaruzheniya-i-identifikatsii-vozbuditeley-fitoplazmozov-vinograda> (дата обращения 04.08.2020).
38. Валеева Н. Г. Фитоплазменное заболевание кукурузы в Крыму // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 6. С. 14–17. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/fitoplazmennoe-zabolevanie-kukuruzy-v-krymu> (дата обращения 04.08.2020).
39. Богоутдинов Д. З. Обоснование и разработка мер борьбы со столбуром томатов в Чечено-Ингушетии. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. СПб.: ВИЗР, 1992. 15 с.
40. Богоутдинов Д. З. Столбур пасленовых на севере его ареала // Доклады РАСХН. 2002. № 6. С. 22–23.

## References

1. Hogenhout S. A., Oshima K., Ammar EL-D., Kakizawa S., Kingdom H. M., Namba S. Phytoplasmas: bacteria that manipulate plants and insects // Mol. Plant Pathol. 2008. Vol. 9(4). P. 403–423. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2008.00472.x.
2. Korachevsky I. K. Viral diseases of tomato in the Crimea // Viral diseases of plants in the Crimea and Ukraine // Ed. by Ryzhkov V. L. Simferopol, 1934. P. 39–58.
3. Ryzhkov V. L., Korachevsky I. K. Viral diseases of tomato in experiments on artificial infection // Viral diseases of plants in the Crimea and Ukraine // Ed. by Ryzhkov V. L. Simferopol, 1934. P. 7–30.
4. Lee I.-M., Gundersen-Rindal D. E., Davis R. E., Bartoszyk I. M. Revised classification scheme of phytoplasmas based on RFLP analyses of 16S rRNA and ribosomal protein gene sequences // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 1998. Vol. 48. P. 1153–1169. DOI: 10.1099/00207713-48-4-1153.
5. Candidatus *Phytoplasma solani* (*Stolbur phytoplasma*) // Datasheet invasive species pest natural enemy. Compendium invasive species CABI. Last modified 02 December 2019. [Electronic resource]. Access point: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/108243> (reference's date 04.08.2020).
6. Quaglino F., Zhao Y., Casati P., Bulgarii D., Bianco P. A., Wei W. 'Candidatus *Phytoplasma solani*', a novel taxon associated with stolbur and bois noir related diseases of plants // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2013. Vol. 63. P. 2879–2894. DOI: 10.1099/ijs.0.044750-0.
7. Sukhov K. S., Vovk A. M. Planthopper *Hyalesthes obsoletus* Sign. // Reports of the USSR Academy of Sciences. 1946. Vol. 53. No. 2. P. 153–156.
8. Jović J., Riedle-Bauer M., Chucho J. Vector role of cixiids and other planthopper species // In book: Phytoplasmas: Plant Pathogenic Bacteria – II // Ed. by Bertaccini A., Weintraub P., Rao G., Mori N. Singapore: Springer, 2019. P. 1–345. DOI: 10.1007/978-981-13-2832-9\_4.
9. Riedle M., Sára A., Regner F. Transmission of a stolbur phytoplasma by the Agalliinae Leafhopper *Anaceratagallia ribauti* (Hemiptera, Auchenorrhyncha, Cicadellidae) // Journal of Phytopathology. 2008. Vol. 156 (11-12). P. 687–690. DOI: 10.1111/j.1439-0434.2008.01416.x.
10. Šafářová D., Lauterer P., Starý M., Válková P., Navrátil M. Insight into epidemiological importance of phytoplasma vectors in vineyards in South Moravia, Czech Republic // Plant Protect. Sci. 2018. Vol. 54. No. 4. P. 234–239. DOI: 10.17221/8/2018-PPS.
11. Batlle A., Altabella N., Sabaté J., Laviña A. Study of the transmission of stolbur phytoplasma to different crop species, by *Macrosteles quadripunctulatus* // Annals of Applied Biology. 2008. Vol. 152. Iss. 2. P. 235–242. DOI:10.1111/j.1744-7348.2007.00210.x.

12. Mitrovic M., Trivellone V., Cvrkovic T., Jakovljevic M., Krstic O., Jovic J., Tosevski I. Experimental and molecular evidence of *Neopaliturus fenestratus* role in the transmission of “stolbur” phytoplasma to lettuce and carrot plants // *Phytopathogenic Mollicutes*. 2019. Vol. 9. Iss. 1. P. 109–110. DOI: 10.5958/2249-4677.2019.00055.0.
13. Jakovljević M., Jović J., Krstić O., Mitrović M., Marinković S., Toševski I., Cvrković T. Diversity of phytoplasmas identified in the polyphagous leafhopper *Euscelis incisus* (Cicadellidae, Deltocephalinae) in Serbia: pathogen inventory, epidemiological significance and vectoring potential // *Eur. J. Plant Pathol.* 2020. Vol. 156. P. 201–221. DOI: 10.1007/s10658-019-01878-w.
14. Zamalieva F. F., Zaitseva T. V., Ryzhikh L. Yu., Salikhova Z. Z. Fusarium wilt of potato and recommendations for a protection // *Potato protection*. 2015. No. 2. P. 3-9. [Electronic resource]. Access point: [http://kartofel.org/zakart/zk2\\_2015.pdf](http://kartofel.org/zakart/zk2_2015.pdf) (reference's date 04.08.2020).
15. Bakunov A. L., Dmitrieva N. N. Stolobur – harmful potato disease // *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015. Vol. 17. No. 4 (3). P. 570–572. [Electronic resource]. Access point: [http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015\\_4\\_570\\_572.pdf](http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015_4_570_572.pdf) (reference's date 04.08.2020).
16. Langer M., Maixner M. Molecular characterization of grapevine yellows associated phytoplasmas of the stolbur-group based on RFLP-analysis of non-ribosomal DNA // *Vitis: Journal of Grapevine Research*. 2004. Vol. 43 (4). P. 191–199. DOI: 10.5073/vitis.2004.43.191-199.
17. Kosovac A., Johannesen J., Krstić O., Mitrović M., Cvrković T., Toševski I., Jović J. Widespread plant specialization in the polyphagous planthopper *Hyalesthes obsoletus* (Cixiidae), a major vector of stolbur phytoplasma: evidence of cryptic speciation // *Mol Ecol*. 2013. Vol. 22(8). P. 188–203. DOI: 10.1111/mec.12237.
18. Yemelyanov A. F. Suborder Cicadinea (Auchenorrhyncha) // *The determinant of insects in the European part of the USSR* // Ed. by Bey-Bienko G. Ya. Moscow-Leningrad: Nauka, 1964. P. 337–437.
19. Tanne E., Boudon-Padiou E., Clair D., Davidovich M., Melamed S., Meir K. Detection of *Phytoplasma* by polymerase chain reaction of insect feeding medium and its use in determining vectoring ability // *Phytopathology*. 2001. Vol. 91. P. 741–746. DOI: 10.1094/PHTO.2001.91.8.741.
20. Green M. J., Thompson D. A., Mackenzie D. J. Easy and efficient DNA extraction from woody plants for the detection of phytoplasmas by polymerase chain reaction // *Plant Disease*. 1999. Vol. 83. P. 482–485. DOI: 10.1094/PDIS.1999.83.5.482.
21. Maixner M., Ahrens U., Seemüller E. Detection of the German grapevine yellows (Vergilbungskrankheit) MLO in grapevine, alternative hosts and a vector by a specific PCR procedure // *Eur. J. Plant Pathol.* 1995. Vol. 101. 1995. P. 241–250.
22. Deng S., Hiruki C. Amplification of 16S rRNA genes from culturable and non-culturable mollicutes // *J. Microbiol. Meth.* 1991. Vol. 14. P. 53–61. DOI: 10.1016/0167-7012(91)90007-D.
23. Gundersen D.E., Lee I.-M. Ultrasensitive detection of phytoplasmas by nested-PCR assays using two universal primer pairs // *Phytopathologia Mediterranea*. 1996. Vol. 35. P. 144–151. [Electronic resource]. Access point: <https://www.jstor.org/stable/42685262?seq=1> (reference's date 04.08.2020).
24. Lee I.-M., Gundersen-Rindal D. E., Davis R. E., Bartoszyk I. M. Revised classification scheme of phytoplasmas based on RFLP analyses of 16S rRNA and ribosomal protein gene sequences // *Int. J. Syst. Bacteriol.* 1998. Vol. 48. P. 1153–1169. DOI: 10.1099/00207713-48-4-1153.
25. Wei W., Davis R. E., Lee I.-M., Zhao Y. Computer-simulated RFLP analysis of 16S rRNA genes: identification of ten new phytoplasma groups // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2007. Vol. 57. P. 1855–1867. DOI: 10.1099/ijs.0.65000-0.
26. Girsova N. V., Bottner-Parker K. D., Bogoutdinov D. Z., Meshkov Yu. I., Mozhaeva K. A., Kastalyeva T. B., Lee I. M. Diverse phytoplasmas associated with potato stolbur and other related potato diseases in Russia // *Eur J Plant Pathol*. 2016. No. 145. P. 139–153. DOI: 10.1007/s10658-015-0824-3.
27. Recommendations for the protection of vegetable crops and potatoes against stolbur // Ed. by Bogoutdinov D. Z., Parshin V. G., Barbaritsky A. Yu., Trofimov S. N., Voshedsky N. N., Sorokin N. S. Rostov-on-Don: LLC “CVVR”, 2004. 15 p.
28. Fominykh T. S., Belykh E. B., Adaykina R. K., Orina A. S., Utkina V. Yu., Bogoutdinov D. Z., Timofeev A. S. Phytosanitary state of tomato plantations in Astrakhan area (Identification of viral, phytoplasmic and fungal diseases) // *Vestnik ovoshchevoda*. 2011. No. 3. P. 30–33.
29. Kastal'eva T. B., Bogoutdinov D. Z., Bottner-Parker K. D., Girsova N. V., Lee I.-M. Diverse phytoplasmas associated with diseases in various crops in Russia – pathogens and vectors // *Agricultural biology*. 2016. Vol. 51. No. 3. P. 367–375. DOI: 10.15389/agrobiol.2016.3.367rus.
30. Fominykh T. S., Bogoutdinov D. Z., Ivanova G. P., Belykh E. B., Nesterenko I. A., Timofeev A. S., Dubinin R. I., Znamenshchikov G. K., Vasiliev Yu. V. The system of measures to protect vegetable crops



from viral and phytoplasmic diseases in the conditions of the Astrakhan region of the Russian Federation: Methodical recommendations. Astrakhan: LLC Copy and printing center "Polygrafcom", 2012. 51 p.

31. Porotikova E., Yurchenko E., Vinogradova S. Molecular identification of phytoplasmas in Russian vineyards // *Phytopathogenic Mollicutes*. 2019. Vol. 9 (1). P. 25–26. DOI: 10.5958/2249-4677.2019.00013.6.

32. Porotikova E. V., Yurchenko E. G., Vinogradova S. V. First Report of 'Candidatus Phytoplasma solani' associated with Bois Noir on grapevine (*Vitis vinifera*) in Krasnodar Region of Russia // *Plant Disease*. 2020. Vol. 104. P. 277. DOI: 10.1094/PDIS-03-19-0508-PDN.

33. Aleinikova N. V., Radionovskaya Ya. E. Introduced planting material – source of phytoplasma infection in vineyards of Crimea // *Plant protection and quarantine (Zashchita i karantin rasteniy)*. 2015. No. 9. P. 34–39. [Electronic resource]. Access point: <https://cyberleninka.ru/article/n/introdutsirovannyi-posadochnyy-material-istochnik-fitoplazmennoy-infektsii-na-vinogradnikah-kryma> (reference's date 04.08.2020).

34. Girsova N. V., Bottner-Parker K. D., Bogoutdinov D. Z., Kastalyeva T. B., Meshkov Y. I., Mozhaeva K. A., Lee I. M. Diverse phytoplasmas associated with leguminous crops in Russia // *European Journal of Plant Pathology*. 2017. Vol. 149. P. 599–610. DOI: 10.1007/s10658-017-1209-6.

35. Girsova N. V., Kastalyeva T. B., Meshkov Y. I., Mozhaeva K. A., Bogoutdinov D. Z. Phytoplasma diseases of leguminous plants // *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2015. No. 2. P. 58–72. [Electronic resource]. Access point: <https://cyberleninka.ru/article/n/fitoplazmozy-bobovyh-rasteniy> (reference's date 26.04.2018).

36. Bogoutdinov D. Z., Kastalyeva T. B., Girsova N. V. Phytoplasma diseases of cereals in the Middle Volga region // *Protection and quarantine of plants*. 2018. No. 1. P. 21–25.

37. Matyashova G. N., Zaets V. G. Research of the real time PCR method for detection and identification phytoplasmas on grapevine // *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2015. No. 4. P. 7–14. [Electronic resource]. Access point: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-metoda-ptsr-v-rezhime-realnogo-vremeni-dlya-obnaruzheniya-i-identifikatsii-vozbuditeley-fitoplazmozov-vinograda> (reference's date 04.08.2020).

38. Valeeva N. G. Phytoplasmic disease of maize under the conditions of Crimea // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2015. No. 6. P. 14–17. [Electronic resource]. Access point: <https://cyberleninka.ru/article/n/fitoplazmennoe-zabolevanie-kukuruzy-v-krymu> (reference's date 04.08.2020).

39. Bogoutdinov D. Z. Justification and development of measures to combat tomato stolbur in Checheno-Ingushetia. Author's abstract diss. ... Cand. Sc. (Biol.). Saint-Petersburg: VIZR, 1992. 15 p.

40. Bogoutdinov D. Z. Stolbur of nightshades (Solanaceae) in the north of its geographic range limit // *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences (Doklady RASKHN)*. 2002. No. 6. P. 22–23.

UDC 632.3

Bogoutdinov D. Z., Girsova N. V., Kastaleva T. B.

#### ANALYSIS OF THE SPECIES COMPOSITION OF PLANTS INFECTED WITH PHYTOPLASMA OF THE STOLBUR GROUP IN RUSSIA

**Summary.** *The phytoplasma disease "stolbur" is one of the most harmful vector-borne diseases affecting many types of crops. It has been known in Russia since the early 1930s and causes significant economic damage to the harvest of vegetable crops, especially of the Solanaceae Juss family, fruits and grapes. The aim of the research was to clarify the area of phytoplasma infection of the stolbur group in the Russian Federation, to determine the species composition of affected cultivated plants and plants of wild flora, including weeds, which can act as reservoirs of infection. The tasks of the study also included the determination of the species composition of insects, possible carriers of phytoplasma in the Moscow and Samara regions of the Russian Federation. Laboratory analyzes were carried out in 2006–2020 in the Department of Molecular Biology of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Phytopathology". Phytoplasma DNA was obtained using nested PCR with a pair of primers P1/16S-SR for the first amplification and R16F2n/R16R2 for the second. Restriction fragment length polymorphism (RFLP) analysis was used to determine the phytoplasma belonging to a taxonomic group/subgroup. The material for research was fresh or dried (herbarium) plant samples with signs of phytoplasmic infection collected by the authors and provided by other organizations, as well as species of insects of the suborder Auchenorrhyncha Dumeril. Plants were selected from 18 administrative units of*

*eight economic regions of the Russian Federation. A phytoplasma related to the species 'Ca. P. solani' has been identified in 51 plant species belonging to 21 families. The largest number of species infected with this phytoplasma was found in plants of the family Solanaceae (9), Rosaceae (7), Fabaceae (6), and Asteraceae (5). Among the infected plants, there were 24 species of cultivated and ornamental plants (47 %), 13 species of wild herbaceous plants, including weeds (24.5 %) and 14 trees and shrubs (27.5 %). Molecular genetic analyzes have confirmed the vector role of bindweed-planthopper (*Hyalesthes obsoletus* Sign.) and root-planthopper (*Pentastiridius leporinus* L.), both of the Cixiidae family (Hemiptera: Fulgoromorpha). Bindweed planthopper from the population of the Samara region is genetically related to the population from Western Europe and may have trophic links with the field bindweed and dioecious nettle. To prevent contamination with stolbur phytoplasma, healthful planting material of vegetatively propagated crops should be used; control measures based on the integration of quarantine, agronomic, chemical and biological methods of plant protection should be applied; the density of vector populations and the spread of infection through reservoir plants in agrocenoses should be controlled.*

**Keywords:** *'Candidatus Phytoplasma solani', stolbur, host-plants, insects vectors.*

Богоутдинов Дамир Забихуллович, кандидат биологических наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»; 143050, Россия, Московская область, Одинцовский район, р. п. Большие Вязёмы, ул. Институт, 5-а; e-mail: bogoutdinov@list.ru.

Гирсова Наталья Викторовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»; 143050, Россия, Московская область, Одинцовский район, р. п. Большие Вязёмы, ул. Институт, 5-а; e-mail: ngirsova@yandex.ru.

Кастальева Татьяна Борисовна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»; 143050, Россия, Московская область, Одинцовский район, р. п. Большие Вязёмы, ул. Институт, 5-а; e-mail: kastalyeva@yandex.ru.

Bogoutdinov Damir Zabikhullovich, Cand. Sc. (Biol.), researcher, All-Russian Research Institute of Phytopathology; 5-a, Institut str., village Bolshie Vyaziomy, Odintsovskiy district, Moscow Region, 143050, Russia; e-mail: bogoutdinov@list.ru.

Girsova Natalya Viktorovna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher, All-Russian Research Institute of Phytopathology; 5-a, Institut str., village Bolshie Vyaziomy, Odintsovskiy district, Moscow Region, 143050, Russia; e-mail: ngirsova@yandex.ru.

Kastaleva Tatyana Borisovna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher, All-Russian Research Institute of Phytopathology; 5-a, Institut str., village Bolshie Vyaziomy, Odintsovskiy district, Moscow Region, 143050, Russia; e-mail: kastalyeva@yandex.ru.

*Дата поступления в редакцию – 25.07.2020.*

*Дата принятия к печати – 20.08.2020.*

DOI 10.33952/2542-0720-2020-3-23-43-58

УДК 633.11:631.559

Волкова Л. В., Лисицын Е. М., Амунова О. С.

**РОЛЬ ГЕНОТИПА И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ В ФОРМИРОВАНИИ  
МОРФОБИОЛОГИЧЕСКИХ И ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ  
ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ**

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»

**Реферат.** Оценка влияния метеоусловий на изменчивость морфологических и физиологических признаков растений и урожайность является необходимым шагом для разработки селекционных программ создания новых сортов, адаптированных к условиям возделывания. Цель исследований – оценить влияние метеорологических условий на изменчивость морфологических и физиологических признаков растений яровой пшеницы и урожайность для разработки селекционных программ создания новых сортов, адаптированных к условиям Волго-Вятского региона. Объектом исследований служили девять перспективных номеров яровой пшеницы местной селекции и районированные сорта Баженка и Маргарита. В разные фазы вегетации были проанализированы 27 показателей, при этом учитывали их варибельность и взаимосвязь с урожайностью зерна. В результате трехлетних исследований (2016–2018 гг.) 11 перспективных сортов яровой пшеницы в условиях Волго-Вятского региона определены коэффициенты варьирования морфобиологических и хозяйственно ценных признаков растений в контрастные по тепло- и влагообеспеченности годы. К высокостабильным признакам на популяционном уровне отнесены: количество зародышевых корешков, масса семидневных проростков, содержание каротиноидов в листьях в фазе цветения, продуктивная кустистость, длина колоса, масса 1000 зерен ( $C_v = 3,9–7,0\%$ ). Отмечен высокий вклад генотипа в развитие массы 1000 зерен (61,8%), числа зародышевых корешков (39,8%), длины колоса (37,8%), размеров флагового листа (29,1–34,6%), содержание каротиноидов в листьях в фазе цветения (31,7%), массы зерна с колоса (30,8%). Проявилось сильное влияние среды на массу растений в фазе кущения и цветения (82,6 и 71,0%), длину вегетационного периода (81,9%), содержание белка и клейковины в зерне (80,8 и 78,8%), высоту растений (73,3%). Среднегодовые величины урожайности изучаемых сортов изменялись в пределах 2,00–3,33 т/га, вклад генотипа и условий среды в изменчивость параметра составил 13,9 и 60,4% соответственно, коэффициент сортовой варибельности – 21,6–41,5%. Показатели, на которые необходимо ориентировать селекцию в регионе на высокую продуктивность – масса 1000 зерен, число зародышевых корешков, биомасса растений в период цветение–уборка, размер флагового листа в фазе цветения, продуктивность главного колоса, продолжительность вегетационного периода. Установлено, что селекция на стабилизацию биомассы растения, размеров флагового листа и содержания фотосинтетических пигментов в фазе цветения одновременно приводит к повышению урожайности зерна.

**Ключевые слова:** яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.), селекция, признаки продуктивности, фотосинтетические пигменты, урожайность, коэффициент вариации, влияние условий.

**Введение**

В основе технологии возделывания любой культуры лежит сорт, а реализация его продукционного потенциала и технологических качеств – результат сложного взаимодействия «генотип-среда» в конкретных природно-климатических условиях.

Для создания сортов с гарантированно высокой урожайностью необходимо применять новые наукоемкие селекционные технологии, результативность и экономическая эффективность которых напрямую зависит от оптимизации объема работ на каждом этапе. При разработке региональных селекционных программ важно проводить всестороннюю оценку не только хозяйственно ценных признаков, но и косвенных показателей, вносящих весомый вклад в продуктивность: оптимальную архитектуру растения, тип корневой системы, фотосинтетическую активность, размер генеративных органов, аттракцию продуктов фотосинтеза в органы растения, используемые человеком или животным, и др. Создание новых сортов для устойчивого и высокопродуктивного агробиоценоза предполагает обязательную оценку реакций генотипов на условия испытания, при этом рекомендуется использовать коэффициент вариации, характеризующий степень как индивидуальной (сортовой), так и групповой (популяционной) изменчивости признаков [1]. Эффективность селекции в значительной степени зависит от того, насколько обосновано представление селекционера об идеальном морфофизиологическом типе отбираемых растений, то есть о тех признаках, на которые следует вести отбор. В период, когда наиболее престижными стали исследования на молекулярном уровне и соответствующие рекомендации использования генноинженерных методов в селекции, важно помнить, что даже по признакам отдельных растений очень ненадежно прогнозировать такие свойства полевых посевов, как целостных продукционных систем [2, 3], а исследованиями на молекулярном и клеточном уровнях нельзя заменить изучение причин различий агроценозов по урожайности и устойчивости к стрессам [4, 5]. Несмотря на широкие возможности методов современной молекулярной биологии, использование естественной вариабельности в существующих генофондах и практического фенотипического скрининга на сегодняшний день считается наиболее перспективным подходом в улучшении фотосинтеза растений и потенциальной урожайности [6–8]. Поэтому для обоснования признаков идеального морфофизиологического типа высокоурожайных, адаптированных к основным стрессам сортов необходимо изучение параметров целостных агроценозов в типичных агроэкологических условиях.

На сегодня в Волго-Вятском регионе влияние биологических, морфологических и физиологических признаков растений яровой пшеницы на продуктивность, а также их изменчивость в связи с флуктуацией погодных условий изучено не в полной мере. Разработка методических основ селекции с учетом агроклиматических факторов и особенностей формирования признаков на разных этапах онтогенеза является весьма актуальной. В ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока» в последние годы ведут исследования по созданию сортов пшеницы со специфической адаптивностью к жестким гидротермическим условиям (почвенная и атмосферная засуха), низкому уровню плодородия почвы и агрокультуры, что в последние годы характерно для многих хозяйств региона. Возникает необходимость подбора показателей для выделения генотипов с высокой фотосинтетической активностью, зерновой продуктивностью и качеством зерна в подобных условиях выращивания.

Разные исследователи на основании собственных результатов изучения связей морфологических, физиологических признаков и элементов продуктивности с урожайностью используют разное количество главных элементов, а также отмечают, что вклад показателей в урожай напрямую зависит от условий возделывания [9, 10]. Многие указывают на тесную положительную связь урожайности и продуктивности колоса, особенно при засухе [11], а также роль

высоты растений [12, 13] и надземной биомассы [14] в проявлении изучаемого признака. Показана статистически значимая корреляция между содержанием хлорофилла, урожайностью и хлорофилльным потенциалом зерновых культур [15]. Определена высокая информативность некоторых признаков в фазе проростков (число зародышевых корешков, сухая масса проростков) для оценки сортов по засухоустойчивости [16].

**Цель исследований** – оценить влияние метеорологических условий на изменчивость морфологических и физиологических признаков растений яровой пшеницы и урожайность для разработки селекционных программ создания новых сортов, адаптированных к условиям Волго-Вятского региона.

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

Исследования проведены в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров) в 2016–2018 гг. Объектом исследований служили девять перспективных номеров яровой пшеницы местной селекции и районированные сорта Баженка и Маргарита. Площадь делянки – 13,5 м<sup>2</sup>, повторность – четырехкратная, норма высева – 6 млн всхожих семян/га. Почва опытного участка – типичная для региона (дерново-подзолистая среднесуглинистая, рН – 4,8–5,2; содержание гумуса – 2,0 % (по Тюрину, ГОСТ 26213-91), содержание фосфора и калия среднее (5–100 и 81–120 мг/кг почвы соответственно; по Кирсанову, ГОСТ Р 54650-2011).

В 2016 и 2017 гг. под посев вносили полное минеральное удобрение (N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> кг/га д.в.), в 2018 г. удобрения не применяли. В разные фазы вегетации были проанализированы 27 показателей, при этом учитывали их вариабельность и взаимосвязь с урожайностью зерна. Анализ образцов в фазе проростков проводили лабораторным методом, использовали семена урожая предыдущего года и проращивали в дистиллированной воде в чашках Петри (объем выборки 30 семян, повторность трехкратная) в термостате при температуре 20–21 °С в течение семи суток в соответствии с ГОСТ 12038-84. Полевые учеты и наблюдения проводили по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [17]. Для оценки элементов структуры продуктивности сортов пшеницы перед уборкой отобрали по 30 растений в каждой из трёх повторностей. Высоту растений, длину верхнего междоузлия, колоса, длину и ширину флагового листа определяли с помощью линейки. Массу растений, колоса, зародышевых корешков, ростков и целых проростков определяли с помощью аналитических весов «Gibertini Micro 1000». Расчетным путем определяли массу зерна с колоса и растения, массу 1000 зерен, число зародышевых корешков у проростков, число зерен в колосе, площадь листьев, общую и продуктивную кустистость, количество продуктивных стеблей на м<sup>2</sup>, урожайность, зерновой индекс, продолжительность вегетационного периода [18, 19]. Содержание фотосинтетических пигментов (сумму хлорофиллов и каротиноидов) определяли в ацетоновых вытяжках на спектрофотометре «UVmini-1240» (Shimadzu Corporation, Japan) по методике [20]. Содержание сырого белка в зерне определяли на приборе «Inframatic 8620» (Pertin Instruments, USA), содержание клейковины – с использованием системы «Glutomatic 2020» (Pertin Instruments, USA) в соответствии с методическими разработками производителей.

Данные обработаны статистически методами вариационной статистики, корреляционного и двухфакторного дисперсионного анализа с использованием пакетов программ Agros 2.07 и Microsoft Excel 2016.

Климат Кировской области – континентальный, с умеренно холодной зимой и теплым летом. Период активного роста зерновых культур в области составляет 110–120 дней, сумма активных температур этого периода – от 1600 до 2198 °С. Среднегодовое количество выпадающих осадков значительно превышает

испарение. Распределение тепло- и влагоресурсов крайне неравномерно. В критические фазы развития растений (май–июнь) может отмечаться снижение осадков до 50–60 % от месячной нормы [21].

Погодные условия в годы проведения исследований существенно различались по температурному режиму и количеству осадков (таблица 1). Вегетационный период 2016 г. отличался острым дефицитом осадков в период от всходов до молочной спелости, в 2017 г. в течение всей вегетации наблюдали избыточное увлажнение и недостаток эффективных температур, в 2018 г. – благоприятное сочетание тепла и влаги.

**Таблица 1 – Погодные условия периода вегетации растений яровой пшеницы, г. Киров**

Месяц, период	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее многолетнее
температура воздуха				
Посев – всходы	11,2	6,9	13,5	11,3
Всходы – молочная спелость	15,9	15,4	15,1	17,7
Молочная спелость – созревание	19,3	17,6	20,1	17,3
Посев – созревание	17,6	16,5	17,6	17,0
осадки				
Посев – всходы	0,5	44,8	18,5	28,1
Всходы – молочная спелость	52,9	213,1	146,9	139,9
Молочная спелость – созревание	115,6	76,9	104,1	77,0
Посев – созревание	178,5	290,0	251,0	216,9
ГТК				
Посев – всходы	0,05	8,21	0,79	1,12
Всходы – молочная спелость	0,62	3,25	2,83	2,71
Молочная спелость – созревание	1,80	1,86	1,27	1,63
Посев – созревание	1,09	2,27	1,66	1,82

### Результаты и их обсуждение

Оценка вариабельности изучаемых признаков в разных погодно-климатических условиях 2016–2018 гг. позволила оценить норму реакции растений яровой пшеницы по коэффициенту вариации ( $C_v$ , %) и выявить особенности влияния погодных факторов на те или иные показатели в разные периоды роста и развития растений.

В фазе проростков (таблица 2) наименьшей вариабельностью характеризовался показатель «число зародышевых корешков» ( $C_v$  в зависимости от сорта и года изменялся от 2,1 до 9,5 %, составив в среднем для лет и 11 генотипов величину 3,8 %).

Сортовые различия наблюдали по вариабельности массы проростков, корешков и надземной части; в отдельные годы  $C_v$  этих показателей достигал 20,8–29,9 % (в среднем для изучаемого набора сортов – 5,2 %), что может указывать на разные адаптивные возможности отдельных генотипов. Различия средних популяционных значений в отдельные годы были значимыми по всем изученным показателям (числу корней, массе корней, ростков и проростков).

В фазе кущения наиболее сильная реакция на условия вегетации проявилась по массе растений, коэффициент вариации этого показателя у отдельных сортов находился в интервале от 41 до 91 %, а в среднем для выборки – 65 %. По всем остальным показателям различия абсолютных значений были значительно меньше: вариабельность высоты растений составила 12–25 %, суммы хлорофиллов – 13–40 %, содержания каротиноидов – 6–23 %. Повышенное (относительно

среднеголетних данных) количество выпавших осадков в сочетании с пониженными температурами за период всходы–кущение в 2017 г. привело к значимому превышению всех показателей по сравнению с 2016 и 2018 гг. Содержание каротиноидов было наиболее низким в засушливом 2016 г.

**Таблица 2 – Изменчивость морфобиологических показателей яровой пшеницы в период вегетативного роста (среднее для 11 генотипов)**

Показатель	2016 г.	2017 г.	2018 г.	НСР <sub>05</sub>	C <sub>v</sub> , %
фаза проростков					
Число зародышевых корешков, шт.	4,41	4,76	4,62	0,12	3,8 ± 1,5
Масса зародышевых корешков, мг	4,94	6,48	6,00	0,54	13,5 ± 5,5
Масса ростка, мг	7,38	6,88	6,18	0,60	8,8 ± 3,6
Масса проростка, мг	12,32	13,35	12,14	1,03	5,2 ± 2,1
фаза кушения					
Высота растений, см	18,1	23,7	17,6	1,0	17,1 ± 6,9
Сухая масса одного растения, г	0,31	0,78	0,25	0,07	65,0 ± 26,5
Сумма хлорофиллов <i>a+b</i> , мг/г сухого вещества	15,71	21,80	14,61	0,82	22,3 ± 9,1
Содержание каротиноидов, мг/г сухого вещества	3,35	4,07	3,97	0,13	10,3 ± 4,2
фаза цветения					
Высота растений, см	58,7	86,0	72,0	2,7	18,9 ± 7,7
Масса одного растения, г	4,08	8,47	7,14	0,53	34,3 ± 14,0
Длина флагового листа, см	16,5	20,4	15,9	0,9	13,9 ± 5,7
Ширина флагового листа, см	1,0	1,4	1,2	0,0	16,7 ± 6,8
Площадь флагового листа, см <sup>2</sup>	11,63	18,70	12,88	1,02	26,2 ± 10,7
Сумма хлорофиллов <i>a+ b</i> , мг/г сухого вещества	14,39	14,96	11,43	0,72	13,9 ± 5,7
Содержание каротиноидов, мг/г сухого вещества	2,84	2,63	2,62	0,10	4,5 ± 1,9

Засуха 2016 г. лимитировала рост растений и накопление ими общей биомассы, в результате чего в фазе цветения (см. таблицу 2) наблюдали достоверное снижение морфологических показателей по отношению к аналогичным показателям других лет: высоты растений – на 19–32 %, массы растений – на 43–52 %, а линейных параметров флагового листа – на 17–38 %. В условиях избыточного увлажнения 2017 г. надземная биомасса развивалась интенсивнее, вследствие чего отмечено максимальное проявление морфометрических показателей (высоты растений, их биомассы, длины, ширины, площади флагового листа).

Содержание хлорофилла было наименьшим в 2018 г., значимо отличаясь от данных 2016 г. (на 21 %) и 2017 г. (на 24 %). В отличие от фазы кушения, в фазе цветения содержание каротиноидов было максимальным в 2016 г., значимо превышая данные остальных лет исследования (на 8 %). Отмечена значимая (при  $p \leq 0,05$ ) связь между вариабельностью массы растения, ширины флагового листа, содержания каротиноидов (выраженной через C<sub>v</sub>, %) и средним уровнем урожайности ( $r = -0,61 \dots -0,71$ ), поэтому дальнейшую селекционную работу в условиях глобального изменения климата необходимо ориентировать на стабилизацию этих показателей.

При создании новых сортов большое значение придается оценке элементов продуктивности в период репродуктивного роста растений. Анализ 17 селекционно значимых показателей яровой пшеницы (таблица 3) позволил определить их вариабельность в различных погодных условиях Кировской области.

К наиболее стабильным показателям можно отнести продуктивную кустистость (при постоянной норме высева), длину колоса и массу 1000 зерен, у которых уровень колебаний по годам не превышал 7,0 %, а генотипические

различия (вариабельность показателя между отдельными генотипами в пределах одного года) варьировали в пределах 0,9–14,4 %.

**Таблица 3 – Изменчивость селекционно значимых показателей 11 генотипов яровой пшеницы в период репродуктивного роста**

Показатель	2016 г.	2017 г.	2018 г.	НСР <sub>05</sub>	CV, %
Высота растений, см	69,2	93,7	76,0	2,8	15,9 ± 6,5
Длина верхнего междоузлия, см	28,2	41,0	30,4	1,3	20,6 ± 8,4
Сухая масса одного растения, г	3,28	2,98	2,40	0,24	15,5 ± 6,3
Количество продуктивных стеблей, шт./м <sup>2</sup>	323	488	389	7	20,8 ± 8,5
Общая кустистость, стеблей	1,38	1,15	1,30	0,10	9,1 ± 3,7
Продуктивная кустистость, стеблей	1,19	1,15	1,10	0,07	3,9 ± 1,6
Длина колоса, см	8,0	7,1	7,1	0,3	7,0 ± 2,9
Масса колоса, г	1,90	1,42	1,31	0,10	20,3 ± 8,3
Число зерен с колоса, шт.	35,3	27,7	27,5	1,7	14,7 ± 6,0
Масса зерна с колоса, г	1,47	1,09	1,03	0,08	19,9 ± 8,1
Масса зерна с растения, г	1,65	1,19	1,10	0,10	22,5 ± 9,2
Масса 1000 зерен, г	40,8	39,5	37,6	1,1	4,1 ± 1,7
Зерновой индекс (ЗУИ), %	50,3	39,8	46,1	0,9	11,6 ± 4,8
Содержание белка в зерне, %	11,0	6,9	8,3	0,3	23,9 ± 9,7
Содержание клейковины в зерне, %	31,1	15,5	17,4	1,6	39,9 ± 16,3
Вегетационный период, сут	79	92	86	0	7,6 ± 3,1
Урожайность, т/га	2,00	3,33	2,28	0,14	27,6 ± 11,3

Степень варьирования высоты растений в целом за три года исследований не менялась от фазы кущения до полной спелости ( $C_v = 15,9–18,9\%$ ), при этом популяционная изменчивость составляла 11,2–25,0 %, то есть реакция отдельных генотипов на условия выращивания была неодинаковой. К фазе полной спелости значительно выровнялся среднегодовой показатель массы растений ( $C_v = 65,0; 34,3$  и  $15,5\%$  для фаз кущения, цветения и полной спелости соответственно). К показателям, наиболее сильно подверженным влиянию условий произрастания в фазе полной спелости, можно отнести содержание клейковины в зерне, среднее значение которой для 11 генотипов пшеницы изменялось от 15,5 до 31,1 % ( $C_v = 39,9\%$ ). Как следует из данных таблицы 3, среднесортная урожайность в контрастных условиях различалась в 1,6 раза. Значение коэффициента вариации показателя (27,6 %) может отражать уровень устойчивости к изменчивости погодных условий вегетации.

Согласно данным двухфакторного дисперсионного анализа, в ювенильный период развития растений пшеницы (таблица 4) генотип вносил значимый вклад в развитие показателя «число зародышевых корешков» (39,8 %), но его корреляционная связь с урожайностью была статистически незначима.

В 2017 г. сорта, формировавшие большее количество зародышевых корней, отличались меньшей высотой в фазе кущения ( $r = -0,60$ ), а также меньшей продуктивной кустистостью ( $r = -0,82$ ). Массу проростка, массу корней и ростков определили условия года репродукции (6,3–25,8 %), при этом вклад генотипа был незначимым (7,8–12,6 %). Коэффициенты корреляционной связи между урожайностью и массовыми параметрами также были статистически незначимыми.

На основе двухфакторного дисперсионного анализа установлено, что большую часть изменчивости показателей «высота растения» и «масса растения» обуславливал фактор «год» (63,3 и 82,6 % для высоты и массы растения соответственно), а вклад генотипа был значимым лишь для высоты растений (14,9 %). Изученные морфобиологические показатели растений в фазе кущения не



были связаны с конечной урожайностью растений (соответствующие коэффициенты парных корреляций статистически незначимы).

**Таблица 4 – Вклад генотипа и условий года (%) в развитие количественных показателей растений 11 сортов яровой пшеницы в период вегетативного роста и корреляционные связи с урожайностью**

Показатель	Фактор		Корреляция с урожайностью			
	A <sup>1</sup>	B	2016 г.	2017 г.	2018 г.	r <sub>g</sub> <sup>2</sup>
фаза проростков						
Число зародышевых корешков	39,8*	16,4*	0,37	0,43	0,04	0,32
Масса зародышевых корешков	7,8	25,8*	-0,39	0,51	-0,04	0,15
Масса ростка,	12,6	13,2*	0,15	0,38	0,24	0,38
Масса проростка	11,0	6,3*	-0,06	0,54	0,12	0,34
фаза кушения						
Высота растений	14,9*	63,3*	-0,07	-0,53	0,50	-0,16
Масса растений	1,8	82,6*	0,12	0,06	0,30	0,11
Сумма хлорофиллов a+b	7,2*	67,3*	0,41	-0,09	0,17	0,18
Содержание каротиноидов	15,8*	39,3*	0,48	0,04	0,25	0,14
фаза цветения						
Высота растений	23,1*	67,7*	-0,04	-0,44	-0,39	-0,38
Масса растений, г	15,8*	71,0*	0,74*	0,60*	0,05	0,74*
Длина флаг-листа	29,1*	46,1*	0,73*	0,45	-0,42	0,51
Ширина флаг-листа	34,6*	48,4*	0,76*	0,34	0,04	0,60*
Площадь флаг-листа	32,9*	49,6*	0,76*	0,48	-0,10	0,64*
Сумма хлорофиллов a+ b	19,3*	41,1*	-0,29	0,46	0,60*	0,46
Содержание каротиноидов	31,7*	6,7*	-0,52	0,46	0,47	0,09

*Примечание (здесь и в последующих таблицах).* <sup>1</sup> – фактор A – генотип, фактор B – год; <sup>2</sup> – r<sub>g</sub> – корреляция между средними трехлетними значениями признаков; \* – значимо при p ≤ 0,05.

Значимо высокие связи между суммой хлорофиллов a+b в фазе цветения и урожайностью отмечены в 2018 г. (таблица 5), когда рост и развитие растений могли быть лимитированы дефицитом элементов минерального питания. Вклад генотипа был наиболее высоким в вариабельность содержания каротиноидов в фазе цветения (31,7 %), при этом сорта с минимальным уровнем вариабельности этого признака характеризовались наиболее высокой урожайностью (r = -0,63).

В нашем исследовании не обнаружено значимых взаимосвязей между размером флагового листа и содержанием пигментов на единицу его массы; в разные годы они составляли: для хлорофилла r = 0,02–0,24 (r<sub>g</sub> = 0,32), для каротиноидов – r = -0,31–0,30 (r<sub>g</sub> = 0,19). Отсутствие корреляции между этими показателями свидетельствует о возможности их сочетания в одном генотипе на высоком уровне.

Наибольшее влияние генотип растений оказал на развитие показателей флагового листа в фазе цветения: длину, ширину, площадь (29,1–34,6 %). В условиях засухи 2016 г. отмечена тесная связь размеров флагового листа с урожайностью (r = 0,73–0,76). При этом ширина и площадь листьев в значительной степени влияли на параметры продуктивности главного колоса: массу колоса, массу зерна в колосе (r = 0,61–0,70).

Формирование мощной вегетативной части (массы растения) к фазе цветения значимо влияло на урожайность в 2016 и 2017 гг. (r = 0,60–0,74), но не играло роли в 2018 г. (r = 0,05). С другой стороны, стабильно положительная связь между высотой и содержанием белка (клейковины) в зерне во все годы (r<sub>g</sub> = 0,71–0,73) свидетельствует о преимуществе более высокорослых генотипов при отборах на качество зерна.

В фазе полной спелости (см. таблицу 5) отмечена статистически значимая роль генотипа растений яровой пшеницы в проявлении большинства анализируемых показателей (доля влияния генотипа для отдельных показателей изменялась от 10,6 до 68,1 %), за исключением количества продуктивных стеблей на единицу площади, общей и продуктивной кустистости.

**Таблица 5 – Вклад генотипа и условий года (%) в развитие количественных показателей растений 11 сортов яровой пшеницы в период репродуктивного роста и корреляционные связи с урожайностью**

Показатель	Фактор		Корреляция с урожайностью			
	A <sup>1</sup>	B	2016 г.	2017 г.	2018 г.	$r_g^2$
Высота растений	15,2*	73,3*	0,46	0,27	-0,55	0,21
Длина верхнего междоузлия	39,9*	52,9*	-0,03	-0,14	-0,42	-0,10
Масса растений	30,0*	35,6*	0,62*	0,61*	0,27	0,71*
Количество продуктивных стеблей/м <sup>2</sup>	6,5	49,3*	0,33	-0,17	0,28	0,11
Общая кустистость	22,4	11,4*	0,30	0,02	-0,27	0,02
Продуктивная кустистость	22,6	11,0*	0,30	-0,37	-0,34	-0,10
Длина колоса	37,8*	29,3*	0,17	0,54	0,09	0,21
Масса колоса	27,5*	49,3*	0,55	0,76*	0,60*	0,74*
Число зерен с колоса	24,9*	48,8*	0,21	0,45	0,18	0,27
Масса зерна с колоса	30,8*	47,7*	0,58	0,79*	0,61*	0,78*
Масса зерна с растения	26,7*	48,8*	0,56	0,63*	0,57	0,73*
Масса 1000 зерен	68,1*	11,8*	0,71*	0,85*	0,57	0,89*
Зерновой индекс (ЗУИ)	14,4*	78,4*	-0,08	0,46	0,75*	0,28
Содержание белка в зерне	11,3*	80,8*	-0,40	-0,67*	-0,87*	-0,81*
Содержание клейковины	10,6*	78,8*	-0,22	-0,74*	-0,75*	-0,64*
Вегетационный период	16,3*	81,9*	0,73*	0,80*	0,40	0,85*
Урожайность	13,9*	60,4*	-	-	-	-

Наибольшей долей влияния генотипа характеризовались масса 1000 зерен (68,1 %), длина верхнего междоузлия (39,9 %), длина колоса (37,8 %), масса зерна с колоса (30,8 %) и масса растения (30,0 %). Необходимо отметить, что только для двух показателей (длины колоса и массы 1000 зерен) степень влияния условий года была ниже степени влияния генотипа.

В контрастные по влагообеспеченности годы корреляционные связи отдельных показателей с урожайностью значительно различались. Статистически значимую корреляцию урожайности в 2016 г. наблюдали с массой растений, массой 1000 зерен и продолжительностью вегетационного периода.

В условиях вегетации 2017 г. коррелятивная связь конечной урожайности растений с элементами ее структуры значительно усилилась. На урожайность значимо влияли такие показатели как масса растения, масса одного колоса, масса зерна с колоса и растения, крупность зерна.

В 2018 г. основным показателем, определяющим урожайность, являлась аттрагирующая способность колоса, косвенно выраженная через показатели ЗУИ, массы колоса, массы зерна с колоса ( $r = 0,60-0,75$ ). Возможно, из-за недостатка элементов питания (минеральные удобрения в 2018 г. не вносили) высокая урожайность была сопряжена с низким содержанием в зерне белка и клейковины.

Изучение реакции растений на погодно-климатические факторы вызвано целым рядом причин. Так, одним из требований признания селекционного достижения сортом является обязательная оценка отличимости, однородности и стабильности. Эта оценка основана на комплексе морфологических признаков, которые характеризуются высокой вариабельностью в зависимости от условий внешней среды. Поэтому перед селекционерами стоит задача постоянной оценки

стабильности фенотипического проявления этих признаков в различных экологических условиях. Далее, различные генотипы пшеницы в ответ на стрессовые условия роста используют разные физиологические механизмы адаптации, поэтому полевые исследования параметров, связанных с урожайностью, являются необходимым условием понимания генетических механизмов, контролирующих урожай зерна [22]. Кроме того, изучение влияния погодных условий на рост и развитие растений – необходимый шаг в создании моделей сортов для определенных природно-климатических зон; знания о влиянии средовых факторов на рост культуры важны для агрономов и специалистов растениеводства.

Различия в метеорологических условиях вегетационных периодов в годы проведения исследования отразились на развитии как отдельных элементов структуры урожая, так и на средней урожайности испытанного набора генотипов.

Разделение исследований на два этапа (вегетативного и репродуктивного роста) объясняется различиями во влиянии средовых условий на развитие элементов структуры урожайности: если в период до опыления (вегетативный этап развития) окружающая среда оказывает воздействие на процессы прорастания, фотосинтеза, кущения, закладку и развитие генеративных органов, таким образом влияя на число зерен, то после опыления (репродуктивный этап) средовые факторы в основном влияют на размер зерна и его химический состав [23]. Косвенным доказательством этого является установленное в нашем исследовании значимое увеличение количества зародышевых корней, их массы, а также массы одного проростка в 2017 г. как адаптивный ответ на засуху 2016 г.

По расчетам некоторых исследователей, дефицит влаги, в зависимости от фенологической стадии роста, может привести к потере 60 % урожая [24], причем репродуктивная стадия роста намного чувствительней к засухе, чем вегетативная [25].

Засуха 2016 г. лимитировала рост растений и накопление ими общей биомассы в период до выхода в трубку, в результате чего наблюдалось достоверное снижение высоты (на 19–32 %) и массы растений (на 43–52 %) в этой фазе по отношению к аналогичным показателям других лет (см. таблицу 2). В условиях достаточного увлажнения (2017 г.) надземная биомасса развивалась интенсивнее, вследствие чего отмечено максимальное проявление морфометрических показателей (высоты растений, их биомассы, длины, ширины, площади флагового листа). Изменения погодных условий вегетации сильнее всего влияли на содержание сухого вещества растений в вегетативный период роста, варибельность этого показателя составила 34–65 %, тогда как у показателя высоты растений – только 17–19 %.

Считают, что физиологические характеристики флаговых листьев злаковых культур могут быть важным параметром в селекции засухоустойчивых генотипов [26, 27]. Зависимость этого показателя от доступности влаги настолько велика, что его предлагают использовать в качестве индикатора степени дефицита влаги для полевых посевов [28]. В нашем исследовании установлено, что размеры флагового листа отражали среднюю степень влияния условий среды роста; варибельность их по годам была на уровне 14–26 %, причем наибольшей варибельностью отличался показатель «площадь флаг-листа». На развитие размерных показателей флагового листа мягкой пшеницы условия вегетации влияли немного больше, чем генотипические особенности растений – в среднем влияние погодных условий составило 48 %, а генотипа – 32 %. Это может указывать на перспективность селекции по данным показателям, так как они в условиях засухи 2016 г. тесно коррелировали с урожайностью растений ( $r = 0,73–0,76$ ). Наименьшей сезонной изменчивостью характеризовался показатель «содержание каротиноидов в

1 г сухого вещества листьев» (4,5–10,3 %). Содержание каротиноидов значительно повысилось в условиях дефицита влаги 2016 г., содержание хлорофилла варьировало в немного больших пределах (14–22 %). При этом накопление зеленых пигментов в большей степени определялось условиями вегетации (41 %), чем генотипическими различиями (19 %), а желтые пигменты – наоборот (7 и 32 % соответственно). Это может свидетельствовать о перспективности отбора по содержанию каротиноидов во флаговом листе и необходимости работы по стабилизации содержания хлорофиллов в фазе цветения.

Сравнивая влияние на развитие флаговых листьев условий разных лет, можно предположить, что засуха может приводить к такому же уровню лимитирования развития ассимиляционного аппарата пшеницы, как и недостаток элементов питания: изучаемые показатели в 2018 г. были практически на уровне засушливого 2016 г., несмотря на значимые отличия в высоте и массе растений.

Отмечена значимая связь между вариабельностью массы растения, ширины флаг-листа, содержания пигментов и средним уровнем урожайности ( $r = -0,61 \dots -0,71$ ), что совпадает с наблюдениями на других злаковых культурах [29, 30], поэтому, по нашему мнению, селекцию необходимо ориентировать на стабилизацию этих признаков.

Селекция на повышение эффективности работы фотосинтетического аппарата считается приоритетным направлением, способным повысить генетический потенциал зерновой продуктивности на 10–60 % [31, 32]. Согласно нашим исследованиям, в условиях дефицита осадков рекомендуется анализировать сорта по содержанию пигментов в фазе кущение-выход в трубку, поскольку это определяет в дальнейшем размер габитуса растений, а в фазе цветения оценивать размер флагового листа. В благоприятных условиях размер листьев и концентрация пигментов в них не конкурируют между собой и могут сочетаться на высоком уровне в одном генотипе. При низком плодородии почвы большее значение приобретает способность сортов сохранять высокий уровень пигментов в более поздние фазы развития, а размер листовой поверхности играет менее существенную роль. Слабые корреляции ( $r = 0,22 \dots -0,11$ ) между средними значениями и коэффициентами вариации изучаемых сортов по содержанию хлорофиллов и каротиноидов в фазе цветения, выявленные в нашем исследовании, дают основание считать селекцию на совмещение высокого уровня и стабильности этих показателей весьма перспективной.

Одним из аспектов влияния повышенной температуры на растения является ускорение фенологии, при этом растения используют суммарно меньшее количество солнечной радиации, которая может быть трансформирована в биомассу, и соответственно снижают урожайность [33]. В условиях засухи 2016 г. продолжительность вегетации растений яровой мягкой пшеницы снизилась на 10–15 % по сравнению другими годами. Кроме того, засуха в первой половине вегетации 2016 г. привела к значительному снижению среднего числа растений на единицу площади и их высоты, а также общей и продуктивной кустистости. Однако с уменьшением высоты стебля и фотосинтезирующей поверхности листьев усилилось перераспределение продуктов фотосинтеза в пользу генеративных органов, что привело к значимому увеличению зернового индекса и параметров продуктивности колоса.

В 2017 г. средняя урожайность составила 3,33 т/га, у отдельных генотипов – 2,76–4,01 т/га. Отмечено значительное увеличение средней высоты растений, числа продуктивных побегов на единицу площади и вместе с тем снижение зернового уборочного индекса, средней продуктивности одного колоса и растения, содержания

белка и клейковины. Период созревания зерна был сильно растянут, вегетационный период составил 92 сут.

Статистически значимая доля влияния генотипа на количественные признаки указывает на высокую генетическую вариабельность этих признаков в изучаемом наборе сортов. Для параметров общей и продуктивной кустистости значимых влияний генотипа не отмечено. Значимые влияния генотипа на такие показатели, как масса 1000 зерен, общая биомасса и показатели развития колоса, совпадают с наблюдениями многих зарубежных авторов [14, 34].

Зерновой уборочный индекс (ЗУИ) является, по мнению Hannachi A. с соавторами [14], наиболее информативным признаком для селекции на повышение урожая зерна пшеницы в полуаридных условиях. Как показало наше исследование, уровень этого показателя для исследованных генотипов только на 14 % определялся генотипом растений, а на 78 % – погодно-климатическими условиями. При этом и в засушливом 2016 г. и в излишне влажном 2017 г. данный параметр не имел статистически значимых корреляционных связей с урожайностью. Очевидно, это связано с тем, что селекционеры уделяют мало внимания вкладу отдельных структурных элементов в улучшение урожайности в неблагоприятных погодных условиях, так как динамика температуры и осадков непредсказуема из года в год. Это делает адаптивную селекцию медленной и трудной. В то же время, экологическая вариабельность уборочного индекса считается самым информативным показателем условий влагообеспеченности посевов сои и подсолнечника в течение репродуктивного периода вегетации [35]. Низкая доля влияния генотипа на данный параметр может быть объяснена малой генетической вариабельностью исходного материала, используемого в селекции в условиях Северо-Восточного селекционного центра.

Согласно результатам дисперсионного анализа (см. таблицу 5), в наименьшей степени влияние погодно-климатических факторов проявилось на таких показателях, как общая и продуктивная кустистость, а также масса 1000 зерен (11–12 %). Вероятно, по данным показателям растений пшеницы уже достигнуты высокие уровни адаптации к местным условиям.

### **Выводы**

Как показал анализ полученных данных, условия года формирования семян статистически значимо определяли развитие таких показателей, как масса целого проростка, масса корней и ростков (доля влияния фактора – 6,3–25,8 %), при этом вклад генотипа был статистически незначимым (7,8–12,6 %). Только для двух показателей (длины колоса и массы 1000 зерен) степень влияния условий года была ниже степени влияния генотипа. Избыточно влажный период всходы–кущение в 2017 г. привел к значимому превышению всех исследованных морфобиологических показателей над данными 2016 и 2018 гг. Засуха 2016 г. способствовала снижению высоты растений на 19–32 %, массы растений – на 43–52 %, а линейных параметров флагового листа – на 17–38 %. Погодные условия определяли большую часть изменчивости признаков «высота растения» и «масса растения» ( $C_v = 63,3$  и  $82,6$  % соответственно). Наиболее сильно погодные условия произрастания в фазе полной спелости повлияли на содержание клейковины в зерне ( $C_v = 39,9$  %).

Наибольшей долей влияния генотипа характеризовались масса 1000 зерен (68,1 %), длина верхнего междоузлия (39,9 %), длина колоса (37,8 %), масса зерна с колоса (30,8 %) и масса растения (30,0 %). Генотип вносил статистически значимый вклад в вариабельность признаков «число зародышевых корешков» ( $C_v = 39,8$  %), «содержание каротиноидов в листьях» ( $C_v = 31,7$  %), параметров флагового листа в фазе цветения: длину, ширину, площадь ( $C_v = 29,1$ – $34,6$  %), а также признака «высота

растений» ( $C_v = 14,9\%$ ). В избыточно влажном 2017 г. сорта, формировавшие большее количество зародышевых корней, отличались меньшей высотой ( $r = -0,60$ ) в фазе кущения и меньшей продуктивной кустистостью ( $r = -0,82$ ). Сорта с минимальным уровнем вариабельности содержания каротиноидов характеризовались высокой урожайностью ( $r = -0,63$ ).

В целом, данные проведенного исследования указывают на то, что высокая результативность отборов, вне зависимости от условий, может обеспечиваться по признаку массы 1000 зерен, характеризующегося минимальной вариабельностью, высокой генотипической обусловленностью и значимой корреляцией с урожайностью ( $r_g = 0,87$ ). Отмечена значимая (при  $p \leq 0,05$ ) связь между вариабельностью массы растения, шириной флаг-листа, содержанием каротиноидов и уровнем урожайности ( $r = -0,61 \dots -0,71$ ), поэтому дальнейшую селекционную работу необходимо ориентировать на стабилизацию этих признаков.

### Литература

1. Кильчевский А. В. Генетико-экологические основы селекции растений // Вестник ВОГиС. 2005. Т. 9. № 4. С. 518–527.
2. Donald C. M. The breeding crop ideotypes // Euphytica. 1968. Vol. 17. No. 3. P. 385-403.
3. Тооминг Х. Г. Растениеводство по принципу максимальной продуктивности // Сельскохозяйственная биология. 1984. № 9. С. 3–14.
4. Evans L. T. Physiological aspects of varietal improvement // Gene manipulation plant improvement, 16<sup>th</sup> Stadler genetic symposium. New York, London, 1984. P. 121–146.
5. Лисицын Е. М. Физиологические параметры корневых систем в селекции зерновых культур на абиотическую устойчивость // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2018. Т. 4. № 3. С. 35–42
6. Morales F., Ancín M., Fakhret D., González-Torralba J., Gámez A. L., Seminario A., Soba D., Mariem S. B., Aranjuelo M. G. I. Photosynthetic metabolism under stressful growth conditions as a bases for crop breeding and yield improvement // Plants. 2020. Vol. 9(1). Article No. 88. DOI: 10.3390/plants9010088.
7. Flexa J. Genetic improvement of leaf photosynthesis and intrinsic water use efficiency in C3 plants: why so much little success? // Plant Sci. 2016. Vol. 251. P. 155–161.
8. Furbank R. T., Quick W. P., Sirault X. R. Improving photosynthesis and yield potential in cereal crops by targeted genetic manipulation: prospects, progress and challenges // Field Crop. Res. 2015. Vol. 182. P. 19–29.
9. Гончаренко А. А. Экологическая устойчивость сортов зерновых культур и задачи селекции // Зерновое хозяйство России. 2016. № 3 (45). С. 31–36.
10. Савиченко Д. Л., Цаценко Л. В., Нещадим Н. Н. Изучение потенциальной и реализованной продуктивности главного колоса коллекционных образцов озимой пшеницы, обладающих признаком «многоцветковость» // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 3(15). С. 111–116. DOI: 10.25637/TVAN.2018.03.11.
11. Пушкарев Д. В., Чурсин А. С., Кузьмин О. Г., Краснова Ю. С., Каракоз И. И., Шаманин В. П. Корреляция урожайности с элементами продуктивности сортов яровой мягкой пшеницы в условиях степной зоны Омской области // Вестник ОмГАУ. 2018. № 3 (31). С. 26–35.
12. Цыбенков Б. Б., Билтуев А. С. Формирование урожайности яровой пшеницы в аридных условиях Бурятии // Вестник КрасГАУ. 2016. № 6 (117). С. 120–125.
13. Косенко С. В. Хозяйственно-биологическая оценка линий озимой мягкой пшеницы в конкурсном сортоиспытании // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 2 (18). С. 53–59. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-2-18-53-59.
14. Hannachi A., Fellahi Z. El A., Bouzerzour H., Boutekrabet A. Correlation, path analysis and stepwise regression in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under rainfed conditions // J. of Agriculture and Sustainability. 2013. Vol. 3 (2). P. 122–131.
15. Сидько А. Ф., Ботвич И. Ю., Письман Т. И., Шевырнов А. П. Оценка содержания хлорофилла и урожайности зерновых культур по хлорофилльному потенциалу // Биофизика. 2017. Т. 62. Вып. 3. С. 565–569.
16. Волкова Л. В., Амунова О. С. Результаты изучения сортов яровой пшеницы на засухоустойчивость в Кировской области // Аграрный вестник Верхневолжья. 2018. № 3 (24). С. 12–17.

17. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1, 2 // Под общ. ред. Федина М. А. М.: Колос, 1985. 267 с.
18. Морозова З. А. Морфогенетический анализ в селекции пшеницы. М.: МГУ, 1983. 77 с.
19. Васильчук Н. С., Евдокимова О. А., Захарченко Н. А., Кумаков В. А., Поздеев А. И., Чернов В. К., Шер К. Н. Некоторые приемы и методы физиологического изучения сортов зерновых культур в полевых условиях // Под общ. ред. В. А. Кумакова. Саратов, НИИСХ Юго-Востока, 2000. 54 с.
20. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy // Ed. by Wrolstad R. E., Acree T. E., An H., Decker E. A., Penner M. H., Reid D. S., Schwartz S. J., Shoemaker C. F., Sporns P. New York: John Wiley and Sons, 2001. F4.3.1–F4.3.8.
21. Френкель М. О. Климат // Энциклопедия земли Вятской. Т. 7: Природа // Под ред. Ситников В. А. Киров: ГИПП «Вятка», 1997. С. 142–174.
22. Li P., Chen J., Wu P. Evaluation of grain yield and three physiological traits in 30 spring wheat genotypes across three irrigation regimes // Crop Sci. 2012. Vol. 52. P. 110–121.
23. Dupont F. M., Altenbach S. B. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis // Journal of Cereal Science. 2003. Vol. 38 (2). P. 133–146.
24. Ahmad Z., Waraich E. A., Akhtar S., Anjum S., Ahmad T., Mahboob W., Hafeez O., Tapera T., Labuschagne M., Rizwan M. Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches // Acta Physiol. Plant. 2018. Vol. 40. Art. No. 80. DOI: 10.1007/s11738-018-2651-6.
25. Daryanto S., Wang L., Jacinthe P. A. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review // Agric. Water Manag. 2017. Vol. 179. P. 18–33.
26. Ali M. A., Hussain M., Khan M. I., Ali Z., Zulkiffal M., Anwar J., Sabir W., Zeeshan M. Source-sink relationship between photosynthetic organs and grain yield attributes during grain filling stage in spring wheat (*Triticum aestivum*) // Int. J. Agric. Biol. 2010. Vol. 12. P. 509–515.
27. Biswal A. K., Kohli A. Cereal flag leaf adaptations for grain yield under drought: knowledge status and gaps // Mol. Breeding. 2013. Vol. 31. P. 749–766.
28. Лепехов С. Б., Коробейников Н. И. Сопряженность площади двух верхних листьев с массой зерна главного колоса // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 11 (97). С. 57–60.
29. Ali M., Abbas A., Niaz S., Zulkiffal M., Ali S. Morpho-physiological criteria for drought tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor*) at seedling and post-anthesis stages // Int. J. Agric. Biol. 2009. Vol. 11. P. 674–680.
30. Sohrabi M., Rafii M. Y., Hanafi M. M., Siti Nor Akmar A., Latif M. Genetic diversity of upland rice germplasm in Malaysia based on quantitative traits // Scientific World Journal. 2012. Article ID 416291. DOI: 10.1100/2012/416291.
31. Long S. P., Marshall-Colon A., Zhu X.-G. Meeting the global food demand of the future by engineering crop photosynthesis and yield potential // Cell. 2015. Vol. 161. No. 1. P. 56–66.
32. Прядкина Г. А. Пигменты, эффективность фотосинтеза и продуктивность пшеницы // Plant Varieties Studying and Protection. 2018. Vol. 14. No. 1. P. 97–108.
33. Nguyen-Sy T., Cheng W., Tawarayama K., Sugawara K., Kobayashi K. Impacts of climatic and varietal changes on phenology and yield components in rice production in Shonai region of Yamagata Prefecture, Northeast Japan for 36 years // Plant Production Science. 2019. Vol. 22. No. 3. P. 382–394.
34. Ali I. H., Shakor E. F. Heritability, variability, genetic correlation and path analysis for quantitative traits in durum and bread wheat under dry farming conditions // Mesopotamia Journal of Agriculture. 2012. Vol. 40. No. 4. P. 27–39.
35. Cox W. J., Jolliff G. D. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits // Agronomy Journal. 1986. Vol. 78. No. 2. P. 226–230.

## References

1. Kilchevsky A. V. Genetic and ecological bases of plant breeding // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2005. Vol. 9. No. 4. P. 518–527.
2. Donald C. M. The breeding crop ideotypes // Euphytica. 1968. Vol. 17. No. 3. P. 385–403.
3. Tooming Kh. G. Crop production on the principle of maximum productivity // Agricultural Biology. 1984. No. 9. P. 3–14.
4. Evans L. T. Physiological aspects of varietal improvement // Gene manipulation plant improvement, 16<sup>th</sup> Stadler genetic symposium. New York, London, 1984. P. 121–146.
5. Lisitsyn E. M. Physiological traits of root systems in cereal crops breeding for abiotic resistance // Vestnik of the Mari State University. Chapter “Agriculture. Economics”. 2018. Vol. 4. No. 3. P. 35–42.

6. Morales F., Ancín M., Fakhet D., González-Torralba J., Gámez A.L., Seminario A., Soba D., Mariem S. B., Aranjuelo M. G. I. Photosynthetic metabolism under stressful growth conditions as a bases for crop breeding and yield improvement // *Plants*. 2020. Vol. 9(1). Art. No. 88. DOI: 10.3390/plants9010088.
7. Flexa J. Genetic improvement of leaf photosynthesis and intrinsic water use efficiency in C3 plants: why so much little success? // *Plant Sci*. 2016. Vol. 251. P. 155–161.
8. Furbank R. T., Quick W. P., Sirault X. R. Improving photosynthesis and yield potential in cereal crops by targeted genetic manipulation: prospects, progress and challenges // *Field Crop. Res*. 2015. Vol. 182. P. 19–29.
9. Goncharenko A. A. Ecological stability of grain crop varieties and tasks of breeding // *Grain Economy of Russia*. 2016. No. 3 (45). P. 31–36.
10. Savichenko D. L., Tsatsenko L. V., Neshchadim N. N. Comparative characteristic of potential and real productivity of the main ear of collection samples of winter wheat having a “multiflorous effect” feature // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2018. No. 3(15). P. 111–116. DOI: 10.25637/TVAN.2018.03.11.
11. Pushkarev D. V., Chursin A. S., Kuz'min O. G., Krasnova Yu. S., Karakoz I. I., Shamanin V. P. Correlation of yield with elements of productivity of varieties of spring soft wheat in the conditions of the steppe zone of the Omsk region // *Bulletin of Omsk State Agrarian University*. 2018. No. 3 (31). P. 26–35.
12. Tsybenov B. B., Biltuyev A. S. Formation of spring wheat productivity in arid conditions of Buryatia // *Bulletin of KrasGAU*. 2016. No. 6(117). P. 120–125.
13. Kosenko S. V. Economic and biological assessment of winter soft wheat lines in competitive variety testing // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2019. No. 2(18). P. 53–59. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-2-18-53-59.
14. Hannachi A., Fellahi Z. El A., Bouzerzour H., Boutekrabi A. Correlation, path analysis and stepwise regression in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under rainfed conditions // *J. of Agriculture and Sustainability*. 2013. Vol. 3 (2). P. 122–131.
15. Sidko A. F., Botvich I. Y., Pis'man T. I., Shevyrnogov A. P. Estimation of the chlorophyll content and yield of grain crops via their chlorophyll potential // *Biophysics*. 2017. Vol. 62. No. 3. P. 456–459
16. Volkova L. V., Amunova O. S. The study results of spring wheat varieties for drought resistance in Kirov region // *Agrarian Journal of Upper Volga Region*. 2018. No. 3(24). P. 12–17.
17. Methods of State varietal test of agricultural crops. Iss. 1, 2 // Ed. by Fedin M. A. Moscow: Kolos, 1985. 267 p.
18. Morozova Z. A. Morphogenetic analysis in wheat breeding. Moscow: MSU, 1983. 77 p.
19. Vasyilchuk N. S., Yevdokimova O. A., Zakharchenko N. A., Kymakov V. A., Pozdeev A. I., Chernov V. K., Sher K. N. Some techniques and methods of physiological study of varieties of grain crops in the field // Under general editorship of Kymakov V. A. Saratov, Research Institute of Agriculture of the South-East, 2000. 54 p.
20. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy // Ed. by Wrolstad R. E., Acree T. E., An H., Decker E. A., Penner M. H., Reid D. S., Schwartz S. J., Shoemaker C. F., Sporns P. New York: John Wiley and Sons, 2001. F4.3.1-F4.3.8.
21. Frenkel M. O. Climate // *Encyclopedia of Vyatka Land*. Vol. 7: Nature // Ed. by Sitnikov V. A. Kirov: Guild of Periodical Publishers (GIPP) “Vyatka”, 1997. P. 142–174.
22. Li P., Chen J., Wu P. Evaluation of grain yield and three physiological traits in 30 spring wheat genotypes across three irrigation regimes // *Crop Sci*. 2012. Vol. 52. P. 110–121.
23. Dupont F. M., Altenbach S. B. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis // *Journal of Cereal Science*. 2003. Vol. 38(2). P. 133-146.
24. Ahmad Z., Waraich E. A., Akhtar S., Anjum S., Ahmad T., Mahboob W., Hafeez O., Tapera T., Labuschange M., Rizwan M. Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches // *Acta Physiol. Plant*. 2018. Vol. 40. Art. No. 80. DOI: 10.1007/s11738-018-2651-6.
25. Daryanto S., Wang L., Jacinthe P. A. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: a review // *Agric. Water Manag.* 2017. Vol. 179. P. 18–33.
26. Ali M. A., Hussain M., Khan M. I., Ali Z., Zulkiffal M., Anwar J., Sabir W., Zeeshan M. Source-sink relationship between photosynthetic organs and grain yield attributes during grain filling stage in spring wheat (*Triticum aestivum*) // *Int. J. Agric. Biol.* 2010. Vol. 12. P. 509–515.
27. Biswal A. K., Kohli A. Cereal flag leaf adaptations for grain yield under drought: knowledge status and gaps // *Mol. Breeding*. 2013. Vol. 31. P. 749–766.
28. Lepekhov S.B., Korobeynikov N.I. Correlation of spring wheat two top leaves surface and main spike kernels weight // *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2012. No. 11 (97). P. 57–60.
29. Ali M., Abbas A., Niaz S., Zulkiffal M., Ali S. Morpho-physiological criteria for drought tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor*) at seedling and post-anthesis stages // *Int. J. Agric. Biol.* 2009. Vol. 11. P. 674–680.



30. Sohrabi M., Rafii M. Y., Hanafi M. M., Siti Nor Akmar A., Latif M. Genetic diversity of upland rice germplasm in Malaysia based on quantitative traits // Scientific World Journal. 2012. Article ID 416291. DOI: 10.1100/2012/416291.
31. Long S. P., Marshall-Colon A., Zhu X.-G. Meeting the global food demand of the future by engineering crop photosynthesis and yield potential // Cell. 2015. No. 161(1). P. 56–66.
32. Priadkina H. A. Pigments, efficiency of photosynthesis and winter wheat productivity // Plant Varieties Studying and Protection. 2018. Vol. 14. No. 1. P. 97–108.
33. Nguyen-Sy T., Cheng W., Tawaraya K., Sugawara K., Kobayashi K. Impacts of climatic and varietal changes on phenology and yield components in rice production in Shonai region of Yamagata Prefecture, Northeast Japan for 36 years // Plant Production Science. 2019. Vol. 22(3). P. 382–394.
34. Ali I. H., Shakor E. F. Heritability, variability, genetic correlation and path analysis for quantitative traits in durum and bread wheat under dry farming conditions // Mesopotamia Journal of Agriculture. 2012. Vol. 40(4). P. 27–39.
35. Cox W. J., Jolliff G. D. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits // Agronomy Journal. 1986. Vol. 78. No. 2. P. 226–230.

UDC 633.11:631.559

Volkova L. V., Lisitsyn E. M., Amunova O. S.

### **ROLE OF GENOTYPE AND WEATHER CONDITIONS IN THE FORMATION MORPHOBIOLOGICAL AND ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS OF SPRING SOFT WHEAT**

*Summary.* Assessment of the effect of weather conditions on the variability of plant morphological and physiological traits and productivity is a necessary step for the development of breeding programs for new varieties adapted to cultivation conditions. As a result of three-year studies (2016–2018) of 11 promising cultivars of spring wheat in the conditions of the Volga-Vyatka region, coefficients of variation of morphobiological and economically valuable traits of plants in years contrasting in heat and moisture availability have been determined. Highly stable traits at the population level include the number of germinal roots, the weight of 7-day seedlings, the content of carotenoids in the leaves in the flowering phase, the number of productive tillers, the ear length, the 1000-grain weight ( $C_V = 3.9–7.0\%$ ). The high contribution of genotype to the development of 1000-grain weight (61.8%), number of germinal roots (39.8%), ear length (37.8%), dimensions of flag leaf (29.1–34.6%), content of carotenoids in leaves in flowering phase (31.7%), grain mass per ear (30.8%) was noted. There was a strong influence of the growth conditions on the mass of plants in the tillering and flowering phases (82.6 and 71.0%), duration of the growing season (81.9%), protein and gluten content in the grain (80.8 and 78.8%), plant height (73.3%). The average annual productivity of the studied cultivars varied within 2.00–3.33 t/ha; the contribution of the genotype and environment conditions to the variability of the parameter was 13.9 and 60.4%, respectively; the coefficient of cultivar variability – 21.6–41.5%. We identified traits on which it is necessary to orient breeding on high potential of productivity in specific agro-climatic conditions: 1000-grain weight, number of germinal roots, biomass of plants in the period from flowering to harvesting, size of flag leaf in the phase of flowering, productivity of the main ear, duration of the growing season. It has been found that breeding for stabilization of plant biomass, size of flag leaf and content of photosynthetic pigments in the flowering phase simultaneously leads to an increase of grain yield.

**Keywords:** spring wheat, *Triticum aestivum* L., breeding, productivity traits, photosynthetic pigments, yield, coefficient of variation, influence of conditions.

Волкова Людмила Владиславовна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией мягкой яровой пшеницы ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166-а; e-mail: volkovkirov@mail.ru.

Лисицын Евгений Михайлович, доктор биологических наук, ведущий сотрудник ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166-а; e-mail: edaphic@mail.ru.

Амунова Оксана Сергеевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166-а; e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru.

Volkova Lyudmila Vladislavovna, Dr. Sc. (Agr.), head of Laboratory of spring soft wheat, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky; 166-a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: volkovkirov@mail.ru.

Lisitsyn Evgeniy Mikhailovich Dr. Sc. (Biol.), leading researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky; 166-a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: edaphic@mail.ru.

Amunova Oksana Sergeyevna, Cand. Sc. (Agr.), researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky; 166-a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru.

*Дата поступления в редакцию – 09.06.2020.*

*Дата принятия к печати – 21.07.2020.*

DOI 10.33952/2542-0720-2020-3-23-59-69

УДК 579.69:581.135:577.175.1

Высоцкая Л. Б., Четвериков С. П., Кузина Е. В., Архипова Т. Н., Рафикова Г. Ф., Шарипов Д. А., Худайгулов Г. Г., Четверикова Д. В., Бакаева М. Д., Коршунова Т. Ю., Логинов О. Н., Кудоярова Г. Р.

## ВЛИЯНИЕ АУКСИНПРОДУЦИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРИКОРНЕВОЙ ЗОНЕ ЯЧМЕНЯ ПРИ НЕФТЯНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ

ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»

**Реферат.** Растения-фитомелиоранты часто используют для восстановления качества нефтезагрязненных почв. Однако роль бактерий в регуляции экссудации корней в процессе биodeградации нефти практически не изучена. Цель исследований – оценить влияние двух продуцирующих ауксины штаммов бактерий *Pseudomonas lupanensis* IB C7 и *Enterobacter* sp. UOM 3 на содержание в корневой зоне растений ячменя *Hordeum vulgare* L. органических кислот, сахаров и фитогормонов в условиях нефтяного загрязнения. Исследования проводили в 2019–2020 гг. Ячмень выращивали на светоплощадке в простерилизованном песке, пропитанном питательным раствором Хогланда-Арнона. Перед посадкой проростки замачивали в суспензии бактериальных клеток. Содержание органических кислот и сахаров в пропитывающем песок растворе определяли методом капиллярного электрофореза, гормонов – методом иммуноферментного анализа. Повторность вариантов опыта – десятикратная. В результате применения обоих штаммов бактерий в растворе отмечено увеличение суммарного количества органических кислот на 4–7 %, моносахаридов – на 12–15 %, возрастание доли лимонной и молочной кислот, фруктозы и глюкозы, а в корнях ячменя зафиксирован рост содержания ауксинов на 46–98 % по сравнению с нефтезагрязненным вариантом без микроорганизмов. Предположительно, вызванное бактериями и загрязнением накопление ауксинов в растениях стимулирует корневую экссудацию, а бактерии за счет своей метаболической активности вносят вклад в изменение состава экссудатов. Полученные результаты свидетельствуют о повышении уровня корневой экссудации в присутствии нефти и ауксинпродуцирующих бактерий. Это должно способствовать колонизации корней бактериями, обеспечивая возрастание эффективности разложения углеводородов нефти.

**Ключевые слова:** корневые экссудаты, фитогормоны, нефтяное загрязнение, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Hordeum vulgare* L.

### Введение

Поступление растворимых органических соединений в почву в виде корневых экссудатов играет важную роль в поддержании размножения бактерий в ризосфере. Показано, что при стрессе уровень экссудации меняется, способствуя росту бактерий в неблагоприятных условиях [1, 2]. Приток в ризосферу продуцируемых растениями растворимых органических соединений – один из наиболее важных факторов, обеспечивающих микроорганизмы источником энергии для окисления углеводородов и биоремедиацию загрязненной нефтью почвы [3]. Однако эффективность ассоциации растений и бактерий в процессе фиторемедиации определяется их взаимодействием, при котором не только растения обеспечивают микроорганизмы необходимыми веществами, но и бактерии могут влиять на рост корней, от чего зависит процесс экссудации [3]. Кроме того,

микроорганизмы могут оказывать и непосредственное воздействие на уровень корневого выделения [1]. В этом важную роль играют образуемые ими фитогормоны, например, ауксины и цитокинины, усиливающие этот процесс [4, 5]. Ранее нами показано положительное влияние некоторых представителей родов *Pseudomonas* и *Enterobacter* на рост растений в присутствии углеводов за счет снижения содержания токсиканта в почве и синтеза фитогормонов [6, 7]. Вместе с тем, роль бактерий в регуляции экссудации корней в ходе биодegradации нефти практически не изучена.

**Цель исследований** – оценка воздействия бактерий *P. humanensis* IB C7 и *Enterobacter sp.* UOM 3 на накопление в зоне корней растений ячменя органических кислот и сахаров в условиях нефтяного загрязнения.

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

Исследования проводили в 2019–2020 г. в ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук».

Объектом изучения служили растения ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Челябинский 99. Исследования проводили в условиях модельного эксперимента на стерильном песке, который насыщали 100 %-м питательным раствором Хогланда-Арнона следующего состава: 0,5 мМ KNO<sub>3</sub>, 0,5 мМ Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 0,1 мМ KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,1 мМ MgSO<sub>4</sub> и соли микроэлементов. В опытные варианты вносили товарную нефть в количестве 2 % по массе. Перед посадкой проростки ячменя замачивали в жидкой культуре бактерий *P. humanensis* IB C7 и *Enterobacter sp.* UOM 3 с титром 10<sup>6</sup> клеток/мл и высаживали по шесть штук в сосуд объемом 500 мл в десятикратной повторности. Дополнительно в песок вносили жидкую культуру вышеупомянутых бактерий до концентрации порядка 2–3×10<sup>6</sup> клеток/г. Растения выращивали на светоплощадке при освещенности 240 мкмоль м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup> ФАР, 14-часовом фотопериоде и 22–26 °С. Влажность поддерживали на уровне 60–90 % от полной влагоемкости. Через две недели после появления всходов оценивали показатели роста растений ячменя, содержание органических кислот, сахаров и фитогормонов в пропитывающем песок растворе. Для этого 50 мл дистиллированной воды порциями наливали на поверхность песка и собирали вытекающую из сосуда жидкость (элюат, корневой смыв), в которой определяли содержание органических веществ и гормонов (масса/сосуд).

Анализ состава сахаров и органических кислот в элюатах проводили с использованием метода капиллярного электрофореза на системе «Капель-104 РТ» («Люмэкс», Россия) с ультрафиолетовым детектором с длиной волны 254 нм, с кварцевым капилляром (эффективная длина – 0,5 м, внутренний диаметр – 75 мкм). Электролитом для определения органических кислот являлся бензимидазол [8], для углеводов – раствор следующего состава: 0,5 % сорбата калия, 0,62 % цетилтриметиламмоний бромид и 0,02 % гидроксида калия. Пробы дозировали гидродинамически. Рекомендуемое отрицательное напряжение – 16 кВ (для сахаров) и 20 кВ (для органических кислот). Перед анализом элюаты фильтровали через мембранные фильтры с порами 0,22 мкм.

Для определения гормонов методом иммуноферментного анализа пробы побегов и корней помещали в жидкий азот. Цитокинины в аликвоте после экстракции этиловым спиртом из растений или в аликвоте элюата концентрировали на картридже С-18 и разделяли при помощи тонкослойной хроматографии для оценки содержания зеатина (Z) и его рибозида (ZR) [9]. Абсцизовую кислоту (АБК) и индолилуксусную кислоту (ИУК) из аликвоты водного остатка и корневого смыва экстрагировали диэтиловым эфиром после упаривания последнего, осадок растворяли в этиловом спирте для выполнения иммуноферментного анализа [10].

Статистическую обработку данных проводили по стандартным программам MS Excel. На рисунках и в таблицах данные представлены как среднее и стандартная ошибка. Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента.

### Результаты и их обсуждение

В смывах из обработанного бактериями песка без растений выявлена только яблочная кислота в низкой концентрации (около 0,8 мкг/сосуд), а присутствие остальных органических кислот и сахаров не обнаружено. Для элюата из всех вариантов с растениями характерно низкое содержание яблочной кислоты (менее 0,5 мкг/сосуд). Без интродукции бактерий в песке под ячменем доминировала янтарная кислота, содержание которой составляло около 50 % от суммы всех органических кислот, а молочная кислота отсутствовала (таблица 1).

**Таблица 1 – Содержание органических кислот в сосудах с растениями ячменя, мкг/сосуд**

Вариант опыта		Кислота				
		щавелевая	лимонная	янтарная	молочная	суммарно
Без нефти	без бактерий	5,37 ± 0,07 <sup>a</sup>	74,68 ± 0,12 <sup>a</sup>	110,20 ± 0,84 <sup>d</sup>	менее 0,5	190,25 ± 0,88 <sup>a</sup>
	<i>Enterobacter sp.</i> UOM 3	5,18 ± 0,02 <sup>a</sup>	123,58 ± 0,16 <sup>c</sup>	8,33 ± 0,04 <sup>c</sup>	65,93 ± 0,18 <sup>c</sup>	203,03 ± 0,38 <sup>b</sup>
	<i>P. hunanensis</i> IB C7	5,23 ± 0,02 <sup>a</sup>	178,65 ± 0,48 <sup>e</sup>	5,22 ± 0,03 <sup>b</sup>	34,68 ± 0,07 <sup>a</sup>	223,78 ± 0,58 <sup>c</sup>
2 % нефти	без бактерий	10,18 ± 0,02 <sup>b</sup>	100,88 ± 0,07 <sup>b</sup>	119,97 ± 0,30 <sup>e</sup>	менее 0,5	231,03 ± 0,37 <sup>d</sup>
	<i>Enterobacter sp.</i> UOM 3	10,28 ± 0,02 <sup>b</sup>	123,82 ± 0,22 <sup>c</sup>	5,57 ± 0,09 <sup>c</sup>	100,27 ± 0,49 <sup>c</sup>	239,93 ± 0,78 <sup>e</sup>
	<i>P. hunanensis</i> IB C7	10,52 ± 0,04 <sup>b</sup>	175,70 ± 0,42 <sup>d</sup>	4,92 ± 0,02 <sup>a</sup>	55,77 ± 0,12 <sup>b</sup>	246,90 ± 0,26 <sup>f</sup>

**Примечание.** Внутри группы достоверно отличающиеся значения помечены разными буквами ( $p \leq 0,05$ ).

Обработка растений бактериями приводила к резкому (более чем десятикратному) снижению содержания янтарной кислоты, повышению – лимонной и появлению молочной кислоты, не обнаруженной в варианте с растениями без бактериальной инокуляции. Содержание молочной кислоты было выше при применении штамма *Enterobacter sp.* UOM 3, чем *P. hunanensis* IB C7. При отсутствии нефти количество лимонной кислоты возросло под влиянием штаммов *Enterobacter sp.* UOM 3 и *P. hunanensis* IB C7 в 1,7 и 2,4 раза соответственно, а ее доля в суммарном содержании идентифицированных органических кислот увеличилась до 60 и 80 % соответственно.

В условиях загрязнения суммарное количество органических кислот, выявленных в прикорневой зоне, повысилось в варианте без бактериализации примерно на 20 %, а содержание лимонной кислоты – на 35 %. Содержание щавелевой кислоты в присутствии нефти возросло наиболее значительно (вдвое), но так как этот показатель был на порядок меньше, чем у лимонной кислоты, ее вклад в пул органических кислот был небольшим. Обработка растений бактериями на фоне загрязнения сопровождалась дополнительным возрастанием содержания лимонной кислоты на 22 % в варианте с *Enterobacter sp.* UOM 3 и на 74 % – в случае *P. hunanensis* IB C7.

Суммарное содержание моносахаридов в элюате из песка на порядок превышало количество органических кислот (таблица 2). Уровень фруктозы и глюкозы возрастал как под влиянием внесения бактерий, так и присутствия нефти, а мальтозы, напротив, снижался в 2,6–2,7 раза, если бактерии и нефть присутствовали одновременно. Заметным было влияние инокуляции на количество фруктозы. В отсутствие нефти прибавка ее содержания от бактериализации была достоверной в случае *P. hunanensis* IB C7, а на фоне загрязнения – при использовании обоих штаммов. Увеличение содержания фруктозы под влиянием штамма *P. hunanensis* IB C7 составило

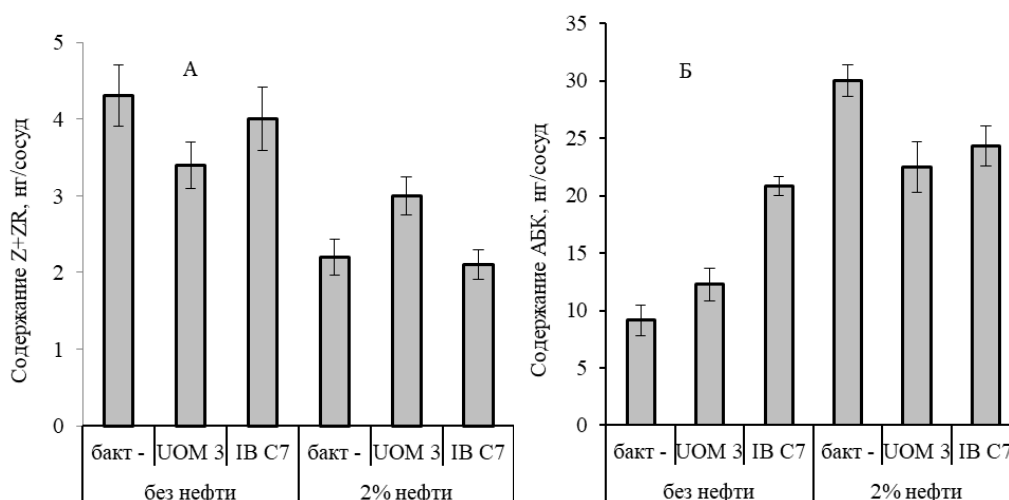
при загрязнении 32 %, а без поллютанта – 21 %. В целом, обработка штаммом *P. humanensis* IB C7 являлась более эффективной, чем *Enterobacter sp.* UOM 3.

**Таблица 2 – Содержание сахаров в сосудах с растениями ячменя, мкг/сосуд**

Вариант опыта		Сахара			
		фруктоза	глюкоза	мальтоза	суммарно
Без нефти	без бактерий	163 ± 5 <sup>a</sup>	1579 ± 42 <sup>a</sup>	167 ± 1 <sup>c</sup>	1909 ± 47 <sup>a</sup>
	<i>Enterobacter sp.</i> UOM 3	182 ± 8 <sup>ab</sup>	1692 ± 8 <sup>a</sup>	168 ± 5 <sup>bc</sup>	2042 ± 11 <sup>a</sup>
	<i>P. humanensis</i> IB C7	198 ± 2 <sup>b</sup>	1814 ± 37 <sup>b</sup>	164 ± 1 <sup>b</sup>	2176 ± 39 <sup>b</sup>
2 % нефти	без бактерий	235 ± 1 <sup>c</sup>	1753 ± 55 <sup>ab</sup>	189 ± 6 <sup>bc</sup>	2156 ± 57 <sup>ab</sup>
	<i>Enterobacter sp.</i> UOM 3	290 ± 5 <sup>d</sup>	2068 ± 89 <sup>bc</sup>	65 ± 1 <sup>a</sup>	2423 ± 90 <sup>bc</sup>
	<i>P. humanensis</i> IB C7	311 ± 4 <sup>e</sup>	2108 ± 50 <sup>c</sup>	63 ± 2 <sup>a</sup>	2482 ± 55 <sup>c</sup>

*Примечание.* Внутри группы достоверно отличающиеся значения помечены разными буквами ( $p \leq 0,05$ ).

Цитокинины в элюате из песка без растений не детектировались, а содержание АБК было на пределе чувствительности метода. В присутствии растений содержание этих гормонов оставалось незначительным (не более 5 нг/сосуд для цитокининов и 30 нг/сосуд – в случае АБК). Количество цитокининов снижалось, а АБК – возрастало под влиянием нефтяного загрязнения (рисунок 1). Содержание АБК менялось наиболее значительно (в три раза по сравнению с вариантом без нефти) в варианте без бактерий.

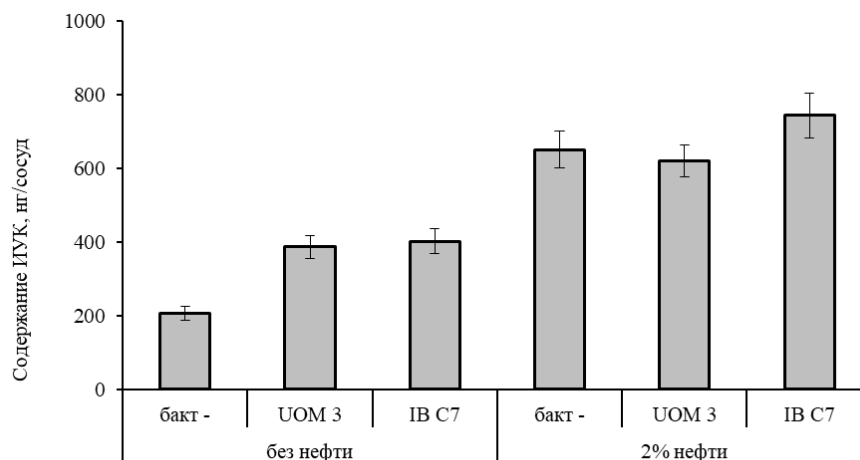


**Рисунок 1 – Содержание цитокининов (Z+ZR) (А) и АБК (Б) в элюате из песка, на котором выращивали растения ячменя**

*Примечание.* «Бакт -» – растения, не подвергавшиеся бактериальной обработке; UOM 3 – растения, инокулированные штаммом *Enterobacter sp.* UOM 3; IB C7 – растения, инокулированные штаммом *P. humanensis* IB C7.

Содержание ИУК в элюате из песка, на котором росли растения, составляло 207 нг/сосуд, что на порядок выше, чем АБК и цитокининов (рисунок 2). Оно возросло в присутствии нефти до 650 нг/сосуд, но обработка бактериями оказывала влияние на концентрацию ИУК только в отсутствие нефти, вызывая повышение уровня этого гормона в два раза по сравнению с вариантом без бактериализации. Одинаковая прибавка зарегистрирована при применении обоих штаммов. В чистом песке в присутствии микроорганизмов, но без растений, содержание гормона было в 20 раз ниже, чем при наличии растений. На фоне загрязнения количество ИУК в

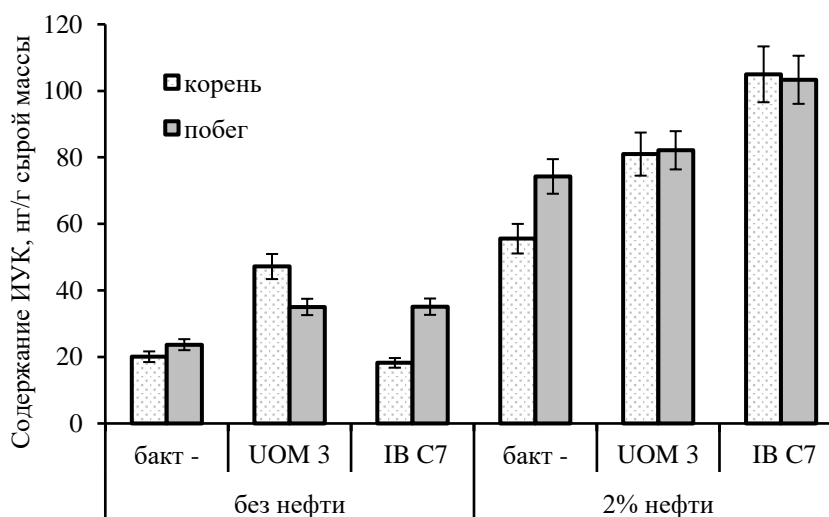
песке без растений увеличилось до 45 нг/сосуд, а при сочетании нефти с обработкой штаммом *Enterobacter sp.* UOM 3 – до 162 нг/сосуд.



**Рисунок 2 – Содержание ИУК в элюате из песка**

**Примечание.** «Бакт -» – растения, не подвергавшиеся бактериальной обработке; UOM 3 – варианты опыта с внесением штамма *Enterobacter sp.* UOM 3; IB C7 – варианты опыта с внесением штамма *P. humanensis* IB C7.

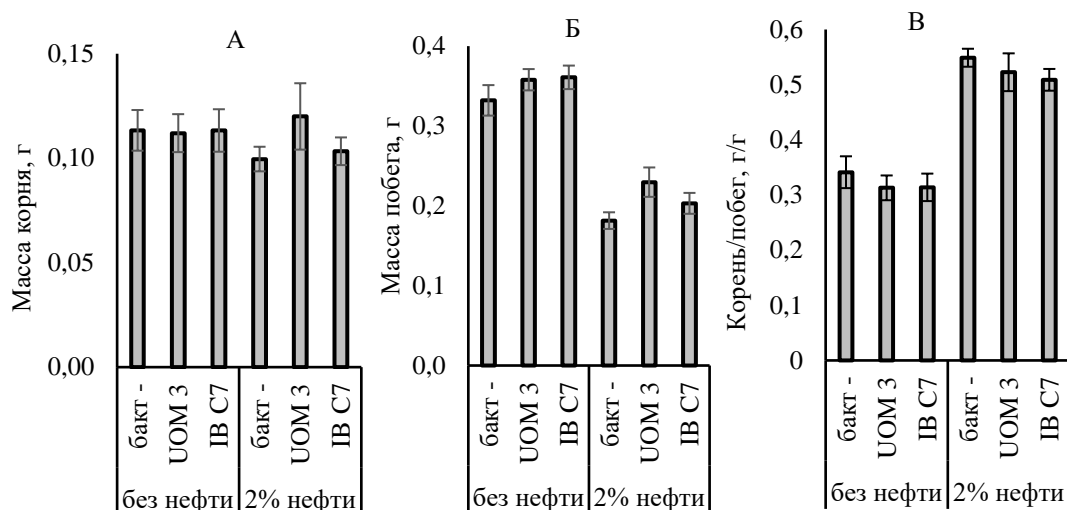
Под влиянием нефти и бактериальной обработки содержание ауксинов в растениях возросло (рисунок 3). На фоне загрязнения прибавка содержания ИУК в корнях и побегах была больше в случае *P. humanensis* IB C7 (почти в два раза по сравнению с вариантом без внесения бактерий).



**Рисунок 3 – Содержание ИУК в побегах и корнях растений ячменя**

**Примечание.** «Бакт -» – варианты опыта без бактериальной обработки, UOM 3 – варианты опыта с внесением штамма *Enterobacter sp.* UOM 3; IB C7 – варианты опыта с внесением штамма *P. humanensis* IB C7.

Присутствие нефти приводило к резкому снижению массы побега по сравнению с растениями, которые росли в чистом песке, но не влияло на массу корней, в результате чего соотношение масс корней и побегов резко возрастало (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Изменение массы вегетативных органов растений ячменя**

**Примечания:** А – масса корней, Б – побегов, В – соотношение масс корень/побег растений ячменя; «бакт -» – варианты опыта без бактериальной обработки; UOM 3 – варианты опыта с внесением штамма *Enterobacter sp. UOM 3*; IB C7 – варианты опыта с внесением штамма *P. hunanensis IB C7*.

Отсутствие сахаров и большинства органических кислот в песке, в котором не росли растения, явилось ожидаемым результатом, который соответствует роли растений как первичного источника растворимых органических соединений в ризосфере [11]. Вместе с тем, интродукция бактерий в ризосферу влияла на состав органических соединений: в элюате резко снижалось содержание янтарной кислоты, увеличивалось количество лимонной и появлялась молочная кислота; содержание фруктозы и глюкозы также возрастало, хотя и в меньшей степени, чем кислот. В присутствии нефти содержание органических соединений также повышалось, что соответствует данным литературы об усилении корневой экссудации растений в стрессовых условиях [1, 2]. Увеличение содержания органических кислот под влиянием нефтяного загрязнения более заметно проявлялось на фоне бактериализации. Состав органических соединений может отражать особенности метаболизма бактерий (синтез одних соединений и катаболизм других). Углеводороды нефти могут быть источником для синтеза органических соединений. Так, в результате бета-окисления алифатических цепей углеводородов образуется ацилКоА, который, вступая в цикл Кребса, может способствовать накоплению лимонной кислоты [12]. Наибольшая прибавка лимонной кислоты в пуле органических кислот была выявлена при интродукции штамма псевдомонад. Эти результаты представляют интерес в связи с данными литературы о наличии у представителей этого рода хемотоксичных белков, реагирующих на лимонную кислоту и способствующих их аттракции к поверхности корней и колонизации [3]. В присутствии нефти и бактерий резко снижалась концентрация мальтозы, что может указывать на активную утилизацию этого соединения микроорганизмами.

Ранее мы обнаружили, что цитокинины, продуцируемые бациллами, влияют на экссудацию аминокислот [5]. Но на фоне загрязнения нефтью не зарегистрировано повышения уровня этих гормонов в растениях [13], а их количество в элюате было низким (см. рисунок 1). Поэтому большее внимание в работе сосредоточено на результатах анализа ауксинов.

Известно, что ауксины способны повышать уровень корневой экссудации [4] и в этом плане представляет интерес обнаруженное в наших опытах возрастание



содержания этих гормонов как в элюате из песка, так и самих растениях под влиянием нефтяного загрязнения. Влияние ауксина на корневую экссудацию может быть обусловлено его действием на рост корней [13, 14]. Однако в опытах (относительно короткая экспозиция), которые проводили в песчаной культуре, увеличения массы корней на фоне стресса не зарегистрировано (см. рисунок 4). Поэтому возрастание количества органических соединений в элюате отражало изменение активности экссудации, независимое от массы корней. Механизм действия ауксинов на корневую экссудацию может быть связан со способностью этих гормонов активировать мембранную АТФазу [15], обеспечивающую транспорт веществ против градиента их концентрации. Другие исследователи утверждают, что корневая экссудация сахаров происходит пассивно [16]. Тем не менее, повышение содержания ауксинов способствует оттоку сахаров в корни [17], что должно сказаться на корневой экссудации.

Оба изученных штамма бактерий способны синтезировать ауксины [6]. Их концентрация в элюате возрастала в результате бактериализации (в отсутствие нефти), что могло способствовать повышению корневой экссудации и увеличению концентрации органических соединений (таблицы 1 и 2). Но на фоне нефтяного загрязнения прибавки количества ауксинов в элюате при интродукции бактерий не зарегистрировано. Вместе с тем, в растениях содержание этих гормонов возрастало как под влиянием нефти, так и бактериализации (рисунок 3). Очевидно, что в варианте без введения микроорганизмов, увеличение количества ауксинов под воздействием нефти как в элюате, так и растениях было следствием синтеза этих веществ растениями. Однако дополнительное возрастание уровня ауксинов в растениях при бактериальной обработке вполне можно объяснить способностью штаммов продуцировать ауксины и активизировать их поглощение растением [18].

#### Выводы

Таким образом, в результате применения бактерий *P. hunanensis* IB С7 и *Enterobacter sp.* UOM 3 в присутствии нефти в растворе отмечено увеличение суммарного количества органических кислот на 4–7 %, моносахаридов на 12–15 %, возрастание доли лимонной, молочной кислот, фруктозы и глюкозы по сравнению с загрязненным вариантом без микроорганизмов. Усиление корневой экссудации может быть связано с увеличением содержания ауксинов в корнях ячменя на 46–98 % под влиянием этих бактерий и должно способствовать колонизации корней бактериями (в частности, деструкторами нефти), обеспечивая возрастание эффективности разложения углеводов.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-29-05025/19, ГЗ Минобрнауки России № 075-00326-19-00 по теме № АААА-А19-119021390081-1 и № АААА-А18-118022190100-9 с использованием оборудования ЦКП УФИЦ РАН «Агидель».*

#### Литература

1. Шапошников А. И., Пухальский Я. В., Кравченко Л. В., Белимов А. А. Роль корневой экссудации в трофических взаимодействиях растений с ризосферными микроорганизмами. СПб.: Информнавигатор, 2016. 101 с.
2. Williams A., de Vries F. T. Plant root exudation under drought: implications for ecosystem functioning // *New Phytologist*. 2020. Vol. 225. No. 5. P. 1899–1905.
3. Rohrbacher F., St-Arnaud M. Root exudation: the ecological driver of hydrocarbon rhizoremediation // *Agronomy*. 2016. Vol. 6. No. 1. DOI: 10.3390/agronomy6010019.
4. Wittenmayer L., Merbach W. Plant responses to drought and phosphorus deficiency: contribution of phytohormones in root-related processes // *Journal of plant nutrition and soil science*. 2005. Vol. 168. P. 531–540. DOI: 10.1002/jpln.200520507 531.
5. Kudoyarova G. R., Melentiev A. I., Martynenko E. V., Timergalina L. N., Arkhipova T. N., Shendel G. V., Kuz'mina L. Dodd I. C., Veselov S. Cytokinin producing bacteria stimulate amino acid

deposition by wheat roots // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2014. Vol. 83. P. 285–291. DOI: 10.1016/j.plaphy.2014.08.015.

6. Bakaeva M., Kuzina E., Vysotskaya L., Kudoyarova G., Arkhipova T., Rafikova G., Chetverikov S., Korshunova T., Chetverikova D., Loginov O. Capacity of *Pseudomonas* strains to degrade hydrocarbons, produce auxins and maintain plant growth under normal conditions and in the presence of petroleum contaminants // *Plants*. 2020. Vol. 9. No. 3. DOI: 10.3390/plants9030379.

7. Бакаева М. Д., Кузина Е. В., Рафикова Г. Ф., Четверикова Д. В., Столярова Е. А., Мухаматдырова С. Р., Кудоярова Г. Р. Влияние бактерий-деструкторов углеводородов нефти на прорастание и рост растений // *Экобиотех*. 2019. Т. 2. № 2. С. 175–183. DOI: 10.31163/2618-964X-2019-2-2-175-183.

8. Комарова Н. В., Каменцев Я. С. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ». СПб.: ООО «Веда», 2006. 212 с.

9. Kudoyarova G. R., Vysotskaya L. B., Cherkozyanova A., Dodd I. C. Effect of partial rootzone drying on the concentration of zeatin-type cytokinins in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) xylem sap and leaves // *Journal of Experimental Botany*. 2007. Vol. 58. P. 161–168.

10. Vysotskaya L. B., Arkhipova T. N., Kudoyarova G. R., Veselov S. Yu. Dependence of growth inhibiting action of increased planting density on capacity of lettuce plants to synthesize ABA // *Journal of Plant Physiology*. 2018. Vol. 220. P. 69–73.

11. Gunina A., Kuzyakov Y. Sugars in soil and sweets for microorganisms: review of origin, content, composition and fate // *Soil Biology & Biochemistry*. 2015. Vol. 90. P. 87–100.

12. Truskewycz A., Gundry T. D., Khudur L. S., Kolobaric A., Taha M., Aburto-Medina A., Ball A. S., Shahsavari E. Petroleum hydrocarbon contamination in terrestrial ecosystems – fate and microbial responses // *Molecules*. 2019. Vol. 24. No. 18. DOI: 10.3390/molecules24183400.

13. Высоцкая Л. Б., Ахтямова З. А., Архипова Т. Н., Кузина Е. В., Рафикова Г. Ф., Феоктистова А. В., Тимергалина Л. Н., Четверикова Д. В., Бакаева М. Д. Влияние ассоциации растений ячменя с бактериями-деструкторами нефти на содержание гормонов и рост растений ячменя на фоне нефтяного загрязнения // *Экобиотех*. 2020. Т. 3. № 1. С. 51–58. DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-1-51-58.

14. Kudoyarova G. R., Vysotskaya L. B., Arkhipova T. N., Kuzmina L. Yu, Galimsyanova N. F., Sidorova L. V., Gabbasova I. M., Melentiev A. I., Veselov S. Yu. Effect of auxin producing and phosphate solubilizing bacteria on mobility of soil phosphorus, growth rate, and P acquisition by wheat plants // *Acta Physiologiae Plantarum*. 2017. Vol. 39. No. 11. DOI: 10.1007/s11738-017-2556-9.

15. Altabella T., Palazon J., Ibarz E., Piñol M. T., Serrano R. Effect of auxin concentration and growth phase on the plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase of tobacco calli // *Plant Science*. 1990. Vol. 70. P. 209–214.

16. Canarini A., Kaiser C., Merchant A., Richter A., Wanek W. Root exudation of primary metabolites: mechanisms and their roles in plant responses to environmental stimuli // *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. DOI: 10.3389/fpls.2019.00157

17. Li Z., Zhang X., Zhao Y., Li Y., Zhang G., Peng Z., Zhang J. Enhancing auxin accumulation in maize root tips improves root growth and dwarfs plant height // *Plant Biotechnology Journal*. 2018. Vol. 16. P. 86–99.

18. Poupin M. J., Greve M., Carmona V., Pinedo I. A Complex molecular interplay of auxin and ethylene signaling pathways is involved in *Arabidopsis* growth promotion by *Burkholderia phytofirmans* PsJN // *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. DOI: 10.3389/fpls.2016.00492.

## References

1. Shaposhnikov A. I., Pukhalsky Ya. V., Kravchenko L. V., Belimov A. A. Role of root exudation in trophic interactions of plants with rhizospheric microorganisms. Saint-Petersburg: Informnavigator, 2016. 101 p.

2. Williams A., de Vries F. T. Plant root exudation under drought: implications for ecosystem functioning // *New Phytologist*. 2020. Vol. 225. No. 5. P. 1899–1905.

3. Rohrbacher F., St-Arnaud M. Root exudation: the ecological driver of hydrocarbon rhizoremediation // *Agronomy*. 2016. Vol. 6. No. 1. DOI: 10.3390/agronomy6010019.

4. Wittenmayer L., Merbach W. Plant responses to drought and phosphorus deficiency: contribution of phytohormones in root-related processes // *Journal of plant nutrition and soil science*. 2005. Vol. 168. P. 531–540. DOI: 10.1002/jpln.200520507 531.

5. Kudoyarova G. R., Melentiev A. I., Martynenko E. V., Timergalina L. N., Arkhipova T. N., Shendel G. V., Kuz'mina L. Dodd I. C., Veselov S. Cytokinin producing bacteria stimulate amino acid deposition by wheat roots // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2014. Vol. 83. P. 285–291. DOI: 10.1016/j.plaphy.2014.08.015.

6. Bakaeva M., Kuzina E., Vysotskaya L., Kudoyarova G., Arkhipova T., Rafikova G., Chetverikov S., Korshunova T., Chetverikova D., Loginov O. Capacity of *Pseudomonas* strains to degrade hydrocarbons, produce auxins and maintain plant growth under normal conditions and in the presence of petroleum contaminants // *Plants*. 2020. Vol. 9. No. 3. DOI: 10.3390/plants9030379.

7. Bakaeva M. D., Kuzina E. V., Rafikova G. F., Chetverikova D. V., Stolyarova E. A., Muhamatdyarova S. R., Kudoyarova G. R. The influence of bacteria-destructors hydrocarbons of petroleum

on germination and growth of plants // *Ecobiotech.* 2019. Vol. 2. No. 2. P. 175–183. DOI: 10.31163/2618-964X-2019-2-2-175-183.

8. Komarova N. V., Kamentsev Ya. S. Practical guide for the use of capillary electrophoresis systems “DROP”. Saint-Petersburg: Veda LLC, 2006. 212 с.

9. Kudoyarova G. R., Vysotskaya L. B., Cherkozyanova A., Dodd I. C. Effect of partial rootzone drying on the concentration of zeatin-type cytokinins in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) xylem sap and leaves // *Journal of Experimental Botany.* 2007. Vol. 58. P. 161–168.

10. Vysotskaya L. B., Arkhipova T. N., Kudoyarova G. R., Veselov S. Yu. Dependence of growth inhibiting action of increased planting density on capacity of lettuce plants to synthesize ABA // *Journal of Plant Physiology.* 2018. Vol. 220. P. 69–73.

11. Gunina A., Kuzyakov Y. Sugars in soil and sweets for microorganisms: review of origin, content, composition and fate // *Soil Biology & Biochemistry.* 2015. Vol. 90. P. 87–100.

12. Truskewycz A., Gundry T. D., Khudur L. S., Kolobaric A., Taha M., Aburto-Medina A., Ball A. S., Shahsavari E. Petroleum hydrocarbon contamination in terrestrial ecosystems – fate and microbial responses // *Molecules.* 2019. Vol. 24. No. 18. DOI: 10.3390/molecules24183400.

13. Vysotskaya L. B., Akhtyamova Z. A., Arkhipova T. N., Kuzina E. V., Rafikova G. F., Feoktistova A. V., Timergalina L. N., Chetverikova D. V., Bakaeva M. D. The influence of the association of barley plants with bacteria-destroyers of oil on the hormone content and growth of barley plants against the background of oil pollution // *Ecobiotech.* 2020. Vol. 3. No. 1. P. 51–58. DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-1-51-58.

14. Kudoyarova G. R., Vysotskaya L. B., Arkhipova T. N., Kuzmina L. Yu., Galimsyanova N. F., Sidorova L. V., Gabbasova I. M., Melentiev A. I., Veselov S. Yu. Effect of auxin producing and phosphate solubilizing bacteria on mobility of soil phosphorus, growth rate, and P acquisition by wheat plants // *Acta Physiologiae Plantarum.* 2017. Vol. 39. No. 11. DOI: 10.1007/s11738-017-2556-9.

15. Altabella T., Palazon J., Ibarz E., Piñol M. T., Serrano R. Effect of auxin concentration and growth phase on the plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase of tobacco calli // *Plant Science.* 1990. Vol. 70. P. 209–214.

16. Canarini A., Kaiser C., Merchant A., Richter A., Wanek W. Root exudation of primary metabolites: mechanisms and their roles in plant responses to environmental stimuli // *Frontiers in Plant Science.* 2019. Vol. 10. DOI: 10.3389/fpls.2019.00157.

17. Li Z., Zhang X., Zhao Y., Li Y., Zhang G., Peng Z., Zhang J. Enhancing auxin accumulation in maize root tips improves root growth and dwarfs plant height // *Plant Biotechnology Journal.* 2018. Vol. 16. P. 86–99.

18. Poupin M. J., Greve M., Carmona V., Pinedo I. A Complex molecular interplay of auxin and ethylene signaling pathways is involved in *Arabidopsis* growth promotion by *Burkholderia phytofirmans* PsJN // *Frontiers in Plant Science.* 2016. Vol. 7. DOI: 10.3389/fpls.2016.00492.

UDC 579.69:581.135:577.175.1

Vysotskaya L. B., Chetverikov S. P., Kuzina E. V., Arkhipova T. N., Rafikova G. F., Sharipov D. A., Khudaygulov G. G., Chetverikova D. V., Bakaeva M. D., Korshunova T. Yu., Loginov O. N., Kudoyarova G. R.

### INFLUENCE OF AUXIN PRODUCING BACTERIA ON THE AMOUNT OF ORGANIC COMPOUNDS IN THE ROOT ZONE OF BARLEY DURING OIL POLLUTION

**Summary.** *Phytomeliorants are often used to restore the characteristics of oil-contaminated soils. However, the role of bacteria in regulating root exudation during the process of oil biodegradation has not been studied. The aim of the study was to evaluate the effect of two auxin-producing strains Pseudomonas hunanensis IB C7 and Enterobacter sp. UOM 3 on the content of organic acids, sugars and phytohormones in the root zone of barley (Hordeum vulgare L.) under oil pollution. The research was conducted in 2019-2020. Barley was grown on a light site in sterilized sand filled with Hoagland-Arnon nutrient solution. Before planting, the seedlings were soaked in a suspension of bacterial cells. The amount of organic acids and sugars in the water eluate was measured by capillary electrophoresis; hormones were detected by enzyme immunoassay. The experiment was replicated ten times. Under the influence of bacteria in the eluate, the percentage of citric, lactic acid, fructose and glucose increased; the sum of organic acids increased by 4–7 %; the sum of monosaccharides – by 12-15 %; auxins in the of barley roots – by 46–98 % compared to the oil-contaminated version without microorganisms. It is suggested that the accumulation of auxins in plants provoked by*

*bacteria and pollutants stimulates root exudation, while bacteria change the composition of exudates due to their metabolic activity. The obtained results indicate an increase in the root exudation in the presence of oil and auxin-producing bacteria, which should contribute to the roots' colonization by bacteria and make oil hydrocarbons decomposition more efficient.*

**Keywords:** *root exudates, phytohormones, oil pollution, Enterobacter, Pseudomonas, Hordeum vulgare L.*

Высоцкая Лидия Борисовна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии растений ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69; e-mail: vysotskaya@anrb.ru.

Четвериков Сергей Павлович, доктор биологических наук, заведующий лабораторией агробиологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69; e-mail: che-kov@mail.ru.

Кузина Елена Витальевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69; e-mail: misshalen@mail.ru.

Архипова Татьяна Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии растений ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69; e-mail: tmarkhipova@mail.ru.

Рафикова Гульназ Фаилевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69; e-mail: rgf07@mail.ru.

Шарипов Данил Альмирович, младший научный сотрудник лаборатории агробиологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69; e-mail: male886@yandex.ru.

Худайгулов Гайсар Гараевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агробиологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69; e-mail: bio.logos@yandex.com.

Четверикова Дарья Владимировна, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории биотехнологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69; e-mail: belka-strelka8031@yandex.ru

Бакаева Маргарита Дмитриевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69; e-mail: margo22@yandex.ru.

Коршунова Татьяна Юрьевна, доктор биологических наук, заведующий лабораторией биотехнологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69; e-mail: korshunovaty@mail.ru.

Логинов Олег Николаевич, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории биотехнологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69; biolab316@yandex.ru.

Кудоярова Гюзель Радомесовна, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией физиологии растений ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69; e-mail: kudoyarova1953@yandex.ru.

Vysotskaya Lidia Borisovna, Dr. Sc. (Biol.), leading researcher at the Laboratory of plant physiology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: vysotskaya@anrb.ru.

Chetverikov Sergey Pavlovich, Dr. Sc. (Biol.), head of the Laboratory of agrobiology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: che-kov@mail.ru.

Kuzina Elena Vitalievna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher at the Laboratory of biotechnology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: misshalen@mail.ru.

Arkhipova Tatyana Nikolaevna., Cand. Sc. (Biol.), senior researcher at the Laboratory of plant physiology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: tmarkhipova@mail.ru.

Rafikova Gulnaz Failevna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher of the Laboratory of biotechnology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: rgf07@mail.ru.

Sharipov Danil Almirovich, junior researcher at the Laboratory of agrobiolology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: male886@yandex.ru.

Khudaygulov Gaisar Garayevich, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher at the Laboratory of agrobiolology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: bio.logos@yandex.com.

Chetverikova Darya Vladimirovna, Cand. Sc. (Tech.), researcher of the Laboratory of biotechnology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: belka-strelka8031@yandex.ru.

Bakaeva Margarita Dmitrievna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher of the Laboratory of biotechnology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: margo22@yandex.ru.

Korshunova Tatyana Yurievna, Dr. Sc. (Biol.), head of the Laboratory of biotechnology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: korshunovaty@mail.ru.

Loginov Oleg Nikolaevich, Dr. Sc. (Biol.), Professor, chief researcher of the Laboratory of biotechnology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: biolab316@yandex.ru.

Kudoyarova Guzel Radomesovna, Dr. Sc. (Biol.), Professor, head of the Laboratory of plant physiology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: kudoyarova1953@yandex.ru.

*Дата поступления в редакцию – 01.07.2020.*

*Дата принятия к печати – 22.07.2020.*

DOI 10.33952/2542-0720-2020-3-23-70-78

УДК 633.11«324»:631.527

Галушко Н. А., Корнеева В. И.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ СЕЛЕКЦИИ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО ФНАЦ

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»

**Реферат.** *Изменения погодных условий во время вегетации и особенно налива зерна озимой пшеницы не всегда позволяют реализовать потенциал качества сорта. Одни сорта реагируют сильнее на изменение условий окружающей среды, другие показывают более стабильные результаты, демонстрируя разную экологическую пластичность. Цель исследований – выявить новые сорта мягкой озимой пшеницы селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» с высокой экологической пластичностью по содержанию клейковины в зерне для дальнейшей селекции новых генотипов зерновых колосовых. Работу проводили в 2013–2018 гг. Объекты исследования – новые сорта мягкой озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.): Нива Ставрополя, Виктория 11, Ставка, Олимп, Стась и Багира, стандарт – Айвина. Почва опытного участка – чернозём обыкновенный среднесуглинистый, среднесуглинистый. Климат зоны – умеренно-континентальный, лето – жаркое и сухое. Среднегодовое количество осадков – 564,3 мм, годовая сумма эффективных температур – 3262 °С, ГТК – 1,04. Перед посевом вносили сложные минеральные удобрения ( $N_{40}P_{60}K_{40}$ ), весной – подкормку аммиачной селитрой (26 кг д. в/га). Расчет индексов условий среды показал, что только два года из пяти (2013 и 2016 гг.) были благоприятными для формирования высококачественного зерна. Средняя изменчивость количества клейковины отмечена у сортов Стась (17 %), Нива Ставрополя (13 %), Виктория 11 (13 %) и Ставка (12 %). Незначительную изменчивость наблюдали у сортов Олимп (7 %), Багира (6 %) и Айвина (St.) (5 %). Показатель гомеостатичности качества зерна варьирует от 2,13 у сорта Стась до 5,12 у сорта Олимп. Самый высокий уровень гомеостатичности отмечен у стандарта – 5,95. По величине коэффициента линейной регрессии ( $b_i$ ) оценивали пластичность сортов озимой пшеницы, которая варьировала от 0,03 (Олимп) до 1,54 (Ставка). Большей экологической стабильностью по содержанию клейковины обладали стандарт Айвина ( $S^2d = 1,4$ ), Ставка ( $S^2d = 1,5$ ) и Багира ( $S^2d = 2,3$ ).*

**Ключевые слова:** *мягкая озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), селекция, сорт, качество зерна, клейковина, пластичность, гомеостатичность, экологическая стабильность, изменчивость.*

### Введение

Основной культурой, возделываемой в Ставропольском крае, остается мягкая озимая пшеница [1]. В настоящее время в регионе рекомендовано к использованию более 65 сортов этой культуры. На Ставрополье озимая пшеница занимает 2,5 млн га, из них 15 % занимают сорта пшеницы селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», различающиеся между собой по качеству зерна. Нива Ставрополя, Виктория 11 и Багира – ценные по качеству сорта, Ставка, Олимп, Стась – сильные. Изменения погодных условий во время вегетации не всегда позволяют реализовать потенциал качества сорта [2]. Одни сорта сильнее реагируют на изменение условий окружающей среды, другие показывают более стабильные результаты, демонстрируя разную экологическую пластичность [3, 4].

В зоне неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья первостепенным лимитирующим стресс-фактором при возделывании зерновых колосовых является влагообеспеченность [5, 6]. Весенний запас продуктивной влаги в метровом слое почвы под посевами пшеницы и состояние культуры во время возобновления весенней вегетации – это два основных инерционных фактора, обуславливающих формирование продуктивности озимой пшеницы [7].

С погодными условиями в период формирования и налива зерна коррелирует количество клейковины, сформированное сортами [8]. Сложившиеся метеорологические условия в период от колошения до уборки урожая имеют особое значение для получения зерна высокого качества [9, 10].

На корреляцию экзогенных условий среды в период формирования зерновки с показателями качества зерна озимой пшеницы указывают Э. С. Давидянц и Ф. В. Ерошенко [11], которые отмечают отрицательное воздействие обилия осадков в фазе налива зерна.

Оценка новых сортов пшеницы по экологической пластичности, стабильности и гомеостатичности признака, количества клейковины в зерне важна как для академического осмысления, так и для прикладной селекции и специалистов аграрного сектора.

**Цель исследований** – выявить перспективные сорта мягкой озимой пшеницы селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» с высокой экологической пластичностью по содержанию клейковины в зерне для дальнейшей селекции новых генотипов зерновых колосовых.

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

Исследования проводили в лаборатории качества зерна ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в 2013–2018 гг.

В качестве объектов для изучения выбраны сорта пшеницы мягкой озимой (*Triticum aestivum* L.) селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»: Нива Ставрополя, Виктория 11, Ставка, Олимп, Сталь и Багира, в качестве стандарта применяли общепринятый в государственном сортоиспытании Ставропольского края сорт Айвина. Группу районированных в регионе сортов пшеницы выращивали на экспериментальном поле ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в 2013–2018 гг. Почва опытного участка представлена типичным мицеллярно-карбонатным чернозёмом обыкновенным среднесуглинистым слабогумусированным среднесуглинистым. Агрохимические показатели пахотного слоя следующие: содержание гумуса – 4,3–4,5 % (ГОСТ 26213-91), общего азота – 0,22 % (ГОСТ 26107-84), подвижного фосфора и калия – 19–22 и 200–220 мг/кг (ГОСТ 26205-91) соответственно; реакция среды – слабощелочная, pH = 7,2–7,3 (ГОСТ 27753.3-88); сумма обменных оснований – 36,0 мг-экв./100 г почвы (ГОСТ 27821-88).

Зона возделывания характеризуется умеренно-континентальным климатом с неустойчивым увлажнением и неравномерным выпадением осадков в течение года, а также высокой теплообеспеченностью вегетационного периода. Лето – жаркое и сухое. Количество осадков за год – 564,3 мм, годовая сумма активных температур – 3000–3400 °С, ГТК – 1,04.

Главным условием возделывания зерновых культур является достаточная влагообеспеченность. Годы проведения исследований характеризовались различными условиями влагообеспеченности посевов озимой пшеницы (рисунок 1). Период посев–всходы в течение четырех лет из пяти (2013–2016 гг.), как и по многолетним данным (ГТК = 0,52), оказался засушливым. Это сказалось на сроках появления всходов. В 2017 г. этот период отличался избыточной влажностью (ГТК = 1,95).

Согласно многолетним наблюдениям, период весенне-летней вегетации (апрель–июнь) является избыточно влажным (ГТК = 1,41). Однако в 2018 г. он был засушливым (ГТК = 0,41), в 2013–2016 гг. характеризовался достаточной влагообеспеченностью или переувлажнением (ГТК = 1,24–2,28). По многолетним данным апрель считается умеренно влажным (ГТК = 1,16), но в 2015–2018 гг. месяц был очень засушливым (ГТК = 0,06–0,63).

Фаза колошения (20–25 мая) приходилась на период повышенной влагообеспеченности в 2013, 2014, 2015 и 2016 гг. В 2013 г. налив зерна проходил в условиях избыточного влажного снабжения, в 2016 г. – при достаточном, с обильными осадками в период уборки, тогда как в 2014 и 2015 гг. – при недостатке, а в 2018 г. – при остром дефиците влаги.

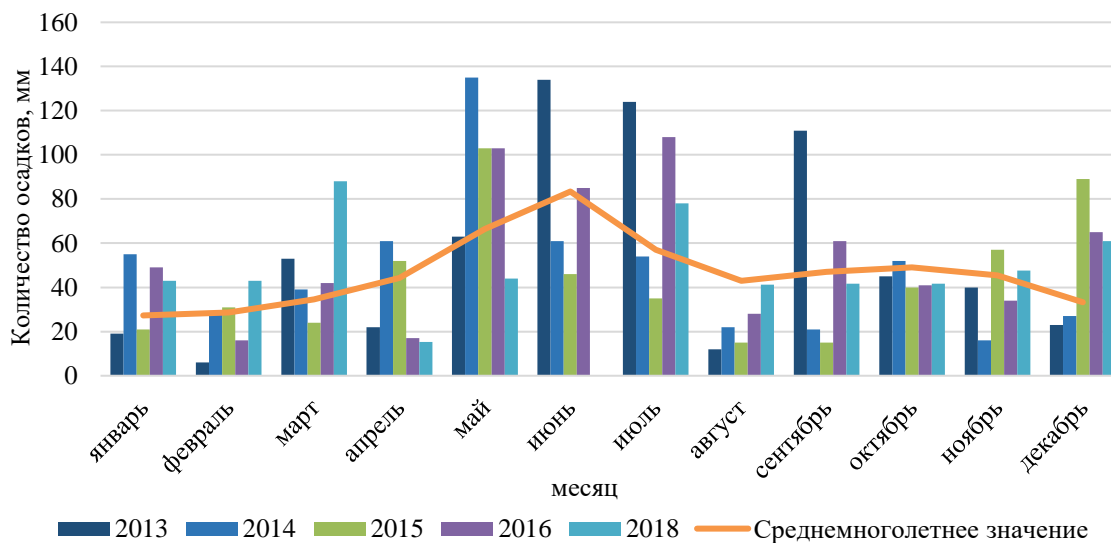


Рисунок 1 – Количество осадков в годы исследований, мм

Температурный режим в годы исследований также различался (таблица 1). Среднемесячная температура вегетационных сезонов 2013–2016 гг. и 2018 г. была выше среднегодовых показателей на 0,53; 0,66; 0,42; 1,78 и 1,77 °С соответственно. В 2014, 2015 и 2016 гг. после возобновления весенней вегетации и до созревания зерна температура воздуха была близка к среднегодовым значениям.

В 2013 и 2014 гг. отмечали раннее возобновление весенней вегетации (среднегодовые даты – 10–25 марта), колошение проходило при повышенных на 2,8–3,2 °С среднесуточных температурах воздуха. В 2013–2016 гг. налив зерна проходил в благоприятных температурных условиях, тогда как в 2018 г. – при температурах, превышающих климатическую норму на 3,3 °С.

Таблица 1 – Температурный режим воздуха в годы проведения исследований

Год	Месяц					
	март	апрель	май	июнь	июль	август
2013	4,6	11	18,1	20,4	22,3	21,9
2014	4,3	9,3	17,3	19,3	23	24,7
2015	3,3	8,4	15,4	20,8	23,2	23,4
2016	4,8	11,9	15,2	20,2	22,2	24,3
2018	3,5	10,8	17,7	22,5	24,9	22,6
Среднегодовое значение	2,3	9,6	14,9	19,2	22,3	21,8



Исследования проводили по методике государственного сортоиспытания [12]. Опыт заложен по предшественнику чистый пар, повторность – четырехкратная, норма высева – 5 млн всхожих семян/га. Сложные минеральные удобрения вносили в предпосевную культивацию в дозе N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>, весной проводили подкормку аммиачной селитрой в дозе 26 кг д.в./га. Технологическое качество зерна определяли в соответствии с ГОСТ 54478-2011 [13].

Статистическую обработку данных осуществляли методами дисперсионного и корреляционного анализа по Б. А. Доспехову [14], используя надстройку AgCStat для Excel. Гомеостатичность определяли по В. В. Хангильдину [15]:

$$\text{Hom} = \left( \frac{x^2}{\sigma \times (x_{\text{opt}} - x_{\text{lim}})} \right),$$

где  $x^2$  – среднее значение,  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение.

Экологическую пластичность ( $b_i$ ) и стабильность ( $S^2d$ ) рассчитывали по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell [16] в изложении В. З. Пакудина [17].

### Результаты и их обсуждение

К современным сортам мягкой озимой пшеницы предъявляют требования не только высокой продуктивности и получения качественного зерна, но и пластичности, стабильности, гомеостатичности и устойчивости к экологическим факторам среды.

Варьирование значений качества зерна обусловлено неустойчивостью экзогенных факторов в фазах формирования и налива зерна. После вычисления индексов условий среды установлено, что только два года из пяти (2013 и 2016) были благоприятными для образования и структурирования высококачественного зерна, так как индексы условий среды характеризовались положительными значениями. В недостаточно благоприятные годы возделывания озимой мягкой пшеницы (2015, 2018, 2014) индексы условий среды имели отрицательные величины (таблица 2).

**Таблица 2 – Количество клейковины в зерне сортов мягкой озимой пшеницы (%) и индекс условий среды**

Сорт	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2018 г.	$\bar{X}_i^{***}$
Нива Ставрополя	31,9	30,8	24,7	28,0	23,7	27,8
Виктория 11	30,7	26,7	24,0	28,0	22,3	26,3
Ставка	33,6	27,2	24,3	30,1	28,6	28,8
Олимп	31,0	32,1	28,4	30,3	34,1	31,2
Стать	34,0	22	28,1	33,5	28,3	29,2
Багира	25,4	24,2	24,2	22,0	22,6	23,7
Айвина (St.)	26,6	25,5	24,2	23,5	24,2	24,8
НСР <sub>05</sub>	1,58	1,36	1,05	1,86	1,76	
$\bar{X}_j^*$	31,1	27,2	25,6	28,6	26,6	27,4
$I_j^{**}$	3,27	-0,66	-2,21	0,82	-1,22	

*Примечание.* \* среднее содержание клейковины за год; \*\* индекс условий среды; \*\*\* среднее содержание клейковины в зерне  $i$ -го сорта за годы изучения.

Максимальное количество клейковины в среднем за годы исследований отмечено у сора Олимп – 31,3 %, немного уступают сорта Стать – 29,2 % и Ставка – 28,8 %, превзошедшие стандарт на 4,0–6,5 %. Самое низкое содержание клейковины зафиксировано у сорта Багира – 23,7 %, что на 1,1 % ниже сорта Айвина.

Индексы условий среды точнее выражают влияние группы факторов на формирование клейковинно-белкового комплекса мягкой озимой пшеницы, так как

учитывают источники, влияющие на налив зерна, а не на общую продуктивность посева.

При выборе сорта для заранее неизвестных условий возделывания, но в пределах изучаемых (неизвестная погода, средства защиты, применение удобрений), выбор следует отдать сортам Нива Ставрополя, Виктория 11 и Ставка ( $\bar{x} = 27,8; 26,3; 28,8$ ), так как эти сорта в различных условиях формировали клейковину на уровне средней по всей выборке сортов (27,4 %). Для интенсивной системы земледелия подходит сорт Стась ( $\bar{x} = 29,2$  %).

Средняя изменчивость количества клейковины отмечена у сортов Стась (17 %), Нива Ставрополя (13 %), Виктория 11 (13 %) и Ставка (12 %). Незначительная изменчивость – у сортов Олимп (7 %) и Багира (6 %), самые низкие показатели – у стандарта Айвина – 5 % (таблица 3).

Таким образом, чем ниже изменчивость показателя количества клейковины, тем выше гомеостатичность ( $r = -0,95$ ), то есть способность генотипа противостоять неблагоприятным условиям среды. Изменчивость находится в прямой зависимости от экологической пластичности сортов: чем выше вариабельность, тем выше экологическая пластичность ( $r = 0,91$ ).

**Таблица 3 – Величины пластичности, стабильности и гомеостатичности сортов мягкой озимой пшеницы по изменению содержания клейковины в зерне (среднее за 2013–2018 гг.)**

Сорт	Количество клейковины в зерне, %		Коэффициент вариации (Cv), %	Гомеостатичность, (Ном)	Экологическая пластичность (b <sub>i</sub> )	Экологическая стабильность, S <sup>2</sup> d
	max.	min.				
Нива Ставрополя	31,9	23,7	13	2,83	1,28	7,2
Виктория 11	30,7	22,3	13	2,47	1,40	2,7
Ставка	33,6	24,3	12	2,70	1,54	1,5
Олимп	34,1	28,4	7	5,12	0,03	6,0
Стась	34,0	22,0	17	2,13	1,53	17,9
Багира	25,4	22,0	6	4,95	0,19	2,3
Айвина (St.)	26,6	23,5	5	5,95	0,31	1,4

Показатель гомеостатичности качества зерна варьирует от 2,13 у сорта Стась до 5,12 у сорта Олимп. Самый высокий уровень гомеостатичности отмечен у стандарта – 5,95. По значению коэффициента линейной регрессии (b<sub>i</sub>) оцениваем пластичность сортов озимой пшеницы, которая в наших исследованиях изменяется от 0,03 (Олимп) до 1,54 (Ставка).

Если параметры пластичности выше единицы, то сорта дают высокие показатели количества клейковины только при наилучших условиях возделывания (таблица 4).

**Таблица 4 – Распределение сортов мягкой озимой пшеницы по количеству клейковины в соответствии с коэффициентом линейной регрессии (b<sub>i</sub>), среднее за 2013–2018 гг.**

Признак	Коэффициент линейной регрессии		
	b <sub>i</sub> <1	b <sub>i</sub> =1	b <sub>i</sub> >1
Количество клейковины, %	Олимп (0,03)	-	Ставка (1,54)
	Багира (0,19)	-	Стась (1,53)
	Айвина St (0,31)	-	Виктория 11 (1,40)
		-	Нива Ставрополя (1,28)

При недостаточно благоприятных условиях произрастания (погодные факторы или экстенсивный фон) сорта интенсивного типа, такие как Нива Ставрополя, Виктория 11, Ставка, Стась резко снижают количество клейковины в зерне.

В наших исследованиях сортов со значением коэффициента пластичности равным единице не выявлено, то есть нет сортов с высокой экологической пластичностью по критерию содержания клейковины в зерне.

Коэффициент пластичности менее единицы отмечен у сортов Олимп, Багира и Айвина (St.), что характеризует их как слабо отзывчивые на улучшение условий возделывания. При неблагоприятных условиях у этих сортов в меньшей степени снижается количество клейковины по сравнению с сильными и экологически пластичными сортами. Такие сорта возможно возделывать на экстенсивном фоне. Сорта Багира, Олимп и Айвина (St.) сочетают низкую вариабельность и высокую гомеостатичность, являясь наиболее экологически адаптированными.

Сорт Багира уступает по количеству клейковины другим сортам, однако при неблагоприятных условиях возделывания показывает качество зерна на уровне сорта Виктория 11.

В целом по сортам получена обратная зависимость между гомеостатичностью и экологической пластичностью ( $r = -0,98$ ).

Экологическая стабильность – это способность генотипа сохранять свою структуру и функции в процессе воздействия внутренних и внешних факторов.

Большой экологической стабильностью по содержанию клейковины обладают сорта Ставка ( $S^2d = 1,5$ ), Багира ( $S^2d = 2,3$ ), Виктория 11 ( $S^2d = 2,7$ ). У стандарта Айвина величина среднего квадратичного отклонения ниже всех ( $S^2d = 1,4$ ), что характеризует его как самый стабильный по этому признаку. Сорт Стась наименее экологически стабилен ( $S^2d = 17,9$ ).

Результаты исследований свидетельствуют о сложности погодных условий региона для получения стабильных урожаев высококачественного зерна. Созданные в Северо-Кавказском ФНАЦ сорта мягкой озимой пшеницы, соответствующие требованиям сильной и ценной, позволяют получать высококачественное зерно при строгом соблюдении технологических условий возделывания.

### Выводы

Изменчивость количества клейковины на среднем уровне установлена у сортов Стась (17 %), Нива Ставрополя (13 %), Виктория 11 (13 %) и Ставка (12 %), незначительная – у Олимпа (7 %), Багиры (6 %) и Айвины (St.) (5 %).

Корреляционный анализ показал, что чем ниже изменчивость количества клейковины, тем выше гомеостатичность ( $r = -0,95$ ), то есть способность генотипа противостоять неблагоприятным условиям среды. Изменчивость находится в прямой зависимости от экологической пластичности сортов: чем выше вариабельность, тем выше экологическая пластичность ( $r = 0,91$ ).

Показатель гомеостатичности качества зерна варьирует от 2,13 у сорта Стась до 5,12 у сорта Олимп. Самый высокий уровень гомеостатичности отмечен у стандарта – 5,95. Пластичность сортов озимой пшеницы в наших исследованиях изменяется от 0,03 (Олимп) до 1,54 (Ставка). Получена обратная зависимость между гомеостатичностью и экологической пластичностью ( $r = -0,98$ ).

Большой экологической стабильностью по содержанию клейковины обладают сорта Ставка ( $S^2d = 1,5$ ), Багира ( $S^2d = 2,3$ ), Виктория 11 ( $S^2d = 2,7$ ). У стандарта Айвина величина среднего квадратичного отклонения ниже всех ( $S^2d = 1,4$ ), что характеризует его как самый стабильный по этому признаку. Сорт Стась наименее экологически стабилен ( $S^2d = 17,9$ ).

### Литература

1. Дубина В. В., Батагова Е. А., Мазницына О. Г., Фадеева О. Б., Немашкалова Е. С. Результаты работы Госсортсети Ставропольского края за 2018 год. Рекомендации производству. Ставрополь: ООО «Бюро новостей», 2018. 72 с.
2. Антонов С. А. Тенденции изменения климата и их влияние на земледелие Ставропольского края // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (66). С. 43–46.
3. Галушко Н. А., Комаров Н. М., Соколенко Н. И. Качество зерна новых сортов мягкой озимой пшеницы в условиях Северо-Кавказского региона // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (72). С. 78–81. DOI: 10.25930/0ct5-gy14.
4. Галушко Н. А., Комаров Н. М., Соколенко Н. И. Качество зерна новых сортов мягкой озимой пшеницы селекции ФГБНУ «Северо-Кавказского ФНАЦ» // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2019. № 2 (51). С. 7–15. DOI: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-7-14.
5. Vida G., Szunics L., Verisz O., Bedó Z., Láng L., Árendás T., Bónis P., Rakszegi M. Effect of genotypic, meteorological and agronomic factor on the gluten index of winter durum wheat // Euphytica. 2014. Vol. 197. P. 61–71. DOI: 10.1007/s10681-013-1052-6.
6. Хрипунов А. И., Морозов Н. А., Галушко Н. А., Общия Е. Н. Влагообеспеченность и урожайность озимой пшеницы в разных зонах Ставропольского края // Известия Горского ГАУ. 2018. № 4. С. 21–26.
7. Уланова Е. С. Методика агроклиматического районирования условий формирования урожайности озимой пшеницы в чернозёмной зоне в весенне-летний период // Труды ГМЦ СССР. 1973. Вып. 111. С. 65–69.
8. Букреева Г. И., Грицай Т. И., Домченко М. И. Особенности формирования качества зерна озимой мягкой пшеницы в контрастных погодных условиях // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 56. С. 85–91.
9. Bannayan M., Sanjani S. Weather conditions associated with irrigated crops in an arid and semi arid environment // Int. Biometeorol. 2011. Vol. 55. No. 3. P. 387–401.
10. Swain E. Y., Rempelos L., Orr C. H., Hall G., Chapman R., Almadni M., Stockdale E. A., Kidd J., Leifert C., Cooper J. M. Optimizing nitrogen use efficiency in wheat and potatoes: interactions between genotypes and agronomic practices // Euphytica. 2014. Vol. 199. Iss. 1–2. P. 119–136.
11. Давидянц Э. С., Ерошенко Ф. В. Состояние, тенденции и пути оптимизации производства качественного зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 6. С. 21–26.
12. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры / Подгот. М. А. Федин [и др.]. М.: Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур, 1989. 194 с.
13. ГОСТ 54478-2011. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. М.: Стандартинформ, 2012. 20 с.
14. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.
15. Хангильдин В. В. Параметры оценки гомеостатичности сортов и селекционных линий в испытаниях колосовых культур // Научно-технический бюллетень ВСГИ. 1986. № 2 (60). С. 36–41.
16. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Sci. 1966. Vol. 6. No. 1. P. 36–40.
17. Пакудин В. З. Параметры оценки экологической пластичности сортов и гибридов // В кн.: Теория отбора в популяциях растений. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1976. С. 178–189.

### References

1. Dubina V. V., Batagova E. A., Maznitsina O. G., Fadeeva O. B., Nemashkalova E. S. The results of the work of the State Sort Network (Gossortset) of the Stavropol Territory for 2018. Recommendations for production // Stavropol: "Byuro novostey OOO", LLC, 2018. 72 p.
2. Antonov S. A. Climate changes and their impact on crop farming development in Stavropol region // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2017. No. 4 (66). P. 43–46.
3. Galushko N. A., Komarov N. M., Sokolenko N. I. Grain quality of new spring soft wheat varieties under the conditions of the North-Caucasian region// Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018. No. 4 (72). P. 78–81.
4. Galushko N. A., Komarov N. M., Sokolenko N. I. Grain quality of new winter wheat varieties selected by North-Caucasus Research Agricultural Center // Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2019. No. 2 (51). P. 7–15.

5. Vida G., Szunics L., Verisz O., Bedő Z., Láng L., Árendás T., Bónis P., Rakszegi M. Effect of genotypic, meteorological and agronomic factor on the gluten index of winter durum wheat // *Euphytica*. 2014. Vol. 197. P. 61–71. DOI: 10.1007/s10681-013-1052-6.
6. Khripunov A. I., Morozov N. A., Galushko N. A., Obschchiya E. N. Moisture supply and yield of winter wheat in different zones of Stavropol territory // *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2018. No. 4. P. 21–26.
7. Ulanova E. S. Methodology for agroclimatic zoning of conditions for the formation of winter wheat yield in the Chernozem zone in the spring-summer period // *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra SSSR*. 1973. Iss. 111. P. 65–69.
8. Bukreeva G. I., Gritsay T. I., Domchenko M. I. Characteristics of quality formation of winter common wheat at contrast weather conditions // *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2015. No. 56. P. 85–91.
9. Bannayan M., Sanjani S. Weather conditions associated with irrigated crops in an arid and semi arid environment // *Int. Biometeorol.* 2011. Vol. 55. No. 3. P. 387–401.
10. Swain E. Y., Rempelos L., Orr C. H., Hall G., Chapman R., Almadni M., Stockdale E. A., Kidd J., Leifert C., Cooper J. M. Optimizing nitrogen use efficiency in wheat and potatoes: interactions between genotypes and agronomic practices // *Euphytica*. 2014. Vol. 199. Iss. 1–2. P. 119–136.
11. Davidyants E. S., Eroshenko F. V. Current state, trends and ways for production optimization of high-quality grain of winter wheat in Stavropol Krai // *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2017. Vol. 31. No. 6. P. 21–26.
12. Methods of state variety testing of agricultural crops. Grain, cereals, legumes, maize and forage crops // Prepared by M. A. Fedin [et al.]. Moscow: State Commission on variety testing of agricultural crops, 1989. 194 p.
13. GOST 54478-2011. Grain. Methods for determination of quantity and quality of gluten in wheat. Moscow: Standartinform, 2012. 20 p.
14. Dospikhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 352 p.
15. Khangildin V. V. Parameters for evaluating homeostaticity of varieties and breeding lines in tests of ear crops // *Nauchno-tekhnicheskii byulleten Vsesoyuznogo Seleksionno-Geneticheskogo Instituta*. 1986. No. 2 (60). P. 36–41.
16. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties // *Crop Sci*. 1966. Vol. 6. No. 1. P. 36–40.
17. Pakudin V. Z. Parameters for evaluating the ecological plasticity of varieties and hybrids // In: *Theory of selection in plant populations*. Novosibirsk: Nauka, Siberian branch, 1976. P. 178–189.

UDC 633.11«324»:631.527

Galushko N. A., Korneeva V. I.

### ECOLOGICAL PLASTICITY OF WINTER WHEAT VARIETIES SELECTED IN THE NORTH CAUCASUS FARC.

**Summary.** *Changes in weather conditions during the growing season and especially at the grain-filling stage do not always allow realizing the quality potential of the variety. Some varieties respond more strongly to changing environmental conditions, while others show more stable results, demonstrating different ecological plasticity. The aim of our research was to identify new varieties of common winter wheat with high environmental plasticity in terms of gluten content in grain for further breeding of new genotypes of cereal crops. All studied varieties were created in the FSBSI “North Caucasus Federal Scientific Agricultural Center” (North Caucasus FARC). The research was carried out in 2013–2018. The objects of the research – new varieties of common winter wheat (*Triticum aestivum* L.): ‘Niva Stavropolia’, ‘Victoria 11’, ‘Stavka’, ‘Olimp’, ‘Stat’ and ‘Bagira’. Variety ‘Ayvina’ was used as a standard. The soil of the experimental plot – ordinary medium depth low humic medium loamy chernozem. The climate of the zone – moderately continental; summer is hot and dry. The average annual precipitation – 564.3 mm; the annual sum of effective temperatures – 3262 °C; Selyaninov Hydrothermal Coefficient (HTC) – 1.04. Complex mineral fertilizers N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub> were applied before sowing; top dressing with ammonium nitrate (26 kg of active*

*ingredient per hectare) – in spring. The calculation of environment indices showed that only two years out of five (2013 and 2016) were favorable for the high-quality grain formation. The average variability of gluten content was observed in varieties ‘Stat’ (17 %), ‘Niva Stavropolia’ (13 %), ‘Victoria 11’ (13 %) and ‘Stavka’ (12 %). A slight variation was observed in varieties ‘Olimp’ (7 %), ‘Bagira’ (6 %) and ‘Ayvina’ (5 %). The homeostatic index of grain quality varied from 2.13 (‘Stat’) to 5.12 (‘Olimp’). The highest level of homeostaticity was noted for standard variety ‘Aivina’ – 5.95. By the value of the linear regression coefficient (bi), we estimated the plasticity of common winter wheat varieties, which varied from 0.03 (‘Olimp’) to 1.54 (‘Stavka’). ‘Aivina’ ( $S^2d = 1,4$ ), ‘Stavka’ ( $S^2d = 1,5$ ) and ‘Bagira’ ( $S^2d = 2,3$ ) were more environmentally stable in terms of gluten content.*

**Keywords:** *common winter wheat (*Tritium aestivum* L.), breeding, variety, grain quality, gluten, plasticity, homeostaticity, ecological stability, variability.*

Галушко Наталья Алексеевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией качества зерна ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: [natasotka@mail.ru](mailto:natasotka@mail.ru).

Корнеева Валентина Игоревна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории качества зерна ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: [valya.korneeva.92@mail.ru](mailto:valya.korneeva.92@mail.ru).

Galushko Natalia Alekseevna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher, head of the grain quality Laboratory of the FSBSI “North Caucasus Federal Scientific Agricultural Center”; 49, Nikonova str., Mikhailovsk, Stavropol territory, 356241, Russia; e-mail: [natasotka@mail.ru](mailto:natasotka@mail.ru).

Korneeva Valentina Igorevna, junior researcher of the FSBSI “North Caucasus Federal Agricultural Research Center”; 49, Nikonova str., Mikhailovsk, Stavropol territory, 356241, Russia; e-mail: [valya.korneeva.92@mail.ru](mailto:valya.korneeva.92@mail.ru).

*Дата поступления в редакцию – 18.06.2020.*

*Дата принятия к печати – 13.08.2020.*

DOI 10.33952/2542-0720-2020-3-23-79-92

УДК 574.42:631/635:502/504

Гулянов Ю. А.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ВЛАГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРИЁМОВ В ЛАНДШАФТНО-АДАПТИВНЫХ СИСТЕМАХ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ОРЕНБУРГСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ**

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук (ИС УрО РАН) – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук» (ОФИЦ РАН)

**Реферат.** Разработка и совершенствование влагосберегающих агроприёмов в системах земледелия степной зоны РФ необходимы для повышения эффективности полеводства в условиях современных природных и антропогенных изменений окружающей среды. Цель исследований заключалась в изучении влияния различных способов подготовки почвы в зернопаровом севообороте на формирование фитометрических параметров, структуры посевов озимой пшеницы и урожайности зерна. Исследования проводили в 2016–2019 гг. на чернозёмах южных в зоне сухих степей Оренбургского Предуралья. Объектом исследований выступали производственные посеы озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Поволжская 86, возделываемой в пятипольном зернопаровом севообороте: пар – озимая пшеница – яровая пшеница – нут – яровая пшеница. Посев проводили в третьей декаде августа нормой 5,0 млн всхожих семян/га в четырёхкратной повторности. Изучали три способа подготовки почвы: отвальную вспашку на глубину 23–25 см, безотвальное рыхление на такую же глубину и мелкое рыхление на 5–7 см. В течение ротации севооборота пожнивные остатки выращиваемых культур ежегодно в измельчённом виде распределяли по поверхности поля одновременно с уборкой. Установлено, что наиболее благоприятные условия для формирования урожая складываются при мелком рыхлении на 5–7 см, обеспечивающем формирование полноты всходов на уровне 93,0 % (466 шт./м<sup>2</sup>) и сохранность растений к уборке не ниже 75 % (350 шт./м<sup>2</sup>), что при продуктивной кустистости 1,14 единиц обеспечивает формирование плотности продуктивного стеблестоя к уборке на уровне 400 шт./м<sup>2</sup>. Формирование максимальной в опыте урожайности зерна (2,83 т/га) убедительно свидетельствует о высокой влагосберегающей эффективности мелкого рыхления почвы по сравнению с другими способами подготовки почвы, где урожайность оказалась ниже на 0,37–0,88 т/га (или 13,1–31,1 %).

**Ключевые слова:** степная зона, ландшафтно-адаптивные системы земледелия, влагосберегающие приёмы, урожайность зерна, озимая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.).

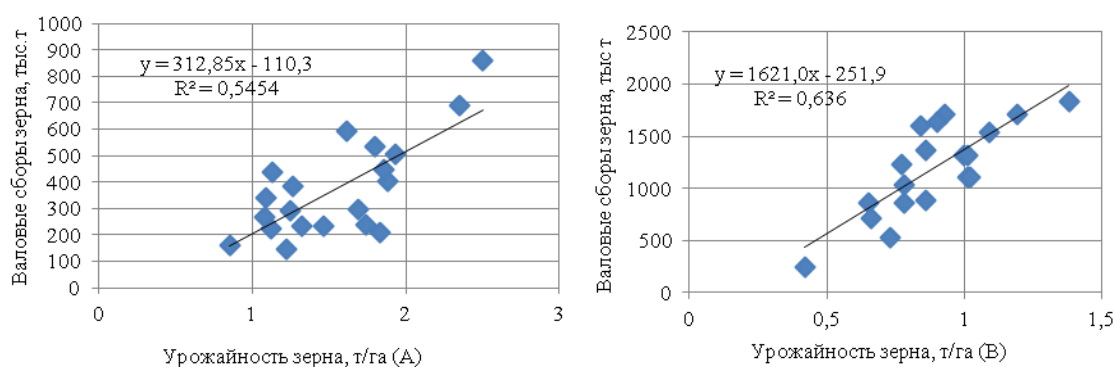
**Введение**

Среди регионов степной зоны Европейской России Оренбургская область выделяется значительной площадью ежегодных посевов зерновых и зернобобовых культур, варьирующей в пределах 2600–2700 тыс. га и составляющей 13,7–14,2 % от суммарной по степной зоне и 5,5–5,6 % – от общероссийской площади. При этом по валовым сборам зерна указанный регион не является безусловным лидером, что особенно отчётливо прослеживается на фоне заметного повышения засушливости климата последних десятилетий. Даже в благоприятном по природным условиям 2017 г. при рекордном урожае в 4207,2 тыс. т Оренбургская область расположилась только на седьмой строчке в рейтинге регионов степной зоны Европейской России [1]. Значительно больше зерна, наряду с признанными российскими житницами, такими как Краснодарский, Ставропольский край и Ростовская область, собрали хлеборобы не

менее рискованных сельскохозяйственных территорий – Саратовской (5832,7 тыс. т) и Волгоградской (5651,4 тыс. т) областей, при существенно меньшей площади посева [2].

Как известно, наиболее высокую пищевую ценность в РФ традиционно имеет зерно пшеницы как основное сырьё для производства хлебобулочных, макаронных, кондитерских и других хлебных изделий. По запасам зерна пшеницы высокого качества принято судить о продовольственной безопасности и в большинстве других стран мира.

Статистический анализ отраслевых показателей в растениеводстве Оренбургской области за последние два десятилетия выявил наличие сильной связи валовых сборов зерна пшеницы с урожайностью ( $r = 0,74-0,80$ ), детерминирующей в пределах 54,5 % (озимая пшеница) – 63,6 % (яровая пшеница) их вариации. Зависимость описывается уравнениями регрессии  $y = 312,8x - 110,3$  и  $y = 1621,0x - 251,9$  соответственно, где  $x$  – урожайность зерна, т/га,  $y$  – валовые сборы зерна, тыс. т (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Зависимость валовых сборов озимой (А) и яровой (В) пшеницы от урожайности зерна, Оренбургская область (2000–2019 гг.)**

Следовательно, для повышения и стабилизации валовых сборов зерна в указанном регионе в условиях современных природных и антропогенных изменений окружающей среды существует объективная необходимость выявления причин низкой урожайности, а также разработки и научного обоснования приёмов её увеличения без ущерба для окружающей среды.

Анализ экспериментальных данных, полученных исследователями в основных хлебопекающих регионах РФ, включая и регионы степной зоны, свидетельствует о первостепенной важности разработки и внедрения в ландшафтно-адаптивных технологиях выращивания зерновых культур влагосберегающих приёмов, являющихся основой стабилизации зернового производства [3, 4].

Поскольку обеспеченность растений влагой имеет решающее значение для их роста и развития и чаще всего определяет продуктивность посевов, сегодня всё больше внимания уделяется ресурсосберегающим технологиям, основанным на минимальных и нулевых обработках почвы [5–8], способствующих накоплению влаги и органического вещества в корнеобитаемом слое почвы. При возрастающей солнечной инсоляции и глобальном потеплении климата развитие указанных технологий главным образом направлено на сохранение интенсивно испаряющейся продуктивной влаги, повышение урожайности сельскохозяйственных культур и эффективности земледелия [9]. Указанные приёмы обработки почвы предполагают сохранение стерни и равномерное распределение по поверхности поля измельчённых пожнивных остатков одновременно с уборкой урожая [10–12]. Это обеспечивает формирование покрытия, защищающего почву от водной и ветровой



эрозии, сохраняющего влагу [13–15], препятствующего активному распространению сорной растительности, способствующего активизации почвенной микрофлоры и воспроизводству плодородного слоя, создающего условия для саморазрыхления почвы [16]. Многочисленные исследования, проведённые в различных почвенных условиях, указывают и на более благоприятные условия для роста корневой системы растений при мульчировании, чем на открытых участках [17, 18]. При наличии на поверхности почвы соломенной мульчи снижаются темпы минерализации гумуса, создаются предпосылки для формирования его положительного баланса [19, 20], складываются более благоприятные условия для прорастания семян зерновых культур, особенно позднего срока посева. К примеру, всхожесть яровой пшеницы, ячменя и сорго при нулевой обработке в исследованиях Бакирова Ф. Г. с коллегами повышалась на 8–17 % по сравнению с вариантами глубокой обработки почвы [21].

Таким образом, улучшение водного режима степных чернозёмов благодаря более эффективному использованию влаги атмосферных осадков было и остаётся главной задачей зонального земледелия. По мнению многих учёных, ведущая роль в эффективном использовании ограниченных ресурсов влаги в засушливых регионах принадлежит способам обработки почвы. Отмечено, что нулевые технологии и приёмы минимальной обработки почвы по сравнению с другими приёмами являются более влагосберегающими [22, 23].

Как следует из обзора приведённых литературных источников, проблемам повышения эффективности использования ресурсов влаги в современных агротехнологиях посвящают свои исследования многие отечественные и иностранные учёные. В тоже время следует отметить, что в условиях степной зоны Оренбургского Предуралья указанные вопросы проработаны недостаточно полно, о чём свидетельствует нестабильность урожайности и валовых сборов зерна при повышающейся засушливости климата. Поэтому реализуемые в представленном исследовании задачи, касающиеся разработки и совершенствования приёмов влагосбережения в зональных ландшафтно-адаптивных системах земледелия, достаточно актуальны, а полученные результаты имеют высокое практическое значение.

**Цель исследований** – изучение влияния различных способов подготовки почвы в зернопаровом севообороте на формирование фитометрических параметров, структуры посевов озимой пшеницы и урожайность зерна.

Для выполнения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- провести анализ современного состояния зернового производства в Оренбургской области и выявить связь валовых сборов озимой и яровой пшеницы с урожайностью зерна;
- изучить отечественный и зарубежный опыт по разработкам и внедрению влагосберегающих приёмов выращивания зерновых культур;
- изучить особенности формирования полноты всходов, сохранности и общей выживаемости семян и растений озимой пшеницы при разных способах подготовки почвы в зернопаровом севообороте в условиях степной зоны Оренбургского Предуралья;
- определить основные фитометрические, структурные показатели и урожайность в посевах озимой пшеницы, различающихся по способам подготовки почвы;
- провести корреляционный и регрессионный анализ полученных результатов, выразить выявленные зависимости в графическом виде и в виде уравнений регрессии;

– обосновать практическую значимость полученных результатов и перспективу продолжения научных исследований.

### Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2016–2019 гг. в зоне сухих степей Оренбургского Предуралья. В качестве объекта исследований выступали производственные посевы озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Поволжская 86, возделываемой при различных способах подготовки почвы в пятипольном зернопаровом севообороте: пар – озимая пшеница – яровая пшеница – нут – яровая пшеница. Посев проводили в третьей декаде августа нормой 5,0 млн всхожих семян/га, экспериментальные делянки закладывали в четырёхкратной повторности. Изучали три способа подготовки почвы: путём традиционных для региона интенсивных приемов, включающих отвальную вспашку на 23–25 см или безотвальное рыхление на такую же глубину, а также мелкое рыхление на 5–7 см, исключая активное воздействие на почву и наиболее близкое к природным процессам разуплотнения. В течение ротации севооборота пожнивные остатки выращиваемых культур ежегодно в измельчённом виде распределяли по поверхности поля одновременно с уборкой.

Почва опытного участка – чернозём южный среднесплодный карбонатный тяжелосуглинистый с содержанием гумуса в пахотном слое почвы 3,8 % (по Тюрину), подвижного азота ( $\text{NO}_3^-$ ) – 1,35 мг/100 г почвы (определен ионометрическим методом), легкогидролизуемого азота – 8,4 мг (по Тюрину и Кононовой), подвижного фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) – 3,25 мг и обменного калия ( $\text{K}_2\text{O}$ ) – 27,0 мг/100 г почвы (по Кирсанову в модификации ЦИНАО). Годовая сумма эффективных температур составляет 2627 °С, со средней температурой самого тёплого месяца (июль) 21,9 °С и самого холодного (январь) – 14,8 °С. Глубина промерзания почвы варьирует в пределах 100–120 см при высоте снежного покрова около 28 см, а индекс континентальности климата составляет 215 единиц. За год выпадает 360–370 мм осадков, из которых около 130 мм (35,0 %) приходится на тёплый период года (май–август). В целом зона исследований выделяется недостаточным и неустойчивым атмосферным увлажнением, для неё характерна продолжительная, морозная и не всегда снежная зима, короткая дружная весна с быстрым переходом в жаркое засушливое лето и продолжительная тёплая и сухая осень. В отличие от влагообеспеченности, температурный режим указанной территории и приход солнечной радиации практически не лимитируют формирование урожая традиционных полевых культур.

Следует отметить, что в годы проведения исследований погодные условия не отличались стабильностью – и температурный режим почвы и воздуха, и условия атмосферного увлажнения значительно варьировали. Наиболее увлажненным оказался 2016/17 сельскохозяйственный год, когда за период с августа по июнь выпало 350 мм осадков. Они относительно равномерно распределялись во времени, обеспечивая благоприятные условия для дружных всходов, успешной перезимовки, оптимальной плотности продуктивного стеблестоя и налива зерна. В последующие годы осадков выпало значительно меньше – на 109–120 мм (31,1–34,3 %) и распределялись они менее равномерно, создавая дефицит увлажнения в определённые периоды. Самым засушливым оказался август (4,3–9,8 мм), меньше осадков выпадало и в зимний период, особенно в 2017/18 сельскохозяйственном году (на 50 мм или 36,4 %). Наиболее высокую температуру воздуха тёплого периода отмечали в 2019 г., когда её средние значения в мае составили 17,8 °С и 21,5 °С – в июне. В предшествующие годы указанный показатель имел меньшие значения – на 1,2–3,5 °С в мае и 2,7–3,3 °С – в июне. Таким образом, исследования проводили в годы, значительно различающиеся по метеорологическим условиям,

что позволило полнее изучить особенности роста и развития озимой пшеницы, сделать объективные выводы о влиянии изучаемых технологических приёмов на эффективность использования ресурсов влаги и урожайность зерна.

Учеты и наблюдения проводили общепринятыми методами в соответствии с методическими указаниями Б. А. Доспехова [24]. Площадь ассимиляционной поверхности растений определяли весовым методом с использованием электронных весов («Electronic balance», type CBL 2200H) с точностью измерения 0,01 г. Растительные образцы для оценки фитометрических параметров посевов отбирали в четырёхкратной повторности с площадок 0,25 м<sup>2</sup>. Фенологические наблюдения, подсчет густоты стояния растений и другие сопутствующие наблюдения проводили в соответствии с методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [25].

Для оперативного мониторинга агроценозов озимой пшеницы путём измерения вегетационного индекса посевов (NDVI) использовали портативное устройство «Green Seeker Handheld Crop Sensor», Model HCS-100 (Trimble, USA). Принцип работы указанного устройства и порядок проведения измерений для получения достоверных результатов описаны в одной из предшествующих наших работ [26].

Статистический анализ опытных данных проводили в Excel.

### **Результаты и их обсуждение**

Как мы уже отмечали в своих публикациях [27, 28], при возделывании озимой пшеницы для получения высоких и стабильных урожаев важное значение имеет осенний период вегетации, когда нужно получить дружные всходы, оптимальное кущение и закалку растений.

Общеизвестно, что не все высеянные в почву семена всходят. По обобщенным литературным данным средняя полнота всходов зерновых культур в стране составляет 65–70 %. Она подвержена большим колебаниям по годам и по природным районам, значительны эти колебания и в разрезе сортов в пределах одной природной зоны. Между тем, результаты многочисленных полевых экспериментов свидетельствуют, что полевая всхожесть и сохранность растений к уборке являются очень важными показателями, определяющими итоговую урожайность. В зоне сухих степей актуальность этой проблемы еще более возрастает.

За период наших исследований по всем изучаемым приёмам обработки почвы наиболее благоприятные условия для формирования дружных и полноценных всходов озимой пшеницы отмечали в 2016 г. В последующие два года сложились крайне скудные по режиму атмосферного увлажнения условия, особенно в летний период 2018 г. В этот год, так же, как и в предыдущий 2017 г., полнота всходов в целом по вариантам опыта была ниже.

Следует отметить, что число нормально взошедших растений озимой пшеницы в период исследований зависело не только от сложившихся условий атмосферного увлажнения – в вариантах с различными способами подготовки почвы полнота всходов также варьировала. В среднем за годы исследований наиболее полные всходы отмечали на делянках с поверхностным рыхлением на глубину 5–7 см, где их число (466 шт./м<sup>2</sup>) превышало аналогичный показатель вариантов глубокого безотвального рыхления на 20 шт./м<sup>2</sup> (4,5 %) и на 14,8 % было выше, чем в вариантах с глубокой вспашкой. В целом по вариантам опыта, вариация числа нормально взошедших растений в среднем за три года исследований составила 58 шт./м<sup>2</sup>, а полнота всходов менялась от 81,6 до 93,2 %. Степень рассеивания данных оказалась незначительной, с коэффициентом вариации 6,7 % (таблица 1).

**Таблица 1 – Полнота всходов и общая выживаемость озимой пшеницы при разных способах подготовки почвы в зернопаровом севообороте (среднее за 2017–2019 гг.)**

Вариант	Полнота всходов		Сохранность растений		Общая выживаемость семян и растений, %
	шт./м <sup>2</sup>	% от высеянных	шт./м <sup>2</sup>	% от взошедших	
Вспашка на 23–25 см	408	81,6	276	67,7	55,2
Безотвальное рыхление на 23–25 см	446	89,2	317	71,1	63,4
Мелкое рыхление на 5–7 см	466	93,2	350	75,2	70,1
Коэффициент вариации, %	6,7		11,8		
Степень рассеивания данных	незначительная		средняя		

Считаем, что при мелком рыхлении мульчированной поверхности почвы создаются наиболее благоприятные условия для набухания, прорастания семян и формирования дружных всходов, прежде всего, благодаря лучшему сохранению почвенной влаги к моменту посева озимой пшеницы. По нашему убеждению, при глубоком безотвальном рыхлении на 23–25 см и особенно вспашке на такую же глубину увеличивается площадь контакта иссушающего атмосферного воздуха с почвой, разрушается мульчирующий слой из пожнивных остатков, что при высокой летней инсоляции приводит к значительным потерям влаги и снижению всхожести семян. В качестве дополнительного аргумента следует привести и тот факт, что при дисковой обработке почвы на глубину 5–7 см на поверхности поля создаётся достаточно разрыхленный слой из хорошо перемешанных почвенных частиц и пожнивных остатков, легко пропускающий прогретый воздух. При его соприкосновении с холодной поверхностью необработанной почвы может происходить конденсация атмосферной влаги, значительно улучшающая влагообеспеченность растений. Подобные предположения высказывали и другие исследователи, проводившие подобные эксперименты в зональных условиях отдельных засушливых регионов РФ [21].

Урожайность озимых культур в зоне сухих степей Оренбургского Предуралья зачастую определяется успешностью перезимовки и сохранностью растений к уборке. В практике мирового земледелия изучению зимостойкости озимых культур также уделяют повышенное внимание, связанное с недостаточной устойчивостью посевов к неблагоприятным осенне-зимним условиям. Поэтому совершенствование приемов агротехники и внедрение новых высокоурожайных сортов, сочетающих зимостойкость с высокой урожайностью, в повышении продуктивности озимой пшеницы приобретает особую актуальность. Важным резервом её увеличения является уменьшение размеров гибели и повреждений растений от неблагоприятных природных факторов и в последующие периоды. Причины гибели растений и изреженности продуктивного стеблестоя в зоне сухих степей достаточно многообразны. Растения могут высохнуть на корню из-за резкого дефицита влаги и высокой температуры в период знойных суховеев, пострадать от засоренности полей, много их выпадает при запаздывании с посевом. Большой вред наносят проволочники, шведская муха, гессенская муха, хлебная блоха, пьявица, хлебные жуки и так далее. Иногда причиной гибели растений могут быть ржавчина, головня и фузариоз. При этом необходимо учитывать, что при прочих равных условиях в первую очередь погибают более слабые растения [29, 30].

Как показали наши исследования, в условиях засушливой степи Оренбургского Предуралья наибольшие выпадения растений озимой пшеницы приходится на фазы развития, включающие период перезимовки или граничащие с ним, – это, как правило, период от полных всходов до колошения. Наиболее

благоприятные условия зимнего периода отмечали в первый год исследований (2016/17 сельскохозяйственный год), когда оптимально раскутившиеся и прошедшие хорошую закалку растения были укрыты устойчивым снежным покровом и возобновили весеннюю вегетацию с наименьшими потерями. В последующие два года, особенно в 2017/18 сельскохозяйственном году, при весеннем возобновлении вегетации выпавших растений отмечали больше. Этому способствовали частые зимние оттепели и недостаточная мощность снежного покрова при ранних осенних морозах.

Нами установлено, что изучаемые способы подготовки почвы оказали существенное влияние на зимостойкость, сохранность и общую выживаемость озимой пшеницы (см. таблицу 1). В целом по вариантам опыта, вариация числа сохранившихся к уборке растений в среднем за три года исследований составила 74 шт./м<sup>2</sup>, а сохранность растений менялась от 67,7 до 75,2 %. Степень рассеивания данных оказалась средней, с коэффициентом вариации 11,8 %. Больше всего погибших растений отмечали в вариантах с отвальной вспашкой на 23–25 см, где снижение по сравнению с безотвальным рыхлением на такую же глубину составило 14,9 % (41 шт./м<sup>2</sup>) и ещё больше – 26,8 % по сравнению с мелким рыхлением на 5–7 см. В отношении общей выживаемости семян и растений озимой пшеницы выявлена аналогичная закономерность – лучшие показатели получены на делянках с поверхностным рыхлением на 5–7 см. При таком способе подготовки почвы убыль сохранившихся к уборке растений составила 150 шт./м<sup>2</sup> (30,0 %) от числа высеянных всхожих семян, тогда как при глубоком рыхлении на 23–25 см и вспашке на такую же глубину она составляла 183 (36,6 %) – 224 шт./м<sup>2</sup> (44,8 %) соответственно. В целом, опираясь на полученные результаты, следует отметить, что при относительно невысокой сохранности и общей выживаемости растений озимой пшеницы в условиях сухих степей Оренбургского Предуралья применение поверхностного рыхления на глубину 5–7 см значительно улучшает эти показатели, что в последующем сопровождается существенным повышением плотности продуктивного стеблестоя.

Как известно, продуктивность полевых культур в значительной степени определяется фотосинтетической деятельностью посевов и находится в тесной связи с площадью ассимиляционной поверхности [31]. В проведённом нами полевом эксперименте способы подготовки почвы оказали заметное влияние на динамику фитометрических параметров озимой пшеницы, причём их вариацию в различных вариантах отмечали на протяжении всей вегетации (таблица 2).

Так, уже в фазе весеннего кущения степень рассеивания площади ассимиляционной поверхности, сформировавшейся в изучаемых вариантах опыта, составляла 2202 м<sup>2</sup>/га. По мере роста и развития растений вариация указанного параметра возрастала и достигла своего максимума (18,9–20,4 %) в период выход в трубку–колошение, соответствующего максимальному развитию вегетативной массы. Разница в площади ассимиляционной поверхности между вариантами с различными способами подготовки почвы составила 6794–8093 м<sup>2</sup>/га.

Наибольших значений (25716 м<sup>2</sup>/га) в период своего максимального развития площадь ассимиляционной поверхности достигла при мелком рыхлении на 5–7 см, а наименьших (17623 м<sup>2</sup>/га) – при вспашке на 23–25 см. В последующие фазы развития растений указанная тенденция сохранялась, и в целом за вегетацию максимальных размеров площадь ассимиляционной поверхности достигала при мелкой обработке почвы на 5–7 см, затем следует безотвальное рыхление на 23–25 см, а наименьшие величины этого показателя отмечены в вариантах вспашки на такую же глубину.

**Таблица 2 – Динамика фитометрических параметров различных агроценозов озимой пшеницы, создаваемых разными способами подготовки почвы в условиях Оренбургского Предуралья (среднее за 2017–2019 гг.)**

Фаза развития	Вариант подготовки почвы	Площадь ассимиляционной поверхности, м <sup>2</sup> /га	Вегетационный индекс посева (NDVI)
Весеннее кущение	вспашка на 23–25 см	9121	0,33
	безотвальное рыхление на 23–25 см	10156	0,37
	мелкое рыхление на 5–7 см	11323	0,42
	коэффициент вариации, %	10,8	12,1
	НСР <sub>05</sub>	536	0,02
Выход в трубку	вспашка на 23–25 см	13179	0,47
	безотвальное рыхление на 23–25 см	17516	0,62
	мелкое рыхление на 5–7 см	19973	0,73
	коэффициент вариации, %	20,4	21,5
	НСР <sub>05</sub>	1156	0,04
Колошение	вспашка на 23–25 см	17623	0,60
	безотвальное рыхление на 23–25 см	21156	0,75
	мелкое рыхление на 5–7 см	25716	0,83
	коэффициент вариации, %	18,9	16,1
	НСР <sub>05</sub>	1563	0,05
Завершение цветения	вспашка на 23–25 см	16831	0,57
	безотвальное рыхление на 23–25 см	20515	0,70
	мелкое рыхление на 5–7 см	23812	0,77
	коэффициент вариации, %	17,3	14,9
	НСР <sub>05</sub>	1476	0,04
Налив зерна	вспашка на 23–25 см	10957	0,47
	безотвальное рыхление на 23–25 см	12173	0,53
	мелкое рыхление на 5–7 см	14276	0,60
	коэффициент вариации, %	13,4	12,2
	НСР <sub>05</sub>	783	0,03

Вегетационный индекс посевов (NDVI), определённый с помощью портативного устройства с активным оптическим датчиком (Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS – 1000), подтвердил выявленные закономерности. Наибольших значений он достигал в вариантах с мелким рыхлением, а наименьших – при вспашке. Примечательно, что, как и в предшествующих наших исследованиях с озимой пшеницей в степной зоне Оренбургского Предуралья, его значения оказались сильно связанными с площадью ассимиляционной поверхности. Коэффициент корреляции ( $r$ ) между указанными параметрами составил 0,97, а связь площади ассимиляционной поверхности с вегетационным индексом посева в целом за вегетацию описывается уравнением регрессии  $y = 32708x - 2748$ , где  $x$  – вегетационный индекс (NDVI) посева,  $y$  – площадь ассимиляционной поверхности, м<sup>2</sup>/га.

Для характеристики продолжительности работы листовой поверхности используется фотосинтетический потенциал посева, представляющий собой суммарную величину листовой поверхности за вегетационный период. Этот показатель, характеризующий способность посева синтезировать органическое вещество, используется для оценки возможной продуктивности. Считается, что в высокопродуктивных посевах зерновых культур фотосинтетический потенциал должен составлять около 2 млн м<sup>2</sup>×дней/га в расчете на каждые 100 дней фактической вегетации. В наших исследованиях наибольший фотосинтетический потенциал (1,76 млн м<sup>2</sup>×дней/га) сформировался в посевах с наибольшей площадью ассимиляционной поверхности в вариантах с мелким рыхлением на 5–7 см. По

вспашке он был минимальным и оказался ниже варианта с мелким рыхлением на 0,54 млн м<sup>2</sup>×дней/га, или 30,7 %.

Отмеченные особенности роста и развития растений озимой пшеницы по вариантам с различными способами подготовки почвы, выразившиеся в варьировании полноты всходов, площади ассимиляционной поверхности, сохранности и общей выживаемости растений отразились на структурных показателях посевов и урожайности зерна (таблица 3). Как следует из представленных данных, наибольшим варьированием значений из приведённых структурных элементов посева характеризовалась плотность продуктивного стеблестоя в уборку, изменяющаяся от 399,7 шт./м<sup>2</sup> в вариантах с мелким рыхлением на 5–7 см до 284,5 шт./м<sup>2</sup> на делянках со вспашкой на 23–25 см. Коэффициент вариации продуктивной кустистости, изменяющийся от 1,14 до 1,03 единиц среди изучаемых способов подготовки почвы, составил 5,2 %, а наиболее стабильной оказалась масса зерна в колосе (0,68–0,71 г).

**Таблица 3 – Структурные показатели посевов и урожайность озимой пшеницы при разных способах подготовки почвы в севообороте (среднее за 2017–2019 гг.)**

Способ подготовки почвы	Продуктивная кустистость	Плотность продуктивного стеблестоя, шт./м <sup>2</sup>	Масса зерна с колоса, г	Урожайность зерна, т/га
Вспашка на 23–25 см	1,03	284,5	0,68	1,95
Безотвальное рыхление на 23–25 см	1,11	352,2	0,69	2,46
Мелкое рыхление на 5–7 см	1,14	399,7	0,71	2,83
Коэффициент вариации, %	5,2	16,7	2,2	18,3
НСР <sub>05</sub>	0,01	22,7	0,005	0,13

В итоге, в среднем за годы исследований наибольшая урожайность зерна (2,83 т/га) зафиксирована в вариантах с мелким рыхлением почвы на 5–7 см, свидетельствующая о высокой эффективности природоподобных влагосберегающих приёмов в ландшафтно-адаптивных системах земледелия степной зоны Оренбургского Предуралья. Их суть заключается в подражании естественным природным процессам («природа не пашет»), снижении технологической нагрузки, поддержании экологической стабильности сельскохозяйственных экосистем, обеспечении длительного неистощительного и эффективного использования природного почвенного потенциала, направленности на сохранение устойчивости и оптимума ландшафтного и биологического разнообразия.

#### Выводы

Проведённые исследования позволили установить, что в условиях современных природных и антропогенных изменений окружающей среды урожайность озимой пшеницы в зональных ландшафтно-адаптивных системах земледелия степной зоны Оренбургского Предуралья зависит от способа подготовки почвы в севообороте и определяется плотностью продуктивного стеблестоя и массой зерна с колоса. Наиболее оптимальные сочетания указанных структурных параметров посевов складываются при мелком рыхлении на 5–7 см, обеспечивающем формирование полноты всходов на уровне 93,0 % (466 шт./м<sup>2</sup>), сохранности растений к уборке не ниже 75 % (350 шт./м<sup>2</sup>), что при продуктивной кустистости 1,14 единиц обеспечивает формирование плотности продуктивного стеблестоя к уборке на уровне 400 шт./м<sup>2</sup>. Формирование при данном способе подготовки почвы самой высокой в опыте урожайности зерна 2,83 т/га убедительно свидетельствует о высокой влагосберегающей эффективности мелкого рыхления

почвы по сравнению с глубоким безотвальным рыхлением и вспашкой в зональных почвенных и климатических условиях, где урожайность оказалась ниже на 0,37–0,88 т/га (13,1–31,1 %).

Внедрение данного способа подготовки почвы в зерносеющих хозяйствах степной зоны Оренбургского Предуралья может стать основой повышения и стабилизации урожайности озимой пшеницы в условиях современных природных и антропогенных изменений окружающей природной среды, связанных с повышением засушливости климата и повсеместным снижением плодородия степных чернозёмов. Особенно актуальным это становится в постцелинных регионах степной зоны, где оптимизация структуры землепользования предполагает выведение из земледельческого оборота деградированных земель и выделение наиболее ценных в ландшафтном отношении местностей и урочищ, что будет неизбежно сопровождаться сокращением земледельческих площадей и интенсификацией земледелия на высокоплодородных почвах.

Важное значение направленность на повышение эффективности влагосберегающих приёмов в зональных ландшафтно-адаптивных системах приобретает при переходе на интеллектуальные «цифровые технологии». При таком подходе интеграция «цифровых технологий» в ландшафтно-адаптивное земледелие степной зоны может стать основой производства экологически чистой продукции, сохранения чистоты окружающей природной среды и уникальной степной биоты. В этом направлении мы видим продолжение представленных исследований.

*Статья подготовлена по теме НИР Института степи УрО РАН: «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды», № ГР АААА-А17-117012610022-5.*

### Литература

1. Оренбургская область в цифрах, 2019. Официальные статистические публикации ТОГС. [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://orenstat.old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/orenstat-ru/publications/official\\_publications/electronic\\_versions/](http://orenstat.old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/orenstat-ru/publications/official_publications/electronic_versions/) (дата обращения 30.11.2019).
2. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018: Р 32. Статистический сборник. М.: Росстат, 1162 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/-statistics/publications/catalog/doc\\_1138623506156](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/-statistics/publications/catalog/doc_1138623506156) (дата обращения 27.11.2019).
3. Халиуллин К. З., Киекбаев Т. И., Лукьянов С. А., Гайнуллин И. А. Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур в степных агроландшафтах Республики Башкортостан // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 1. С. 34–36.
4. Ознобихина Л. А. Накопление и сохранение продуктивной влаги в ресурсосберегающих технологиях возделывания яровой пшеницы в лесостепи Северного Зауралья // Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья. 2016. № 1 (32). С. 78–84.
5. Бродли Д. Ф. Технология No-till. Обработка земли вместе с природой, а не против неё. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://po-teme.com.ua/raznoe/2409-tekhnologiya-no-till.html> (дата обращения 27.01.2020).
6. Фолкнер Э. Безумие пахаря. М.: Сельхозиздат, 1959. 276 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://itexts.net/avtor-edvard-folkner/130198-bezumie-paharya-edvard-folkner.html> (дата обращения 30.01.2020).
7. Монтгомери Д. Р. Почва. Эрозия цивилизаций. Анкара: ФАО Субрегиональное отделение по центральной Азии, 2015. 409 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fao.org/3/a-i4603r.pdf> (дата обращения 15.02.2020).
8. Blanco-Canqui H., Ruis S. J. No-tillage and soil physical environment // Geoderma. 2018. Vol. 326. P. 164–200.
9. Милюткин В. А., Стребков Н. Ф., Соловьёв С. А., Макаровская З. В. Технические решения для технологий No-till и Strip-till // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 6 (50). С. 61–63.



10. Zhang S., Chen X., Jia S., Liang A., Zhang Y. S., Yang X., Wei S., Sun B., Huang D., Zhou G. The potential mechanism of long-term conservation tillage effects on maize yield in the black soil of Northeast China // *Soil and Tillage Research*. 2015. No. 154. P. 84–90.
11. He J., Li H., Rasaily R. G., Wang Q., Cai G., Su Y., Qiao X., Liu L. Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat-maize cropping system in North China Plain // *Soil and Tillage Research*. 2011. Vol. 113. No. 1. P. 48–54.
12. Gozubuyuk Z., Sahin U., Ozturk I., Celik A., Cemal Adiguzel M. Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate // *CATENA*. 2014. No. 118. P. 195–205.
13. Rusinamhodzi L., Corbeels M., Wijk M. V., Rufino M.C. A meta-analysis of long-term effects of maize grain yield under rain-fed conditions // *Agronomy Sustainable Development*. 2011. No. 31. P. 657–673.
14. Mupangwa W., Twomlow S., Walker S.S. Reduced tillage, mulching and rotational effects on maize (*Zea mays* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* (Walp) L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. (Moench)) yields under semi-arid conditions // *Field Crops Research*. 2012. No. 132. P. 139–148.
15. Akhtar K., Wang W., Khan A., Ren G., Zaheer S., Sial T.A., Feng Y., Ren G. Straw mulching with fertilizer nitrogen: an approach for improving crop yield, soil nutrients and enzyme activities // *Soil Use and Management*. 2019. Vol. 35. P. 526–535.
16. Бжеумыхов В. С., Алиев З. Ю. Технология No-till – гарант успешного производства зерна озимой пшеницы в условиях КБР // *Материалы международной научно-практической конференции «Социально-экономические и экологические аспекты развития Прикаспийского региона»*. Элиста: Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова, 2019. С. 359–364.
17. Смирнов П. А., Васильев Н. Ю., Спасов Е. В. Результаты практических исследований мульчирования поверхности почвы стерневыми культиваторами // *Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. № 1 (4). С. 76–81.
18. Кроветто К. Нулевая обработка почвы // *Ресурсосберегающее земледелие*. 2009. № 1 (2). С. 7–11.
19. Manzatto C. V., Freitas Junior E., Perez J. R. *Uso Agrícola dos Solos Brasileiros*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 174 p.
20. Derpsh R. The experience of South America: stages of the direct sowing technology implementation // *Resource-Saving Agriculture*. 2008. No. 1. P. 6–9.
21. Бакиров Ф. Г., Долматов А. П., Любич В. А., Попов С. В., Курамшин М. Р., Баландина А. А. Влагосбережение в ресурсосберегающих технологиях выращивания полевых культур на Южном Урале // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2015. № 3(53). С. 168–171.
22. Дридигер В. К. Технология no-till и допускаемые при её освоении ошибки // *Сельскохозяйственный журнал*. 2018. № 1 (11). С. 14–23.
23. Кочмина Е. О., Чекаев Н. П. Влагосберегающая эффективность технологии No-ill при возделывании озимой пшеницы // *Нива Поволжья*. 2016. № 1(38). С. 35–41.
24. Доспехов Б. А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
25. Доспехов Б. А., Васильев И. П., Туликов А. М. *Практикум по земледелию*. М.: Агропромиздат, 1987. 383 с.
26. Гулянов Ю. А. Мониторинг фитометрических параметров с использованием инновационных методов сканирования посевов // *Таврический вестник аграрной науки*. 2019. № 3 (19). С. 64–76.
27. Гулянов Ю. А. Адаптация технологических приёмов возделывания озимой пшеницы в степных районах Южного Урала // *Агробиологические особенности и параметры моделей высокопродуктивных агроценозов полевых культур в засушливых условиях Южного Урала: сборник научных трудов*. Оренбург: Издательский центр Оренбургского государственного аграрного университета, 2006. С. 10–23.
28. Гулянов Ю. А. Совершенствование приёмов формирования высокопродуктивных агроценозов озимой пшеницы в степной зоне Южного Урала. Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Оренбург: Оренбургский государственный аграрный университет, 2007. С. 15–23.
29. Гулянов Ю. А. Пути повышения зимостойкости и сохранности к уборке озимой пшеницы в степи Южного Урала // *Земледелие*. 2005. № 6. С. 24–26.
30. Громова С. Н. Продуктивность и элементы структуры урожая у образцов озимой мягкой пшеницы // *Таврический вестник аграрной науки*. 2019. № 3(19). С. 57–63.
31. Гулянов Ю. А. Влияние регуляторов роста растений на реализацию ресурсного потенциала агроценозов озимой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2007. № 3 (66). С. 150–154.

## References

1. Orenburg region in numbers, 2019. Official statistical publications of the Federal State Statistic Service. [Electronic resource]. Access point: [http://orenstat.old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/orenstat/ru/publications/official\\_publications/electronic\\_versions/](http://orenstat.old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/orenstat/ru/publications/official_publications/electronic_versions/) (reference's date 30.11.2019).
2. Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2018: P 32. Stat. coll. / Rosstat. M. 1162 s [Electronic resource]. Access point: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1138623506156](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138623506156) (reference's date 27.11.2019).
3. Khaliullin K. Z., Kiyekbaev T. I., Lukyanov S. A., Gainullin I. A. Adaptive technologies of cultivation grain crops in steppe agrolandscapes of Republic Bashkortostan// Achievements of Science and Technology of AIC. 2010. No. 1. P. 34–36.
4. Oznobikhina L. A. Accumulation and preservation of productive moisture in resource-saving technologies of cultivation of spring wheat in forest-steppe of Northern Trans-Ural// Bulletin of State Agrarian University of Northern Zauralye. 2016. No. 1(32). P. 78–84.
5. Bradley J. F. No-till technology. Cultivating the land with nature, not against it. [Electronic resource]. Access point: <http://po-teme.com.ua/raznoe/2409-tekhnologiya-no-till.html> (reference's date 27.01.2020).
6. Faulkner E. The madness of the farmer. Moscow: Selkhozizdat, 1959. 276 p. [Electronic resource]. Access point: <https://itexts.net/avtor-edvard-folkner/130198-bezumie-paharya-edvard-folkner.html> (reference's date 30.01.2020).
7. Montgomery D. R. Soil. Erosion of civilizations. Ankara: FAO Sub-regional office for Central Asia, 2015. 409 p. [Electronic resource]. Access point: <http://www.fao.org/3/a-i4603r.pdf> (reference's date 15.02.2020).
8. Blanco-Canqui H., Ruis S. J. No-tillage and soil physical environment // Geoderma. 2018. Vol. 326. P. 164–200.
9. Milyutkin V. A., Strebkov N. F., Soloviev S. A., Makarovskaya Z. V. Technical solutions for No-till and Strip-till seeding technologies // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2014. No. 6 (50). P. 61–63.
10. Zhang S., Chen X., Jia S., Liang A., Zhang Y.S., Yang X., Wei S., Sun B., Huang D., Zhou G. The potential mechanism of long-term conservation tillage effects on maize yield in the black soil of Northeast China // Soil and Tillage Research. 2015. No. 154. P. 84–90.
11. He J., Li H., Rasaily R. G., Wang Q., Cai G., Su Y., Qiao X., Liu L. Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat-maize cropping system in North China Plain // Soil and Tillage Research. 2011. Vol. 113. No. 1. P. 48–54.
12. Gozubuyuk Z., Sahin U., Ozturk I., Celik A., Cemal Adiguzel M. Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate // CATENA. 2014. No.118. P. 195–205.
13. Rusinamhodzi L., Corbeels M., Wijk M. V., Rufino M.C. A meta-analysis of long-term effects of maize grain yield under rain-fed conditions // Agronomy Sustainable Development. 2011. No. 31. P. 657–673.
14. Mupangwa W., Twomlow S., Walker S. S. Reduced tillage, mulching and rotational effects on maize (*Zea mays* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* (Walp) L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. (Moench)) yields under semi-arid conditions // Field Crops Research. 2012. No. 132. P. 139–148.
15. Akhtar K., Wang W., Khan A., Ren G., Zaheer S., Sial T.A., Feng Y., Ren G. Straw mulching with fertilizer nitrogen: an approach for improving crop yield, soil nutrients and enzyme activities // Soil Use and Management. 2019. Vol. 35. P. 526–535.
16. Bzheumykhov V. S., Aliev Z. Y. No-till technology – garant of successful production of grain-wheated wheat under the conditions of the CBD// Proceedings of international scientific-practical conference “Socio-economic and environmental aspects of development in the Caspian sea region”. Elista: Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, 2019. P. 359–364.
17. Smirnov P. A., Vasiliev N. Yu., Spasov E. V. Results of practical studies of soil surface mulching with stern cultivators // Vestnik of Chuvash State Agricultural Academy. 2018. No. 1(4). P. 76–81.
18. Crovetto K. Zero tillage // Sustainable agriculture. 2009. No. 1 (2). P. 7–11.
19. Manzatto C. V., Freitas Junior E., Perez J. R. Uso agricola dos solos Brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 174 p.
20. Derpsh R. The export of South America: stages of the direct sowing technology implementation // Resource-Saving Agriculture. 2008. No. 1. P. 6–9.
21. Bakirov F. G., Dolmatov A. P., Lyubchich V. A., Popov S. V., Kuramshin M. R., Balandina A. A. Moisture retention in resource-saving technologies of field crops growing in the South Urals// Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2015. No. 3(53). P. 168–171.
22. Dridiger V. K. The no-till technology and mistakes made during its mastering //Agricultural Journal. 2018. No. 1 (11). P. 14–23.
23. Kochmina E. O., Chekaev N. P. Moisture-saving efficiency of no-till technology in winter wheat cultivation //Volga Region Farmland (Niva Povolzhya). 2016. No. 1(38). P. 35–41.

24. Dospikhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
25. Dospikhov B. A., Vasilev I. P., Tulikov A. M. Workshop on agriculture. Moscow: Agropromizdat, 1987. 383 p.
26. Gulyanov Yu. A. Monitoring of the phytometric indications using innovative crop scanning methods // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2019. No. 3(19). P. 64–76.
27. Gulyanov Yu. A. Adaptation of technological methods of winter wheat cultivation in the steppe regions of the southern Urals // Agrobiological features and parameters of models of highly productive agrocenoses of field crops in the arid conditions of the southern Urals: collection of scientific papers. Orenburg: Publishing center of the Orenburg State Agrarian University, 2006. P. 10–23
28. Gulyanov Yu. A. Improvement of methods for forming highly productive winter wheat agrocenoses in the steppe zone of the southern Urals. Author's abstract diss. ... Dr. Sc. (Agr.). Orenburg: Orenburg State Agrarian University, 2007. P. 15–23.
29. 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. 24–26.
30. Gromova S. N. Productivity and yield structure elements in samples of soft winter wheat // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2019. No. 3(19). P. 57–63.
31. Gulyanov Yu. A. The Influence of plant growth regulators on realization of resource potential of winter wheat agrocenosis at conditions of Orenburg Predural // Vestnik of the Orenburg State University. 2007. No. 3(66). P. 150–154.

UDC 574.42:631/635:502/504

Gulyanov Yu. A.

**EFFICIENCY OF NATURE-LIKE WATER-SAVING METHODS IN  
LANDSCAPE-ADAPTIVE FARMING SYSTEMS OF STEPPE ZONE OF  
ORENBURG URALS**

*Summary.* The development and improvement of water-saving agricultural practices in the farming systems of the steppe zone in the Russian Federation are necessary to increase the efficiency of field cultivation in the conditions of modern natural and anthropogenic environmental changes. The purpose of the research was to study the impact of various methods of soil preparation in fallow-crop rotation on phytometric characteristics, structure of winter wheat crops and grain yield. The studies were carried out in 2016–2019 on southern chernozems in the zone of dry steppes of the Orenburg Urals. The object of the research – production crops of winter soft wheat (*Triticum aestivum* L.) variety 'Povolzhskaya 86'. The crop was cultivated in a five-field grain-fallow crop rotation: fallow – winter wheat – spring wheat – chickpea – spring wheat. Planting date – third decade of August; seeding rate – 5.0 million seed /ha; four-fold replication. We studied three different methods of primary tillage: 23–25 cm plowing, 23–25 cm subsurface loosening, 5–7 cm shallow loosening. During the crop rotation, the crop residues were annually crushed and distributed over the surface of the field simultaneously with harvesting. It had been revealed that the most favourable conditions for yield formation are 5–7 cm shallow loosening, which ensures the crop density at the level of 93.0 % (466 pieces/m<sup>2</sup>); safety of plants for harvesting not less than 75 % (350 pieces/m<sup>2</sup>), which, in the conditions of the productive tillering capacity of 1.14 units, provides plant density for harvesting at the level of 400 pieces/m<sup>2</sup>. The formation of the maximum grain yield in the experiment (2.83 t/ha) indicates a high moisture-saving efficiency of shallow loosening compared to other methods of tillage. Plowing and subsurface loosening contributed to lower yield formation (0.37–0.88 t/ha or 13.1–31.1 % less).

**Keywords:** steppe zone, landscape-adaptive farming systems, moisture-saving techniques, grain productivity, *Triticum aestivum* L., winter soft wheat.

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

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

*Дата поступления в редакцию – 20.04.2020.*

*Дата принятия к печати – 15.07.2020.*

DOI 10.33952/542-0720-2020-3-23-93-104

УДК 633.811

Золотилов В. А., Невкрытая Н. В., Золотилова О. М., Скипор О. Б.

**ИТОГИ СЕЛЕКЦИИ РОЗЫ ЭФИРОМАСЛИЧНОЙ НА ВЫСОКИЙ ВЫХОД  
КОНКРЕТА**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** Широко востребованным продуктом, получаемым из цветков розы при переработке их методом экстракции, является конкрет, который, в свою очередь, используют для выделения ряда ценной продукции, прежде всего, розового масла – абсолю. Одно из направлений селекционной работы, проводимой с розой эфиромасличной в ФГБУН «НИИСХ Крыма», – создание сортов, обеспечивающих высокий выход конкрета. Цель настоящего исследования – конкурсное сортоиспытание перспективных сортообразцов розы эфиромасличной для создания высокопродуктивного сорта данного направления использования. Исследование проведено в Предгорье Крыма, на экспериментальной базе ФГБУН «НИИСХ Крыма» (с. Крымская роза Белогорского района) в 2011–2015 гг. Учеты, наблюдения и анализы выполнены в соответствии с методиками селекции и биохимических исследований эфиромасличных культур. В результате многолетней селекционной работы создано два сорта розы эфиромасличной, отвечающих современным требованиям производства, – Легрина и Золушка. Универсальный сорт Легрина пригоден для получения как декантированного эфирного масла, так и конкрета. По урожайности цветков ( $3,58 \pm 0,69$  т/га) он превышает сорта Лада и Лань на 30,4 и 38,5 %, по сбору декантированного эфирного масла ( $0,85 \pm 0,19$  кг/га) – на 24,7 и 35,3 % и по сбору конкрета ( $8,11 \pm 2,39$  кг/га) – на 29,0 и 39,1 % соответственно. Сорт Золушка по урожайности цветков ( $3,92 \pm 0,5$  т/га) превосходит сорта Лада и Лань на 36,5 и 43,9 %, по сбору конкрета ( $8,68 \pm 1,96$  кг/га) – на 33,6 и 43,1 % соответственно. Сбор декантированного эфирного масла ( $0,51 \pm 0,07$  кг/га) – на уровне сортов. Благодаря насыщенно-розовой окраске лепестков сорт Золушка рекомендован для производства варенья, сиропа, ликеров. Сорта Легрина и Золушка включены в «Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию» РФ.

**Ключевые слова:** селекция, роза эфиромасличная, *Rosa L.*, конкрет, сорт, конкурсное сортоиспытание.

**Введение**

История культуры розы насчитывает десятки столетий, это растение было известно задолго до нашей эры. Род Роза (*Rosa L.*) семейства Розоцветных (*Rosaceae*) включает около 400 видов и более 25 тыс. сортов. Из всего разнообразия культурных и дикорастущих роз только немногие культивируют для получения эфирного масла. Розу эфиромасличную традиционно возделывают в Азербайджане, Болгарии, Франции, Швейцарии, Иране, Турции, Грузии, Молдавии и других странах [1].

Розовое эфирное масло, благодаря ценному составу компонентов, широко используют в парфюмерно-косметическом, пищевом, ликероводочном производствах [2, 3]. Благодаря бактерицидному и бактериостатическому действиям розовое масло применяют в медицине. Так, например, эфирное масло крымской розы оказалось весьма эффективным против *Stenotrophomonas maltophilia* и *Pseudomonas aeruginosa*, а болгарское розовое масло – против *Acinetobacter baumannii* и *Klebsiella pneumoniae* [4].

Ценными и востребованными являются и другие продукты переработки цветков розы эфиромасличной. Так, розовый гидролат (розовая вода), благодаря высокой антиоксидантной активности, можно использовать при производстве косметических средств с солнцезащитной функцией [5, 6].

Роза эфиромасличная представляет собой многолетний кустарник. В первый год вегетации к концу лета куст формирует 6–15 побегов ростового типа, которые обычно не ветвятся, не образуют цветки и составляют скелет или основу куста. На следующий год в верхней и средней части этих побегов пробуждаются почки, из которых образуются укороченные цветочные веточки, каждая из которых заканчивается соцветием. Цветки собраны в соцветие сложный верхцветник. Как многолетний кустарник розу эфиромасличную можно возделывать на одном месте до 20–30 и более лет [1, 7].

Целенаправленная работа по селекции и изучению сортов розы эфиромасличной в Крыму была начата еще в сороковые годы прошлого столетия и продолжается поныне. В разные годы сотрудниками Института эфиромасличных и лекарственных растений (ИЭЛР) НААН Украины (ранее ВНИИ эфиромасличных культур) были созданы сорта, пригодные для переработки различными технологическими способами [7–9].

В настоящее время в ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», в состав которого вошел ИЭЛР, продолжается научно-исследовательская работа по созданию новых сортов розы разных направлений использования. Институт является собственником и оригинатором всех сортов розы эфиромасличной, включенных в «Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию» РФ [10]. Современная селекция использует арсенал методических приемов создания перспективного исходного материала от традиционных до генно-инженерных, биотехнологических [11, 12]. Создание высокопродуктивных сортов розы эфиромасличной, устойчивых к абиотическим и биотическим факторам окружающей среды, пригодных к корнесобственному размножению не перестает быть актуальным.

Ценным продуктом, получаемым из цветков розы при переработке их методом экстракции, является конкрет [7, 13]. Конкреты или экстракты имеют пастообразную консистенцию желтого или оранжево-коричневого цвета с приятным запахом, свойственным данному виду сырья. Конкрет, в свою очередь, используют для получения ряда ценной продукции, прежде всего, розового масла – абсолю [7, 14, 15]. В связи с ценностью розового конкрета в последнее десятилетие селекционные исследования были направлены на создание эффективных сортов, обеспечивающих высокий выход данного продукта.

**Цель исследований** – проведение сравнительного анализа перспективных сортообразцов розы эфиромасличной по комплексу признаков на этапе конкурсного сортоиспытания для выделения лучшего в качестве нового сорта, обеспечивающего высокий выход конкрета.

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

Исследования проведены в 2011–2015 гг. на экспериментальном участке ФГБУН «НИИСХ Крыма», расположенном в предгорной части Крыма (с. Крымская Роза Белогорского района). Климат региона исследования – засушливый, с мягкой зимой. Среднегодовая температура воздуха – 10 °С. Продолжительность тёплого периода – 300–315 дней в году. Максимальная температура воздуха достигает в июле–августе 38–40 °С. Минимальная температура в зимние месяцы в среднем составляет минус 8 °С, достигая иногда минус 25–27 °С. Среднегодовая сумма осадков составляет 450–550 мм, при этом характерно их неравномерное

распределение в течение года. Сумма активных температур более 10 °С – 2800–3300 °С. В целом погодные условия в районе исследования относительно стабильны, но в разные годы могут наблюдаться отклонения от средних многолетних показателей. Почвы региона – предгорные карбонатные черноземы на элювии и делювии плотных карбонатных пород (рН – 7,0–7,2) [16].

Питомник конкурсного сортоиспытания заложен в 2008 г. однолетними саженцами испытуемых сортообразцов Г-122 и 2030 и сортов Лань и Лада. Саженцы получены путём укоренения зеленых черенков. Схема посадки растений – 2,5 × 1,0 м. Повторность опыта – четырёхкратная. В каждом повторении размещено по 10 растений. Площадь учетной делянки – 25 м<sup>2</sup>.

В период исследования проводили фенологические наблюдения; оценивали морфо-биологические параметры (зимостойкость, бутанообразовательную способность, силу роста куста, шиповатость побегов, махровость цветка, окраску лепестков венчика) и общее состояние растений. Во время цветения учитывали урожайность цветков. Учеты и наблюдения выполняли в соответствии с методическими указаниями по селекции эфиромасличных культур [17]. Раскрывшиеся цветки собирали ежедневно в утренние часы. Учет урожая проводили по каждому повторению, взвешивая собранные цветки в поле.

Отбор проб для определения массовой доли декантированного эфирного масла и конкрета в цветках каждого испытуемого образца и сортов проводили в три срока – начало, середина и окончание цветения. Биохимические анализы по определению содержания в цветках эфирного масла и выходу конкрета выполняли в соответствии с разработанными методиками [18, 19].

Статистическую обработку данных выполняли методом дисперсионного анализа с использованием стандартного пакета документов программы Microsoft Office Excel [20].

### Результаты и их обсуждение

В питомнике конкурсного сортоиспытания (КСИ) в течение пяти лет (2011–2015 гг.) проводили сравнительное испытание по комплексу признаков двух выделенных в результате предшествовавшей селекционной работы перспективных сортообразцов Г-122 и 2030. Сортообразец Г-122 отобран в потомстве от скрещивания *Rosa alba* L. с сортом Мичуринка (*Rosa damascena* Mill. × *Rosa gallica* L.). Сортообразец 2030 отобран в потомстве от скрещивания сорта Весна (*Rosa damascena* Mill. × *Rosa gallica* L.) и сорта Крымская красная (*Rosa gallica* L.). Сравнение проводили с сортами Лань и Лада. Сорта различаются изначальным своим предназначением. Сорт Лань создавали для преимущественного получения эфирного масла методом экстракции и гидродистилляции, а сорт Лада – для получения декантированного эфирного масла. Оба сорта включены в конкурсное сортоиспытание, в том числе и для уточнения величины выхода конкрета из их сырья.

Начало и сроки протекания фаз развития розы эфиромасличной зависят от метеоусловий года (таблица 1).

Начало вегетации растений существенно изменялось в зависимости от температурного режима в феврале–марте. Наиболее раннее начало развития отмечено в 2013–2014 гг. – в феврале (6.02–10.02), среднемесячная температура которого была самой высокой в годы испытаний – 4,1–2,5 °С соответственно. В 2012 г., после наиболее холодного февраля со среднемесячной температурой –4,7 °С, вегетация началась значительно позже – 27.03–04.04.

Температурный режим и количество осадков в последующие месяцы обуславливали сроки наступления и продолжительности всех последующих фаз вегетации.

Таблица 1 – Основные фазы вегетации образцов розы эфиромасличной, КСИ

Сорто-образец	Год	Начало вегетации	Начало бутонизации	Начало цветения	Окончание цветения	Продолжительность цветения, дней
Г-122	2011	25.03	20.05	06.06	29.06	24,0 ± 0,7
2030		23.03	20.05	08.06	01.07	24,0 ± 0,7
Лань		24.03	20.05	06.06	30.06	24,5 ± 0,5
Лада		25.03	21.05	07.06	01.07	25,0 ± 0,7
Г-122	2012	01.04	01.05	17.05	13.06	27,8 ± 0,4
2030		30.03	02.05	20.05	16.06	27,8 ± 0,4
Лань		27.03	01.05	17.05	15.06	29,5 ± 0,5
Лада		04.04	02.05	20.05	16.06	28,3 ± 0,4
Г-122	2013	10.02	03.05	21.05	19.06	30,3 ± 0,4
2030		08.02	02.05	23.05	19.06	28,3 ± 0,4
Лань		09.02	03.05	21.05	19.06	29,8 ± 0,4
Лада		10.02	04.05	23.05	20.06	28,8 ± 0,4
Г-122	2014	08.02	03.05	22.05	26.06	35,5 ± 0,5
2030		06.02	02.05	24.05	28.06	35,5 ± 0,5
Лань		07.02	04.05	23.05	26.06	34,3 ± 0,8
Лада		08.02	07.05	29.05	28.06	30,8 ± 0,4
Г-122	2015	11.03	11.05	29.05	26.06	28,5 ± 0,5
2030		11.03	10.05	31.05	28.06	28,8 ± 0,4
Лань		13.03	11.05	29.05	26.06	29,3 ± 0,4
Лада		14.03	13.05	01.06	27.06	27,0 ± 0,7

Во все годы наблюдений самые ранние сроки начала цветения отмечены для образца Г-122 и сорта Лань, также они оканчивали цветение на один–три дня раньше других. Наиболее засушливый период в мае–июне, отмеченный в 2011 г., обусловил и наименьшую продолжительность цветения – всего 24–25 дней. А в наиболее влажном 2014 г. продолжительность цветения была максимальной – 31–36 дней. В целом по продолжительности периода цветения (28–30 дней) образцы не различались. Диапазон изменчивости данного параметра в зависимости от условий составляет для разных образцов в среднем 6–12 дней.

Характеристика образцов по морфо-биологическим параметрам представлена в таблице 2.

Как следует из приведенных данных, испытываемые сортообразцы и сорта отличаются высокой зимостойкостью. Зимостойкость образцов Г-122 и 2030 находится на уровне сорта Лань. Наименее зимостойким является сорт Лада со средней оценкой зимостойкости 4,4 балла.

По данным наблюдений сортообразцы Г-122 и 2030 имеют наиболее высокую бутонобразовательную способность по сравнению с сортами.

Наибольшей массой цветка ( $4,2 \pm 0,1$  г) характеризуется образец Г-122. При этом он уступает образцу 2030 по махровости цветка. Количество лепестков в цветке у этих образцов составляет в среднем  $60,6 \pm 2,0$  и  $68,8 \pm 3,5$  шт. соответственно. Наименьшая махровость цветка ( $49,6 \pm 2,33$  шт. лепестков) отмечена у сорта Лада, а наименьшая масса цветка – у сорта Лань ( $3,5 \pm 0,2$  г).

Во все годы наилучшим общим состоянием растений отличался сортообразец Г-122. По высоте сортообразцы достоверно не различались. В среднем за годы испытания высота кустов сортов Лань и Лада составила соответственно  $102,6 \pm 11,7$  см и  $107,2 \pm 8,4$  см, а образцов 2030 и Г-122 –  $112,6 \pm 7,3$  см и  $117,0 \pm 11,1$  см соответственно.

Приведенные данные показывают, что по изученным морфо-биологическим параметрам испытываемые образцы не уступают или превосходят сорта.



Таблица 2 – Характеристика образцов розы эфиромасличной по некоторым морфо-биологическим параметрам, КСИ

Образец	Год	Зимостойкость, балл	Бутонообразовательная способность, балл	Общее состояние растения, балл	Масса цветка, г	Количество лепестков в цветке, шт.
Лань	2011	5,0	3,8	4,7	3,7	65
	2012	4,4	3,2	4,5	3,2	57
	2013	5,0	4,2	4,7	2,7	48
	2014	4,7	3,9	4,3	3,7	53
	2015	4,3	4,2	4,4	4,0	67
	среднее	4,7	3,9	4,5	3,5	58
Г-122	2011	5,0	3,8	4,7	4,2	61
	2012	4,4	3,8	4,8	4,2	67
	2013	5,0	4,4	4,8	3,7	57
	2014	4,9	4,7	4,9	4,5	62
	2015	4,7	4,7	4,9	4,5	56
	среднее	4,8	4,3	4,8	4,2	61
2030	2011	5,0	3,8	4,4	3,8	68
	2012	4,1	4,1	4,3	4,0	80
	2013	5,0	4,6	4,3	2,9	58
	2014	4,9	4,6	4,4	3,7	69
	2015	4,6	4,9	4,4	4,3	69
	среднее	4,7	4,4	4,4	3,7	69
Лада	2011	5,0	3,3	4,4	3,8	48
	2012	3,5	3,1	4,4	4,1	57
	2013	5,0	4,2	4,4	3,1	43
	2014	4,3	3,6	4,3	3,9	51
	2015	4,2	4,6	4,2	3,8	49
	среднее	4,4	3,8	4,3	3,7	50
НСР <sub>05</sub>		0,2	0,4	0,1	0,3	6

Наиболее важными для сорта являются показатели продуктивности. Данные конкурсного сортоиспытания перспективных образцов розы эфиромасличной по основным показателям продуктивности приведены в таблице 3.

По урожайности цветков в первые три года изучения (третий–пятый года вегетации) достоверно превышал оба сорта только образец 2030. Образец Г-122 уступал ему по этому показателю. Однако в последующие два года его урожайность значительно возросла, существенно превысив таковую не только обоих сортов, но и образца 2030. В среднем за пять лет урожайность сортов Лань и Лада составила соответственно  $2,20 \pm 0,24$  и  $2,49 \pm 0,41$  т/га, а образцов Г-122 и 2030 –  $3,58 \pm 0,69$  и  $3,92 \pm 0,57$  т/га соответственно. В сумме за пять цветосборов общая урожайность цветков образца 2030 оказалась максимальной (19,58 т/га), превысив таковую образца Г-122 (17,88 т/га). Суммарная урожайность цветков сортов Лань и Лада за эти годы была значительно ниже – 10,99 и 12,45 т/га соответственно.

Анализ массовой доли эфирного масла показал, что для сортов Лань и Лада она составила в среднем 0,026 и 0,025 % соответственно. Близкий показатель у образца Г-122 – в среднем 0,024 %. Массовая доля эфирного масла у образца 2030 оказалась значительно ниже и составляла всего 0,013 %. У всех образцов, кроме сорта Лань данный показатель оставался достаточно стабильным по годам, независимо от погодных условий. Отмечена нестабильность массовой доли эфирного масла у сорта Лань, что, очевидно, свидетельствует о более высокой его зависимости от метеословий.

Основной показатель продуктивности сортов эфиромасличных растений – сбор эфирного масла, являющийся результирующим, зависимым от урожайности сырья и содержания в нем эфирного масла.

Проведенное сравнительное изучение показало, что если в первые три цветосбора (третий–пятый года вегетации) образцы, как правило, не отличались по этому показателю, то в последующие два года благодаря возросшей урожайности образец Г-122 существенно превысил остальные по сбору эфирного масла.

В среднем за пять лет сбор декантированного эфирного масла у сортов Лань и Лада существенно не различался и составил  $0,55 \pm 0,09$  и  $0,64 \pm 0,10$  кг/га соответственно. Достоверно не отличался от сорта Лань сортообразец 2030. Несмотря на высокую урожайность, из-за низкой массовой доли эфирного масла средний сбор декантированного эфирного масла у него составил всего  $0,51 \pm 0,07$  кг/га. У образца Г-122 данный показатель был значительно выше –  $0,85 \pm 0,19$  кг/га.

**Таблица 3 – Показатели продуктивности образцов розы эфиромасличной, КСИ**

Сорто-образец	Урожайность цветков, т/га	Массовая доля декантированного эфирного масла, %	Сбор декантированного эфирного масла, кг/га	Массовая доля конкрета, %	Сбор конкрета, кг/га
2011 г.					
Лань	2,40	0,033	0,79	0,215	5,16
Лада	2,11	0,026	0,55	0,260	5,49
Г-122	2,65	0,024	0,64	0,180	4,77
2030	3,04	0,012	0,37	0,175	5,32
НСР <sub>05</sub>	0,39		0,19		0,87
2012 г.					
Лань	1,24	0,018	0,22	0,160	1,98
Лада	1,07	0,028	0,30	0,185	1,98
Г-122	1,95	0,024	0,47	0,160	3,12
2030	2,37	0,013	0,31	0,175	4,15
НСР <sub>05</sub>	0,60		0,12		1,10
2013 г.					
Лань	2,57	0,024	0,62	0,180	4,63
Лада	2,87	0,025	0,72	0,170	4,88
Г-122	2,29	0,022	0,50	0,210	4,81
2030	3,89	0,014	0,55	0,195	7,59
НСР <sub>05</sub>	1,19		0,28		2,21
2014 г.					
Лань	2,29	0,025	0,57	0,280	6,43
Лада	3,14	0,024	0,76	0,285	8,96
Г-122	5,31	0,024	1,27	0,260	13,81
2030	4,76	0,014	0,67	0,250	11,89
НСР <sub>05</sub>	1,31		0,34		3,82
2015 г.					
Лань	2,49	0,023	0,57	0,262	6,52
Лада	3,26	0,027	0,88	0,230	7,50
Г-122	5,68	0,024	1,36	0,247	14,03
2030	5,52	0,012	0,66	0,262	14,46
НСР <sub>05</sub>	1,26		0,27		3,19

Общий сбор декантированного эфирного масла за пять лет у образца Г-122 (4,24 кг) оказался выше, чем у сортов Лада (3,21 кг), Лань (2,77 кг) и образца 2030 (2,56 кг) на 24,3; 34,6 и 39,6 % соответственно.

Проведенное исследование показало, что массовая доля конкмата в сырье всех образцов была выше в годы, характеризовавшиеся более высокой влажностью и умеренным температурным режимом (2014–2015).

В среднем за годы конкурсного сортоиспытания этот показатель был самым высоким у сорта Лада ( $0,226 \pm 0,021$  %), несколько превысив (хотя и недостоверно) таковой у сорта Лань ( $0,219 \pm 0,023$  %) и у сортообразцов Г-122 и 2030 ( $0,211 \pm 0,019$  % у обоих). Однако сбор конкмата у образцов Г-122 и 2030 из-за более высокой урожайности оказался существенно выше. В среднем сбор конкмата составил у сортов Лань и Лада  $4,94 \pm 0,83$  и  $5,76 \pm 1,19$  кг/га соответственно (24,72 и 28,81 кг в сумме за пять лет), а у образцов Г-122 и 2030 –  $8,11 \pm 2,39$  и  $8,68 \pm 1,96$  кг/га соответственно (40,54 и 43,41 кг в сумме за пять лет).

Таким образом, результаты конкурсного сортоиспытания показали, что образцы Г-122 и 2030 по показателям продуктивности превышают районированные сорта Лань и Лада. на 29,0 и 24,7 %. Сбор конкмата у образца 2030 выше, чем у образца Г-122, на 6,5 %. Однако сбор декантированного эфирного масла у него значительно (на 40,0 %) ниже.

Наилучшим по показателям продуктивности является образец Г-122. Его можно считать универсальным, пригодным как для получения декантированного эфирного масла, так и для получения конкмата.

Преимуществом образца 2030 является не только высокий сбор конкмата, но и то, что цветки его имеют ярко-розовую окраску лепестков. Этот признак позволяет рекомендовать использовать цветочное сырье данного образца в пищевых целях – готовить варенья, сиропы, ликеры, а также заготавливать в сушеном виде для дальнейшего включения в чайно-травяные сборы.

По решению экспертной комиссии ФГБУ «Госсортокомиссия» РФ, рассмотревшей результаты конкурсного сортоиспытания, новые сорта розы эфиромасличной включены в «Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию» под названиями Легрина (Г-122) и Золушка (2030) (рисунок 1, 2) [9].



**Рисунок 1 – Сорт розы эфиромасличной Легрина.**

**Авторы: Назаренко Л. Г., Золотилов В. А.**

#### ***Характеристика сорта Легрина.***

Сорт назван в память о выдающемся селекционере, авторе всех пяти включенных в Реестр сортов розы эфиромасличной, Леониде Григорьевиче

Назаренко. Сорт создан методом отдаленной гибридизации *Rosa alba* L. × Мичуринка (*Rosa damascena* Mill. × *Rosa gallica* L.) с последующим индивидуальным отбором. По данным конкурсного сортоиспытания (в среднем за 2011–2015 гг.) урожайность цветков – 3,58 т/га, сбор декантированного масла – 0,849 кг/га, сбор конкрета – 8,11 кг/га.

Куст компактный, высотой до 120 см и выше, диаметром 120–140 см. Многолетние ветви серо-коричневого цвета, прошлогодние побеги желтовато-зеленого цвета. Ветви покрыты шипами разной величины, крючковато-изогнутой формы. Большинство шипов крупного размера, старые – серого цвета, молодые – от светло-зеленого до красно-бурого цвета. Листья сложные, непарноперистые, состоящие из длинного черешка и пяти-семи долей. Молодые листья светло-зеленого цвета, стареющие – темно-зеленого, с нижней стороны главной жилки расположены изогнутые мелкие светло-зеленые шипы. Дольки листа овальные, с заостренной верхушкой и пильчатым краем. Цветки густомахровые (60 лепестков), сильно пахнущие, расположены на не очень длинных цветоножках по периферии куста, масса цветка – 4,3 г. Лепестки цветка сердцевидной формы, имеют бледно-розовый оттенок, с белым основанием. Продолжительность цветения в зависимости от погодных условий – 24–36 дней. Плоды округлой формы, покрыты шипиками и смолистыми железками. Сорт зимостойкий (4,8 балла), обладает хорошей бутанообразовательной способностью.



Рисунок 2 – Сорт розы эфиромасличной Золушка.

Авторы: Назаренко Л. Г., Золотилов В. А.

#### **Характеристика сорта Золушка.**

Сорт Золушка выведен методом отдаленной гибридизации сорта Весна (*Rosa damascena* Mill. × *Rosa gallica* L.) и сорта Крымская красная (*Rosa gallica* L.). По данным конкурсного сортоиспытания (в среднем за 2011–2015 гг.) урожайность цветков – 3,92 т/га, сбор декантированного масла – 0,510 кг/га, сбор конкрета – 8,7 кг/га. Цветки ярко-розовые, махровые (69 лепестков), масса цветка – 3,7 г. Продолжительность цветения в зависимости от погодных условий – 24–36 дней. Куст полусомкнутый, хорошо облиственный, высотой 110–125 см, диаметром 138 см. Шипы крупные, крючковато-изогнутые, у основания расширены, старые – серого цвета, молодые – от светло-зеленого до красно-бурого, плотность расположения на побегах – 25–30 шт. на 20 см длины. Листья очередные, сложные, непарноперистые, пяти-семи дольные. Соцветие – сложный верхцветник, цветки ярко-розовые. Сорт можно использовать для получения конкрета и, благодаря яркой окраске лепестков, для приготовления сиропов, варенья, кондитерских изделий и чайных сборов. Золушка сочетает в себе высокую продуктивность с адаптивными

свойствами. Сорт зимостойкий (4,7 балла), легко размножается зелеными черенками, характеризуется хорошим ростом и высокой побегообразовательной способностью.

### Выводы

Многолетняя селекционная работа с розой эфиромасличной, проводимая в ФГБУН «НИИСХ Крыма», позволила создать новые высокопродуктивные сорта этой культуры – Легрина и Золушка, которые, благодаря своей универсальности, могут быть использованы для получения как декантированного эфирного масла, так и такого ценного продукта, как конкрет.

Сорт Легрина по сбору конкрета и декантированного эфирного масла ( $8,11 \pm 2,39$  и  $0,85 \pm 0,19$  кг кг/га соответственно) превосходит лучший по этим показателям сорт Лада в среднем на 29,0 и 24,7 %.

Сорт Золушка по сбору конкрета ( $8,68 \pm 1,96$  кг/га) превышает сорт Лада на 33,6 %, но уступает ему по сбору декантированного эфирного масла ( $0,51 \pm 0,07$  кг/га) в среднем на 20,3 %. Благодаря ярко-розовой окраске лепестков сорт Золушка рекомендован для приготовления кондитерских изделий – сиропов, варенья, ликеров, его лепестки также могут быть использованы в сушеном виде в чайных композициях.

### Литература

1. Назаренко Л. Г., Коршунов В. А., Кочетков Е. С. Эфиромасличное розоводство. Симферополь: Таврия, 2006. 216 с.
2. Войткевич С. А. Эфирные масла для парфюмерии и ароматерапии. М.: Пищевая промышленность, 1999. 284 с.
3. Babu K. G. D., Singh B., Joshi V. P., Singh V. Essential oil composition of Damask Rose (*Rosa damascena* Mill.) distilled under different pressure and temperature // *Flav. Fragr. J.* 2002. No. 17. P. 136–140.
4. Маркелова Н. Н., Семенова Е. Ф., Шпичка А. И., Жученко Е. В. Влияние эфирных масел на микроорганизмы различной таксономической принадлежности в сравнении с современными антибиотиками. Сообщение I. Действие розового эфирного масла и антибиотических субстанций на некоторые грамотрицательные бактерии // *Естественные науки. Серия «Биология»*. 2014. № 3 (7). С. 39–48.
5. Abidi S., Shaheen N., Azher I., Mahmood Z. A. Photoprotective and antioxidant activities along with phytochemical investigation of rose water // *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2018. Vol. 9 (12). P. 1000–1008. DOI: 10.13040/IJPSR.0975-8232.9(12).
6. Abidi S., Aamir Z., Iqbal A., Rafi S., Mahmood Z. Assessment of rose water and evaluation of antioxidant and anti-inflammatory properties of a rose water based cream formulation // *International Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. 2019. No. 11(1). P. 43–48.
7. Паштецкий В. С., Невкрытая Н. В., Мишнев А. В., Назаренко Л. Г. Эфиромасличная отрасль Крыма. Вчера, сегодня, завтра. Симферополь: Ариал, 2018. 317 с.
8. Erbas S., Baydar H. Variation in Scent Compounds of Oil-Bearing Rose (*Rosa damascena* Mill.) produced by headspace solid phase microextraction, hydrodistillation and solvent extraction // *Rec. Nat. Prod.* 2016. Vol. 10. No. 5. P. 555–565.
9. Collin H. A. Extraction and Industrial Processes. // In: *Encyclopedia of Rose Science* // Ed. by Roberts A., Debener T., Gudin S. London: Elsevier Ltd. Academic Press, 2003. P. 726–735.
10. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 516 с.
11. Noodezh H. M., Moieni A., Baghizadeh A. In vitro propagation of the Damask rose (*Rosa damascena* Mill.) // *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant.* 2012. Vol. 48. No. 6. P. 530–538.
12. Егорова Н. А. Некоторые аспекты биотехнологии эфиромасличных растений: микроклональное размножение, синтез продуктов вторичного метаболизма in vitro // *Физиология растений и генетика*. 2014. Т. 46. № 3. С. 187–201.
13. Kurkcuoglu M., Baser K. H. C. Studies on Turkish rose concrete, absolute and hydrosol // *Chemistry of Natural Compounds*. 2003. Vol. 39. No. 5. P. 457–464.
14. Aydinli M., Tutas M. Production of rose absolute from rose concrete // *Flav. Fragr. J.* 2003. No. 18. P. 26–31.

15. Ayci F., Aydinli M., Bozdemir O. A., Tutas M. Gas chromatographic investigation of rose concrete, absolute and solid residue // *Flav. Fragr. J.* 2005. No. 20. P. 481–486.
16. Савчук Л. П. Климат предгорной зоны Крыма и эфирносы. Симферополь: ЧП «Эльиньо», 2006. 76 с.
17. Селекция эфиромасличных культур: методические указания // Под ред. Аринштейн А. И. Симферополь: Научно-производственное объединение по эфирномасличным культурам и маслам. Всесоюзный научно-исследовательский институт эфиромасличных культур, 1977. 151 с.
18. Биохимические методы анализа эфиромасличных растений и эфирных масел. Сборник науч. трудов // Сост. Карпачева А. Н., Персидская К. Г., Лиштванова Л. Н. Симферополь: Министерство сельского хозяйства СССР. Научно-производственное объединение по эфирномасличным культурам и маслам. Всесоюзный научно-исследовательский институт эфиромасличных культур, 1972. 107 с.
19. Новиков И. А., Золотилов В. А., Аметова Э. Д. Содержание конкрета в перспективных сортах роз эфиромасличной и оптимизация методики его определения // Сборник научных трудов Четвертой научно-практической конференции с международным участием «Молодые ученые и фармация XXI века». М.: ВИЛАР, 2016. С. 100–103.
20. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 350 с.

### References

1. Nazarenko L. G., Korshunov V. A., Kochetkov E. S. Essential oil rose growing. Simferopol: Tavria, 2006. 216 p.
2. Voytkevich S. A. Essential oils for perfumery and aromatherapy. Moscow: Pischevaya promyshlennost (Food industry), 1999. 284 p.
3. Babu K. G. D., Singh B., Joshi V. P., Singh V. Essential oil composition of Damask Rose (*Rosa damascena* Mill.) distilled under different pressure and temperature // *Flav. Fragr. J.* 2002. No. 17. P. 136–140.
4. Markelova N. N., Semenova E. F., Shpichka A. I., Zhuchenko E. V. Influence of essential oils on microorganisms of different taxonomic positions in comparison with modern antibiotics. Report I. Effect of rose essential oil and antibiotic substances on some gram-negative bacteria // *University Proceedings. Volga Region. Series "Biology"*. 2014. No. 3 (7). P. 39–48.
5. Abidi S., Shaheen N., Azher I., Mahmood Z. A. Photoprotective and antioxidant activities along with phytochemical investigation of rose water // *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2018. Vol. 9 (12). P. 1000–1008. DOI: 10.13040/IJPSR.0975-8232.9(12).
6. Abidi S., Aamir Z., Iqbal A., Rafi S., Mahmood Z. Assessment of rose water and evaluation of antioxidant and anti-inflammatory properties of a rose water based cream formulation // *International Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. 2019. No. 11(1). P. 43–48.
7. Pashtetskiy V. S., Nevkrytaya N. V., Mishnev A. V., Nazarenko L. G. Essential oil industry in the Crimea. Yesterday, today, tomorrow. Simferopol: Arial, 2018. 317 p.
8. Erbas S., Baydar H. Variation in Scent Compounds of Oil-Bearing Rose (*Rosa damascena* Mill.) produced by headspace solid phase microextraction, hydrodistillation and solvent extraction // *Rec. Nat. Prod.* 2016. Vol. 10. No. 5. P. 555–565.
9. Collin H. A. Extraction and industrial processes // In: *Encyclopedia of Rose Science* // Ed. by Roberts A., Debener T., Gudin S. London: Elsevier Ltd. Academic Press, 2003. P. 726–735.
10. State register of selection achievements allowed for use. Volume 1. "Varieties of plants" (official edition). Moscow: FSBSI "Rosinformagrotekh", 2019. 516 p.
11. Noodezh H. M., Moieni A., Baghizadeh A. *In vitro* propagation of the Damask rose (*Rosa damascena* Mill.) // *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant*. 2012. Vol. 48. No. 6. P. 530–538.
12. Yegorova N. A. Some aspects of essential oil plants biotechnology: microclonal propagation, synthesis of secondary metabolites *in vitro* // *Plant Physiology and Genetics*. 2014. Vol. 46. No. 3. P. 187–201.
13. Kurkcuoğlu M., Baser K. H. C. Studies on Turkish rose concrete, absolute and hydrosol // *Chemistry of Natural Compounds*. 2003. Vol. 39. No. 5. P. 457–464.
14. Aydinli M., Tutas M. Production of rose absolute from rose concrete // *Flav. Fragr. J.* 2003. No. 18. P. 26–31.
15. Ayci F., Aydinli M., Bozdemir O. A., Tutas M. Gas chromatographic investigation of rose concrete, absolute and solid residue // *Flav. Fragr. J.* 2005. No. 20. P. 481–486.
16. Savchuk L. P. The climate of the foothill areas of the Crimea and essential oil crops. Simferopol: El'in'о, 2006. 76 p.

17. Essential oil crops breeding (Guidelines) // ed. by Arinshteyn A. I. Simferopol: Research and production association for essential oil crops and oils. All-Union Research Institute of Essential Oil Crops, 1977. 151 p.

18. Biochemical methods of analysis essential oil crops and essential oil: collection of proceedings// Comp. by Karpacheva A. N., Persidskaya K. G., Lishtvanova L. N. Simferopol: Ministry of Agriculture of the USSR. Research and production association for essential oil crops and oils. All-Union Research Institute of Essential Oil Crops, 1972. 108 p.

19. Novikov I. A., Zolotilov V. A., Ametova E. D. The content is concrete in promising varieties of essential oil roses and the optimization of the methodology for its determination // Young scientists and pharmacy of the XXI century: Collection of scientific papers of the Fourth scientific-practical conference with international participation. Moscow: VILAR, 2016. P. 100–103.

20. Dospikhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results): Moscow: Alyans, 2011. 350 p.

UDC 633.811

Zolotilov V. A., Nevkrytaya N. V., Zolotilova O. M., Skipor O. B.

### RESULTS OF THE ESSENTIAL OIL ROSE BREEDING TO OBTAIN HIGH YIELD OF CONCRETE

**Summary.** Concrete is a popular product obtained by the extraction of fresh plant material. In return, it is used to produce rose absolutes. One of the directions of the breeding work carried out in the FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea” with the essential oil rose was the creation of varieties with the high content of concrete in the rose blooms. The aim of this research was the competitive trial of promising cultivars of essential oil rose to create the high-yielding varieties. This study was conducted between 2011 and 2015 at the trial fields of FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea” located in the village of Krymskaya Rosa Belogorskiy district in the Republic of Crimea. The research was guided by the methodical recommendations on the essential oil rose breeding and biochemical methods of analysis essential oil crops. As a result of long-term breeding, we created two varieties of essential oil rose ‘Legrina’ and ‘Zolushka’ that are in full compliance with modern production requirements. Variety ‘Legrina’ is suitable for extracting both essential oil and concrete. In terms of flower yield ( $3.58 \pm 0.69$  t/ha), it exceeds varieties ‘Lada’ and ‘Lany’ by 30.4 and 38.5 %; collection of essential oil ( $0.85 \pm 0.19$  kg/ha) – by 24.7 and 35.3 %; yield of concrete ( $8.11 \pm 2.39$  kg/ha) – by 29.0 and 39.1 %, respectively. Variety ‘Zolushka’ exceeds ‘Lada’ and ‘Lany’ by 36.5 and 43.9 % in flower yield ( $3.92 \pm 0.5$  t/ha); by 33.6 and 43.1 %. The collection of essential oil ( $0.51 \pm 0.07$  kg/ha) is at the level of standard varieties. Because of the bright pink colour of the petals, ‘Zolushka’ is recommended for the production of jams, syrups, liquors, etc. Varieties ‘Legrina’ and ‘Zolushka’ are included in the State Register of Breeding Achievements Allowed for Use by the Russian Federation.

**Keywords:** breeding, essential oil rose, *Rosa L.*, concrete, variety, competitive trial.

Золотилов Виктор Анатольевич, научный сотрудник лаборатории селекции отдела эфиромасличных и лекарственных культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: viktor\_zolotilov@mail.ru.

Невкрытая Наталья Владимировна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией селекции отдела эфиромасличных и лекарственных культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: nevkritaya@mail.ru.

Золотилова Ольга Михайловна, научный сотрудник лаборатории поддержания стабильности и качества сортов ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: olya\_zolotilova@mail.ru.

Скипор Олег Болеславович, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом эфиромасличных и лекарственных культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: oleg\_skipor@mail.ru.

Zolotilov Viktor Anatolievich, researcher of the Laboratory of breeding at the Department of aromatic and medicinal crops, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: viktor\_zolotilov@mail.ru.

Nevkrytaya Natalya Vladimirovna, Cand. Sc. (Biol.), head of the Laboratory of breeding of the Department of aromatic and medicinal crops, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: nevkritaya@mail.ru.

Zolotilova Olga Mikhailovna, researcher of the Laboratory of maintenance stability and high-quality of oil bearing crops’ varieties, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: olya\_zolotilova@mail.ru.

Skipor Oleg Boleslavovich, Cand. Sc. (Agr.), head of the Department of aromatic and medicinal crops, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: oleg\_skipor@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 13.03.2020.*

*Дата принятия к печати – 01.05.2020.*



DOI 10.33952/542-0720-2020-3-23-105-112

УДК 631.82:633.11

Измаилова Д. С.

**ПОВЫШЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА *TRITICUM DURUM* ПУТЕМ ВНЕСЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЯ ВНЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** Цель исследований – изучение взаимного влияния внекорневых подкормок и уровня азотного питания на урожайность и качество зерна *Triticum durum*. Исследования проводили в 2016–2018 гг. в предгорно-степной зоне Крыма на опытном поле Академии биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» по предшественнику чёрный пар в разные по погодным условиям годы, по общепринятой технологии выращивания озимой твердой пшеницы (кроме изучаемых приемов). Предмет исследований – сорт твердой пшеницы Амазонка. ГТК по Селянинову вегетационного периода озимой пшеницы за время проведения опытов составил: в 2016 г. – 1,20; 2017 г. – 1,10; 2018 г. – 0,84. Почвы опытного участка представлены черноземом южным мицеллярно-карбонатным слабогумусированным на четвертичных желто-бурых лессовидных легких глинах. Схема опыта включала следующие варианты: доза азотного удобрения (фактор А, согласно руководству по минеральному питанию для зерновых культур) –  $N_0$  (контроль),  $N_{20+20}$ ,  $N_{40+40}$ ,  $N_{60+60}$ ; внекорневая обработка (опрыскивание) комплексными органоминеральными удобрениями (фактор В) – вода (контроль), «Нутривант+» – 3 кг/га; «Атланте», 1 л/га; «Микрокарт», 1 л/га; «Аминокат», 1 л/га; метеоусловия лет исследований (фактор С). Азотное удобрение (аммиачную селитру) вносили осенью под предпосевную культивацию и ранней весной по мерзлоталой почве в равных дозах по действующему веществу. Установлена высокая зависимость урожайности зерна и его качества – стекловидности, белковости и натурной массы от уровня азотного питания растений озимой твердой пшеницы. Доля действия фактора А (уровень азотного питания) при этом составила 48,6; 90,2; 79,2; и 17,2 % соответственно. В среднем наибольший урожай зерна – 52,30 ц/га отмечен в варианте  $N_{60+60}$ . Установлена высокая эффективность органоминеральных удобрений «Аминокат», «Микрокарт» и «Атланте». Двукратное опрыскивание растений этими удобрениями позволило получить прибавку урожая зерна 10,23–11,47 ц/га с высокими показателями качества зерна (стекловидность – 69,6–71,7 %, белковость – 12,52–13,20 %, натурная масса – 790,8–801,2 г/л).

**Ключевые слова:** озимая твердая пшеница (*Triticum durum*), азотные удобрения, внекорневые подкормки, урожайность, стекловидность, белковость, натурная масса.

**Введение**

По мнению индийских ученых, качество продуктов из твердой пшеницы является не меньшим вызовом для сельского хозяйства, как и проблема увеличения ее урожайности для обеспечения населения продуктами питания, поскольку качество макаронных изделий предопределяет коммерческий спрос [1]. С таким утверждением согласны и итальянские, и эфиопские специалисты, которые считают «национальной целью производство высококачественной продукции *Triticum durum*» [2, 3].

Усилия ученых по повышению урожайности сельскохозяйственных культур, в том числе и пшеницы, предпринятые в последние 50 лет, во многом позволили решить проблему голода в мире [4]. Тем не менее, такие экологические изменения как глобальное потепление, разрушение стратосферного озона, деградация почв, утрата биоразнообразия, уменьшение пресной воды заставляют исследователей всего мира пересматривать существующие технологии возделывания сельскохозяйственных культур и вносить коррективы [3, 4]. Крым в этом отношении – не исключение.

По последним данным, среднегодовая температура воздуха в степной зоне полуострова за последние 30 лет выросла на 1,4 °С при неизменном количестве осадков за тот же период [5]. Поэтому разработка и пересмотр существующих приемов управления производственным процессом озимой твердой пшеницы продолжает оставаться одной из важнейших проблем сельского хозяйства.

Кроме того, для реализации потенциальной продуктивности сортов и повышения качества производимой продукции продолжается поиск технологических приемов, позволяющих влиять на важнейшие показатели жизнедеятельности растений, стимулировать их рост и развитие, а также активизировать защитные реакции зерновых к неблагоприятным абиотическим и биотическим стрессам. За последнее годы опубликовано большое количество научных статей по всему миру, посвященных использованию на озимой пшенице органоминеральных удобрений [6–10].

Применительно к условиям Крыма подобные испытания на озимой мягкой пшенице проводила Ремесло Е. В. [11]. Результаты исследований показали, что использование комплексов органоминеральных удобрений («Аминокат», «Флорон», «Атланте», «Микрокат», «Атланте Плюс», «Келик Калий», «Келик Калий-Кремний») путем опрыскивания растений приводило к увеличению урожайности пшеницы озимой на 0,23–0,33 т/га (4,6–6,6 %) по сравнению с контролем и повышению качества зерна. Подобные исследования с твердой пшеницей не проводили, поэтому, учитывая близкие биологические особенности и общие реакции на условия произрастания этих видов пшеницы, **целью исследований** стало изучение взаимного влияния внекорневых подкормок и уровня азотного питания на урожайность и качество зерна *Triticum durum*.

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

Полевые опыты заложены в предгорно-степной зоне Крыма на опытном поле Академии биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» по предшественнику чёрный пар в разные по погодным условиям годы: в неблагоприятном 2017/18 сельскохозяйственный году и благоприятном 2016/17 г., по общепринятой технологии выращивания озимой твердой пшеницы (кроме изучаемых приемов). Предмет исследований – сорт твердой пшеницы Амазонка. Повторность в опытах – четырехкратная, площадь делянок – 54–72 м<sup>2</sup>, размещение – рендомизированное. Норма высева семян – 5,0 млн шт./га, срок посева – II декада октября. Уборка урожая – механизированная, прямым комбайнированием комбайном «Samro-500». Урожайность пересчитывали на стандартную влажность и чистоту.

Климат зоны, где были проведены исследования, характеризуется как засушливый и очень засушливый, умеренно жаркий, с довольно мягкой зимой с непродолжительными сильными похолоданиями и с непостоянным снежным покровом, с годовой суммой осадков 520 мм. Влагообеспеченность растений здесь является критическим фактором, лимитирующим урожайность культуры. Тем не менее, в таких условиях фермеры получают урожаи зерна озимой пшеницы, зачастую превосходящие таковые в других районах Крыма. ГТК по Селянинову вегетационного периода озимой пшеницы за время проведения опытов составил в 2016 г. – 1,20; 2017 г. – 1,10; 2018 г. – 0,84.

Почвы опытного участка представлены черноземом южным мицеллярно-карбонатным слабогумусированным на четвертичных желто-бурых лессовидных легких глинах. Содержание в пахотном слое нитратного азота определяли колориметрически с дисульфобензоевой кислотой по методу Грандваль-Ляжу (ГОСТ 26488-91); аммиачного азота – колориметрированием с реактивом Несслера (ГОСТ 26489-91); подвижные формы фосфора и калия – по Мачигину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205-91). Содержание гумуса в пахотном слое (по Тюрину) – 2,11 %, азота – 29,5 мг/дм<sup>3</sup>, фосфора – 1,45 мг/дм<sup>3</sup>, калия – 22,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Схема опыта включала следующие варианты: доза азотного удобрения (фактор А) –  $N_0$  (контроль),  $N_{20+20}$ ,  $N_{40+40}$ ,  $N_{60+60}$ , внекорневая обработка комплексными органоминеральными удобрениями (фактор В) – вода (контроль), «Нутривант+», «Атланте», «Микрокат», «Аминокат», метеоусловия лет исследований (фактор С).

Внекорневые обработки растений проводили двукратно путем опрыскивания: первый раз – в фазе выхода в трубку, второй – в фазе начала колошения комплексными органоминеральными удобрениями: «Нутривант+», «Атланте», «Микрокат» и «Аминокат» с помощью ранцевого опрыскивателя, рекомендуемыми дозами препаратов («Нутривант+» – 3 кг/га, «Атланте», «Аминокат» и «Микрокат» – 1 л/га [12]. Расход рабочего раствора устанавливали из расчета 300 л/га. Контролем служил вариант с опрыскиванием водой.

Количество и качество клейковины в зерне озимой твердой пшеницы определяли согласно ГОСТу 13586.1-68, содержание белка в зерне – по ГОСТу 10846-91, натуру зерна – по ГОСТу 10840-64, стекловидность зерен изучаемых образцов – по ГОСТ 10897-76. Исследования проводили в соответствии с методикой Госсортоиспытания [13]. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили дисперсионным методом [14].

### Результаты и их обсуждение

В наших исследованиях минимальный сбор зерна (11,4 ц/га) отмечен в 2018 г. при посеве без удобрений и без применения внекорневой подкормки (таблица 1), а максимальный – 62,9 ц/га, – в благоприятном по влагообеспеченности 2016 г. в варианте с внесением  $N_{60+60}$  и внекорневой обработкой препаратом «Аминокат».

Из контролируемых факторов, влияющих на урожайность, наиболее значимым был уровень азотного питания (фактор А) – доля влияния 48,6 %, а обработка препаратами (фактор В) составила 2,1 %. На долю взаимодействия этих факторов (АВ) приходится 19,7 %. Зависимость урожайности зерна озимой твердой пшеницы от погодных условий года (фактор С) составила 6,6 %. Доля влияния изучаемых агроприемов и условий года (тройное взаимодействие факторов) составила 7,8 %, уровня азотного питания и условий года (АС) – 8,7 %, обработка препаратами и погодные условия (ВС) – 6,5 %.

Таким образом, прямое действие фактора А (подкормка азотными удобрениями) и взаимодействие агротехнических приемов, то есть факторов АВ, имело большую долю влияния, чем условия года, и это влияние, являясь достоверным, оказалось существенным для формирования значительных прибавок между испытываемыми вариантами опыта, что указывает на необходимость проведения внесения азотного удобрения независимо от условий года.

Требования к качеству зерна определяются его основным использованием как сырья для производства муки, которая является исходным материалом для производства макаронных изделий. Один из таких показателей качества – стекловидность зерна, которая в определенной мере влияет на консистенцию (твердость) эндосперма, а она – на выход крупок и дунстов при размоле зерна пшеницы.

В нашем опыте, при исследовании зависимости содержания стекловидности зерна от применяемых агротехнических приемов установлено, что наиболее значимым также был уровень азотного питания (фактор А) – доля его влияния составила 90,2 %; доли факторов В и С были незначительными – всего 2,1 и 3,3 % соответственно, а взаимодействия факторов еще меньше: АВ – 0,2 %, АС – 2,9 %, ВС – 0,1 %, АВС – 0,5 %.

Данные таблицы 2 четко показывают достоверное увеличение содержания стекловидности зерна в зависимости от дозы внесения аммиачной селитры: если в контрольном варианте средняя величина этого показателя составила 56,1 %, то постепенное увеличение дозы удобрений приводило к улучшению качества зерна, а наибольший показатель был зафиксирован в варианте  $N_{60+60}$  – 85,2 %, что на 29,1 % выше контроля.

**Таблица 1 – Влияние азотных удобрений и комплексных органоминеральных удобрений на урожайность озимой твердой пшеницы, ц/га**

Уровень азотного питания (фактор А)	Внекорневая обработка (фактор В)	Год (фактор С)			Среднее по:	
		2016	2017	2018	фактору А	фактору В
N <sub>0</sub>	Контроль	18,7	17,9	11,4	18,48	28,37
	«Нутривант+»	22,8	21,3	15,6		35,85
	«Атланте»	21,7	20,4	14,6		38,65
	«Микрокарт»	21,5	20,1	12,7		38,60
	«Аминокат»	22,9	21,6	14,0		39,85
N <sub>20+20</sub>	Контроль	24,7	23,1	18,2	29,80	
	«Нутривант+»	32,6	30,8	23,0		
	«Атланте»	36,2	34,5	29,2		
	«Микрокарт»	34,3	32,7	23,3		
	«Аминокат»	40,7	35,4	28,3		
N <sub>40+40</sub>	Контроль	32,9	31,5	26,5	44,48	
	«Нутривант+»	48,3	45,8	39,4		
	«Атланте»	52,4	50,6	40,7		
	«Микрокарт»	54,6	52,9	44,3		
	«Аминокат»	53,2	51,9	42,2		
N <sub>60+60</sub>	Контроль	51,8	49,6	34,2	52,30	
	«Нутривант+»	53,6	52,3	44,7		
	«Атланте»	58,1	55,9	49,5		
	«Микрокарт»	62,1	59,7	45,0		
	«Аминокат»	62,9	61,7	43,4		
	Среднее по фактору С	53,73	51,31	40,01		

**Примечание.** НСР<sub>05</sub>: фактор А = 2,52 ц/га; фактор В = 1,61 ц/га; фактор С = 0,80 ц/га; взаимодействие АВ = 4,10 ц/га; взаимодействие АС = 1,69 ц/га; взаимодействие ВС = 2,71 ц/га; взаимодействие АВС = 4,83 ц/га.

**Таблица 2 – Стекловидность зерна озимой твердой пшеницы в зависимости от дозы азотных удобрений и внекорневой подкормки органоминеральными удобрениями, %**

Уровень азотного питания (фактор А)	Внекорневая обработка (фактор В)	Год (фактор С)			Среднее по:	
		2016	2017	2018	фактору А	фактору В
N <sub>0</sub>	Контроль	53,0	61,0	50,0	56,1	69,7
	«Нутривант+»	56,7	61,7	52,3		71,2
	«Атланте»	52,0	60,7	51,3		69,6
	«Микрокарт»	56,7	61,3	52,7		71,5
	«Аминокат»	58,3	60,7	53,7		71,7
N <sub>20+20</sub>	Контроль	65,3	65,7	61,7	64,8	
	«Нутривант+»	67,7	67,0	62,7		
	«Атланте»	66,0	61,3	62,3		
	«Микрокарт»	66,7	66,3	63,0		
	«Аминокат»	64,7	68,3	64,3		
N <sub>40+40</sub>	Контроль	80,0	74,7	74,3	76,9	
	«Нутривант+»	81,3	75,3	75,7		
	«Атланте»	79,3	74,0	74,0		
	«Микрокарт»	80,3	76,3	76,3		
	«Аминокат»	80,7	75,7	75,7		
N <sub>60+60</sub>	Контроль	88,0	80,3	82,3	85,2	
	«Нутривант+»	90,0	82,0	83,0		
	«Атланте»	89,0	82,7	82,7		
	«Микрокарт»	90,3	84,7	84,3		
	«Аминокат»	89,7	86,0	83,3		
	Среднее по фактору С	72,8	71,2	68,2		

**Примечание.** НСР<sub>05</sub>: фактор А = 1,17 %; фактор В = 1,46 %; фактор С = 1,13 %; взаимодействие АВ = 2,97 %; взаимодействие АС = 1,97 %; взаимодействие ВС = 2,54 %; взаимодействие АВС = 1,9 %.

Стекловидность зерна при внесении органоминеральных удобрений достоверно увеличивалась в вариантах с препаратами «Микрокарт» и «Аминокат» на 1,8 и 2,0 % соответственно по сравнению с контролем. Кроме того, значительное влияние на данный качественный признак оказали погодные условия – в более благоприятные по влагообеспеченности годы (ГТК = 1,1–1,2), процент стекловидности был на 3,0–4,6 % выше, чем в неблагоприятном (ГТК = 0,84).

Стекловидность, по мнению Е. В. Николаева, показатель очень неустойчивый и зависящий от содержания белка в зерне [15]. В наших исследованиях наибольшее количество белка зафиксировано в варианте с внесением N<sub>60+60</sub> – 15,56 %, что на 4,8 % выше, чем в контроле, и подтверждает высказывание ученого. Содержание белка в зависимости от применяемых препаратов варьировало в пределах 12,52–13,20 % (контроль – 12,47 %). Доля влияния фактора А в этом случае составила 79,2 %, фактора В – 1,3 %, фактора С – 16,1 %.

Натурная масса – показатель относительно стабильный, но зависящий от множества факторов: влажности, содержания сорной примеси, формы зерен и их выровненности [15]. По натурной массе высоконатурное пшеничное зерно должно быть не менее 785 г/л, средненатурное – 745–785 г/л, низконатурное – ниже 745 г/л.

В наших условиях в годы с недостатком влаги без применения азотных удобрений формируется низконатурное зерно. С повышением дозы азотного удобрения прослеживается четкое повышение и натурной массы. Наибольший этот показатель был отмечен в варианте N<sub>60+60</sub> – 864,2 г/л, что позволяет отнести такое зерно к группе высоконатурного (таблица 3).

**Таблица 3 – Влияние азотных удобрений и комплексных органоминеральных удобрений на натурную массу зерна озимой твердой пшеницы, г/л**

Уровень азотного питания (фактор А)	Внекорневая обработка (фактор В)	Год (фактор С)			Среднее по:	
		2016	2017	2018	фактору А	фактору В
N <sub>0</sub>	Контроль	741,0	758,0	730,5	749,3	767,3
	«Нутривант+»	752,3	763,5	741,0		798,5
	«Атланте»	744,0	758,0	734,8		790,8
	«Микрокарт»	758,0	764,3	742,5		803,4
	«Аминокат»	750,0	765,0	737,3		801,2
N <sub>20+20</sub>	Контроль	759,5	777,3	759,8	768,6	
	«Нутривант+»	766,0	779,0	768,5		
	«Атланте»	760,8	774,0	756,0		
	«Микрокарт»	763,3	785,5	780,8		
	«Аминокат»	758,8	778,3	762,0		
N <sub>40+40</sub>	Контроль	767,5	792,5	573,3	786,7	
	«Нутривант+»	787,5	809,8	809,5		
	«Атланте»	769,8	793,5	828,0		
	«Микрокарт»	782,0	793,5	841,8		
	«Аминокат»	782,5	792,3	878,3		
N <sub>60+60</sub>	Контроль	825,8	802,8	919,8	864,2	
	«Нутривант+»	856,5	814,3	934,0		
	«Атланте»	845,8	812,0	913,0		
	«Микрокарт»	869,8	826,8	933,0		
	«Аминокат»	869,5	815,0	926,0		
	Среднее по фактору С					

**Примечание.** НСР<sub>05</sub>: фактор А=5,8 г/л; фактор В=5,9 г/л; фактор С=7,5 г/л; взаимодействие АВ=10,04 г/л; взаимодействие АС= 12,96 г/л; взаимодействие ВС=18,92 г/л; взаимодействие АВС=28,84 г/л.

Применение внекорневых подкормок в данном случае способствовало увеличению natyры во всех вариантах опыта. Тем не менее, наибольшая доля влияния из всех изучаемых факторов была при их двойном взаимодействии – АС и составила 60,8 %. Доля влияния фактора А – 17,2 %.

#### Выводы

В условиях предгорно-степной зоны Крыма установлена высокая зависимость урожайности зерна озимой твердой пшеницы и его качества – стекловидности, белковости и натурной массы от уровня азотного питания растений озимой твердой пшеницы. Доля действия этого фактора при этом составила 48,6; 90,2; 79,2; и 17,2 % соответственно.

Ежегодно, вне зависимости от ГТК, наибольшая урожайность зерна была отмечена в варианте с дозой внесения азотных удобрений  $N_{60+60}$ , и составила в среднем за три года исследований 52,3 ц/га (прибавка – 33,82 ц/га) со стекловидностью – 85,2 %, белковостью – 15,56 % и натурной массой – 864,2 г/л.

Рекомендовано применение препаратов «Аминокат», «Микрокарт», «Атланте» для некорневой обработки растений, позволяющей получать урожайность зерна в пределах 38,65–39,85 ц/га (что выше контроля на 10,28–11,48 ц/га), с высокими показателями качества зерна (стекловидностью – 69,6–71,7 %, белковостью – 12,52–13,20 %, натурной массой – 790,8–801,2 г/л).

Для повышения качества озимой твердой пшеницы в предгорно-степной зоне Крыма производителям сельскохозяйственной продукции рекомендовано ее возделывание с дозой внесения азотного удобрения  $N_{60+60}$  с применением комплексных органоминеральных удобрений «Аминокат», «Микрокарт», «Атланте» в виде двукратного опрыскивания растений: первый раз – в фазе выхода в трубку, второй раз – в фазе начала колошения в дозах: «Нутривант+» – 3 кг/га, «Атланте», «Аминокат» и «Микрокат» – 1 л/га.

#### Литература

1. Sharma A., Garg S., Sheikh I., Vyas P., Dhaliwal H. S. Effect of wheat grain protein composition on end-use quality // Journal of Food Science and Technology. 2020. Vol. 57. P. 2771–2785. DOI: 10.1007/s13197-019-04222-6.
2. Alemu A., Feyissa T., Letta T., Abeyo B. Genetic diversity and population structure analysis based on the high density SNP markers in Ethiopian durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) // BMC GENETICS. 2020. Vol. 21. Iss. 1. DOI: 10.1186/s12863-020-0825-x.
3. Acquistucci R., Melini V., Galli V. Durum wheat grain and pasta from locally-grown crops: a case-study on Saragolla (*Triticum turgidum* ssp. turanicum) and Senatore Cappelli (*Triticum turgidum* ssp. durum) wheats // Emirates Journal of Food and Agriculture. 2020. Vol. 32. Iss. 1. P. 47–54. DOI: 10.9755/ejfa.2020.v32.i1.2058.
4. Willett W., Rockström B., Loken M., Springmann T., Lang S., Vermeulen S., Garnett T., Tilman D., De Clerck F., Wood A., Jonell M., Clark M. J., Gordon L., Fanzo J., Hawkes C., Zurayk R., Rivera J. A., Vries W. De, Sibanda L. M., Afshin A., Chaudhary A., Herrero M., Agustina R., Branca F., Lartey A., Fan S., Crona B., Fox E., Bignet V., Troell M., Lindahl T., Singh S., Cornell S. E., Reddy K., Narain S., Nishtar S., Murray C. J. L. Food in Anthropocene: the EAT Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems // The Lancet. 2019. Vol. 393. P. 447–492.
5. Турина Е. Л. Значение сафлора красильного (*Carthamus tinctorius* L.) и обоснование актуальности с ним в Центральной степи Крыма (Обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2020. №1 (21). С. 100–121. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-100-121.
6. Grohskopf M. A., Correa J. C., Fernandes D. M., Teixeira P. C., Cruz C. V., Mota S. C. A. Interaction between Phosphorus and Nitrogen in Organomineral Fertilizer // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2019. Vol. 50. Iss. 21. P.2742–2755. DOI: 10.1080/00103624.2019.1678632.
7. Sakurada L. R., Muniz A. S., Sato F., Inoue T. T., Neto A. M., Batista M. A. Chemical, thermal, and spectroscopic analysis of organomineral fertilizer residue recovered from an oxisol // Soil Science Society of America Journal. 2019. Vol. 83. Iss. 2. P. 409–418. DOI: 10.2136/sssaj2018.08.0294.
8. Семенюк О. В. Влияние комплексных органоминеральных удобрений на засухоустойчивость и урожайность озимой пшеницы // Известия Горского государственного аграрного университета. 2019. Т. 56. № 3. С. 24–31.

9. Хатамов С. Р. Эффективность применения минеральных удобрений и органоминерального компоста под озимую пшеницу // Масличные культуры. 2019. Вып. 1 (177). С. 77–81. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-1-177-77-81.
10. Correa J. C., Rodio L. G., Rigo A. Z., Grohskopf M. A., Rebellatto A., Mafra A. L. Carbon fractions and stock in response to solid and fluid organomineral fertilizers in highly fertile soils // Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 2019. Vol. 54. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00266.
11. Ремесло Е. В. Влияние органоминеральных удобрений на продуктивность и качество зерна озимой пшеницы в условиях Степного Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 2 (18). С. 86–92. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-2-18-86-92.
12. Поздеев А. В., Ткаченко Ю. А. Руководство по минеральному питанию для зерновых культур. «Группа Компаний АгроПлюс». Краснодар: Печатный Дом, 2011. 132 с.
13. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1 // Под ред. М. А. Федина. М.: Колос, 1985. 270 с.
14. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.
15. Николаев Е. В. Научные и практические основы повышения качества продукции растениеводства. Симферополь: СОНАТ, 2016. 164 с.

### References

1. Sharma A., Garg S., Sheikh I., Vyas P., Dhaliwal H. S. Effect of wheat grain protein composition on end-use quality // Journal of Food Science and Technology. 2020. Vol. 57. P. 2771–2785. DOI: 10.1007/s13197-019-04222-6.
2. Alemu A., Feyissa T., Letta T., Abeyo B. Genetic diversity and population structure analysis based on the high density SNP markers in Ethiopian durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) // BMC GENETICS. 2020. Vol. 21. Iss. 1. DOI: 10.1186/s12863-020-0825-x.
3. Acquistucci R., Melini V., Galli V. Durum wheat grain and pasta from locally-grown crops: a case-study on Saragolla (*Triticum turgidum* ssp. turanicum) and Senatore Cappelli (*Triticum turgidum* ssp. durum) wheats // Emirates Journal of Food and Agriculture. 2020. Vol. 32. Iss. 1. P. 47–54. DOI: 10.9755/ejfa.2020.v32.i1.2058.
4. Willett W., Rockström B., Loken M., Springmann T., Lang, S., Vermeulen, Garnett T., Tilman D., DeClerck F., Wood A., Jonell M., Clark M., J. Gordon L., Fanzo J., Hawkes C., Zurayk R., Rivera J. A., Vries W. De, Sibanda L. M., Afshin A., Chaudhary A., Herrero M., Agustina R., Branca F., Lartey A., Fan S., Crona B., Fox E., Bignet V., Troell M., Lindahl T., Singh S., Cornell S. E., Reddy K., Narain S., Nishtar S., Murray C.J.L. Food in the Anthropocene: the EAT Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems // The Lancet. 2019. Vol. 393. P. 447–492.
5. Turina E. L. *Carthamus tinctorius* L. value and the relevance of the research with this crop in the central steppe of the Crimea (review) // Taurida Herald of the Agrarian Science. 2020. No. 1 (21). P. 100–121. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-100-121.
6. Grohskopf M. A., Correa J. C., Fernandes D. M., Teixeira P. C., Cruz C. V., Mota S. C. A. Interaction between phosphorus and nitrogen in organomineral fertilizer // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2019. Vol. 50. Iss. 21. P. 2742–2755. DOI: 10.1080/00103624.2019.1678632.
7. Sakurada L. R., Muniz A. S., Sato F., Inoue T. T., Neto A. M., Batista M. A. Chemical, thermal, and spectroscopic analysis of organomineral fertilizer residue recovered from an oxisol // Soil Science Society of America Journal. 2019. Vol. 83. Iss. 2. P. 409–418. DOI: 10.2136/sssaj2018.08.0294.
8. Semenyuk O. V. Effect of modern complex organo-mineral fertilizers on drought resistance and productivity of winter wheat // Proceedings of Gorsky State Agrarian University. 2019. Vol. 56. No. 3. P. 24–31.
9. Khatamov S. R. Efficiency of application of mineral fertilizers and organic-mineral compost under winter wheat // Oil Crops. 2019. No. 1 (177). P. 77–81. DOI: 10.25230 / 2412-608X-2019-1-177-77-81.
10. Correa J. C., Rodio L. G., Rigo A. Z., Grohskopf M. A., Rebellatto A., Mafra A. L. Carbon fractions and stock in response to solid and fluid organomineral fertilizers in highly fertile soils // Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 2019. Vol. 54. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00266.
11. Remeslo E. V. Influence of organic mineral fertilizers on the productivity and quality of winter wheat grain under conditions of the steppe Crimea // Taurida Herald of the Agrarian Science. 2019. No. 2 (18). P. 86–92. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-2-18-86-92.
12. Pozdеев А. В., Ткаченко У. А. Guide to mineral nutrition for cereals. Group of companies “AgroPlus”. Krasnodar: Pechatniy Dom, 2011. 132 p.
13. Methods of state variety testing of agricultural crops. Issue 1 // Ed. by M. A. Fedin. Moscow: Kolos, 1985. 270 p.
14. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 352 p.
15. Nikolaev E. V. Scientific and practical bases of improving the quality of crop production. Simferopol: Sonat, 2016. 164 p.

UDC 631.82:633.11

Izmailova D. S.

**INCREASING YIELD AND QUALITY OF *TRITICUM DURUM* GRAIN BY APPLYING NITROGEN FERTILIZERS AND FOLIAR DRESSING**

**Summary.** *The aim of the research was to study the effect of nitrogen fertilizer application and foliar dressing on yield and quality of Triticum durum. The studies were carried out in 2016–2018 in the foothill-steppe zone of the Crimea on an experimental field of the Academy of Bioresources and Environmental Management (Academic Unit) of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Black fallow served as a preceding crop. Weather conditions during the years of research varied greatly. The technology of growing winter durum wheat (except for the studied methods) – generally accepted for the region. The object of the research – durum wheat variety ‘Amazonka’. Selyaninov Hydrothermal Coefficient (HTC) in 2016 was 1.20; in 2017 – 1.10; in 2018 – 0,84. Soil – chernozems southern mycelial-calcareous slightly humic. The experimental design included the following options: doze of nitrogen fertilizer (Factor A, according to Guide to mineral nutrition for cereals) –  $N_0$  (control),  $N_{20+20}$ ,  $N_{40+40}$ ,  $N_{60+60}$ ; foliar dressing (spraying) with complex organomineral fertilizers (Factor B) – water (control), “Nutrivant +” – 3 kg/ha; “Atlante”, 1 l/ha; “Microcart”, 1 l/ha; “Aminokat”, 1 l/ha; weather conditions (Factor C). Nitrogen fertilizer (AN) was applied in autumn together with pre-sowing cultivation and early in spring broadcasting it on the soil that was freezing and melting at the same time in equal doses. High dependence of the level of nitrogen nutrition of durum winter wheat on the grain yield and its quality (vitreousness, protein content and hectolitre weight) was established. The share of the action of Factor A (the level of nitrogen nutrition) was 48.6; 90.2; 79.2; 17.2%, respectively. On average, the highest grain yield (52.30 cwt/ha) was in the variant  $N_{60+60}$ . We found that organic mineral fertilizers “Aminokat”, “Microcart” and “Atlante” were highly efficient. Double spraying with these fertilizers made it possible to obtain an increase in grain yield at the level of 10.23–11.47 cwt/ha with high indicators of grain quality (vitreousness – 69.6–71.7 %, protein content – 12.52–13.20 %, hectolitre weight – 790.8–801.2 g/l).*

**Keywords:** *Triticum durum, nitrogen fertilizer, foliar dressing, yield, vitreousness, protein content, hectoliter weight.*

Измаилова Диляра Сейтвелиевна, младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства овощных и бахчевых культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: izmailova.dilyara@bk.ru.

Izmailova Dilyara Seytvelievna, junior researcher of the Department of vegetable and melon crops selection and seed breeding, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150 Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, Russia, 295493; e-mail: izmailova.dilyara@bk.ru.

*Дата поступления в редакцию – 20.01.2020.*

*Дата принятия к печати – 01.03.2020.*



DOI 10.33952/2542-0720-2020-3-23-113-121

УДК 631.314.3

Камбулов С. И., Пархоменко Г. Г., Семенихина Ю. А., Божко И. В.  
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬЧИРУЮЩИХ КАТКОВ В КОНСТРУКЦИИ  
КОМБИНИРОВАННЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ**

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»

**Реферат.** В современных условиях существует необходимость принимать меры для предотвращения или уменьшения эрозии почвы, чтобы сохранить её продуктивность. Мерой снижения риска эрозии почвы является создание мульчирующего слоя на поверхности поля из растительных остатков. Цель исследования – разработать аналитически обоснованную конструкцию мульчирующего катка комбинированного почвообрабатывающего агрегата. Исследования проведены в отделе механизации растениеводства Аграрного научного центра «Донской» в 2017–2020 гг. Предмет исследования: взаимосвязь параметров и режимов функционирования мульчирующего катка с реологическими свойствами почвы (релаксация напряжений пласта). Проведено монографическое обследование известных конструкций, анализ их функционирования в полевых условиях и теоретическое исследование мульчирующих катков для комбинированных почвообрабатывающих агрегатов. Методика исследования заключалась в комплексном изучении сложной системы «почва – рабочий орган» как единого целого в процессе реального функционирования и развития. Установлено, что мульчирование способствует повышению запасов продуктивной влаги в почве. Использование мульчирующих катков в конструкции комбинированных агрегатов способствует уменьшению испарения, лучшему использованию осадков и сохранению влаги внутри пласта. При этом почва защищена от выдувания, что повышает устойчивость к ветровой эрозии. Получены зависимости, характеризующие взаимосвязь параметров и режимов работы мульчирующего катка со свойствами почвы. Разработана оригинальная конструкция и определены рациональные значения: радиуса – от 200 до 220 мм, угла установки режущих элементов – от 75 до 85 градусов и расстояния между ними в продольном направлении от 90 до 95 мм при глубине обработки почвы от 60 до 80 мм и скорости движения комбинированного агрегата от 2,0 до 2,5 м/с.

**Ключевые слова:** эрозия почвы, параметры и режимы работы, мульчирующий каток, рабочие органы, силовой анализ.

**Введение**

Известно, что из всех энергозатрат на возделывание культуры на обработку почвы расходуется 30–40 %. При этом техногенное и антропогенное воздействие являются основной причиной ускоренной эрозии почвы [1, 2]. Ускоренная эрозия почвы в основном обусловлена изменениями в землепользовании и значительно превышает темпы производства во многих сельскохозяйственных регионах [3, 4]. Современная парадигма природопользования (Sustainable Agriculture) в рамках принятых ООН целей устойчивого развития (Sustainable Development Goals) предусматривает удовлетворение потребностей человека без вреда для будущих поколений. Нерациональные способы обработки почвы приводят к деградации и потере плодородия. Необходимо принимать меры для предотвращения или уменьшения эрозии почвы, чтобы сохранить её продуктивность [5]. В подверженных эрозии регионах Европейского союза потери почвы составляют 2,46 т/га в год, что приводит к общему объёму 970 млн т в год [6]. На европейском уровне предприняты

усилия для содействия более экологически безопасной обработке почвы [7]. Исследователи разрабатывают методы сохранения почвы в регионах, подверженных эрозии. Так, разработанные модели для определения аэродинамических свойств эродированных частиц по альбедо позволяют проводить оценку ветровой эрозии почвы [8], поскольку сведения о роли пылевидных частиц в биогеохимическом круговороте очень ограничены, и нет количественной информации о ветровых потоках [9]. Мерой снижения риска эрозии почвы является создание мульчирующего слоя на поверхности поля из растительных остатков, что способствует повышению запасов продуктивной влаги в почве. Исследования показали, что свойства почвы под слоем мульчи улучшаются за счёт сокращения испарения, лучшего использования осадков, конденсации и сохранения влаги [10]. При этом почва защищена от выдувания, что повышает устойчивость к ветровой эрозии.

Для мульчирования поверхности почвы используют катки и ротационные бороны. У прутковых катков, оснащённых зубьями или шпорами, металлические полосы образуют поверхность катка, и могут быть установлены параллельно оси или под углом. К мульчирующим каткам с высоким качеством крошения относятся кембриджские катки, состоящие из гладкого плоского кольца с режущими гранями и свободно посаженного на его ступицу зубчатого диска, диаметр которого несколько превышает плоское кольцо. Высокое качество крошения характерно также для кроскильских катков, состоящих из зубчатых дисков с боковыми клиновидными выступами. Для мульчирования поверхности почвы пригодны также ротационные бороны, состоящие из гладких, вырезных, игольчатых дисков или звёзд с плоскими или коническими шипами (нотценовская борона). При создании мульчирующего слоя производят выравнивание поверхности почвы с помощью шлейф-волокуши с поставленной на ребро стальной ножевидной полосой, зубьями и иглами. Волокуша движется под углом к направлению гребней, при этом ножевидная стальная полоса срезает выступы гребней, зубья и иглы обеспечивают дополнительное крошение верхнего слоя и смещают почву в борозды. На поверхности образуется рыхлый мульчирующий слой, снижающий испарение почвенной влаги.

Комбинированный агрегат [11] содержит в конструкции каток с плоскими вырезными дисками и прутковый выравниватель поверхности почвы. Выравниватель [12] устраняет неровности поверхности почвы режущими ножами, формируя мульчирующий слой толщиной 4–6 см. Каток с укрепленными по его рабочей поверхности штифтовыми элементами создаёт качественно разрыхленный слой с замульчированной поверхностью [13].

**Цель исследований** – разработать аналитически обоснованную конструкцию мульчирующего катка комбинированного почвообрабатывающего агрегата.

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

Исследования проведены в отделе механизации растениеводства ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»» в 2017–2020 гг. Объект исследования: технологический процесс мульчирования поверхностного слоя почвы рабочими органами катка. Предмет исследования: взаимосвязь параметров и режимов функционирования мульчирующего катка с реологическими свойствами почвы (релаксация напряжений пласта). По Мору установлена взаимосвязь между величинами напряжений при функционировании мульчирующего катка с учётом угла внутреннего трения почвы. Проанализирован силовой процесс взаимодействия мульчирующего катка с почвой. Проведено монографическое обследование известных конструкций, анализ их функционирования в полевых условиях и теоретические исследования мульчирующих катков для комбинированных

почвообрабатывающих агрегатов. Исследования заключались в комплексном изучении сложной системы «почва – рабочий орган» как единого целого в процессе реального функционирования и развития [2].

### Результаты и их обсуждение

Под действием веса мульчирующего катка его рабочие органы (зубья, иглы, лопасти, ножи, шпоры, клиновидные выступы и прочие режущие элементы) проникают в массив почвы на глубину  $a$ .

Под действием тягового усилия трактора, агрегирующего почвообрабатывающий комбинированный агрегат, возникает противодействие в виде тягового сопротивления мульчирующего катка  $P_T$ , в результате которого он проворачивается вокруг точки  $D$ , вследствие чего возникают силы трения [14]  $F_1$  и  $F_2$ , приводящие к отрыву фрагмента пласта от массива. Фрагмент пласта с поперечным сечением в виде трапеции  $ABCD$  вырывается по линиям наименьшего сопротивления. При этом в результате реакции на процесс отрыва фрагмента пласта возникают нормальные силы  $N_1, N_2$  (рисунок 1).

Внутри фрагмента пласта возникают нормальные и касательные напряжения. При отрыве возникают деформации растяжения, под действием которых фрагмент пласта подвергается дополнительному крошению на более мелкие фракции.

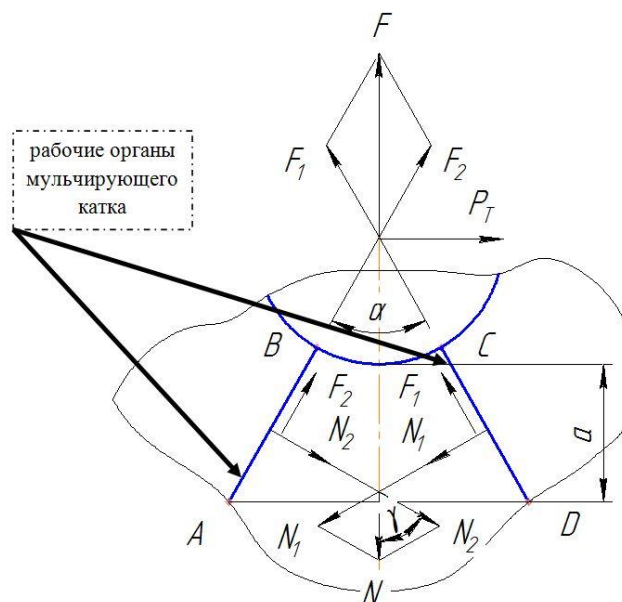


Рисунок 1 – Схема сил, действующих на рабочий орган мульчирующего катка

При сжатии уменьшается порозность и разрушаются не только связи между частицами почвы, но и структурные агрономически ценные агрегаты, результатом чего является неудовлетворительное качество крошения (большое количество пылевидных частиц в сочетании с крупными комками) [15, 16].

При растяжении происходит уменьшение касательных напряжений.

Поэтому конструкция предлагаемого мульчирующего катка предусматривает наличие рабочих органов, осуществляющих отрыв фрагмента пласта под действием деформаций растяжения по линиям наименьших связей. При этом крошение почвы мульчирующим катком осуществляется без дополнительных затрат энергии.

Отрыв фрагмента пласта рабочими органами мульчирующего катка под действием деформаций растяжения по линиям наименьших связей осуществляется при условии:

$$N < F \quad (1)$$

$$\frac{\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi} \leq \cos \alpha + \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2)$$

$$\alpha < 2\varphi \quad (3)$$

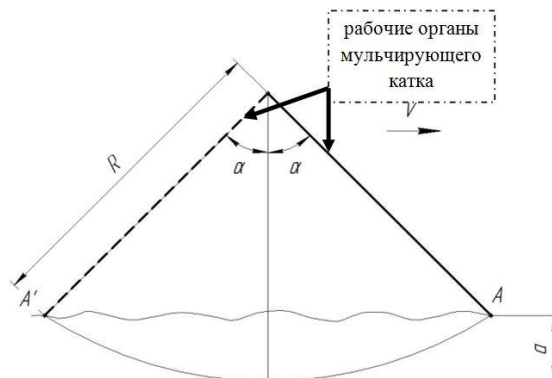
Из анализа выражения (3) следует, что отрыв фрагмента пласта рабочими органами мульчирующего катка под действием деформаций растяжения по линиям наименьших связей при наименьших затратах энергии осуществляется при соответствующем выборе параметров рабочих органов (угла установки режущих элементов  $\alpha$ ) в зависимости от физико-механических свойств почвы (угла внешнего трения почвы о металл  $\varphi$ ).

Мульчирующий каток представляет собой ротор, поэтому затраты энергии на обработку почвы пропорциональны траектории взаимодействия рабочих органов с почвой в продольном направлении образующейся при его вращении дуге, то есть длине дуги отрыва, определяемой параметрами (радиус) и режимами функционирования (глубина).

Траектория взаимодействия рабочих органов мульчирующего катка с почвой в продольном направлении представляет собой часть окружности с длиной дуги в  $2\alpha$  (рисунок 2):

$$\cup AA' = \pi \cdot R \cdot \frac{2\alpha}{180} = \pi \cdot R \cdot \frac{\alpha}{90} \quad (4)$$

Угол  $2\alpha$  определяет зону локального взаимодействия рабочих органов мульчирующего катка с почвой,  $a$  – глубина обработки почвы,  $R$  – радиус мульчирующего катка.



**Рисунок 2 – Схема взаимодействия рабочих органов мульчирующего катка с почвой**

Из анализа схемы взаимодействия рабочих органов мульчирующего катка с почвой (см. рисунок 2) следует:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{R-a}{R}\right) \quad (5)$$

Определим длину дуги отрыва фрагмента пласта рабочими органами мульчирующего катка:

$$\cup AA' = \frac{\pi}{90} \cdot R \cdot \arccos\left(\frac{R-a}{R}\right) \quad (6)$$

Из анализа полученного выражения следует, что с увеличением глубины и радиуса мульчирующего катка длина отрыва фрагмента пласта рабочими органами увеличивается, следовательно, возрастают затраты энергии на обработку почвы.

Качество крошения мульчирующего катка определяется длительностью взаимодействия контакта рабочих органов с почвой. Рабочие органы взаимодействуют с почвой от точки  $A$  на схеме (см. рисунок 2) до точки  $A'$ . При этом мульчирующий каток проворачивается на угол  $2\alpha$ . Таким образом, длительность взаимодействия рабочих органов мульчирующего катка с почвой:

$$t = \frac{\pi}{90 \cdot V} \cdot R \cdot \arccos\left(\frac{R-a}{R}\right), \quad (7)$$

где  $V$  – скорость движения комбинированного агрегата, м/с.

Анализируя полученное соотношение (7), следует отметить, что увеличение скорости движения комбинированного агрегата приводит к уменьшению длительности взаимодействия рабочих органов мульчирующего катка с почвой.

С увеличением скорости комбинированного агрегата изменяется характер взаимодействия рабочих органов мульчирующего катка с почвой, трансформируясь в колебательный, с высокой частотой и вибрационный ударного действия. В этом случае длительность взаимодействия рабочих органов мульчирующего катка с почвой может стать меньше некоторого предела, определяемого длительностью релаксации напряжений. В период релаксации почва под действием потенциальной энергии деформаций восстанавливает равновесное состояние выравниванием напряжений. Длительность релаксации напряжений определяется соотношением упругих (модуль Юнга  $E$ ) и вязких (коэффициент вязкости  $\mu$ ) свойств почвы.

Таким образом, должно соблюдаться условие:

$$t \geq T \quad (8)$$

В противном случае обработанный фон характеризуется повышенной гребнистостью, для выравнивания которого потребуются дополнительные затраты энергии.

$$\frac{\pi}{90 \cdot V} \cdot R \cdot \arccos\left(\frac{R-a}{R}\right) \geq \frac{\mu}{E} \quad (9)$$

Выражение (9) раскрывает взаимосвязь параметров и режимов функционирования мульчирующего катка с реологическими свойствами почвы (релаксация напряжений пласта).

В продольном направлении (вдоль оси катка) отрыв фрагмента пласта рабочими органами мульчирующего катка наблюдается по линиям наименьших связей, под углом естественного скола почвы  $C$  (рисунок 3).

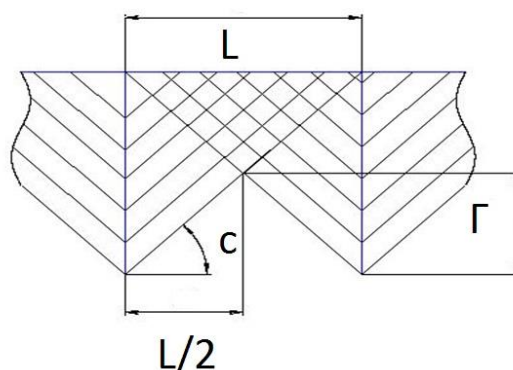


Рисунок 3 – Формирование гребнистого слоя рабочими органами мульчирующего катка

Для предотвращения сохранения атмосферной влаги на поверхности почвы и улучшения условий её проникновения вглубь пласта мульчирующий каток должен

формировать некоторый гребнистый слой, допускаемый агротехническими требованиями. На основании рисунка 3 следует вывод, что, получаемый в результате обработки почвы мульчирующим катком гребнистый слой (гребнистость  $\Gamma$ ) зависит непосредственно от расстояния между рабочими органами в продольном направлении  $L$ .

$$L = \frac{2\Gamma}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (10)$$

На основании проведённых аналитических исследований в АНЦ «Донской» разработана конструкция комбинированного почвообрабатывающего агрегата, содержащего мульчирующий каток (рисунок 4).

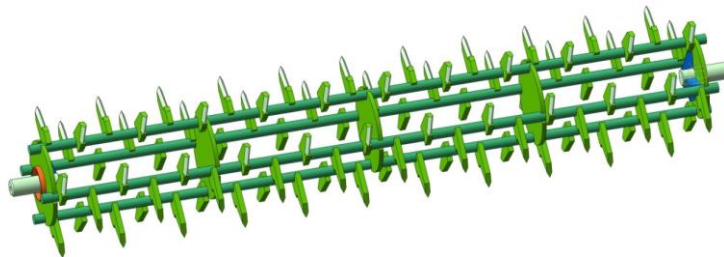


Рисунок 4 – Мульчирующий каток (разработчик – АНЦ «Донской»)

Прутки катка уменьшают вспушенность взрыхленного слоя, а приваренные к ним зубья образуют влаговпитывающий гребнистый слой на поверхности поля, при этом снижается интенсивность испарения за счёт пресечения преференциальных потоков влаги из пласта, созданного поверхностью поля с меньшей проницаемостью.

В результате расчёта по предложенным зависимостям определены следующие параметры и режимы работы мульчирующего катка: радиус  $R = 200–220 \text{ мм}$ ; угол установки режущих элементов –  $2\alpha = 75–85^\circ$ ; расстояние между ними в продольном направлении  $L = 90–95 \text{ мм}$ ; глубина обработки почвы  $a = 60–80 \text{ мм}$ ; скорость движения комбинированного агрегата  $V = 2,0–2,5 \text{ м/с}$ .

Результаты исследований комбинированного агрегата свидетельствуют о качественном выполнении технологического процесса.

#### Выводы

Получены зависимости, характеризующие взаимосвязь параметров и режимов работы мульчирующего катка со свойствами почвы, разработана оригинальная конструкция и определены рациональные значения: радиуса – 200–220 мм, угла установки режущих элементов – 75–85° и расстояния между ними в продольном направлении 90–95 мм при глубине обработки почвы 60–80 мм и скорости движения комбинированного агрегата 2,0–2,5 м/с.

#### Литература

1. Borrelli P., Robinson D. A., Fleischer L. R., Lugato E., Ballabio C., Alewell C., Meusburger K., Modugno S., Schütt B., Ferro V., Bagarello V., Oost K. V., Montanarella L., Panagos P. An assessment of the global impact of 21<sup>st</sup> century land use change on soil erosion // Nature Communications. 2017. Vol. 8. Art. No. 2013. DOI: 10.1038/s41467-017-02142-7.
2. Пархоменко Г. Г., Пархоменко С. Г. Экологически безопасная эксплуатация технических средств в условиях физической деградации почвы // Технический сервис машин. 2019. № 2 (135). С. 40–46.
3. Amundson R., Berhe A. A., Hopmans J. W., Olson C., Sztein A. E., Sparks D. L. Soil and human security in the 21st century // Science. 2015. Vol. 348. Iss. 6235. Art. No. 1261071. DOI: 10.1126/science.1261071.

4. Boardman J. Soil erosion science: reflections on the limitations of current approaches // *Catena*. 2006. Vol. 68. Iss. 2–3. P. 73–86. DOI: 10.1016/j.catena.2006.03.007.
5. Lugato E., Paustian K., Panagos P., Jones A., Borrelli P. Quantifying the erosion effect on current carbon budget of European agricultural soils at high spatial resolution // *Global Change Biology*. 2016. Vol. 22. Iss. 5. P. 1976–1984. DOI: 10.1111/gcb.13198.
6. Panagos P., Borrelli P., Poesen J., Ballabio C., Lugato E., Meusburger K., Montanarella L., Alewel C. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe // *Environmental Science & Policy*. 2015. Vol. 54. P. 438–447. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.08.012.
7. Borrelli P., Paustian K., Panagos P., Jones A., Schütt B., Lugato E. Effect of good agricultural and environmental conditions on erosion and soil organic carbon balance: a national case study // *Land Use Policy*. 2016. Vol. 50. P. 408–421. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.09.033.
8. Chappell A., Webb N. P. Using albedo to reform wind erosion modelling, mapping and monitoring // *Aeolian Research*. 2016. Vol. 23. P. 63–78. DOI: 10.1016/j.aeolia.2016.09.006.
9. Katra I., Gross A., Swet N., Tanner S., Krasnov H., Angert A. Substantial dust loss of bio available phosphorus from agricultural soils // *Scientific Reports*. 2016. Vol. 6. Art. No. 24736. DOI: 10.1038/srep24736.
10. Panagos P., Borrelli P., Meusburger K., Alewell C., Lugato E., Montanarella L. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale // *Land Use Policy*. 2015. Vol. 48. P. 38–50. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.05.021.
11. Василенко В. В., Василенко С. В., Борзило В. С. Зона рыхления почвы культиваторной лапой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. № 12 (4). С. 48–52. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-48-52.
12. Абдулхаев Х. Г., Халилов М. М. Обоснование параметров ножей выравнивателя-рыхлителя // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. № 13 (3). С. 44–47. DOI: 10.22314/2073-7599-201913-3-44-47.
13. Савельев Ю. А., Кухарев О. Н., Ларюшин Н. П., Ишкин П. А., Добрынин Ю. М. Снижение потерь почвенной влаги на испарение // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. № 12 (1). С. 42–47. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-1-42-47.
14. Chen C., Zhang L. M., Chang D. S. Stress-strain behavior of granular soils subjected to internal erosion // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2016. Vol. 142. Iss. 12. Art. No. 0001561. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001561.
15. Chen L., Zhao J., Zhang H., Lei W. Experimental study on suffusion of gravelly soil // *Soil mechanics and foundation engineering*. 2015. Vol. 52. P. 135–143. DOI: 10.1007/s11204-015-9319-7.
16. Chen L., He J. J., Yao B. B., Lei C. W., Zhang Z. Influence of the initial relative density on the drained strength properties of soils subjected to internal erosion // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2019. Vol. 56. P. 273–279. DOI: 10.1007/s11204-019-09602-w.

## References

1. Borrelli P., Robinson D. A., Fleischer L. R., Lugato E., Ballabio C., Alewell C., Meusburger K., Modugno S., Schütt B., Ferro V., Bagarello V., Oost K. V., Montanarella L., Panagos P. An assessment of the global impact of 21<sup>st</sup> century land use change on soil erosion // *Nature Communications*. 2017. Vol. 8. Art. No. 2013. DOI: 10.1038/s41467-017-02142-7.
2. Parkhomenko G. G., Parkhomenko S. G. Ecologically safe operation of technical facilities in conditions of physical degradation of soil // *Machinery Technical Service*. 2019. No. 2 (135). P. 40–46.
3. Amundson R., Berhe A. A., Hopmans J. W., Olson C., Sztein A. E., Sparks D. L. Soil and human security in the 21<sup>st</sup> century // *Science*. 2015. Vol. 348. Iss. 6235. Art. No. 1261071. DOI: 10.1126/science.1261071.
4. Boardman J. Soil erosion science: reflections on the limitations of current approaches // *Catena*. 2006. Vol. 68. Iss. 2–3. P. 73–86. DOI: 10.1016/j.catena.2006.03.007.
5. Lugato E., Paustian K., Panagos P., Jones A., Borrelli P. Quantifying the erosion effect on current carbon budget of European agricultural soils at high spatial resolution // *Global Change Biology*. 2016. Vol. 22. Iss. 5. P. 1976–1984. DOI: 10.1111/gcb.13198.
6. Panagos P., Borrelli P., Poesen J., Ballabio C., Lugato E., Meusburger K., Montanarella L., Alewel C. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe // *Environmental Science & Policy*. 2015. Vol. 54. P. 438–447. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.08.012.
7. Borrelli P., Paustian K., Panagos P., Jones A., Schütt B., Lugato E. Effect of good agricultural and environmental conditions on erosion and soil organic carbon balance: a national case study // *Land Use Policy*. 2016. Vol. 50. P. 408–421. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.09.033.
8. Chappell A., Webb N. P. Using albedo to reform wind erosion modelling, mapping and monitoring // *Aeolian Research*. 2016. Vol. 23. P. 63–78. DOI: 10.1016/j.aeolia.2016.09.006.
9. Katra I., Gross A., Swet N., Tanner S., Krasnov H., Angert A. Substantial dust loss of bio

available phosphorus from agricultural soils // Scientific Reports. 2016. Vol. 6. Art. No. 24736. DOI: 10.1038/srep24736.

10. Panagos P., Borrelli P., Meusburger K., Alewell C., Lugato E., Montanarella L. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale // Land Use Policy. 2015. Vol. 48. P. 38–50. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.05.021.

11. Vasilenko V. V., Vasilenko S. V., Borzilo V. S. Zone of soil loosening with cultivator sweeps // Agricultural Machinery and Technologies (Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii). 2018. No. 12 (4). P. 48–52. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-48-52.

12. Abdulkhaev H. G., Halilov M. M. Determining the parameters of leveler-ripper shanks // Agricultural Machinery and Technologies (Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii). 2019. No. 13 (3). P. 44–47. DOI: 10.22314/2073-7599-201913-3-44-47.

13. Savelyev Yu. A., Kukharev O. N., Laryushin N. P., Ishkin P. A., Dobrynin Yu. M. Soil moisture loss reduction owing to evaporation // Agricultural Machinery and Technologies (Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii). 2018. No. 12 (1). P. 42–47. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-1-42-47.

14. Chen C., Zhang L. M., Chang D. S. Stress-strain behavior of granular soils subjected to internal erosion // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2016. Vol. 142. Iss. 12. Art. No. 0001561. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001561.

15. Chen L., Zhao J., Zhang H., Lei W. Experimental study on suffusion of gravelly soil // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2015. Vol. 52. P. 135–143. DOI: 10.1007/s11204-015-9319-7.

16. Chen L., He J. J., Yao B. B., Lei C. W., Zhang Z. Influence of the initial relative density on the drained strength properties of soils subjected to internal erosion // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2019. Vol. 56. P. 273–279 (2019). DOI: 10.1007/s11204-019-09602-w.

UDC 631.314.3

Kambulov S. I., Parkhomenko G. G., Semenikhina Yu. A., Bozhko I. V.

#### USE OF MULCHING ROLLERS DESIGNED FOR A COMBINED TILLAGE UNIT

**Summary.** *In modern conditions, there is a need to take measures to prevent or reduce soil erosion, as well as to preserve its productivity. One of the measures to reduce the risk of erosion is to create a mulch layer on the field surface using crop residues. The purpose of the study was to develop an analytically substantiated design of a mulching roller of a combined tillage machine. The research was carried out in the Department of mechanization of crop production of the Agricultural Research Center “Donskoy” in 2017–2020. The subject of the research – the relationship between the parameters and operation modes of the mulching roller and the rheological properties of soil (stress relaxation of the soil layer). We conducted monographic survey of the known structures, the analysis of their functioning in the field, and the theoretical studies of the mulching rollers for combined tillage machines. The research methodology included a comprehensive study of the complex system “soil – working body” as a whole during the real-time operation and development. It has been found that mulching increases the reserves of productive moisture in the soil. The use of mulching roller in the form of combined units helps to reduce evaporation, contributes to better use of precipitation and conservation of moisture within the soil layer. In this case, the soil is protected from the blowing, which increases resistance to wind erosion. Dependencies that characterize the relationship between the parameters and operating modes of the mulching roller with soil properties were obtained. The original design was developed and rational values of the radius within the range from 200 to 220 mm, as well as the setting angle of the cutting elements – 75 to 85 degrees, the distance between them in longitudinal direction – 90 to 95 mm, the depth of tillage – 60 to 80 mm, and the speed of the combined unit of movement – from 2.0 to 2.5 m/s, were defined.*

**Keywords:** *soil erosion, parameters and operating modes, mulching roller, working bodies, power analysis.*



Камбулов Сергей Иванович, доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела механизации растениеводства, структурное подразделение «СКНИИМЭСХ», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; e-mail: kambulov.s@mail.ru.

Пархоменко Галина Геннадьевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела механизации растениеводства, структурное подразделение «СКНИИМЭСХ», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru.

Семенихина Юлия Александровна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела механизации растениеводства, структурное подразделение «СКНИИМЭСХ», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; e-mail: semenikhina1982@mail.ru.

Божко Игорь Владимирович, кандидат технических наук, младший научный сотрудник отдела механизации растениеводства, структурное подразделение «СКНИИМЭСХ», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; e-mail: i.v.bozhko@mail.ru.

Kambulov Sergey Ivanovich, Dr. Sc. (Tech.), chief researcher of the Department of mechanization of crop production, structural unit North-Caucasian Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, State Scientific Establishment “Agricultural research center “Donskoy” (SSE “ARC “Donskoy”); 14 Lenina str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; e-mail: kambulov.s@mail.ru.

Parkhomenko Galina Gennadiievna, Cand. Sc. (Tech.), leading scientific worker of the Department of mechanization of crop production, structural unit North-Caucasian Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, State Scientific Establishment “Agricultural research center “Donskoy” (SSE “ARC “Donskoy”); 14 Lenina str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru.

Semenikhina Yulia Aleksandrovna, Cand. Sc. (Tech.), scientific worker of the Department of mechanization of crop production, structural unit North-Caucasian Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, State Scientific Establishment “Agricultural research center “Donskoy” (SSE “ARC “Donskoy”); 14 Lenina str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; e-mail: semenikhina1982@mail.ru.

Bozhko Igor Vladimirovich, Cand. Sc. (Tech.), junior researcher of the Department of mechanization of crop production, structural unit North-Caucasian Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, State Scientific Establishment “Agricultural research center “Donskoy” (SSE “ARC “Donskoy”); 14 Lenina str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; e-mail: i.v.bozhko@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 20.01.2020.*

*Дата принятия к печати – 01.03.2020.*

DOI 10.33952/2542-0720-2020-3-23-122-129

УДК 633.11:58.032.3

Некрасов Е. И., Ионова Е. В.

## ВОДОУДЕРЖИВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВЫРАЩИВАНИЯ

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»

**Реферат.** Одной из основных причин, снижающих урожайность озимой мягкой пшеницы в южной зоне Ростовской области, является повышенная температура воздуха и недобор влаги в почве, в результате чего происходит нарушение нормального протекания физиолого-биохимических процессов в растениях. В связи с этим создание засухоустойчивых сортов, способных не снижать продуктивность при воздействии водного и температурного стрессов, является актуальным. Цель исследований – провести оценку водоудерживающей способности тканей листьев озимой мягкой пшеницы при различных условиях выращивания и выделить наиболее засухоустойчивые генотипы. Работу проводили в 2013–2015 гг. в лаборатории физиологии растений ФГБНУ «АНЦ «Донской»» (Ростовская область) на 12 сортах озимой мягкой пшеницы, стандарт – Дон 107, сорт-классификатор – Аскет. Определение водоудерживающей способности тканей растений озимой мягкой пшеницы проводили по методике Н. Н. Кожушко. Для определения водоудерживающей способности листья отбирали в естественных (полевых) условиях и в условиях вегетационного опыта «засушник» в фазах колошения и цветения растений. В контроле растения выращивали при поливе (70 % полной влагоемкости (ПВ)), в опыте – без доступа влаги (30 % ПВ). До четвертой фазы растения озимой пшеницы находились в одинаковых условиях как в контроле, так и в опыте. После наступления четвертой фазы доступ влаги к растениям в опыте прекращался, в контроле поддерживали оптимальное увлажнение. В результате полевых исследований выделили сорта озимой мягкой пшеницы с максимальным приростом водоудерживающей способности от фазы колошения к фазе цветения – Капитан (на 8,3 %) и Аскет (на 9,4 %), что объясняется большей устойчивостью этих генотипов к водному стрессу. В условиях вегетационного опыта «засушник» при нарастающей засухе наибольший прирост водоудерживающей способности от фазы колошения к фазе цветения отмечен у сортов Лилит, Аскет и Вольный Дон – на 8,0; 8,2 % и на 8,4 % соответственно. Выделившиеся генотипы озимой мягкой пшеницы с высокой водоудерживающей способностью тканей листьев рекомендуем вовлекать в селекционный процесс в качестве источников засухоустойчивости, для создания новых адаптивных сортов.

**Ключевые слова:** озимая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.), сорт, засухоустойчивость, водоудерживающая способность тканей листьев.

### Введение

Засуха – один из распространенных экологических стрессов, влияющих на рост и развитие растений озимой пшеницы. Она представляет собой серьезную проблему для селекционеров, поскольку в значительной степени снижает продуктивность этой культуры [1, 2]. При разработке новых методов создания адаптивных сортов сельскохозяйственных культур, в том числе и озимой пшеницы, большое значение отводится способности растений противостоять действию водного и температурного стрессов.

Как известно, реакция растений на стресс, вызванный засухой, зависит от многих факторов, например, генотипа растения, фазы вегетации, тяжести и

продолжительности стрессового воздействия, физиологических процессов роста, активности механизмов фотосинтеза, воздействия окружающей среды и других [3].

Одной из основных причин, снижающих урожайность озимой мягкой пшеницы в южной зоне Ростовской области, выступает повышенная температура воздуха и недобор влаги в почве, в результате действия которых происходит нарушение нормального протекания физиолого-биохимических процессов в растениях [4]. В связи с этим, создание засухоустойчивых сортов, способных не снижать продуктивность при воздействии водного и температурного стрессов, является актуальным. Существуют разные методы, при помощи которых можно изучить отдельные механизмы засухоустойчивости. Их, как правило, применяют на взрослых растениях в любой фазе их развития. Один из таких методов – определение водоудерживающей способности тканей.

Водоудерживающая способность – это свойство тканей растений накапливать и удерживать влагу в своих клетках в течение более или менее длительного времени. Чем медленнее в клетках растений расходуется вода, тем выше водоудерживающая способность растения, вследствие чего оно способно противостоять обезвоживанию более длительное время.

**Цель исследований** – провести оценку водоудерживающей способности тканей листьев озимой мягкой пшеницы при различных условиях выращивания и выделить наиболее засухоустойчивые генотипы.

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

Работу проводили в 2013–2015 гг. в лаборатории физиологии растений ФГБНУ «АНЦ «Донской»» (Ростовская область). Изучали 12 сортов озимой мягкой пшеницы селекции АНЦ «Донской», стандарт – Дон 107, сорт-классификатор – Аскет. Определение водоудерживающей способности тканей растений озимой мягкой пшеницы проводили по методике Н. Н. Кожушко [5]. Листья отбирали в естественных (полевых) условиях и в условиях модельной засухи «засушник» в фазах колошения и цветения. Для анализа брали здоровые, интенсивно функционирующие, но закончившие рост листья; их срезали утром (около 5 ч) в поле и в «засушнике» и в закрытых пакетах переносили в лабораторию (10–12 шт. для каждого образца). Проводили взвешивание по четыре листа в четырех повторностях и помещали в термошкафы (на три часа при температуре от 20 °С до 30 °С). Раскладывали по два листа во взвешенные бюксы и взвешивали, после этого листья помещали в воду в чашках Петри на два часа. Затем листья осушали фильтровальной бумагой и вторично взвешивали после насыщения. Далее высушивали до постоянной массы при температуре 105 °С и подсчитывали общее содержание воды в навеске. По разностям между общим исходным содержанием воды и количеством потерянной воды определяли содержание оставшейся воды в листьях.

Расчет водоудерживающей способности (ВУС, %) проводили по формуле:

$$\text{ВУС} = \frac{\text{Б}-\text{б}}{\text{А}} \times 100,$$

где Б – исходная сырая масса, мг; б – сырая масса после завядания, мг; А – содержание воды до завядания, мг.

Посев озимой пшеницы осуществляли сеялкой Wintersteiger Plotseed, на глубину заделки семян 5–6 см по предшественнику подсолнечник. Норма высева – 550 всхожих семян/м<sup>2</sup>. Учетная площадь делянок – 10 м<sup>2</sup>, повторность – четырехкратная. Закладку опытов проводили в соответствии с методикой полевого опыта [6].

В условиях модельной засухи «засушник» растения озимой мягкой пшеницы выращивали при оптимальном увлажнении 70 % ПВ (контроль) и недостаточном увлажнении 30 % ПВ и ниже (опыт) методом В. В. Маймистова [7]. До четвертого этапа растения озимой пшеницы находились в одинаковых условиях как в контроле, так и в опыте. После наступления четвертой фазы доступ влаги к растениям в опыте

прекращался, в то время как в контроле рост их осуществлялся при оптимальном увлажнении.

Обработку информации выполняли с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel 2010.

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый, мощный, с высокой карбонатностью – от 2,5 до 4,0 % CaCO<sub>3</sub> в пахотном слое мощного горизонта (до 140 см). Содержание гумуса – 3,6–4,0 %; подвижного фосфора – 20–23 мг/кг; обменного калия – 300–380 мг/кг почвы [8].

Климат южной зоны Ростовской области – умеренно-континентальный с резкой амплитудой между температурами холодного и теплого периодов, а также заметными суточными колебаниями температур.

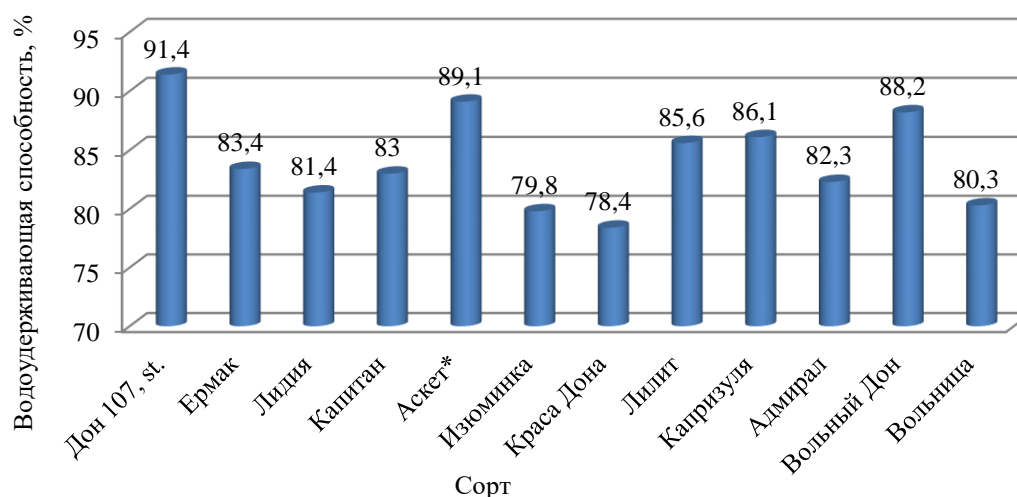
Погодно-климатические условия 2013–2015 гг. различались между собой. В 2013 сельскохозяйственном году погодные условия характеризовались повышенной температурой воздуха (+4,6 °С к среднегодовой (9,6 °С)) и недостатком осадков в период колошения и цветения растений озимой мягкой пшеницы (–22,8 мм).

Погодные условия 2014 сельскохозяйственного года сложились благоприятнее предыдущего. В период колошения и цветения растений озимой мягкой пшеницы температура воздуха составила 19,4 °С (+3,0 °С к среднегодовой), а количество осадков превысило среднегодовую норму (582,4 мм) на 7,9 мм.

В 2015 сельскохозяйственном году в фазы колошения и цветения растений озимой мягкой пшеницы температура воздуха находилась на уровне среднегодовой, тогда как количество осадков превысило норму на 18,4 мм.

#### Результаты и их обсуждение

Водоудерживающая способность листьев озимой мягкой пшеницы изменялась в зависимости от условий выращивания. В естественных условиях развития растений в поле (фаза колошения) в среднем за три года изучения водоудерживающая способность тканей листьев озимой мягкой пшеницы изменялась в пределах от 76,0 % (Адмирал) до 91,4 % (Дон 107) (рисунок 1).

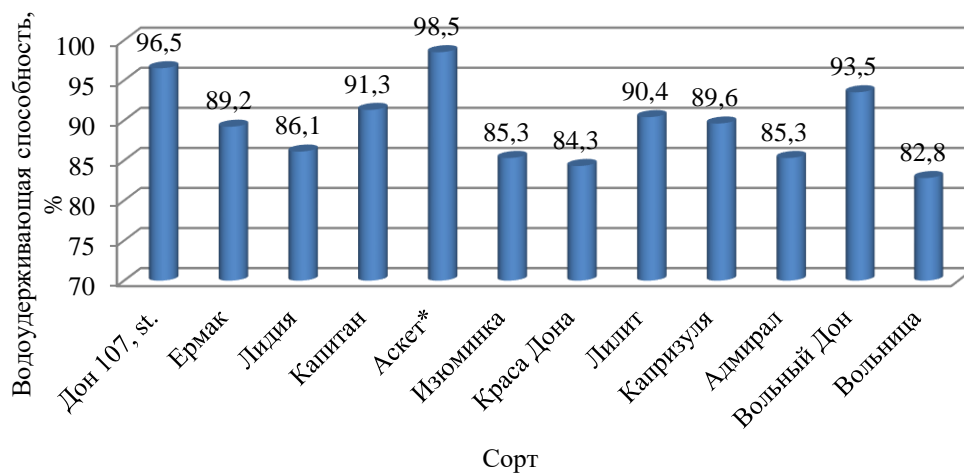


**Рисунок 1 – Водоудерживающая способность тканей листьев озимой мягкой пшеницы в естественных условиях в фазе колошения (среднее за 2013–2015 гг.)**

**Примечания:** \* сорт-классификатор; НСР<sub>05</sub> = 1,35.

Самая высокая величина этого показателя в фазе колошения отмечена у сортов Капризуля (86,1 %), Вольный Дон (88,2 %), Аскет (89,1 %) и Дон 107 (91,4 %), наименьшая (78,4 %) – у сорта Краса Дона.

В полевых условиях растения часто подвергаются воздействию неблагоприятных факторов среды, действие которых, особенно в фазе цветения растений, является основной причиной снижения продуктивности. В среднем за годы исследования в полевых условиях в фазе цветения водоудерживающая способность тканей листьев озимой мягкой пшеницы изменялась в среднем от 82,8 % (Вольница) до 98,5 % (Аскет) (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Водоудерживающая способность тканей листьев озимой мягкой пшеницы в естественных условиях в фазе цветения (среднее за 2013–2015 гг.)**

*Примечания:* \* сорт-классификатор;  $HCP_{05} = 3,34$ .

Максимальная водоудерживающая способность тканей листьев в фазе цветения отмечена у сортов Капитан (91,3 %), Вольный Дон (93,5 %), Дон 107 (96,5 %) и Аскет (98,5 %). Минимальной водоудерживающей способностью характеризовался сорт Вольница (82,8 %).

Высокий уровень водоудерживающей способности имеет существенное значение при оценке степени засухоустойчивости растений. Надежность этого критерия возрастает при определении его в динамике, а именно в ходе усиления засухи. Устойчивые сорта отличаются тем, что механизмы водоудержания у них работают более длительное время.

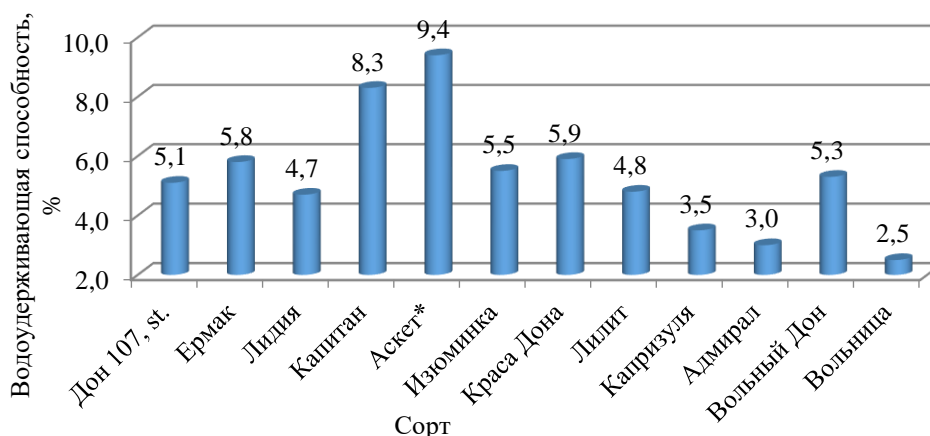
При переходе от фазы колошения к фазе цветения, в среднем за годы исследований прирост водоудерживающей способности тканей листьев варьировал от 2,5 % (Вольница) до 9,4 % (Аскет). Наибольший рост величины этого показателя отмечен у сортов Капитан (на 8,3 %) и Аскет (на 9,4 %) (рисунок 3).

У остальных изучаемых образцов отмечали более слабое проявление водоудерживающей способности.

Для растений, устойчивых к засухе, характерна высокая водоудерживающая способность тканей листьев. Этот показатель используют как один из наиболее эффективных в методах определения засухоустойчивости. Достоинство данного метода – адекватность результатов определения засухоустойчивости образцов пшеницы и достоверность совпадения с полевой оценкой [9].

В условиях модельной засухи (опыт) в фазе колошения водоудерживающая способность тканей листьев варьировала от 79,3 % (Краса Дона) до 92,1 % (Дон 107). Максимальными значениями водоудерживающей способности в опыте в этой

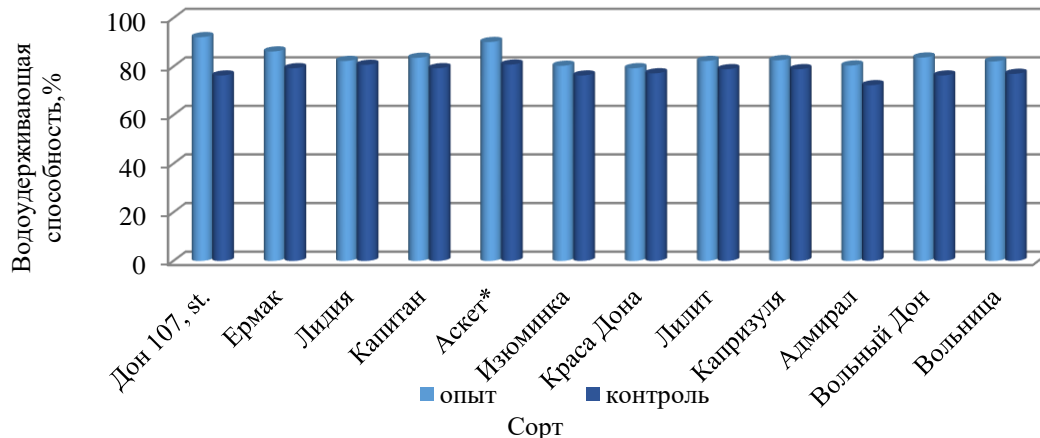
фазе обладали сорта Ермак (86,2 %), Аскет (90,1 %) и Дон 107 (92,1 %), минимальными – образцы Краса Дона (79,3 %) и Изюминка (80,3 %).



**Рисунок 3 – Прирост величины водоудерживающей способности тканей листьев озимой мягкой пшеницы от фазы колошения к фазе цветения в естественных условиях (среднее за 2013–2015 гг.)**

*Примечание.* \* сорт-классификатор.

В условиях оптимального увлажнения (контроль) водоудерживающая способность изменялась в пределах от 72,3 % (Адмирал) до 80,8 % (Аскет). Максимальной она была у сортов Лидия (80,7 %) и Аскет (80,8 %), а минимальной – у Адмирала (72,3 %) (рисунок 4).

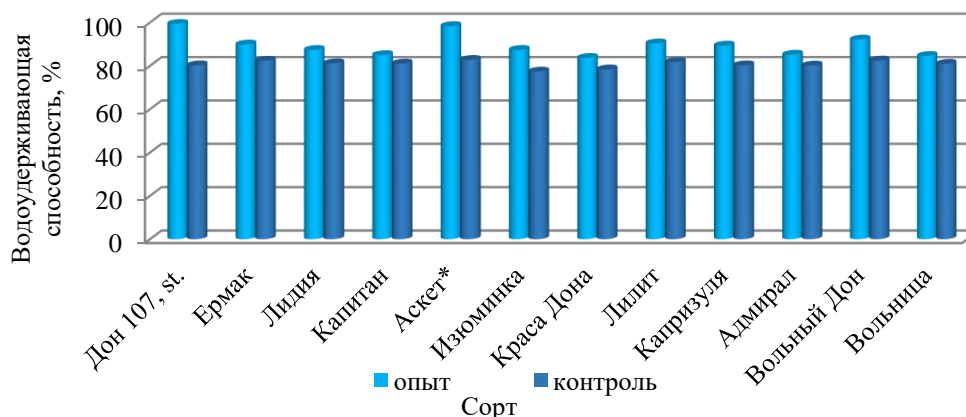


**Рисунок 4 – Водоудерживающая способность тканей листьев озимой мягкой пшеницы при различной влагообеспеченности, фаза колошения (среднее за 2013–2015 гг.)**

*Примечания:* \* сорт-классификатор;  $HC_{P05}$  опыт–контроль = 6,54;

При сравнении величины водоудерживающей способности листьев в условиях жесткой засухи (опыт) с листьями при оптимальном увлажнении (контроль) установлено, что сорта Вольный Дон, Адмирал, Аскет и Дон 107 в фазе колошения имели наибольшее превышение значений данного признака (на 7,4; 8,1; 9,3; 15,8 % соответственно).

В фазе цветения показатель водоудерживающей способности тканей листьев озимой мягкой пшеницы изменялся в опыте от 83,6 % (Краса Дона) до 99,3 % (Дон 107) (рисунок 5).



**Рисунок 5 – Водоудерживающая способность тканей листьев озимой мягкой пшеницы при различной влагообеспеченности, фаза цветения (среднее за 2013–2015 гг.)**

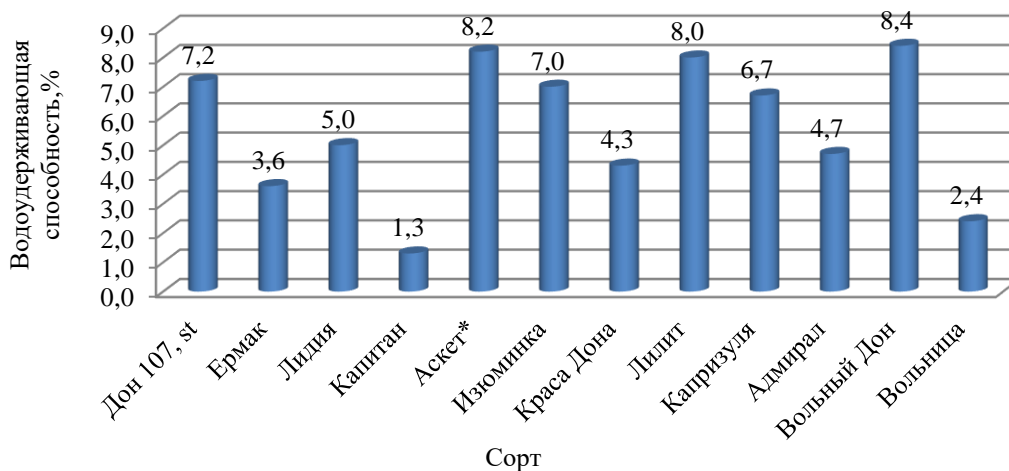
*Примечания:* \* сорт-классификатор;  $HCP_{05}$  опыт–контроль = 4,07.

Максимальные значения изучаемого показателя в этой фазе в условиях засухи наблюдали у сортов Вольный Дон (92,1 %), Аскет (98,3 %) и Дон 107 (99,3 %), а наименьшие – у сорта Краса Дона (83,6 %).

При увлажнении 70 % ПВ величина водоудерживающей способности изменялась от 77,3 % (Изюминка) до 82,7 % (Аскет). Максимальные значения этого показателя установлены у сортов Аскет (82,7 %) и Аксинья (83,2 %), а наименьшая водоудерживающая способность листьев была у образца Изюминка (77,3 %).

Максимальное превышение значений водоудерживающей способности листьев в условиях засухи по сравнению с оптимальными условиями в фазе цветения отмечено у сортов Аскет (на 15,6 %) и Дон 107 (на 19,1 %).

При нарастающей засухе (от фазы колошения к фазе цветения) наибольший прирост водоудерживающей способности в условиях модельной засухи (опыт) отмечен у сортов Лилит (на 8,0 %), Аскет (на 8,2 %) и Вольный Дон (на 8,4 %) (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Прирост водоудерживающей способности тканей листьев озимой мягкой пшеницы от фазы колошения к фазе цветения в условиях модельной засухи «засушник» (среднее 2013–2015 гг.)**

*Примечание.* \* сорт-классификатор.

Устойчивые к недостатку влаги в почве сорта озимой мягкой пшеницы степного экотипа, такие как Вольный Дон, Аскет и Дон 107 характеризуются стабильностью водоудерживающей способности тканей листьев в различные фазы органогенеза.

### Выводы

В результате проведенных полевых исследований выделились сорта озимой мягкой пшеницы с максимальным приростом водоудерживающей способности – Капитан (на 8,3 %) и Аскет (на 9,4 %) (от фазы колошения к фазе цветения), что объясняется большей устойчивостью этих генотипов водному стрессу.

В условиях вегетационного опыта «засушник» при нарастающей засухе наибольший прирост водоудерживающей способности отмечен у сортов Лилит, Аскет и Вольный Дон (на 8,0; 8,2 % и на 8,4 % соответственно).

Выделившиеся генотипы озимой мягкой пшеницы с высокой водоудерживающей способностью тканей листьев рекомендуем вовлекать в селекционный процесс в качестве источников засухоустойчивости, для создания новых адаптивных сортов.

### Литература

1. Кравченко Н. С., Лиховидова В. А., Скрипка О.В. Качество зерна и засухоустойчивость сортов озимой мягкой пшеницы // *Зерновое хозяйство России*. 2018. № 1. С. 52–56.
2. Агеева Е. В., Леонова И. Н., Лихенко И. Е. Полегание пшеницы: генетические и экологические факторы и способы преодоления // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020. Т. 24. № 4. С. 356–362. DOI: 10.18699/VJ20.628.
3. Attila Tátrai D., Sanoubar R., Pluhár S., Mancarella S., Orsini F., Gianquinto G. Morphological and physiological plant responses to drought stress in *Thymus citriodorus* // *International Journal of Agronomy*. 2016. Vol. 16. P. 1–8. DOI: 10.1155/2016/4165750.
4. Некрасов Е. И., Ионова Е. В. Результаты изучения изменения массы 1000 зерен сортов озимой мягкой пшеницы в условиях провокационного фона «засушник» // *Зерновое хозяйство России*. 2018. № 3(57). С. 57–59. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-57-59.
5. Кожушко Н. Н. Водоудерживающая способность как показатель засухоустойчивости растений // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1976. Т. 57. Вып. 2. С. 59–66.
6. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.
7. Маймистов В. В., Осипов Ю. Ф. Ускоренная оценка засухоустойчивости селекционного материала // *Селекция и семеноводство*. 1984. № 3. С. 23–25.
8. Агафонов Е. В., Полуэктов Е. В. Почвы и удобрения Ростовской области. Учебное пособие. Персиановка, 1999. 90 с.
9. Санина Н. В. Использование водоудерживающей способности листьев в оценке сортов яровой пшеницы по засухоустойчивости в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Кинель: Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 1996. 20 с.

### References

1. Kravchenko N. S., Likhovidova V. A., Skripka O.V. Grain quality and drought tolerance of the winter soft wheat varieties // *Grain Economy of Russia*. 2018. No. 1. P. 52–56.
2. Ageeva E. V., Leonova I. N., Likhenko I. E. Lodging in wheat: genetic and environmental factors and ways of overcoming // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020. Vol. 24. No. 4. P. 356–362. DOI: 10.18699/VJ20.628.
3. Attila Tátrai D., Sanoubar R., Pluhár S., Mancarella S., Orsini F., Gianquinto G. Morphological and physiological plant responses to drought stress in *Thymus citriodorus* // *International Journal of Agronomy*. 2016. Vol. 16. P. 1–8. DOI: 10.1155/2016/4165750.
4. Nekrasov Ye. I., Ionova Ye. V. The study results of 1000-kernel weight of winter soft wheat varieties under provoking conditions "zasushnik" // *Grain Economy of Russia*. 2018. No. 3. P. 57–59. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-57-59.
5. Kozhushko N. N. Water retention capacity as an indicator of drought tolerance of plants // *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1976. Vol. 57. Iss. 2. P. 59–66.
6. Dospekhov B. A. Methods of field research. (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alyans, 2014. 351 p.



7. Maymistov V. V., Osipov Yu. F. Accelerated assessment of drought tolerance of breeding material // *Selektsiya i Semenovodstvo*. 1984. No. 3. P. 23-25.
8. Agafonov E. V., Poluektov E. V. Soils and fertilizers of the Rostov region. Tutorial. Persianovka, 1999. 90 p.
9. Sanina N. V. Using the water-holding capacity of leaves in assessing spring wheat varieties by drought tolerance in the forest-steppe of the Middle Volga region. Abstract diss. ... Cand. Sc. (Agr.). Kinel: Samara State Agrarian Academy, 1996. 20 p.

UDC 633.11:58.032.3

Nekrasov E.I., Ionova E. V.

### **WATER-HOLDING CAPACITY OF WINTER SOFT WHEAT VARIETIES UNDER VARIOUS GROWING CONDITIONS**

**Summary.** *One of the main reasons for winter soft wheat productivity decrease in the southern zone of the Rostov region is the increased air temperature and lack of soil moisture resulting in a violation of the normal physiological and biochemical processes in plants. Thus, the creation of drought-tolerant varieties that do not reduce productivity under water and temperature stresses is very relevant. The purpose of the current study was to estimate the water-holding capacity of winter soft wheat leaves under various growing conditions and to identify the most drought-resistant genotypes. The studies were carried out in 2013–2015 in the Laboratory of Plant Physiology of the State Scientific Establishment “Agricultural research center “Donskoy” (Rostov region). We studied 12 winter soft wheat varieties. Variety ‘Don 107’ served as a standard; ‘Asket’ – as a variety-classifier. The estimation of the water-holding capacity of winter soft wheat leaves was carried out according to the methodology developed by N.N. Kozhushko. The leaves were taken under natural (field) and “zasushnik” conditions in heading and flowering phases. In control, plants were grown under irrigation (70 % of maximum water holding capacity); in the experiment – without moisture supply (30 % of maximum water holding capacity). Until the fourth phase, both in control and experiment, winter wheat plants were under the same conditions. After the fourth phase of plant growth and development, the access of moisture to the plants in the experiment was terminated; in control – optimal moisture level was maintained. In the course of field studies, we have identified that winter soft wheat varieties ‘Kapitan’ and ‘Asket’ were characterized as those having the maximum water-holding capacity increase from heading to flowering phase (by 8.3 % and 9.4 %, respectively). This could be explained by better tolerance of these genotypes to water stress. Under the trial “zasushnik”, while drought increased, the greatest rise in water-holding capacity was demonstrated by varieties ‘Lilit’, ‘Asket’ and ‘Volny Don’ (by 8.0 %, 8.2 % and 8.4 %, respectively). The identified genotypes of winter soft wheat with a high water-holding capacity of leaf tissues are recommended to be used in the breeding process for the creation of new adaptive varieties as sources of tolerance to drought.*

**Keywords:** *winter soft wheat (*Triticum aestivum* L.), variety, drought tolerance, water-holding capacity of leaf tissues.*

Некрасов Евгений Игоревич, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, 3; e-mail: 89585748977@yandex.ru.

Ионова Елена Витальевна, доктор сельскохозяйственных наук, руководитель центра фундаментальных исследований ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, 3; e-mail: Vniizk30@mail.ru.

Nekrasov Evgeniy Igorevich, junior researcher of the Laboratory of breeding and seed production of winter soft wheat of half-intensive type, State Scientific Establishment “Agricultural research center “Donskoy” (SSE “ARC “Donskoy”); 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: 89585748977@yandex.ru.

Ionova Elena Vitalevna, Dr. Sc. (Agr.), head of the Center for Basic Research, State Scientific Establishment “Agricultural research center “Donskoy” (SSE “ARC “Donskoy”); 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: Vniizk30@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 20.01.2020.*

*Дата принятия к печати – 01.03.2020.*

DOI 10.33952/2542-0720-2020-3-23-131-141

УДК 633.11:631.874

Приходько А. В., Караева Н. В., Зубоченко А. А.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРИТИКАЛЕ ОЗИМОЙ НА ЗЕЛЕНое УДОБРЕНИЕ В РАЗЛИЧНЫЕ ФАЗЫ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ

ФГБУН «Научно исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** Совершенствование агроприёмов, направленных на сохранение плодородия почвы и влагосбережение необходимы для повышения эффективности полеводства в степной зоне. Цель исследований – определить влияние способов использования биомассы сидератов на показатели плодородия почвы перед посевом парозанимающей культуры. Эксперименты проводили в 2015–2018 гг. в степной зоне Крыма. Объект исследований – растения озимой тритикале (*Triticale aestivumforme*), используемые на зеленое удобрение, в фазы вегетации – выход в трубку и начало колошения. Содержание органического вещества в биомассе определяли перед заделкой сидератов по ГОСТ 26226-95, агрохимические свойства почвы – через шесть месяцев перед посевом пшеницы. Установлено, что при использовании тритикале в фазе выход в трубку в почву поступает 3,34 т/га органического вещества. К началу колошения его количество в экстремально засушливые годы увеличивалось до 5,65, а при оптимальном увлажнении – до 12,19 т/га. За межфазный период выход в трубку – начало колошения отмечено разуплотнение почвы в слоях: 0–10 и 10–20 см на 0,11–0,12 г/см<sup>3</sup>; 20–30 см – на 0,4 г/см<sup>3</sup>. В типичные годы перед посевом парозанимающей культуры запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы после использования сидератов в фазе выход в трубку были на 8,8–16,3 мм выше относительно фазы начало колошения. При наличии в летний период интенсивных осадков, влага в почве лучше аккумулировалась после заделки в фазе начало колошения (превышение 36,9 мм). Более высокое содержание нитратного азота (ГОСТ 26951-86) в корнеобитаемом слое почвы отмечено после использования растений тритикале в фазе выход в трубку – 2,01 мг/100 г почвы (на 40 % выше относительно фазы начало колошения). На содержание в почве доступных форм фосфора и калия (ГОСТ 26205-91) фазы использования тритикале влияния не оказали.

**Ключевые слова:** тритикале озимая (*Triticale aestivumforme*), плодородие, сидерат, урожайность, азот, органическое вещество.

### Введение

В условиях рискованного земледелия, когда основным лимитирующим фактором является влагообеспеченность, продуктивность растений и качество урожая сельскохозяйственных культур определяется запасами продуктивной влаги и уровнем плодородия почв [1–2]. В засушливые годы гарантированное получение урожая основной зерновой культуры – пшеницы могут обеспечить только пары при условии проведения агротехнических мероприятий, направленных на воспроизводство плодородия земель [3]. Никакие другие факторы (способы обработки почвы, сорта, средства защиты растений) без применения удобрений не могут обеспечить повышение плодородия почв и увеличение урожайности сельскохозяйственных культур [4]. Особенно важную роль в удовлетворении потребности растений в элементах питания, влаги, воздухе играет содержание в почве гумуса – органического вещества, являющегося продуктом жизнедеятельности микроорганизмов и образующегося в результате разложения растительных и животных остатков [5–7].

В последние годы в Российской Федерации складывается отрицательный баланс гумуса в почвах [7]. Одна из причин такой тенденции – снижение объемов внесения традиционных видов органических удобрений (особенно навоза) из-за резкого падения поголовья животных. В связи с этим возникает необходимость поиска новых источников органических веществ в земледелии и разработки наиболее эффективных способов их применения [8, 9].

Одним из перспективных видов таких удобрений может стать сидерация – запахивание в почву зелёной массы растений. Применение зеленых удобрений способствует улучшению агрофизических, биологических свойств почвы и её структуры, обогащению почвы органическим веществом и элементами питания, защите растений от болезней и вредителей и подавлению роста сорняков [10–14].

Использование зеленых удобрений имеет многовековой опыт [15]. В последние годы в связи с обострением проблем экологии и загрязнения окружающей среды, все больше внимания уделяется вопросам биологизации земледелия и сидераты находят широкое применение в различных регионах земного шара.

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о перспективности сидерации в паровом поле севооборота [16–21]. Эффективность этого агроприема зависит от почвенно-климатических условий, вида сидеральной культуры и способа её заделки в почву [22]. При использовании сидеральных культур в засушливых условиях следует особое внимание уделить вопросам максимального сохранения почвенной влаги. Снизить потери продуктивной влаги можно подбором сидеральных культур, более ранним сроком использования сидератов, уменьшением глубины обработки почвы и оставлением на поверхности поля растительных остатков, защищающих почву от дефляции и снижающих потери влаги в результате физического испарения.

**Цель исследований** – определить влияние способов использования биомассы сидератов на показатели плодородия почвы перед посевом парозанимающей культуры.

**Задача исследований** – оценить влияние фазы использования растений тритикале озимой в качестве зеленого удобрения при минимальной глубине заделки биомассы на показатели плодородия почвы перед посевом озимых зерновых культур: поступление в почву органического вещества, разуплотнение корнеобитаемого слоя почвы, запас продуктивной влаги и химический состав почвы.

#### **Материалы и методы исследования**

Исследования проводили в 2015–2018 гг. в стационарном трехпольном севообороте с чередованием культур: пар сидеральный – пшеница озимая – ячмень озимый в степном Крыму. Объект исследований – посеы озимой тритикале (*Triticale aestivumforme*) сорта кормового назначения Аллегро, характеризующегося интенсивным ростом и формированием большой вегетативной массы. В исследованиях использовали общепринятую зональную для степной части Крыма агротехнику выращивания озимых зерновых культур с нормой высева тритикале – 3,5 млн всхожих семян/га. Размещение вариантов опыта – систематическое со смещением, повторность – трехкратная. Площадь делянки – 720 м<sup>2</sup>.

Почва опытного участка – чернозем южный карбонатный слабогумусный на лессовидных глинах. Мощность гумусового горизонта не превышает 40 см. Содержание в пахотном слое гумуса (по Тюрину) – 2,35 %, подвижных соединений фосфора – 4,4 мг/100 г почвы и калия – 39,1 мг/100 г почвы (по Мачигину), средневзвешенный показатель рН – 7,6. Данные почвы обладают высокими водоудерживающими качествами, они способны накапливать до 300–350 мм влаги,

но при этом запасы продуктивной влаги, доступной для растений, не превышают 160–180 мм [23].

Климат степного Крыма – полусухой, характеризуется большими годовыми и суточными колебаниями температур. Среднегодовая температура воздуха составляет около 10 °С. Среднегодовое количество осадков равно 428 мм.

Погодные условия в годы проведения исследований значительно различались по наличию атмосферных осадков. В 2016 г. они составили 691 мм (161 % от среднегодовых показателей), максимальное количество выпало в мае (в период формирования вегетативной массы тритикале) – 76 мм, а также в июне – 210 мм и сентябре – 85 мм. В 2018 г. атмосферные осадки составили 553 мм (129 % нормы), 137 мм – в июле и 89 мм – в сентябре. 2017 г. был экстремально засушливым – выпало всего 288 мм осадков (67 % от среднегодовых показателей). В 2018 г. атмосферные осадки составили 553 мм (129 % нормы) – 137 мм в июле и 89 мм – в сентябре. В период проведения исследований среднесуточная температура воздуха составила в 2016 г. – 11,8; в 2017 г. – 12,7 и в 2018 г. – 12,5 °С.

Программа исследований по изучению эффективности различных способов использования тритикале в качестве органического удобрения предусматривает использование зеленой массы растений тритикале озимой при двух фазах развития: выход в трубку (высота растений – 50–60 см) и начало колошения. Чтобы достигнуть максимального сохранения почвенной влаги, согласно общепринятой технологии, предусматривалась минимальная глубина заделки биомассы растений. В первой фазе использования, когда продуктивность биомассы растений была относительно невысокая, заделку проводили дисковыми боронами в два следа на глубину 5–6 см. При достижении второй фазы, когда урожайность зеленой массы достигала максимальных значений, ее сначала измельчали кормоуборочным комбайном «Рось-2» в агрегате с трактором «МТЗ-82», а затем заделывали в почву тяжелой дисковой бороной. При этом глубина заделки увеличивалась до 10–15 см. В период от заделки растений в почву до посева озимой пшеницы, выращиваемой в севообороте после сидерального пара, проводили еще одно дискование на глубину 5–6 см и четыре сплошные культивации: две на глубину 6–8 и две – на 5–6 см.

Учёты, наблюдения и анализы проводили общепринятыми методами в соответствии с методическими указаниями Б. А. Доспехова [24]. При достижении растениями фазы использования определяли в сухом веществе биомассы тритикале содержание органического вещества (ГОСТ 26226-95), общего азота по Кьельдалю (ГОСТ 13496.4-93), общего фосфора (ГОСТ 26717-85) и общего калия (ГОСТ 26718-85). Через шесть месяцев после сидерации, перед посевом озимой пшеницы определяли содержание в почве нитратного азота (ионометрическим методом, ГОСТ 26951-86), подвижных соединений фосфора и калия (по методу Мачигина в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26205-91). В 2017 и 2018 гг. перед заделкой сидерата определяли плотность почвы методом Качинского [25].

Статистический анализ опытных данных проводили методом однофакторного дисперсионного анализа с помощью Excel.

### **Результаты и их обсуждение**

В севообороте сидеральные культуры высевают после озимого ячменя, активно использующего влагу и иссушающего почву. Поэтому запасы почвенной влаги перед посевом тритикале озимой на зеленое удобрение зависели от погодных условий. За период проведения исследований, оптимальный режим увлажнения, необходимый для получения полноценных всходов, роста и развития растений тритикале в начальный период вегетации сложился только осенью 2015 г., когда запасы продуктивной влаги в пахотном слое (0–20 см) составляли 15,7 мм, а в метровом горизонте – 86,3 мм. Осенью 2016 и 2017 гг. величины этих показателей составили соответственно только 2,4 и 2,2 мм в пахотном слое и 22,4 и 22,9 мм – в

метровом, что имело отрицательное влияние на своевременное получение всходов и развитие тритикале в осенний период.

Весной 2016 г. хорошо развитые с осени растения тритикале уже к 15 апреля достигли первой фазы использования – выход в трубку при высоте растений 50–60 см, тогда как в 2017 и 2018 гг. эта фаза развития наступила только третьего–четвертого мая (таблица 1).

**Таблица 1 – Календарные сроки наступления фаз развития тритикале в весенний период за годы исследований**

Год	Дата наступления фазы			Продолжительность периода между фазами использования, дней
	возобновление весенней вегетации	выход в трубку	начало колошения	
2016	14.02	15.04	06.05	21
2017	26.02	04.05	17.05	13
2018	08.03	03.05	14.05	11

За относительно незначительный период времени от первой до второй фазы использования происходило интенсивное увеличение биометрических показателей растений тритикале. В среднем за годы исследований высота растений увеличилась в 1,9 раза, а масса сухого вещества – в 2,6 раза, в том числе стеблей – в 2,5, листьев – в 1,6 и корней – в 3,3 раза (таблица 2). При этом, если за указанный межфазный период удельный вес сухого вещества стеблей не изменился (52 %), то к достижению фазы начало колошения отмечали относительное снижение массы листьев от 31 до 22 % и увеличение удельной массы корней от 17 до 26 %.

**Таблица 2 – Характеристика растений тритикале озимой в фазы использования в качестве сидерата (среднее за 2016–2018 гг.)**

Показатель		Выход в трубку	Начало колошения
Биометрический	высота, см	52,3	98,7
	масса, г	11,6	31,8
	масса сухого вещества, г	2,3	5,4
Удельный вес в сухом веществе, %	стебли	52	52
	листья	31	22
	корни	17	26
Химический состав сухого вещества, %	органическое вещество	90,60	91,80
	общий азот	1,81	1,17
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,70	0,64
	K <sub>2</sub> O	2,97	2,61

По мере относительного снижения доли листьев в структуре растений тритикале к достижению фазы начало колошения, прослеживали тенденцию к увеличению в сухом веществе массовой доли органических веществ (в среднем за годы исследований за межфазный период использования прибавка составила 1,2 %) и уменьшение содержания общего азота, фосфора и калия на 0,64; 0,06 и 0,36 % соответственно.

Продуктивность агроценоза сидеральной культуры определяли погодные условия и ее показатели резко различались по годам исследований. При использовании травостоя тритикале в более ранней фазе (выход в трубку) средняя урожайность зеленой массы за годы исследований составила 13,8 т/га, а сбор сухого вещества – 3,02 т/га. Самая низкая урожайность зеленой массы – 8,8 т/га отмечена в экстремально засушливом 2018 г. В 2016 и 2017 гг. сбор зеленой массы составил соответственно 16,7 и 16,0 т/га, а сухого вещества – 2,84 и 3,03 т/га (таблица 3).

**Таблица 3 – Показатели продуктивности биомассы и поступление в почву органического вещества при различных фазах использования растений тритикале на зеленое удобрение, т/га**

Показатель	Фаза использования	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее
		Урожайность зеленой массы	выход в трубку	16,7	
	начало колошения	42,8	25,8	10,5	24,6
	НСР <sub>05</sub>	9,39	0,96	1,35	
Сбор сухого вещества	выход в трубку	2,84	3,03	3,18	3,02
	начало колошения	10,48	5,49	4,01	6,66
	НСР <sub>05</sub>	2,39	0,09	0,72	
Содержание органического вещества в биомассе	выход в трубку	3,55	3,03	3,45	3,34
	начало колошения	12,19	6,92	5,65	8,25

Более длительная вегетация растений в период между первой и второй фазами использования при благоприятных условиях увлажнения 2016 г. способствовала интенсивному их росту и формированию высокопродуктивного стеблестоя – 42,8 т/га зеленой массы при выходе сухого вещества 10,48 т/га. В 2017 г. при менее продолжительном межфазном периоде урожайность зеленой массы к началу колошения составила 25,8 т/га при сборе сухого вещества 5,49 т/га, а самая низкая продуктивность зеленой массы (10,5 т/га) и сухого вещества (4,01 т/га) зафиксирована в экстремально засушливом 2018 г.

При заделке биомассы тритикале в фазе выход в трубку поступление в почву органических веществ по годам исследований изменялось незначительно – от 3,03 до 3,55 т/га, и в среднем составило 3,34 т/га. В фазе начало колошения (период максимального накопления питательных веществ) наибольшее количество органики (12,19 т/га), сформировалось в условиях оптимального по увлажнению 2016 г., минимальное (5,65 т/га) – в экстремально засушливом 2018 г., а средний показатель за период исследований составил 8,25 т/га.

Интенсивный рост растений в межфазный период выход в трубку–начало колошения оказал влияние на показатели физических и химических свойств почвы. Активное развитие корневой системы способствовало разуплотнению верхних горизонтов почвы (таблица 4).

**Таблица 4 – Динамика плотности корнеобитаемых слоев почвы при достижении фаз использования тритикале на зеленое удобрение (среднее за 2017–2018 гг.)**

Слой почвы, см	Плотность почвы по фазам, г/см <sup>3</sup>		Разуплотнение почвы за межфазный период	
	выход в трубку	начало колошения	г/см <sup>3</sup>	%
0–10	1,06	0,94	0,12	10,9
10–20	1,48	1,37	0,11	7,5
20–30	1,46	1,41	0,04	3,1

В среднем за годы исследований за относительно непродолжительный межфазный период отмечено снижение плотности в слоях почвы 0–10 и 10–20 см на 0,11–0,12 г/см<sup>3</sup> или 7,5–10,9 %. В более глубоком слое почвы (20–30 см) плотность снизилась только на 3,1 %. Это свидетельствует о том, что корневая система тритикале располагается преимущественно в горизонтах почвы 0–20 см, и только незначительная ее часть проникает в более глубокие слои.

Период вегетации от фазы выход в трубку до начала колошения сопровождался активным использованием растениями тритикале влаги (таблица 5).

В 2017 г. в фитоценозах тритикале при достижении фазы начало колошения отмечено снижение влагозапасов в метровом слое почвы по отношению к фазе выход в трубку на 29,4 мм, в 2018 г. – на 10,1 мм. И только в условиях 2016 г., когда

в межфазный период выпали интенсивные осадки – 60,8 мм, запасы продуктивной влаги к достижению фазы начало колошения увеличились на 27,5 мм.

**Таблица 5 – Влагообеспеченность метрового слоя почвы при использовании тритикале озимой в качестве сидерата в разные фазы, мм**

Показатель	Фаза использования	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Запасы влаги при посеве тритикале	–	86,3	22,4	22,9
Запасы влаги перед использованием тритикале	выход в трубку	64,3	66,4	18,5
	начало колошения	91,8	37,0	10,0
Осадки в период между фазами использования сидерата	–	60,8	17,0	15,6
Осадки за период от использования тритикале до посева пшеницы	выход в трубку	545	135	312
	начало колошения	516	123	296
Запасы влаги перед посевом пшеницы	выход в трубку	99,4	41,5	41,9
	начало колошения	90,6	25,2	78,8

На протяжении первых двух лет исследований, перед посевом озимой пшеницы, выращиваемой в севообороте после сидерального пара, запасы продуктивной влаги лучше сохранились при заделке биомассы тритикале на глубину 5–6 см в фазе начало колошения. В 2016 г. они на 8,8 мм, а в 2017 г. – на 16,3 мм превысили показатели, полученные при использовании тритикале в фазе начало колошения и заделке на 10–15 см. В 2018 г., когда после сидерации содержание влаги в почве было минимальным, интенсивно выпавшие июльские и сентябрьские осадки лучше аккумулировались в почве при более глубокой заделке биомассы. Превышение составило 36,9 мм.

Скорость разложения органического вещества в почве определяется химическим составом органических соединений растительных остатков, соотношением в них азота к углероду, гидротермическими условиями и биологической активностью почвы [26]. Минерализация органического вещества сидеральных культур осуществляется за полтора–два года [27]. На протяжении этого периода содержащиеся в них элементы питания высвобождаются и включаются в биохимический круговорот. У культур с относительно низким содержанием азота, к которым относятся и злаковые травы, разложение органических веществ протекает значительно медленнее. Участвующие в минерализации таких остатков микроорганизмы, испытывая недостаток в легкоусвояемом азоте, частично используют его из почвы, снижая запасы нитратного азота.

В наших исследованиях, перед посевом озимой пшеницы более высокое содержание (2,01 мг/100 г почвы) нитратного азота в корнеобитаемом слое почвы (0–30 см) отмечено при использовании тритикале на зеленое удобрение в более раннюю фазу развития – выход в трубку (таблица 6), когда растения имели меньшую вегетативную массу, повышенное содержание листьев и более высокое количество азота в сухом веществе.

После заделки измельченных растений в фазе начало колошения содержание общего азота в почве снизилось до 1,21 мг/100 г или на 40 %. Более высокое содержание этого элемента отмечено в слое почвы 0–10 см. С увеличением глубины данный показатель снижается: при использовании растений тритикале в фазе выход в трубку – от 3,08 до 1,83 мг/100 г почвы в слое почвы 10–20 см и до 1,12 – в слое 20–30 см, а при использовании в фазе начало колошения – от 1,31 до 1,15 и 1,16 мг/100 г почвы соответственно.



**Таблица 6 – Химический состав почвы перед посевом пшеницы озимой в зависимости от фазы использования тритикале в качестве сидератов (среднее за 2016–2018 гг.)**

Фаза использования	Слой почвы, см	Содержание, мг/100 г почвы		
		N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Выход в трубку	0–10	3,08	2,31	37,6
	10–20	1,83	2,08	25,6
	20–30	1,12	3,54	17,8
	0–30	2,01	2,65	27,0
Начало колошения	0–10	1,31	3,12	36,3
	10–20	1,15	2,53	29,2
	20–30	1,16	2,44	23,7
	0–30	1,21	2,70	29,7

Содержание доступных форм фосфора в слое почвы 0–30 см изменялось в пределах 2,65–2,70 мг/100 г почвы, а калия – находилось на уровне 27,0–29,7 мг/100 г почвы. С увеличением глубины слоев почвы отмечали тенденцию к снижению содержания калия.

### Выводы

Проведённые исследования свидетельствуют, что использование растений тритикале в качестве органических удобрений способствует повышению плодородия и улучшению агрофизических и агрохимических свойств почвы. Установлено, что в условиях степного Крыма, где главный лимитирующий фактор получения стабильных урожаев сельскохозяйственных культур – влагообеспеченность растений, более эффективной является сидерация в фазе выход в трубку. После заделки тритикале в этой фазе вегетации, перед посевом парозанимаемой культуры, создаются более благоприятные условия для получения всходов и развития озимых культур в осенний период: на 8,8–16,3 мм увеличиваются запасы продуктивной влаги в метровом слое относительно заделки растений тритикале в фазе начало колошения; повышается содержание в корнеобитаемом слое почвы нитратного азота на 40 % в результате более интенсивного прохождения процессов минерализации органического вещества.

Использование тритикале в более поздней фазе – начало колошения способствует увеличению поступления в почву органического вещества до 8,25 т/га и разуплотнению почвы в корнеобитаемых слоях относительно первой фазы использования, но эти процессы сопровождаются снижением содержания в почве доступных растениям влаги и азота.

В условиях степной зоны Крыма при сидерации следует отдавать предпочтение не одновидовым посевам тритикале, а ее травосмесям с бобовыми культурами (озимая вика, зимующий горох), обладающими высоким содержанием азота и белковых веществ.

### Литература

1. Гулянов Ю. А., Досов Д. Ж., Умарова С. А. Эффективность использования биоклиматических ресурсов при выращивании озимой пшеницы в Оренбуржье // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2010. № 2 (26). С. 48–50.
2. Хрипунов А. И., Морозов Н. А., Галушко Н. А., Община Е. Н. Влагообеспеченность и урожайность озимой пшеницы в разных зонах Ставропольского края // Известия Горского ГАУ. 2018. № 4. С. 21–26.
3. Паштецкий В. С., Радченко Л. А., Женченко К. Г. Продуктивность пшеницы озимой в зависимости от предшественников в условиях Крыма // Земледелие. 2016. № 5. С. 20–22.
4. Сычев В. Г., Шафран С. А., Виноградова С. Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрехимия. 2020. № 6. С. 3–13. DOI: 10.31857/S0002188120060125.

5. Perdigao A., Pereira J., Moreira N., Trindade H., Coutinho J. Carbon and nitrogen mineralisation from green manures as alternative nitrogen sources in Mediterranean farming // Archives of Agronomy and Soil Science. 2017. Vol. 63. Iss. 11. P. 1546–1555. DOI: 10.1080/03650340.2017.1294754.
6. Cerbari V., Cojocaru O. Evaluation of quality amendments in ordinary chernozem after incorporation in the soil a harvest of intermediate culture the vetch as a green mass // Scientific papers. UASVM of Bucharest. Series “Agronomy”. 2019. Vol. 62. Iss. 1. P. 13–18.
7. Мерзлая Г. Е. Органическое вещество почвы и длительное применение удобрений // Плодородие почв России: состояние и возможности // Сборник статей (к 100-летию со дня рождения Т. Н. Кулаковской). М: ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2019. С. 72–78.
8. Castro-Rincon E., Mojica-Rodriguez J. E., Corulla-Fornaguera J. E., Lascano-Aguilar C. E. Green legume fertilizers: integration in agricultural and livestock systems in the tropics // Agronomia Mesoamericana. 2018. Vol. 29. Iss. 3. P. 711–729. DOI: 10.15517/MA.V29I3.31612.
9. Приходько А. В., Сусский А. Н., Моляр С. А. Альтернативные источники улучшения плодородия почвы в условиях Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2016. № 2. С. 24–35.
10. Leah C. The influence of green manure on the quality state and production capacity of the chernozem cambic from central Moldova // Scientific Papers. Series “A-Agronomy”. 2017. Vol. 60. P. 107–112.
11. Baibekov R. F., Esaulko A. N., Lobankova O. Yu., Golosnoy E. V., Ozheredova A. Yu. Biologization of fertilizer systems: a step towards organic farming // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 9. Iss. 4. P. 1694–1701.
12. Халманов Н. Т., Элмуродова М. А. Влияние сидерации на плодородие сероземов, рост, развитие и урожайность хлопчатника Зерафшанской долины // Плодородие. 2019. № 2 (107) С. 33–37. DOI: 10.25680/S19948603.2019.107.11.
13. Baddeley J. A., Pristeri A., Bergkvist G., Monti M., Reckling M., Schlafke N., Papa V.A., Watson C. Legume-based green manure crops // In: Legumes in Cropping Systems. CAB International, 2017. P. 125–138. DOI: 10.1079/9781780644981.0125.
14. Васильев А. А. Влияние сидератов на фитосанитарное состояние агроэкосистем картофеля // Пермский аграрный вестник. 2014. № 3 (7). С. 3–10.
15. Борисова Е. Е. Применение сидератов в мире // Вестник НГИЭИ. 2015. № 6 (49). С. 24–33.
16. Xue N. W., Yang Z. P., Gao Z. Q., Zhang C. L., Xue J. F., Liu X. L., Sun M., Du T. Q. Effects of green manures during fallow on moisture and nutrients of soil and winter wheat yield on the Loess Plateau of China // Emirates Journal of Food and Agriculture. 2017. Vol. 29. Iss. 12. P. 978–987. DOI: 10.9755/ejfa.2017.v29.i12.1568.
17. Ахметзянов М. Р., Таланов И. П., Сафина Л. И. Продуктивность озимой пшеницы при использовании различных паров на серых лесных почвах в условиях республики Татарстан // Плодородие. 2020. № 1. С. 40–43. DOI: 10.25680/S19948603.2020.112.12.
18. Солодун В. И., Цвынтарная Л. А. Сравнительная оценка зернопаровых севооборотов с чистыми и сидеральными парами в Лесостепной зоне Иркутской области // Вестник КрасГАУ. 2016. № 5 (116). С. 176–180.
19. Киреев А. К., Жусупбеков Е. К., Тыныбаев Н. К. Сидераты – малозатратный прием повышения плодородия почвы и урожайности культур на богарных землях юго-востока Казахстана // Агронабфорум. 2018. № 8 (164). С. 60–62.
20. Цандур Н. А., Друзьяк В. В., Бурыкина С. И. Сидеральные пары Степи Украины // Почвоведение и агрохимия. 2011. № 1(46). С. 37–46.
21. Паштецкий В. С., Приходько А. В. Использование сидератов для воспроизводства плодородия почв в условиях степного Крыма // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2019. № 5 (79). С. 44–46.
22. Турусов В. И., Гармашов В. М., Абанина О. А., Михина Т. И. Сидеральный пар как прием повышения плодородия почвы и продуктивности озимой пшеницы // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. Вып. № 3 (45). Ч. 3. С. 125–126. DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.170.
23. Половицкий И. Я., Гусев П. Г. Почвы Крыма и пути повышения их плодородия. М.: Колос, 2004. 460 с.
24. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
25. Качинский Н. А. Физика почвы. Ч. 1. М.: Высшая школа, 1965. 257 с.
26. Лазарев А. П., Майсямова Д. Р. Скорость разложения послеуборочных остатков полевых культур в черноземах за осенне-весенний и годовой периоды // Почвоведение. 2006. № 6. С. 751–757.
27. Морковкин Г. Г., Дёмина И. В. Интенсивность минерализации сидератов и изменение содержания гумуса в черноземах выщелоченных умеренно засушливой и колочной степи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2009. № 1 (51). С. 12–16.

## References

1. Gulyanov Yu. A., Dosov D. Z., Umarova S. A. Efficiency of using bioclimatic resources in winter wheat cultivation in Orenburg region // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2010. No. 2 (26). P. 48–50.
2. Khripunov A. I., Morozov N. A., Galushko N. A., Obschiya E. N. Moisture supply and yield of winter wheat in different zones of Stavropol territory // *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2018. No. 4. P. 21–26.
3. Pashetskii V. S., Radchenko L. A., Zhenchenko K. G. Productivity of winter wheat depending on preceding crops under condition of the Crimea // *Zemledelie*. 2016. No. 5. P. 20–22.
4. Sychev V. G., Shafran S. A., Vinogradova S. B. Soil fertility in Russia and ways of its regulation // *Agricultural Chemistry*. 2020. No. 6. P. 3–13. DOI: 10.31857/S0002188120060125.
5. Perdigao A., Pereira J., Moreira N., Trindade H., Coutinho J. Carbon and nitrogen mineralisation from green manures as alternative nitrogen sources in Mediterranean farming // *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2017. Vol. 63. Iss. 11. P. 1546–1555. DOI: 10.1080/03650340.2017.1294754.
6. Cerbari V., Cojocar O. Evaluation of quality amendments in ordinary chernozem after incorporation in the soil a harvest of intermediate culture the vetch as a green mass // *Scientific papers. UASVM of Bucharest. Series "Agronomy"*. 2019. Vol. 62. Iss. 1. P. 13–18.
7. Merzlaya G. E. Soil organic matter and long-term fertilization // *Soil fertility in Russia: condition and possibilities (dedicated to the 100<sup>th</sup> anniversary of T. N. Kulakovskaya)*. Moscow: Pryanishnikov All-Russia Research Institute for Agrochemistry, 2019. P. 72–78.
8. Castro-Rincon E., Mojica-Rodriguez J. E., Corulla-Fornaguera J. E., Lascano-Aguilar C. E. Green legume fertilizers: integration in agricultural and livestock systems in the tropics // *Agronomia Mesoamericana*. 2018. Vol. 29. Iss. 3. P. 711–729. DOI: 10.15517/MA.V29I3.31612.
9. Prikhodko A. V., Sysskiy A. N., Molyar S. A. Alternative sources of soil fertility improvement under the conditions of the Crimea // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2016. No. 2. P. 24–35.
10. Leah C. The influence of green manure on the quality state and production capacity of the chernozem cambic from central Moldova // *Scientific Papers. Series "A-Agronomy"*. 2017. Vol. 60. P. 107–112.
11. Baibekov R. F., Esaulko A. N., Lobankova O. Yu., Golosnoy E. V., Ozheredova A. Yu. Biologization of fertilizer systems: a step towards organic farming // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018. Vol. 9. Iss. 4. P. 1694–1701.
12. Halmanov N. T., Elmurodova M. A. Influence of sideration on the fertility of seasons and on growth, development and yield of cotton of the Zerafshan valley // *Plodorodie*. 2019. No. 2 (107) P. 33–37. DOI: 10.25680/S19948603.2019.107.11.
13. Baddeley J. A., Pristeri A., Bergkvist G., Monti M., Reckling M., Schlafke N., Papa V. A., Watson C. Legume-based green manure crops // In: *Legumes in Cropping Systems*. CABI International, 2017. P. 125–138. DOI: 10.1079/9781780644981.0125.
14. Vasiliev A. A. Influence of green manure on the phytosanitary condition of potato agroecosystems // *Permskii Agrarnyi Vestnik*. 2014. No. 3 (7). P. 3–10.
15. Borisova E. E. The use of green manures in the world // *Bulletin NGIEI*. 2015. No. 6(49). P. 24–33.
16. Xue N. W., Yang Z. P., Gao Z. Q., Zhang C. L., Xue J. F., Liu X. L., Sun M., Du T. Q. Effects of green manures during fallow on moisture and nutrients of soil and winter wheat yield on the Loess Plateau of China // *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2017. Vol. 29. Iss. 12. P. 978–987. DOI: 10.9755/ejfa.2017.v29.i12.1568.
17. Ahmetzyanov M. R., Talanov I. P., Safina L. I. Productivity of winter wheat using various fallows on gray forest soils under the conditions of the republic of Tatarstan // *Plodorodie*. 2020. No. 1. P. 40–43. DOI: 10.25680/S19948603.2020.112.12.
18. Solodun V. I., Tsvintarnaya L. A. Comparative evaluation of corn bare fallow crop rotation with clean and green manure bare fallow forest-steppe zone Irkutsk region // *The Bulletin of KrasGAU*. 2016. No. 5 (116). P. 176–180.
19. Kireev A. K., Zhushupbekov E. K., Tynybaev N. K. Green manure as a low-cost method of increasing soil fertility and crop yields on rainfed lands of southeast Kazakhstan // *Agrosnabforum*. 2018. No. 8 (164). P. 60–62.
20. Tzandur N. A., Druziak V. V., Burykina S. I. Green steam in the steppe of the Ukraine // *Soil Science and Agrochemistry*. 2011. No. 1(46). P. 37–46.
21. Pashetskii V. S., Prikhodko A. V. The use of green manure crops to recover soil fertility under the conditions of Crimean steppes // *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2019. No. 5 (79). P. 44–46.
22. Turusov V. I., Garmashov V. M., Abanina O. A., Mihina T. I. Pairs of green manure as a method of improving soil fertility and productivity of winter wheat // *International Research Journal*. 2016. Iss. 3 (45). Part. 3. P. 125–126. DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.170.

23. Polovitsky I. Ya., Gusev P. G. Soils of the Crimea and increasing their fertility. Moscow: Kolos, 2004. 460 p.
24. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
25. Kachinsky N. A. Soil Physics. Part.1. Moscow: Vysshaya shkola, 1965. 257 p.
26. Lazarev A. P., Maisyamova D. R. The decomposition of after harvest residues in chernozems during the autumn-spring period and in the annual cycle // Pochvovedenie. 2006. No. 6. P. 751–757.
27. Morkovkin G. G., Dyomina I. V. Intensity of mineralization of green manure and change in the humus content in leached chernozems of moderately arid steppe and that of with kolkis at the Altai Territory // Bulletin of Altai State Agricultural University 2009. No. 1 (51). P. 12–16.

UDC 633.11:631.874

Prikhodko A. V., Karaeva N. V., Zubochenko A. A.

### WINTER TRITICALE USED AS GREEN MANURE AT DIFFERENT PHASES OF THE VEGETATIVE CYCLE

**Summary.** *Improvement of soil management practices aimed at conserving soil fertility and soil moisture availability is necessary to increase agricultural productivity in the steppe zones. The purpose of our research was to identify the influence of various practices of green manure biomass incorporation on the soil fertility indicators before the sowing fallow-grown crop. Field experiments were carried out in 2015-2018 in the steppe zone of the Crimea. Winter triticale (*Triticale aestivumforme*) served as an object of our research. This crop was used as green manure at different phases of the vegetative cycle, namely stem elongation and early heading. According to GOST 26226-95, before green manure biomass incorporation, we determined the content of organic matter; 6 months later, just before winter wheat sowing, we estimated the agrochemical properties of the soil. Triticale used at the phase of stem elongation ensured 3.34 t/ha of organic matter (OM) after the total incorporation of plant biomass. In the phase of early heading, the content of organic matter increased from 5.65 t/ha in extremely dry years to 12.19 t/ha when the moisture regime was optimal. Over the interphase period – stem elongation–early heading – triticale root system broke the compacted soil layers: 0–10 and 10–20 cm – by 0.11–0.12 g/cm<sup>3</sup>; 20–30 cm – by 0.4 g/cm<sup>3</sup>. In typical years, before sowing the fallow-grown crop, the reserves of productive moisture in one-meter soil layer after incorporation plant biomass in the stem elongation phase were 8.8–16.3 mm higher than that of at the phase of ear emergence. In summer, under conditions of intense rainfall, moisture in soil accumulated better when plant biomass was incorporated at the phase of early heading (excess – 36.9 mm). Higher content of nitrate nitrogen (GOST 26951-86) in the root layer of the soil was noted after triticale incorporation at a phase of stem elongation – 2.01 mg/100g of soil, which is 40% higher than that of at a phase of early heading. The phases of triticale incorporation did not affect the content of available forms of phosphorus and potassium (GOST 26205-91) in the soil.*

**Keywords:** *winter triticale (*Triticale aestivumforme*), soil fertility, green manure, yield, nitrogen, organic matter.*

Приходько Александр Валентинович, старший научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: prihodko\_a@niishk.ru.

Караева Наталья Викторовна, младший научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: karaeva\_n@niishk.ru.

Зубоченко Алла Анатольевна, старший научный сотрудник лаборатории агрохимических исследований, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: zubochenko\_a@niishk.ru.

Prikhodko Aleksandr Valentinovich, senior researcher of the Laboratory of agriculture, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: prihodko\_a@niishk.ru.

Karaeva Natalya Viktorovna, junior researcher of the Laboratory of agriculture, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: karaeva\_n@niishk.ru.

Zubochenko Alla Anatolyevna, senior researcher of the Laboratory of agrochemical research, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150? Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: zubochenko\_a@niishk.ru.

*Дата поступления в редакцию – 01.07.2020.*

*Дата принятия к печати – 01.08.2020.*

DOI 10.33952/2542-0720-2020-3-23-142-151

УДК 633.16 : 581.1

Симонова О. А.<sup>1</sup>, Симонов М. В.<sup>2</sup>, Товстик Е. В.<sup>2</sup>

## СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОАККУМУЛЯЦИИ ЖЕЛЕЗА В РАСТЕНИЯХ ЯЧМЕНЯ

<sup>1</sup>ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»

**Реферат.** Железо относится к элементам, необходимым для полноценного развития растений, однако в избыточных концентрациях оно может оказывать токсическое действие. Цель работы – сравнительная оценка накопления железа в корнях и надземной части растений ячменя разных сортов. Исследования проведены в 2019 г. Объектами исследования служили побеги и корни ячменя сортов и форм 29-11, Фермер 198-12, Форвард, Бионик из рабочей коллекции лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого (ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока»). В качестве стандарта использовали сорт Белгородский 100. Исследования проводили в рулонной культуре на питательном растворе Кнопа с добавлением ионов железа(II) в виде  $FeSO_4 \times 7H_2O$  в концентрациях 2,6; 13,0 и 65,0 мг/л действующего вещества. В качестве контроля использовали питательный раствор Кнопа без добавления соли железа. Растения выращивали в течение 14-и суток в естественных условиях. По окончании срока экспозиции измеряли длину корней и определяли их биомассу. Исследование содержания железа в растительных пробах осуществляли на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA-6800 (Shimadzu, Япония). Количество железа в корнях и побегах растений на контрольном фоне варьировало от 86,5 до 207,0 мг/кг и от 66,2 до 121,2 мг/кг соответственно. Отсутствовали достоверные различия в содержании железа в надземной и подземной частях растений ячменя у сортов Белгородский 100 и Фермер 198-12. Накопление железа в корнях растений зависело от его концентрации в питательном растворе. В побегах подобной закономерности не прослеживалось. Для всех исследованных сортов содержание железа в корнях при выращивании на средах с добавлением ионов железа(II) было выше, чем у сорта-стандарта. Максимальное количество железа в корнях (692,0; 2110,4; 7812,1 мг/кг) во всех вариантах опыта и побегах ( $157,9 \pm 9,9$  и  $215,1 \pm 20,8$  мг/кг) в дозе 2,6 и 13,0 мг/л зафиксировано у сорта Бионик. Для большинства сортов в вариантах опыта с дозой ионов железа(II) 13 и 65 мг/л фиксировали уровень концентрации железа в корнях, соответствующий токсической дозе (более 500 мг/кг). Повышение содержания железа было сопряжено с уменьшением длины корней и не отражалось на их биомассе.

**Ключевые слова:** ячмень (*Hordeum vulgare L.*), ионы железа(II), накопление железа, сорт, корни, побеги, биомасса.

### Введение

В настоящее время актуальность разработки стратегий, направленных на увеличение содержания микроэлементов в зерновых культурах, не вызывает сомнений. Прежде всего, это связано с улучшением качества продуктов питания, изготовленных на их основе [1].

Железо (Fe) является одним из важнейших биологически значимых элементов [2]. Его дефицит приводит к возникновению проблем со здоровьем у людей, в рационе питания которых преобладают зерновые культуры с низким содержанием микроэлементов [3].

Известно, что общее содержание железа в растениях зависит от активности его поглощения клетками корней, а также эффективности перемещения по растению. В большей степени железо накапливается в корнях, в меньшей степени – в стеблях и листьях [4]. Частично ограничения на поступление железа в растения накладывают свойства почвы. Так, в аэрируемых и карбонатных почвах доступность железа для растений снижается [5].

К настоящему времени известны две стратегии поглощения железа растениями в условиях его дефицита. Одна из них, не характерная для злаковых культур, заключается в подкислении корневыми экссудатами почвы в области ризосферы [6]. У злаковых растений повышение доступных форм железа в почве возможно за счет продукции ими хелатирующих агентов. Встраивание генов, отвечающих за синтез подобных веществ из злаковых культур, позволяет в настоящее время получать трансгенные линии картофеля, толерантные к низким концентрациям ионов железа [7].

В почве с кислой реакцией среды, напротив, могут создаваться условия, способствующие повышению доступности ионов железа для растений [8]. Но достаточно часто их избыток способен оказывать на растения токсическое действие. В некоторых случаях перераспределение в растениях ионов металлов, в том числе и железа, повышает их выживаемость в условиях повышенной доступности ионов [9]. В связи с этим, **цель исследований** – сравнительная оценка накопления железа в корнях и надземной части растений ячменя разных сортов.

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

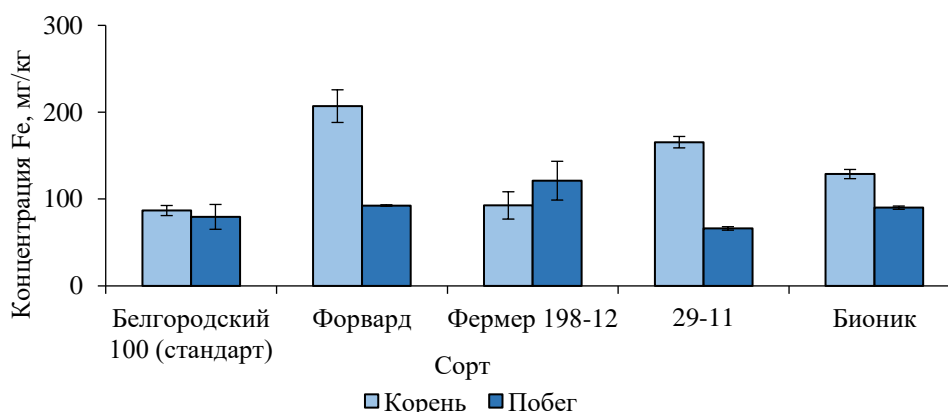
Лабораторный опыт по исследованию биоаккумуляции железа проростками ячменя проводили в 2019 г. в ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока». Объектами исследования служили побеги и корни ячменя сортов 29-11, Фермер 198-12, Форвард, Бионик из рабочей коллекции лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока». В качестве стандарта использовали внесенный в Госреестр и рекомендованный для выращивания в Кировской области сорт ячменя Белгородский 100. Выращивание растений проводили в рулонной культуре на питательном растворе Кнопа ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  – 1,0;  $\text{K}_3\text{PO}_4$  – 0,25;  $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,25;  $\text{KCl}$  – 0,125 г на 1 л воды) с добавлением ионов железа(II) в виде  $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  в концентрациях 2,6; 13,0 и 65,0 мг/л действующего вещества. Выбор наименьшей исследуемой в опыте концентрации железа был основан на данных литературы об его оптимальном содержании в почве (2,6 мг/кг), доступного для растений [8]. Контрольным фоном служил раствор Кнопа без добавления ионов железа(II). Растения выращивали при естественной освещенности и комнатной температуре. Продолжительность опыта составила 14 сут. Эксперимент проводили в трех биологических повторностях.

По окончании срока экспозиции растения извлекали из рулонов и измеряли длину корней, делили растения на корни и побеги, определяли их биомассу после высушивания. Для оценки степени накопления железа в растениях образцы подвергали сухой минерализации согласно ГОСТ 26929-94 [10]. Определение содержания железа в растительных тканях осуществляли на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA-6800 (Shimadzu, Япония), предварительно экстрагируя железо из золы раствором азотной кислоты (1:1) [11].

Статистическую обработку данных и построение графиков проводили с использованием пакета программы MS Excel. Для числовых характеристик рассчитывали средние арифметические значения и их стандартные ошибки, коэффициент корреляции (r). Существенность различий между вариантами определяли при уровне значимости  $P \geq 0,95$  (P – доверительная вероятность).

### Результаты и их обсуждение

Известно, что химический состав зерна зависит от многих факторов. Среди них сортовая специфичность, район произрастания и другие. При прорастивании зерна его оригинальный состав может меняться [12]. При этом содержание макро- и микроэлементов в проростках зачастую определяется их исходным количеством в зерне [13]. Согласно полученным данным содержание железа в корнях и побегах 14-дневных проростков ячменя на контрольном фоне варьировало от 86,5 до 207,0 мг/кг и от 66,2 до 121,2 мг/кг соответственно (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Содержание железа в проростках ячменя на контрольном фоне**

У сортов Белгородский 100 и Фермер 198-12 отсутствовали достоверные различия в содержании железа в надземной и подземной частях растений. Для остальных исследованных сортов количество железа в корнях превышало его содержание в побегах.

По сравнению с сортом Белгородский 100 количество железа в корнях на контрольном фоне было выше в 1,5; 1,9 и 2,4 раза у сортов Бионик, 29-11 и Форвард. В надземной части растений сорта Фермер 198-12 содержание железа по сравнению с Белгородским 100 было в 1,5 раза выше.

Известно, что надземные органы растений могут содержать в среднем в 10–15 раз меньше тяжелых металлов (ТМ), чем корни [14, 15]. Это обусловлено связыванием и закреплением ионов металлов в хелатные комплексы в области ризосферы. Основная часть хелатированных ТМ остается в корне, и лишь незначительное их количество поступает в наземные органы. Способность корней задерживать большую часть тяжелых металлов является важным адаптационным механизмом, обеспечивающим нормальный рост и развитие растений в условиях высокого содержания этих элементов в почве. Внесение в питательный раствор ионов железа(II) привело к его преимущественному накоплению в корнях растений, что согласуется с литературными данными [16, 17] (таблица 1).

**Таблица 1 – Кратность превышения содержания железа в корнях растений ячменя по сравнению с побегами**

Сорт	Концентрация Fe <sup>2+</sup> , мг/л		
	Корень	Побег	Корень/Побег
Белгородский 100 (St.)	2,6	13,0	65,0
Форвард	2,2	11,4	18,4
Фермер 198-12	1,9	4,2	38,1
29-11	1,7	3,1	10,4
Бионик	7,7	28,6	6,0
Бионик	4,4	9,8	63,4



При более низких концентрациях железа в среде выращивания растений (2,6 и 13,0 мг/л) кратность превышения его накопления в корнях варьировала в пределах одного порядка (1,7–7,7 и 3,1–9,8 раз), за исключением сортов Белгородский 100 и 29-11, для которых увеличение составило 11,4 и 28,6 раз соответственно. В случае наибольшей исследуемой в опыте концентрации железа (65,0 мг/л) кратность превышения накопления относительно его более низкой концентрации (2,6 мг/л) изменилась на порядок. Исключение составил сорт 29-11, для которого отмечали снижение степени накопления железа в корнях растений по сравнению с побегами.

Для всех исследованных сортов содержание железа в корнях при выращивании на средах с добавлением ионов железа(II) было выше, чем в корнях сорта-стандарта (таблица 2).

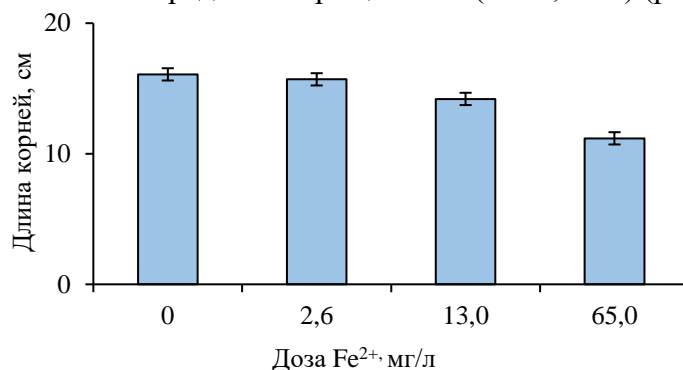
**Таблица 2 – Содержание железа в растениях ячменя, выращенных на среде с разными дозами ионов железа(II)**

Сорт	Концентрация Fe <sup>2+</sup> , мг/л	Содержание, мг/кг	
		корень	побег
Белгородский 100	2,6	183,2 ± 5,2	81,6 ± 1,4
	13,0	635,8 ± 13,1	55,7 ± 2,6
	65,0	3029,4 ± 44,7	164,6 ± 5,3
Форвард	2,6	254,2 ± 5,4	129,2 ± 5,1
	13,0	870,5 ± 19,7	206,1 ± 2,4
	65,0	5956,3 ± 56,4	156,3 ± 1,8
Фермер 198-12	2,6	231,9 ± 18,7	132,9 ± 3,9
	13,0	342,3 ± 73,0	109,3 ± 3,4
	65,0	1538,0 ± 53,3	147,2 ± 5,3
29-11	2,6	685,7 ± 13,7	88,6 ± 2,2
	13,0	2039,2 ± 114,6	71,4 ± 2,8
	65,0	622,6 ± 12,2	103,0 ± 8,2
Бионик	2,6	692,0 ± 24,0	157,9 ± 9,9
	13,0	2110,4 ± 101,8	215,1 ± 20,8
	65,0	7812,1 ± 17,6	123,3 ± 9,8

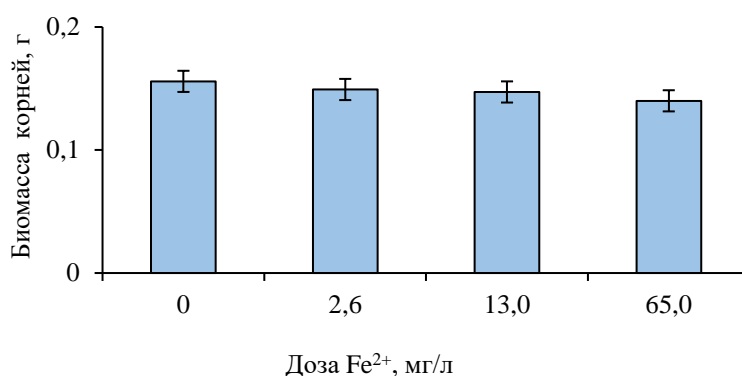
Исключение составил сорт Фермер 198-12, содержание железа в корнях которого при концентрациях элемента в питательном растворе 13,0 и 65,0 мг/л было меньше (соответственно 342,3 ± 73,0 и 1538,0 ± 53,3 мг/кг сухого веса), чем у сорта Белгородский 100 (635,8 ± 13,1 и 3029,4 ± 44,7 мг/кг).

Среди исследованных сортов максимальное накопление железа (7812,1 ± 17,6 мг/кг) в корнях зафиксировано у сорта Бионик. По содержанию железа отличие данного сорта от стандартного составило в 1,5; 3,7; 3,3 раза при выращивании на средах с 2,6; 13; 65 мг/л ионов железа(II) соответственно. Известно, что растения, способные накапливать ТМ в больших количествах, более устойчивы к соответствующей ионной токсичности [18–20]. По данным литературы концентрация железа в растениях может варьировать от 30 до 300 мг/кг их сухого веса, при этом концентрацию выше 500 мг/кг считают токсичной [21, 22]. Для большинства исследованных сортов в вариантах опыта с дозой ионов железа (II) 13,0 и 65,0 мг/л фиксировали уровень концентрации железа, соответствующий токсической дозе (более 500 мг/кг). Полученные данные хорошо согласовывались с данными по морфометрическим показателям роста растений. Так, в среднем по сортам фиксировали закономерное уменьшение длины главного корня с ростом концентрации исследуемого элемента в среде относительно контрольного варианта и наименьшей исследуемой в опыте дозы железа (P = 0,0000) (рисунок 2). В отличие от линейного роста, продуктивные показатели проростков в меньшей степени

зависели от дозы железа в среде их выращивания ( $P = 0,3104$ ) (рисунок 3).



**Рисунок 2 – Средние значения длины корней ячменя по сортам в зависимости от дозы ионов железа(II) в среде выращивания**



**Рисунок 3 – Средние значения биомассы корней ячменя по сортам в зависимости от дозы ионов железа(II) в среде выращивания**

Для всех исследованных сортов в вариантах опыта с дозой железа (II) 2,6 и 13,0 мг/л отмечали более высокое накопление железа побегами (88,6–157,9 и 71,4–215,1 мг/кг) по сравнению с сортом-стандартом ( $81,6 \pm 1,4$  и  $55,7 \pm 2,6$  мг/кг) (см. таблицу 2). При этом в варианте опыта с максимальной исследуемой дозой железа (65 мг/л) наибольшее содержание железа в надземной части растений фиксировали у сорта Белгородский 100 ( $164,6 \pm 5,3$  мг/кг) по сравнению с остальными сортами ячменя (103,0–156,3 мг/кг). Среди исследованных сортов максимальное количество железа в побегах отмечено у сорта Бионик ( $157,9 \pm 9,9$  и  $215,1 \pm 20,8$  мг/кг) в вариантах опыта с дозой ионов железа(II) 2,6 и 13,0 мг/л. Для этого же сорта в данных вариантах опыта наблюдали наибольшее накопление железа в побегах по сравнению с контрольным фоном. В случае наибольшей исследуемой в опыте дозы железа более интенсивное его накопление по сравнению с контрольным фоном отмечали для сорта Белгородский 100 (таблица 3).

**Таблица 3 – Кратность превышения содержания железа в побегах ячменя в вариантах опыта относительно контрольного фона**

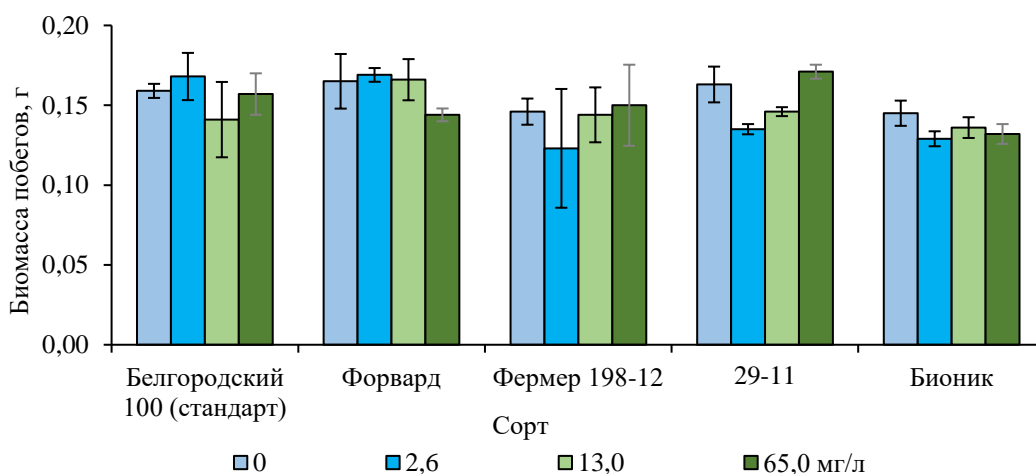
Fe <sup>2+</sup> , мг/л	Сорт				
	Белгородский 100	Форвард	Фермер 198-12	29-11	Бионик
2,6	1,0	1,4	1,1	1,3	1,8
13,0	0,7	2,2	0,9	1,1	2,4
65,0	2,1	1,7	1,2	1,6	1,4

Наименьшее содержание железа в побегах растений при максимальной

исследуемой дозе ионов железа(II) установлено для сортов 29-11 ( $103,0 \pm 8,2$ ) и Бионик ( $123,3 \pm 9,8$  мг/кг).

Согласно данным литературы, с увеличением концентрации тяжелых металлов в окружающей среде происходит повышение их содержания как в корнях, так и в надземных органах растений [23]. Для некоторых растительных видов отмечают прямую зависимость между концентрацией железа в питательном растворе и его содержанием в органах [24, 25]. В наших исследованиях подобная закономерность прослеживалась только в случае корневой системы растений. С увеличением в среде выращивания растений концентрации ионов железа(II) на один порядок (2,6 и 65,0 мг/л), регистрировали на порядок более высокое содержание железа в корнях растений. В случае побегов данная зависимость сохранялась только для сорта Белгородский 100 и частично – для 29-11 (коэффициент корреляции составил 0,92 и 0,74 соответственно). Для остальных исследованных сортов при действии минимальной дозы железа происходило более высокое накопление железа в побегах, в связи с чем уровень его накопления в исследуемом диапазоне концентраций варьировал в пределах одного порядка.

Аналогично данным, полученным по биомассе корней, общих закономерностей по влиянию на биомассу побегов ионов железа(II) в диапазоне исследуемых концентраций в целом по сортам не установлено. С ростом концентрации ионов железа(II) в среде выращивания растений отмечали как уменьшение (Форвард;  $r = -0,99$ ), так и увеличение (29-11;  $r = 0,99$ ) массы побегов (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Биомасса растений ячменя разных сортов в зависимости от дозы ионов железа(II) в среде выращивания**

Отмечено отсутствие зависимости между данными по количеству железа в побегах и их сухой биомассой.

#### Выводы

Таким образом, в ходе исследования биоаккумуляции железа растениями ячменя разных сортов установлена зависимость между его содержанием в корнях растений и питательном растворе.

В диапазоне исследованных концентраций (2,6; 13,0; 65,0 мг/л) количество железа в корнях достигает 1000 мг/кг и превышает токсические дозы (выше 500 мг/кг сухого веса). В соответствии с данными по продуктивным показателям проростков можно заключить, что дозы железа 13,0 и 65,0 мг/л не оказывают выраженного токсического действия на растения ячменя на начальных стадиях его

развития, несмотря на его высокое накопление в корнях.

Содержание железа в побегах варьирует от 55,7 до 215,1 мг/кг. Наибольшее количество железа в побегах ( $157,9 \pm 9,9$  и  $215,1 \pm 20,8$  мг/кг в дозе 2,6 и 13,0 мг/л) и корнях ( $2110,4 \pm 101,8$  и  $7812,1 \pm 17,6$  мг/кг в дозе 13,0 и 65,0 мг/л) зафиксировано для сорта Бионик. В целом, для большинства исследованных сортов на провокационном фоне количество железа в корнях растений по сравнению с побегами было на порядок выше. На контрольном фоне у сортов Белгородский 100 и Фермер 198-12 оно достоверно не отличалось. Накопление железа в корнях растений, по сравнению с побегами, в большей степени зависело от его дозы в питательном растворе. По сравнению с сортом-стандартом у сортов 29-11, Форвард и Бионик количество железа в корнях было выше. У сорта Фермер 198-12 в вариантах опыта с концентрацией ионов железа(II) в питательном растворе 13,0 и 65,0 мг/л содержание железа было ниже, чем у сорта Белгородский 100. Накопление железа в побегах сортов 29-11, Фермер 198-12, Форвард и Бионик по сравнению со стандартным сортом оказалась выше при содержании элемента в питательном растворе 2,6 и 13,0 мг/л. При действии дозы 65,0 мг/л отмечали противоположную закономерность.

### Литература

1. Tsakirpaloglou N., Swamy B. P. M., Acuin C., Slamet-Loedin I. H. Biofortified Zn and Fe rice: potential contribution for dietary mineral and human health // Nutritional Quality Improvement in Plants // Ed. by Jaiwal P., Chhillar A., Chaudhary D., Jaiwal R. Springer, Cham, 2019. P. 1–24. DOI: 10.1007/978-3-319-95354-0\_1.
2. Celletti S., Paolacci A. R., Mimmo T., Pii Y., Cesco S., Ciaffi M., Astolfi S. The effect of excess sulfate supply on iron accumulation in three graminaceous plants at the early vegetative phase // Environmental and Experimental Botany. 2016. Vol. 128. P. 31–38. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2016.04.004.
3. Abekova A., Atabayeva S., Yernazarova G., Omirbekova N., Zhang G., Turasheva S., Asrandina S., Sarsu F., Wang Y. Mutant lines of spring wheat with increased iron, zinc, and micronutrients in grains and enhanced bioavailability for human health // BioMed Research International. 2019. Article ID 9692053. 10 p. DOI: 10.1155/2019/9692053.
4. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants // Biochimie. 2006. Vol. 88. Iss. 11. P. 1707–1719. DOI: 10.1016/j.biochi.2006.07.003.
5. Гуторова О. А., Шеуджен А. Х. Содержание железа в лугово-черноземной почве рисовых полей в условиях Кубани // Плодородие. 2016. № 3. С. 15–18.
6. Иванищев В. В. Проблемы проникновения железа в растения // Известия Тульского государственного университета. Серия «Естественные науки». 2019. № 3. С. 139–148.
7. Nozoye T., Otani M., Senoura T., Nakanishi H., Nishizawa N. K. Overexpression of barley nicotianamine synthase 1 confers tolerance in the sweet potato to iron deficiency in calcareous soil // Plant and Soil. 2017. Vol. 418. P. 75–88.
8. Небольсин А. Н., Небольсина З. П. Теоретические основы известкования почв. СПб.: ЛНИИСХ, 2005. 252 с.
9. Литвинович А. В., Лаврищев А. В., Буре В. М., Павлова О. Ю., Ковлева А. О. Изучение динамики изменения содержания подвижного железа в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, мелиорируемой доломитом // Агрехимия. 2019. № 3. С. 44–53.
10. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 16 с.
11. Типсина Н. Н., Пуляева О. С. Биологическая ценность продуктов переработки ячменя // Вестник КрасГАУ. 2013. № 8. С. 226–229. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/biologicheskaya-tsennost-produktov-pererabotki-yachmenyu> (дата обращения 22.07.2020).
12. Зубцов Ю. Н., Еремина О. Ю., Серегина Н. В. Микронутриентная ценность побочных продуктов солодоращения ячменя // Вопросы питания. 2017. Т. 86. № 3. С. 115–120.
13. Методические указания по определению содержания тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 2010. 42 с.
14. Krupa Z., Baszynski T. Some aspects of heavy metals toxicity towards photosynthetic apparatus – direct and indirect effects on light and dark reactions // Acta Physiol. Plant. 1995. Vol. 17. P. 177–190.
15. Kovačević G., Kastori R., Merkulov L. J. Dry Matter and Leaf Structure in Young Wheat Plants as Affected by Cadmium, Lead, and Nickel // Biologia Plantarum. 1999. Vol. 4. No. 1. P. 119–123.

16. Барсукова В. С. Физиолого-генетические аспекты устойчивости растений к тяжелым металлам. Аналитический обзор // Серия «Экология». 1997. Вып. 47. Новосибирск: СО РАН; ГПНТБ; Институт почвоведения и агрохимии. 63 с.
17. Пищик В. Н., Воробьев Н. И., Проворов Н. А., Хомяков Ю. В. Механизмы адаптации растений к тяжелым металлам // Агрофизика. 2015. № 2. С. 38–49.
18. Millaleo R., Reyes-Díaz M., Ivanov A. G, Mora M. L., Alberdi M. Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms // J. Soil Sci. Plant Nutr. 2010. Vol. 10 (4). P. 470–481. DOI: 10.4067/S0718-95162010000200008.
19. Khabaz-Saberi H., Rengel Z., Wilson R., Setter T. L. Variation of tolerance to manganese toxicity in Australian hexaploid wheat // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2010. Vol. 173 (1). P. 103–112. DOI: 10.1002/jpln.200900063.
20. Li P., Song A., Li Z., Fan F., Liang Y. Silicon ameliorates manganese toxicity by regulating manganese transport and antioxidant reactions in rice (*Oryza sativa* L.) // Plant Soil. 2012. Vol. 354. P. 407–419. DOI: 10.1007/s11104-011-1076-4.
21. Pugh R. E., Dick D. G., Fredeen A. L. Heavy metal (Pb, Zn, Cd, Fe and Cu) contents of plant foliage near the Anvil range lead/zinc mine, Faro, Yukon territory // Ecotoxicol Environ Saf. 2002. Vol. 52. P. 273–279. DOI: 10.1006/eesa.2002.2201.
22. Adamski J. M., Peters J. A., Danieloski R., Bacarin M. A. Excess iron-induced changes in the photosynthetic characteristics of sweet potato // Journal of Plant Physiology. 2011. Vol. 168 (17). P. 2056–2062. DOI: 10.1016/j.jplph.2011.06.003.
23. Казнина Н. М. Физиолого-биохимические и молекулярно-генетические механизмы устойчивости растений семейства Poaceae к тяжелым металлам. Дисс. ... д-ра биол. наук. СПб: ФГБУН «Ботанический институт имени В. Л. Комарова», 2016. 358 с.
24. Doncheva S., Poschenrieder C., Stoyanova Z., Georgieva K., Velichkova M., Barcelly J. Silicon amelioration of manganese toxicity in Mn-sensitive and Mn-tolerant maize varieties // Environmental and Experimental Botany. 2009. Vol. 65. P. 189–197. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2008.11.006.
25. Шевякова Н. И., Ешинимаева Б. Ц., Парамонова Н. В., Кузнецов В. В. Влияние различных доз железа на развитие окислительного стресса и образование ферритина у растений хрустальной травки // Физиология растений. 2009. № 56 (4). С. 518–529.

## References

1. Tsakirpaloglou N., Swamy B. P. M., Acuin C., Slamet-Loedin I. H. Biofortified Zn and Fe rice: potential contribution for dietary mineral and human health // Nutritional Quality Improvement in Plants // Ed. by Jaiwal P., Chhillar A., Chaudhary D., Jaiwal R. Springer, Cham, 2019. P. 1–24. DOI: 10.1007/978-3-319-95354-0\_1.
2. Celletti S., Paolacci A. R., Mimmo T., Pii Y., Cesco S., Ciaffi M., Astolfi S. The effect of excess sulfate supply on iron accumulation in three graminaceous plants at the early vegetative phase // Environmental and Experimental Botany. 2016. Vol. 128. P. 31–38. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2016.04.004.
3. Abekova A., Atabayeva S., Yernazarova G., Omirbekova N., Zhang G., Turasheva S., Asrandina S., Sarsu F., Wang Y. Mutant lines of spring wheat with increased iron, zinc, and micronutrients in grains and enhanced bioavailability for human health // BioMed Research International. 2019. Article ID 9692053. 10 p. DOI: 10.1155/2019/9692053.
4. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants // Biochimie. 2006. Vol. 88. Iss. 11. P. 1707–1719. DOI: 10.1016/j.biochi.2006.07.003.
5. Gutorova O. A., Sheudzhen K. Iron content in meadow-chernozemic soil of rice paddies in the Kuban region // Plodorodie. 2016. No. 3. P. 15–18.
6. Ivanishchev V. V. Problems of iron penetration into the plants // Izvestiya Tula State University. Natural sciences. 2019. No. 3. P. 139–148.
7. Nozoye T., Otani M., Senoura T., Nakanishi H., Nishizawa N. K. Overexpression of barley nicotianamine synthase 1 confers tolerance in the sweet potato to iron deficiency in calcareous soil // Plant and Soil. 2017. Vol. 418. P. 75–88.
8. Nebolsin A. N., Nebolsina Z. P. Theoretical basis of liming of soils. Saint-Petersburg: Leningrad Agricultural Research Institute, 2005. 252 p.
9. Litvinovich A. V., Lavrishchev A. V., Bure V. M., Pavlova O. Yu., Kovleva A. O. Studying the dynamics of mobile iron content in sod-podzolic light loam soil ameliorated by dolomite // Agricultural Chemistry. 2019. No. 3. P. 44–53.
10. GOST 26929-94. Raw material and food-stuffs. Preparation of samples. Decomposition of organic matters for analysis of toxic elements. Moscow: Publishing house of standards, 2002. 16 p.
11. Tipsina N. N., Pulyaeva O. S. The biological value of the barley processing products // The Bulletin of KrasGAU. 2013. No. 8. P. 226–229. [Electronic resource]. Access point:

<https://cyberleninka.ru/article/n/biologicheskaya-tsennost-produktov-pererabotki-yachmenya> (reference's date 22.07.2020).

12. Zubtsov Yu. N., Eremina O. Yu., Seregina N. V. The micronutrient value of byproducts of malting barley // Problems of Nutrition [Voprosy pitaniia]. 2017. Vol. 86 (3). P. 115–120.
13. Guidelines for determining the content of heavy metals in soils of agricultural land and crop production. Moscow: CINAО, 2010. 42 p.
14. Krupa Z., Baszyński T. Some aspects of heavy metals toxicity towards photosynthetic apparatus – direct and indirect effects on light and dark reactions // Acta Physiol. Plant. 1995. Vol. 17. P. 177–190.
15. Kovačević G., Kastori R., Merkulov L. J. Dry matter and leaf structure in young wheat plants as affected by cadmium, lead and nickel // Biol. Plant. 1999. Vol. 4. No. 1. P. 119–123.
16. Barsukova V. S. Physiological and genetic aspects of plant resistance to heavy metals. Analytical Review // Series “Ecology”. 1997. Vol. 47. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Russian National Public Library for Science and Technology; Institute of Soil Science and Agrochemistry. 63 p.
17. Pishchik V. N., Vorobyev N. I., Provorov N. A., Homyakov Yu. V. Mechanisms of plant adaptation to heavy metals // Agrophysica. 2015. No. 2. P. 38–49.
18. Millaleo R., Reyes-Díaz M., Ivanov A. G., Mora M. L., Alberdi M. Mn as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms // J. Soil Sci. Plant Nutr. 2010. Vol. 10 (4). P. 476–494. DOI: 10.4067/S0718-95162010000200008.
19. Khabaz-Saberi H., Rengel Z., Wilson R., Setter T. L. Variation of tolerance to manganese toxicity in Australian hexaploid wheat // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2010. Vol. 173 (1). P. 103–112. DOI: 10.1002/jpln.200900063.
20. Li P., Song A., Li Z., Fan F., Liang Y. Silicon ameliorates manganese toxicity by regulating manganese transport and antioxidant reactions in rice (*Oryza sativa* L.) // Plant Soil. 2012. Vol. 354. P. 407–419. DOI: 10.1007/s11104-011-1076-4.
21. Pugh R. E., Dick D. G., Fredeen A. L. Heavy metal (Pb, Zn, Cd, Fe and Cu) contents of plant foliage near the Anvil range lead/zinc mine, Faro, Yukon territory // Ecotoxicol Environ Saf. 2002. Vol. 52. P. 273–279. DOI: 10.1006/eesa.2002.2201.
22. Adamski J. M., Peters J. A., Danieloski R., Bacarin M. A. Excess iron-induced changes in the photosynthetic characteristics of sweet potato // Journal of Plant Physiology. 2011. Vol. 168 (17). P. 2056–2062. DOI: 10.1016/j.jplph.2011.06.003.
23. Kaznina N. M. Physiological, biochemical, and molecular-genetic mechanisms of the *Poaceae* family tolerance to heavy metals. Thesis... Dr. Sc. (Biol.). Saint-Petersburg: Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Science, 2016. 358 p.
24. Doncheva S., Poschenrieder C., Stoyanova Z., Georgieva K., Velichkova M., Barcelo J. Silicon amelioration of manganese toxicity in Mn-sensitive and Mn-tolerant maize varieties // Environmental and Experimental Botany. 2009. Vol. 65. P. 189–197. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2008.11.006.
25. Shevyakova N. I., Eshinimaeva B. C., Paramonova N. V., Kuznecov V. V. Effects of various iron supply on oxidative stress development and ferritin formation in the common ice plants // Plant Physiology. 2009. No. 56 (4). P. 518–529.

UDC 633.16 : 581.1

Simonova O. A., Simonov M. V., Tovstik E. V.

## VARIETAL FEATURES OF IRON BIOACCUMULATION IN BARLEY PLANTS

**Summary.** *Iron belongs to the elements necessary for plant growth and development. However, in excessive concentrations, it can have a toxic effect on them. The aim of this work was to compare the accumulation of iron in the roots and the aerial parts of different varieties of barley plants. Laboratory experiments were conducted in 2019. Shoots and roots of barley varieties and forms ‘29-11’, ‘Fermer 198-12’, ‘Forward’, ‘Bionik’ from the collection of the Laboratory of selection and primary seed production of barley of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky served as research objects. We used variety ‘Belgorodsky 100’ as a standard. The studies were carried out in a roll culture on Knop’s nutrient solution with the addition of iron (II) ions in the form of  $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  at a concentration of 2.6, 13.0 and 65.0 mg/l of active ingredient. Knop’s nutrient solution without addition of iron salt was used as a control. The plants were grown for 14 days under natural conditions. At the end of the exposure, the length of the roots was measured; their biomass was also determined. The*

study of the iron content in plant samples was carried out on an AA-6800 atomic absorption spectrophotometer (Shimadzu, Japan). The amount of iron in the roots and shoots of plants compared to the control background varied from 86.5 to 207.0 and from 66.2 to 121.2 mg/kg, respectively. There were no significant differences in the iron content in the aboveground and underground parts of barley plants of varieties 'Belgorodsky 100' and 'Fermer 198-12'. The accumulation of iron in plant roots depended on its concentration in the nutrient solution. This pattern was not observed in the shoots. For all studied varieties, the iron content in the roots, when grown on media with the addition of iron (II) ions, was higher than that of the standard one. Variety 'Bionik' in all variants of the experiment accumulated the maximum amount of iron in the roots (692.0; 2110.44; 7812.1 mg/kg) and shoots ( $157.9 \pm 9.9$  and  $215.1 \pm 20.8$  mg/kg) at dose 2.6 and 13.0 mg/l. For most cultivars, in the variants of the experiment with a dose of iron (II) ions at the level of 13 and 65 mg/l, we recorded the level of iron concentration in the roots corresponding to the toxic dose (more than 500 mg/kg). An increase in the iron content was associated with a decrease in root length and did not affect their biomass.

**Keywords:** barley (*Hordeum vulgare* L.), iron (II) ions, iron accumulation, variety, roots, shoots, biomass.

Симонова Ольга Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела эдафической устойчивости растений, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, Кировская область, г. Киров, ул. Ленина 166а; e-mail: simolga07@gmail.com.

Симонов Максим Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»; 610000, Россия, Кировская область, г. Киров ул. Московская, 36; e-mail: simaksim@mail.ru.

Товстик Евгения Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ЦК «Экологические технологии и системы», доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»; 610000, Россия, Кировская область, г. Киров, ул. Московская, 36; e-mail: tovtstik2006@inbox.ru.

Simonova Olga Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), researcher of the Department of edaphic resistance of plants, Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky; 166a, Lenina str., Kirov, Kirov region, 610007, Russia; e-mail: simolga07@gmail.ru.

Simonov Maksim Vasilyevich, Cand. Sc. (Techn.), associate professor of the Department of machine building automation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vyatka State University" (FSBEI HE "VyatSU"); 36, Moskovskaya str., Kirov, Kirov region, 610000, Russia; e-mail: mv\_simonov@vyatsu.ru.

Tovstik Evgeniya Vladimirovna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher of the Competence Center "Ecological Technologies and Systems", associate professor of the Department of fundamental chemistry and methods of chemistry education, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vyatka State University" (FSBEI HE "VyatSU"); 36, Moskovskaya str., Kirov, Kirov region, 610000, Russia; e-mail: tovtstik2006@inbox.ru.

*Дата поступления в редакцию – 18.05.2020.*

*Дата принятия к печати – 21.08.2020.*

DOI 10.33952/2542-0720-2020-3-23-152-167

УДК 631.43+004.65

Терлеев В. В.<sup>1</sup>, Дунаева Е. А.<sup>2</sup>, Гиневский Р. С.<sup>1</sup>, Лазарев В. А.<sup>1</sup>, Топаж А. Г.<sup>3</sup>**ГИСТЕРЕЗИС ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВЫ:  
СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ПЫЛЕВАТОГО СУГЛИНКА**<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»;<sup>2</sup> ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»;<sup>3</sup> ООО «Бюро Гиперборей»

**Реферат.** Актуальность исследования определяется теоретической ценностью и практическим значением моделей гистерезиса водоудерживающей способности почвы в качестве интеллектуального ядра технологий точного ирригационного земледелия. Цель исследований – физическое обоснование гистерезиса водоудерживающей способности почвы как капиллярно-пористой среды, описание этого феномена с использованием метода математического моделирования и верификация предлагаемого описания в сравнении с наиболее известными мировыми аналогами. Задачи исследования: теоретическое обоснование и описание водоудерживающей способности почвы с учетом гистерезиса в виде трех систем гидрофизических функций; сравнение этих систем на основе погрешностей оценок сканирующих ветвей гистерезиса с использованием параметров, идентифицированных путем точечной аппроксимации данных из литературы о главных ветвях иссушения и увлажнения водоудерживающей способности пылеватого суглинка «3301 Carieol silt loam», с применением критерия Вильямса-Клута; исследование условия равенства значений экспоненциального параметра  $n_d = n_w$ , для ветвей иссушения и увлажнения, устраняющего нежелательный искусственный «эффект помпы», а также использования аддитивного параметра  $\psi_e$  в отношении влияния на погрешности оценок. При проведении исследования используется компьютерная программа SoilHysteresis-v.1.0. В отношении пылеватого суглинка условие  $n_d = n_w$  является эффективным; использование аддитивного параметра  $\psi_e$  приводит к достоверному уменьшению погрешностей точечной аппроксимации данных о главных ветвях и погрешностей оценок сканирующих ветвей гистерезиса водоудерживающей способности, в том числе для решения проблем точного ирригационного земледелия, таких как расчет прецизионных норм орошения.

**Ключевые слова:** математическая модель, главная и сканирующая ветви гистерезиса, точечная аппроксимация опытных данных, оценивание, «эффект помпы».

**Введение**

К числу важнейших гидрофизических свойств почвы относится ее водоудерживающая способность. При описании этого свойства используется зависимость эффективного влагонасыщения  $S_e$  от капиллярного давления (капиллярно-сорбционного потенциала) влаги  $\psi$  [см H<sub>2</sub>O] ( $\psi$  имеет отрицательные значения в почвах, не насыщенных водой). Для оценки степени насыщения почвы водой используется показатель эффективного влагонасыщения  $S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ ; здесь  $\theta$  [см<sup>3</sup>·см<sup>-3</sup>] – объемная влажность;  $\theta_s$  [см<sup>3</sup>·см<sup>-3</sup>] – объемная влажность насыщения;  $\theta_r$  [см<sup>3</sup>·см<sup>-3</sup>] – объемная остаточная влажность. В качестве приближенных оценок значений величин  $\theta_s$  и  $\theta_r$  могут соответственно использоваться пористость и максимальная гигроскопичность почвы.

Водоудерживающая способность почвы, описываемая зависимостью  $S_e(\psi)$ , является гистерезисным свойством. Причинами гистерезиса являются: во-первых,



различие между значением  $\psi$  при начальном иссушении исходно полностью насыщенной влагой почвы («давление входа воздуха») и значением  $\psi$  на завершающей стадии увлажнения почвы (давление вытеснения заземленного воздуха из тупиковых пор, или «давление входа воды»); во-вторых, непостоянство площади поперечного сечения поры вдоль ее продольной оси («эффект четок»). В литературе в качестве третьей причины гистерезиса нередко отмечают различие между краевыми углами смачивания поверхности твердой фазы при иссушении и увлажнении почвы. Действительно, краевые углы смачивания могут отличаться в процессах иссушения и увлажнения почвы. Однако гистерезис является феноменом равновесных состояний, а не процессов. Поэтому при описании гистерезиса третью причину авторы данной публикации не принимают в расчет.

Учет первой и второй причин означает, что главные и сканирующие ветви иссушения и увлажнения гистерезиса водоудерживающей способности почвы описываются соответствующими зависимостями  $S_e(\psi)$ . Для почв, не набухающих при увлажнении, главная петля гистерезиса, образованная двумя главными ветвями, по физическому смыслу должна быть замкнутой, поскольку: во-первых, для ветвей иссушения и увлажнения значение  $\theta_s$  должно быть одним и тем же (так как пористость остается неизменной); во-вторых, для ветвей иссушения и увлажнения значение  $\theta_r$  должно быть одним и тем же (так как максимальная гигроскопичность также остается неизменной). Сканирующая ветвь не может выходить за пределы физически допустимой области, ограниченной главными ветвями гистерезиса, также она может начинаться, но не может заканчиваться на главной ветви. В отличие от представлений, изложенных в [1], по мнению авторов настоящей статьи, в каждой точке любой ветви гистерезиса функция приведенной дифференциальной влагоемкости почвы  $dS_e/d\psi$  должна принимать только два значения: одно – для иссушения, другое – для увлажнения почвы; при этом пересекаться могут только две соседние (в отношении последовательной очередности) сканирующие ветви, в иных случаях функция  $dS_e/d\psi$  в точке пересечения будет принимать неограниченное количество значений, что представляется физически абсурдным. Вместе с тем, допустимо, что между двумя точками пересечения двух соседних в последовательной очередности сканирующих ветвей образуется замкнутая петля.

Данные о сканирующих ветвях увлажнения необходимы для решения весьма актуальных проблем гидротехнического строительства [2, 3], а также точного земледелия. К числу таких проблем относится расчет прецизионных норм орошения [4]. Начальная точка сканирующей ветви увлажнения находится в конце предыдущей ветви иссушения водоудерживающей способности и описывается определенной парой значений величин  $S_e$  и  $\psi$ , которые соответствуют предполивному запасу воды в почве. Конечная точка сканирующей ветви увлажнения описывается другой парой значений величин  $S_e$  и  $\psi$ , которые соответствуют влагозапасу почвы, аккумулируемому в условиях полива. Измерения сканирующих ветвей гистерезиса  $S_e(\psi)$  являются достаточно трудоемкими. Поэтому в ирригационном земледелии до сих пор широко практикуют методику расчета норм орошения по разности между наименьшей влагоемкостью (НВ) и предполивым влагозапасом почвы [5]; при этом НВ обычно определяется главной ветвью иссушения  $S_e(\psi)$ . Такая норма почти всегда оказывается завышенной. Завышение нормы, вычисленной по данной методике, обусловлено следующей причиной. Значение эффективного влагонасыщения почвы, соответствующее критическому значению  $\psi$ , при котором почва способна удерживать наибольший запас воды, и определяющее значение НВ, является максимальным на главной ветви иссушения почвы. Такое значение НВ почвы предлагается называть

«потенциальным». На всех других ветвях петли гистерезиса значения  $S_e$ , соответствующие отмеченному критическому значению  $\psi$ , и также определяющие другие значения НВ, являются более низкими. Такие значения НВ предлагается называть «эффективными». Значение НВ при  $\psi = -330$  см вод. ст. предлагается называть «нормативным». Для расчета прецизионных норм орошения следует использовать не «потенциальное» – максимально возможное значение НВ, а «эффективные» значения НВ, которые соответствуют более низким значениям эффективного влагонасыщения почвы на сканирующих ветвях увлажнения гистерезиса  $S_e(\psi)$ . Попутно отметим, что «эффективные» значения НВ могут быть приближенно оценены по точкам пересечения ветвей гистерезиса  $S_e(\psi)$  с соответствующей эмпирической кривой, которую называют «секущая» Воронина [6].

Наряду с достаточно высокой трудоемкостью измерения сканирующих ветвей гистерезиса  $S_e(\psi)$ , о чем упомянуто выше, имеет место и другое весьма существенное затруднение, которое заключается в том, что из-за непредсказуемого характера выпадения атмосферных осадков в предстоящем вегетационном периоде (для условий сельскохозяйственного поля) заранее невозможно предсказать, данные о каких сканирующих ветвях понадобятся для расчета прецизионных норм орошения, а заблаговременно измерить исчерпывающий набор сканирующих ветвей не представляется возможным в принципе. По этой причине исследования, направленные на разработку физически обоснованной математической модели гистерезиса  $S_e(\psi)$ , являются весьма актуальными, а применение такой модели для расчета прецизионных норм орошения, по сути, не имеет альтернативы [7].

**Цель исследования** – физическое обоснованное описание гистерезиса водоудерживающей способности почвы как капиллярно-пористой среды с использованием метода математического моделирования, верификация предлагаемого описания в сравнении с наиболее известными мировыми аналогами.

Задачи, поставленные для достижения цели:

- 1) физическое обоснование и функциональное описание водоудерживающей способности почвы с учетом двух причин гистерезиса  $S_e(\psi)$ ;
- 2) идентификация параметров сравниваемых функций  $S_e(\psi)$  путем точечной аппроксимации данных о главных ветвях иссушения и увлажнения водоудерживающей способности почвы из литературы [8] и выявление различий между погрешностями аппроксимации с применением критерия Вильямса-Клута [9];
- 3) верификация сравниваемых функций  $S_e(\psi)$  путем оценивания сканирующих ветвей иссушения и увлажнения водоудерживающей способности почвы с использованием параметров, идентифицированных по данным о главных ветвях гистерезиса, выявление различий между погрешностями оценок по критерию Вильямса-Клута и выбор лучшей физически обоснованной модели.

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

Если показатель  $S_e$  равен нулю, то в почве жидкая фаза (почвенный раствор) отсутствует, а на поверхности твердой фазы (почвенных частиц и агрегатов) сорбируется только гигроскопическая влага; при этом пространство почвенных пор занимает газообразная фаза (воздух, в состав которого может входить и водяной пар). Если показатель  $S_e$  равен единице, то поровое пространство почвы полностью занимает жидкая фаза. Поры почвы могут существенно отличаться по форме и размеру. Насыщение почвы влагой начинается с наименьших пор и заканчивается наиболее крупными порами. Пространство почвенных пор, занятое жидкой фазой (с учетом пленочной влаги), является топологически сомкнутым. Поэтому, с одной стороны, доля порового пространства почвы, занятого жидкой фазой, то есть менисками (манжетами) влаги, тождественно равна эффективному влагонасыщению

почвы  $S_e$ . С другой стороны, эта доля равна накопленной вероятности состояния воды в жидкой фазе почвы. Любая точка на поверхности менисков (манжет) влаги характеризуется одной и той же средней кривизной, которой по закону Лапласа однозначно соответствует определенное значение капиллярного давления. По мере последовательного заполнения пор (начиная с наименьших) влагой средняя кривизна поверхности менисков (манжет) жидкой фазы уменьшается, а величина  $\psi$  повышается. Следовательно, будет справедливым утверждение, что между эффективным влагонасыщением  $S_e$ , равным накопленной вероятности состояния воды в жидкой фазе почвы, с одной стороны, и капиллярным давлением влаги, с другой стороны, имеется однозначное соответствие. Поэтому можно предложить описание такого соответствия в виде функции распределения вероятностей по значениям некоторой случайной величины, определяемой капиллярным давлением влаги  $\psi$ .

Перейдем к вопросу об обоснованном выборе такой случайной величины. Известно, что пространство почвенных пор имеет весьма сложное строение. Это пространство образовано полостями и промежутками между компонентами твердой фазы почвы, которые обычно дифференцированы по гранулометрическому и минералогическому составам. Поэтому почвенные поры могут существенно различаться по размерам и форме. Можно предположить, что поры могут быть классифицированы по некоторому критерию подобия формы. Вполне резонным будет предположение, что для каждого такого (формального) класса распределение пор по размерам является уникальным, причем, возможно, ни одно из этих распределений не подчиняется нормальному закону. Наряду с этим, в качестве следствия центральной предельной теоремы Ляпунова допустимо утверждение: чем больше классов подобия пор в отношении их формы (с разными распределениями) учитывается, тем в большей степени общее распределение пор по размерам соответствует нормальному закону. По этой причине выглядит логичным исходное предположение об использовании именно нормального закона для описания распределения вероятностей по значениям случайной величины, определяемой капиллярным давлением влаги, в виде зависимости  $S_e(\psi)$ .

Для формулирования этой зависимости предлагается рассмотреть явление, имеющее место при вытеснении воды из изначально насыщенной влагой почвы при повышении атмосферного давления. При постепенном возрастании давления сначала происходит растворение воздуха в воде, объем которой сколько-нибудь заметно не увеличивается, а влага остается в почве; однако по причине повышения конкуренции молекул растворенного воздуха и молекул воды за сорбционные центры на поверхности почвенных частиц и агрегатов происходит постепенное ослабление взаимодействия между жидкой и твердой фазами почвы, при этом постепенно увеличивается средняя кривизна поверхности, разделяющей почвенную влагу и воздух, до определенного значения, при котором происходит проникновение воздуха в почву через крупные поры. Это явление называется «вход воздуха» (барботирование) в изначально влагонасыщенную почву. Вход первой порции воздуха в почву сопровождается вытеснением первой порции воды из почвы. Капиллярное давление, при котором начинается вход воздуха в почву и вытеснение воды, далее будем называть «давлением входа воздуха» и обозначать через  $\psi_e$ . (индекс «e» означает «entrance»). Учет рассмотренного явления требует выполнения двух соотношений: во-первых,  $S_e = 1$  при  $\psi \geq \psi_e$ ; во-вторых,  $S_e < 1$  при  $\psi < \psi_e$ . Следовательно, для формулирования зависимости  $S_e(\psi)$  на интервале  $\psi < \psi_e$  представляется целесообразным использовать нормально-распределенную

случайную величину, основанную на разности  $(\psi - \psi_e)$ . Вместе с тем, эта разность на интервале  $\psi < \psi_e$  не изменяет знака: поэтому в таком виде она не может быть принята в качестве нормально-распределенной случайной величины. Поэтому предлагается использовать нормально-распределенную случайную величину  $\ln((\psi - \psi_e)/(\psi_0 - \psi_e))$  с нулевым генеральным средним и дисперсией  $\sigma^2$ . Параметр  $\psi_0$  представляет собой значение капиллярного давления, при котором функция плотности распределения вероятностей по значениям выбранной случайной величины достигает максимума.

В статье [10] для формулирования зависимости  $S_e(\psi)$  в виде функции распределения вероятностей по значениям случайной величины, выбранной описанным выше способом, предлагается соотношение:

$$S_e = \begin{cases} \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{n\sqrt{\pi}}{4} \ln(-\alpha(\psi - \psi_e)) \right), & \psi < \psi_e; \\ 1, & \psi \geq \psi_e, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\operatorname{erfc}(x) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) dt$  – дополнительная функция ошибок;  $n = 4/(\sigma\sqrt{2\pi})$ ,  $\alpha = -1/(\psi_0 - \psi_e)$  [см  $\text{H}_2\text{O}^{-1}$ ],  $\psi_e$  [см  $\text{H}_2\text{O}$ ],  $\psi_0$  [см  $\text{H}_2\text{O}$ ]  $< \psi_e$  – интерпретированные параметры (с учетом гистерезиса: для ветвей иссушения  $\psi_e \leq 0$ ; для ветвей увлажнения  $\psi_e \geq 0$ ).

Функцию, описываемую соотношением (1), обозначим WRC-КТ (WRC – «water retention capacity»). Функция WRC-КТ в виде частного случая при  $\psi_e = 0$  порождает модель, предложенную Косуги [11, 12], которую обозначим WRC-КТ<sub>0</sub>.

В статье [10] предложена непрерывная аппроксимация соотношения (1) в классе элементарных функций с использованием упрощенной формулы Виницкого [13]:

$$S_e = \begin{cases} \left( 1 + (-\alpha(\psi - \psi_e))^n \right)^{-1}, & \psi < \psi_e; \\ 1, & \psi \geq \psi_e. \end{cases} \quad (2)$$

Функцию, описываемую соотношением (2), обозначим WRC-НТ. Функция WRC-НТ в виде частного случая при  $\psi_e = 0$  порождает модель, предложенную Хаверкампом и соавторами [14], которую обозначим WRC-НТ<sub>0</sub>.

Принципиальный результат, полученный в статье [10] в виде аддитивного параметра  $\psi_e$  зависимости  $S_e(\psi)$ , побудил к исследованию этого параметра и его более общей физической интерпретации. Для ветвей иссушения гистерезиса водоудерживающей способности почвы параметр  $\psi_e$  описывает вышеупомянутое «давление входа воздуха», а для ветвей увлажнения данный параметр описывает «давление входа воды».

Соотношения (1) и (2) имеют общий набор из трех параметров:  $\psi_e$  – аддитивный параметр;  $n$  – экспоненциальный параметр;  $\alpha$  – мультипликативный параметр. В соответствии с указанными выше двумя причинами гистерезиса водоудерживающей способности различие в значениях «давления входа воздуха» и «давления входа воды» (наличие тупиковых пор) учитывается с помощью одного параметра (аддитивного), а «эффект четок» учитывается с помощью двух параметров (экспоненциального и мультипликативного). Таким образом, для моделирования ветвей иссушения используется одна тройка значений параметров, а для ветвей увлажнения – другая тройка значений этих же параметров.

К числу наиболее известных в мире аналогов соотношений (1) и (2) относится широко известная эмпирическая модель, предложенная Ван Генухтенем [15]:

$$S_e = \begin{cases} (1 + (-\alpha\psi)^n)^{-(1-1/n)}, & \psi < 0; \\ 1, & \psi \geq 0, \end{cases} \quad (3)$$

где  $n > 1$  и  $\alpha$  [см Н<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>] – формальные параметры.

Функцию, описываемую соотношением (3), обозначим WRC-VG. Значительная часть исследований по моделированию гистерезиса  $S_e(\psi)$  является развитием двух известных моделей: первая – модель Скотта и соавторов [16], вторая – модель Кула и Паркера [17]. В основу первой модели положена функция WRC-НТ<sub>0</sub>; в основу второй модели – функция WRC-VG. Модель Скотта и соавторов обозначим Нус-SHT<sub>0</sub>, модель Кула и Паркера – Нус-KPVG. В обеих моделях для расчета сканирующих ветвей гистерезиса  $S_e(\psi)$  используется алгоритм, предложенный Скоттом и соавторами [16].

При описании гистерезиса  $S_e(\psi)$  с применением модели Нус-KPVG существует возможность возникновения нежелательного искусственного (методического) «эффекта помпы», что отмечают авторы данной модели. Указанный эффект заключается в том, что при варьировании величины  $\psi$  в некотором фиксированном диапазоне, величина  $S_e$  может принимать физически абсурдные значения. Кул и Паркер видят проблему в том, что сканирующие ветви гистерезиса, вычисляемые по алгоритму Скотта и соавторов, не образуют замкнутых петель. Однако такой взгляд на проблему является ошибочным. По мнению авторов данной статьи, причиной возможного «эффекта помпы» является то, что в модели Нус-KPVG используется функция WRC-VG. Нетрудно убедиться, что возникновение «эффекта помпы» зависит от значений параметров функции WRC-VG: при одних значениях параметров «эффект помпы» возникает, а при других он отсутствует. Если бы у параметров функции WRC-VG был физический смысл, то можно было бы обоснованно указать границы допустимых значений этих параметров, при которых «эффект помпы» возникнуть не может. Однако для формальных (не имеющих физического смысла) параметров функции WRC-VG таких границ не существует. Поэтому при идентификации параметров функции WRC-VG путем точечной аппроксимации опытных данных могут быть получены значения, при которых, с одной стороны, функция достаточно точно описывает опытные данные, а с другой стороны, возникает нежелательный искусственный (методический) «эффект помпы». Разумеется, в некоторых случаях такой эффект может отсутствовать, но возможность, тем не менее, существует. Кроме того, функция WRC-VG определена на интервале  $\psi \leq 0$ . По этой причине, если главные ветви иссушения и увлажнения петли гистерезиса смыкаются в области положительных значений величины  $\psi$  (в области вытеснения воздуха, защемленного в тупиковых порах, на завершающем этапе влагонасыщения почвы), то функция WRC-VG принципиально не может исчерпывающе полно описать феномен гистерезиса.

Совершенно иначе в отношении описания гистерезиса  $S_e(\psi)$  характеризует себя модель Скотта и соавторов [16] Нус-SHT<sub>0</sub>. Поскольку в основу этой модели положена функция WRC-НТ<sub>0</sub>, параметры которой допускают физическую интерпретацию, постольку для значений этих параметров (хотя бы теоретически) могут быть определены физически допустимые диапазоны. И в таком случае, когда значения параметров не выходят за границы этих диапазонов, модель Нус-SHT<sub>0</sub> не должна проявлять «эффекта помпы». По мнению авторов данной статьи, предотвращение возникновения нежелательного искусственного (методического) «эффекта помпы» может достигаться использованием равных значений значения экспоненциального параметра и для ветвей иссушения, и для ветвей увлажнения. В этом случае учет двух причин гистерезиса будет осуществляться применением двух

соответствующих пар значений аддитивного и мультипликативного параметров для ветвей иссушения и увлажнения.

Наряду с двумя моделями гистерезиса Hys-SHT<sub>0</sub> и Hys-KPVG в данной статье рассматриваются еще три модели. В каждой из этих моделей расчет сканирующих ветвей осуществляется по алгоритму, разработанному Скоттом и соавторами [16], однако при этом используются разные функции водоудерживающей способности почвы. Введем следующие обозначения для этих моделей гистерезиса: Hys-SKT (основана на функции WRC-KT); Hys-SKT<sub>0</sub> (основана на функции WRC-KT<sub>0</sub>); Hys-SHT (основана на функции WRC-HT). Далее для удобства сгруппируем приведенные выше функции  $S_e(\psi)$  и модели гистерезиса  $S_e(\psi)$  в три системы:

- система №1 (WRC-VG, Hys-KPVG);
- система №2 (WRC-KT, Hys-SKT или WRC-KT<sub>0</sub>, Hys-SKT<sub>0</sub> для случая  $\psi_e = 0$ );
- система №3 (WRC-HT, Hys-SHT или WRC-HT<sub>0</sub>, Hys-SHT<sub>0</sub> для случая  $\psi_e = 0$ ).

Для сравнения трех систем используются результаты вычислительного эксперимента. Эти результаты должны ответить на следующие вопросы: во-первых, какая из сравниваемых систем имеет наименьшую погрешность точечной аппроксимации опытных данных о главных ветвях гистерезиса  $S_e(\psi)$  и приводит ли использование аддитивного параметра  $\psi_e$  к уменьшению погрешностей; во-вторых, какая из сравниваемых систем имеет наименьшую погрешность оценок сканирующих ветвей гистерезиса  $S_e(\psi)$ , приводит ли использование параметра  $\psi_e$  к уменьшению погрешностей; в-третьих, устраняется ли нежелательный искусственный (методический) «эффект помпы» при выполнении условия равенства значений экспоненциального параметра  $n$  для ветвей иссушения и увлажнения, оказывает ли это условие влияние на погрешность оценок сканирующих ветвей гистерезиса  $S_e(\psi)$ ? Для получения ответов на эти вопросы далее приводятся результаты вычислительного эксперимента, при выполнении которого:

(i) идентифицированы параметры сравниваемых моделей гистерезиса  $S_e(\psi)$  путем точечной аппроксимации данных о главных ветвях иссушения и увлажнения водоудерживающей способности почвы (для идентификации параметров использованы литературные данные о пылеватом суглинке «3301 *Cariol silt loam*» [8]);

(ii) осуществлено оценивание сканирующих ветвей гистерезиса  $S_e(\psi)$  с использованием сравниваемых систем, вычислены погрешности оценок, выявление различий между погрешностями выполнено по критерию Вильямса-Клута [9];

(iii) проведены расчеты сканирующих ветвей гистерезиса при осцилляции капиллярного давления влаги в заданном диапазоне значений, применив параметры, которые идентифицированы по данным о главных ветвях иссушения и увлажнения водоудерживающей способности почвы с использованием, во-первых, условия  $n_d \neq n_w$ , во-вторых, с использованием условия  $n_d = n_w$ .

#### Результаты и их обсуждение

Таблица 1 содержит параметры, идентифицированные путем точечной аппроксимации опытных данных о главных ветвях иссушения и увлажнения водоудерживающей способности почвы «3301 *Cariol silt loam*». В обозначениях используются два дополнительных нижних индекса: «*d*» – для ветвей иссушения и «*w*» – для ветвей увлажнения. Для варианта вычислительного эксперимента  $n_d \neq n_w$  приведены параметры, рассчитанные с применением разработанной авторами компьютерной программы SoilHysteresis-v.1.0 [18]. Для варианта  $n_d = n_w$  приведены параметры из статьи [4]. С использованием этих параметров выполнен вычислительный эксперимент по исследованию влияния равенства значений экспоненциального параметра  $n$  для ветвей иссушения и увлажнения гистерезиса на предотвращение «эффекта помпы».

**Таблица 1 – Параметры трех систем гидрофизических функций почвы**

Сис- темы функ- ций	$n_d \neq n_w$									
	$\theta_r$	$\theta_s$	$\psi_{e,d}$	$\psi_{0,d}$	$\alpha_d$	$\psi_{e,w}$	$\psi_{0,w}$	$\alpha_w$	$n_d$	$n_w$
№1	0,3076	0,4415	-	-109,35	0,0091	-	-26,67	0,0375	2,909	2,042
№2	0,3143	0,4415	-1,78	-131,89	0,0077	10,69	-43,67	0,0184	2,765	1,699
№3	0,3111	0,4415	-1,23	-135,69	0,0074	8,16	-46,44	0,0183	2,726	1,671
№2 $\psi_e=0$	0,3130	0,4415	-	-133,48	0,0075	-	-44,20	0,0226	2,687	1,583
№3 $\psi_e=0$	0,3131	0,4415	-	-133,57	0,0075	-	-42,44	0,0236	2,866	1,571
$n_d = n_w$										
№1	0,3158	0,4415	-	-97,84	0,0102	-	-34,32	0,0291	2,776	2,776
№2	0,3180	0,4415	0	-127,81	0,0078	35,90	-45,14	0,0123	2,792	2,792
№3	0,3167	0,4415	0	-129,11	0,0078	36,26	-45,65	0,0122	2,890	2,890
№2 $\psi_e=0$	0,3193	0,4415	-	-122,34	0,0082	-	-43,34	0,0231	2,284	2,284
№3 $\psi_e=0$	0,3179	0,4415	-	-124,12	0,0081	-	-43,95	0,0228	2,354	2,354

Погрешности трех систем гидрофизических функций в отношении точечной аппроксимации опытных данных о главных ветвях гистерезиса водоудерживающей способности почвы, а также в отношении оценок сканирующих ветвей гистерезиса  $S_e(\psi)$  для двух вариантов вычислительного эксперимента ( $n_d \neq n_w$  и  $n_d = n_w$ ) приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Величина ошибки по вариантам вычислительного эксперимента (корень квадратный из среднего арифметического квадратов отклонений результатов моделирования от опытных данных, RMSE – root mean square error)**

Варианты вычислительного эксперимента	$n_d \neq n_w$					$n_d = n_w$				
	Системы гидрофизических функций почвы									
	№1	№2	№3	№2 $\psi_e=0$	№3 $\psi_e=0$	№1	№2	№3	№2 $\psi_e=0$	№3 $\psi_e=0$
Главные: идентификация по 72 точкам	0,0025	0,0021	0,0021	0,0029	0,0022	0,0067	0,0036	0,0036	0,0068	0,0066
Сканирующие увлажнения: оценка для 56 точек	0,0073	0,0069	0,0063	0,0067	0,0079	0,0080	0,0058	0,0062	0,0078	0,0077
Сканирующие иссушения: оценка для 85 точек	0,0074	0,0059	0,0059	0,0069	0,0067	0,0054	0,0048	0,0050	0,0049	0,0047

Результаты выявления различий между погрешностями сравниваемых трех систем гидрофизических функций в отношении точечной аппроксимации опытных данных о главных ветвях гистерезиса водоудерживающей способности почвы для двух вариантов вычислительного эксперимента ( $n_d \neq n_w$  и  $n_d = n_w$ ) приведены в таблица 3.

**Таблица 3 – Сравнение погрешностей трех систем в отношении точечной аппроксимации опытных данных о главных ветвях гистерезиса водоудерживающей способности почвы по критерию Вильямса-Клута для доверительных вероятностей 0,95 и 0,975**

$y - (y_1 + y_2)/2 = \lambda(y_1 - y_2)$ , где $y$ – опытные данные											
$n_d \neq n_w$											
$y_1$ : HYS-VG, $y_2$ : HYS-KT			$y_1$ : HYS-VG, $y_2$ : HYS-HT			$y_1$ : HYS-KT, $y_2$ : HYS-HT					
$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$
-0,112	0,133	0,159	-0,149	0,153	0,183	-0,116	0,569	0,681			
$y_1$ и $y_2$ не различаются			$y_1$ и $y_2$ не различаются			$y_1$ и $y_2$ не различаются					
$y_1$ : HYS-VG, $y_2$ : HYS-KT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-VG, $y_2$ : HYS-HT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-KT <sub>0</sub> , $y_2$ : HYS-HT <sub>0</sub>					
$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$
0,463	0,354	0,424	-0,361	0,309	0,369	-0,895	0,313	0,374			
$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_2$ точнее, чем $y_1$ (0,95)			$y_2$ точнее, чем $y_1$					
$y_1$ : HYS-KT, $y_2$ : HYS-KT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-HT, $y_2$ : HYS-HT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-KT, $y_2$ : HYS-HT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-HT, $y_2$ : HYS-KT <sub>0</sub>		
$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$
0,258	0,154	0,184	0,057	0,203	0,242	0,033	0,182	0,218	0,350	0,179	0,215
$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_1$ и $y_2$ не различаются			$y_1$ и $y_2$ не различаются			$y_1$ точнее, чем $y_2$		
$n_d = n_w$											
$y_1$ : HYS-VG, $y_2$ : HYS-KT			$y_1$ : HYS-VG, $y_2$ : HYS-HT			$y_1$ : HYS-KT, $y_2$ : HYS-HT					
$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$
-0,485	0,124	0,149	-0,485	0,124	0,149	-0,485	0,124	0,149			
$y_2$ точнее, чем $y_1$			$y_2$ точнее, чем $y_1$			$y_1$ и $y_2$ не различаются					
$y_1$ : HYS-VG, $y_2$ : HYS-KT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-VG, $y_2$ : HYS-HT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-KT <sub>0</sub> , $y_2$ : HYS-HT <sub>0</sub>					
$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$
0,747	1,397	1,672	0,747	1,397	1,672	0,747	1,397	1,672			
$y_1$ и $y_2$ не различаются			$y_1$ и $y_2$ не различаются			$y_2$ точнее, чем $y_1$					
$y_1$ : HYS-KT, $y_2$ : HYS-KT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-HT, $y_2$ : HYS-HT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-KT, $y_2$ : HYS-HT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-HT, $y_2$ : HYS-KT <sub>0</sub>		
$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$
0,511	0,125	0,500	0,129	0,500	0,129	0,500	0,129	0,150	0,511	0,125	0,149
$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_1$ точнее, чем $y_2$		

Результаты выявления различий между погрешностями сравниваемых трех систем гидрофизических функций в отношении оценок сканирующих ветвей



гистерезиса водоудерживающей способности почвы для двух вариантов вычислительного эксперимента ( $n_d \neq n_w$  и  $n_d = n_w$ ) приведены в таблице 4.

**Таблица 4 – Сравнение погрешностей трех систем в отношении оценок сканирующих ветвей гистерезиса водоудерживающей способности почвы по критерию Вильямса-Клута для доверительных вероятностей 0,95 и 0,975**

$y - (y_1 + y_2)/2 = \lambda(y_1 - y_2)$ , где $y$ – опытные данные											
$n_d \neq n_w$											
$y_1$ : HYS-VG, $y_2$ : HYS-KT			$y_1$ : HYS-VG, $y_2$ : HYS-HT			$y_1$ : HYS-KT, $y_2$ : HYS-HT					
$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$
-0,940	0,274	0,328	-0,965	0,260	0,310	0,179	0,964	1,151			
$y_2$ точнее, чем $y_1$			$y_2$ точнее, чем $y_1$			$y_1$ и $y_2$ не различаются					
$y_1$ : HYS-VG, $y_2$ : HYS-KT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-VG, $y_2$ : HYS-HT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-KT <sub>0</sub> , $y_2$ : HYS-HT <sub>0</sub>					
$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$
-0,496	0,825	0,985	-0,451	0,643	0,768	-0,344	0,882	1,054			
$y_1$ и $y_2$ не различаются			$y_1$ и $y_2$ не различаются			$y_1$ и $y_2$ не различаются					
$y_1$ : HYS-KT, $y_2$ : HYS-KT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-HT, $y_2$ : HYS-HT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-KT, $y_2$ : HYS-HT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-HT, $y_2$ : HYS-KT <sub>0</sub>		
$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$
0,983	0,307	0,366	1,329	0,317	0,379	1,324	0,347	0,414	1,069	0,300	0,358
$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_1$ точнее, чем $y_2$		
$n_d = n_w$											
$y_1$ : HYS-VG, $y_2$ : HYS-KT			$y_1$ : HYS-VG, $y_2$ : HYS-HT			$y_1$ : HYS-KT, $y_2$ : HYS-HT					
$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$
-0,521	0,148	0,177	-0,459	0,148	0,176	1,996	1,167	1,394			
$y_2$ точнее, чем $y_1$			$y_2$ точнее, чем $y_1$			$y_1$ точнее, чем $y_2$					
$y_1$ : HYS-VG, $y_2$ : HYS-KT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-VG, $y_2$ : HYS-HT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-KT <sub>0</sub> , $y_2$ : HYS-HT <sub>0</sub>					
$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$
-1,816	0,839	1,002	-2,824	0,807	0,964	-1,849	1,267	1,513			
$y_2$ точнее, чем $y_1$			$y_2$ точнее, чем $y_1$			$y_2$ точнее, чем $y_1$					
$y_1$ : HYS-KT, $y_2$ : HYS-KT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-HT, $y_2$ : HYS-HT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-KT, $y_2$ : HYS-HT <sub>0</sub>			$y_1$ : HYS-HT, $y_2$ : HYS-KT <sub>0</sub>		
$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$
0,504	0,157	0,187	0,450	0,164	0,196	0,517	0,166	0,198	0,431	0,153	0,183
$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_1$ точнее, чем $y_2$		

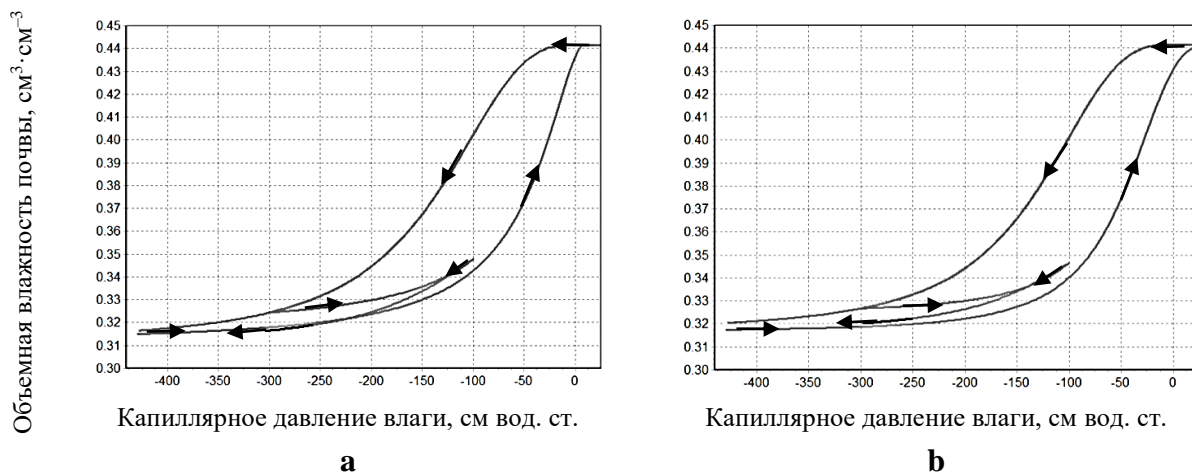
Результаты выявления различий между погрешностями двух вариантов вычислительного эксперимента ( $n_d \neq n_w$  и  $n_d = n_w$ ) в отношении точечной аппроксимации опытных данных о водоудерживающей способности почвы и оценок сканирующих ветвей гистерезиса  $S_e(\psi)$  для каждой системы приведены в таблице 5.

**Таблица 5 – Сравнение погрешностей точечной аппроксимации опытных данных о водоудерживающей способности почвы и оценок сканирующих ветвей для двух вариантов вычислительного эксперимента с параметрами  $n_d \neq n_w$  и  $n_d = n_w$  с использованием критерия Вильямса-Клута**

Ветви гистерезиса	$y - (y_1 + y_2)/2 = \lambda(y_1 - y_2)$ , где $y$ – опытные данные; $y_1: n_d \neq n_w, y_2: n_d = n_w$														
	Системы гидрофизических функций почвы														
	№1			№2			№3			№2 $\psi_e=0$			№3 $\psi_e=0$		
Главные: идентификация по 72 точкам	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$
	0,995	0,059	0,071	1,167	0,186	0,222	1,114	0,183	0,219	0,742	0,104	0,124	0,716	0,073	0,087
	$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_1$ точнее, чем $y_2$		
Сканирующие увлажнения: оценки для 56 точек	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$
	0,676	0,436	0,523	-1,533	0,778	0,932	-0,861	1,116	1,337	0,573	0,359	0,430	0,251	0,348	0,417
	$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_2$ точнее, чем $y_1$			$y_1$ и $y_2$ не различаются			$y_1$ точнее, чем $y_2$			$y_1$ и $y_2$ не различаются		
Сканирующие иссушения: оценки для 85 точек	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$
	-0,529	0,289	0,345	-0,363	0,420	0,502	-0,329	0,366	0,438	-0,621	0,238	0,285	-0,471	0,235	0,281
	$y_2$ точнее, чем $y_1$			$y_1$ и $y_2$ не различаются			$y_1$ и $y_2$ не различаются			$y_2$ точнее, чем $y_1$			$y_2$ точнее, чем $y_1$		
Все сканирующие: оценки для 141 точек	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$	$\lambda$	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,975}$
	0,046	0,254	0,303	-0,610	0,377	0,450	-0,358	0,357	0,427	-0,033	0,212	0,253	-0,052	0,202	0,242
	$y_1$ и $y_2$ не различаются			$y_2$ точнее, чем $y_1$			$y_2$ точнее, чем $y_1$ (0,95)			$y_1$ и $y_2$ не различаются			$y_1$ и $y_2$ не различаются		

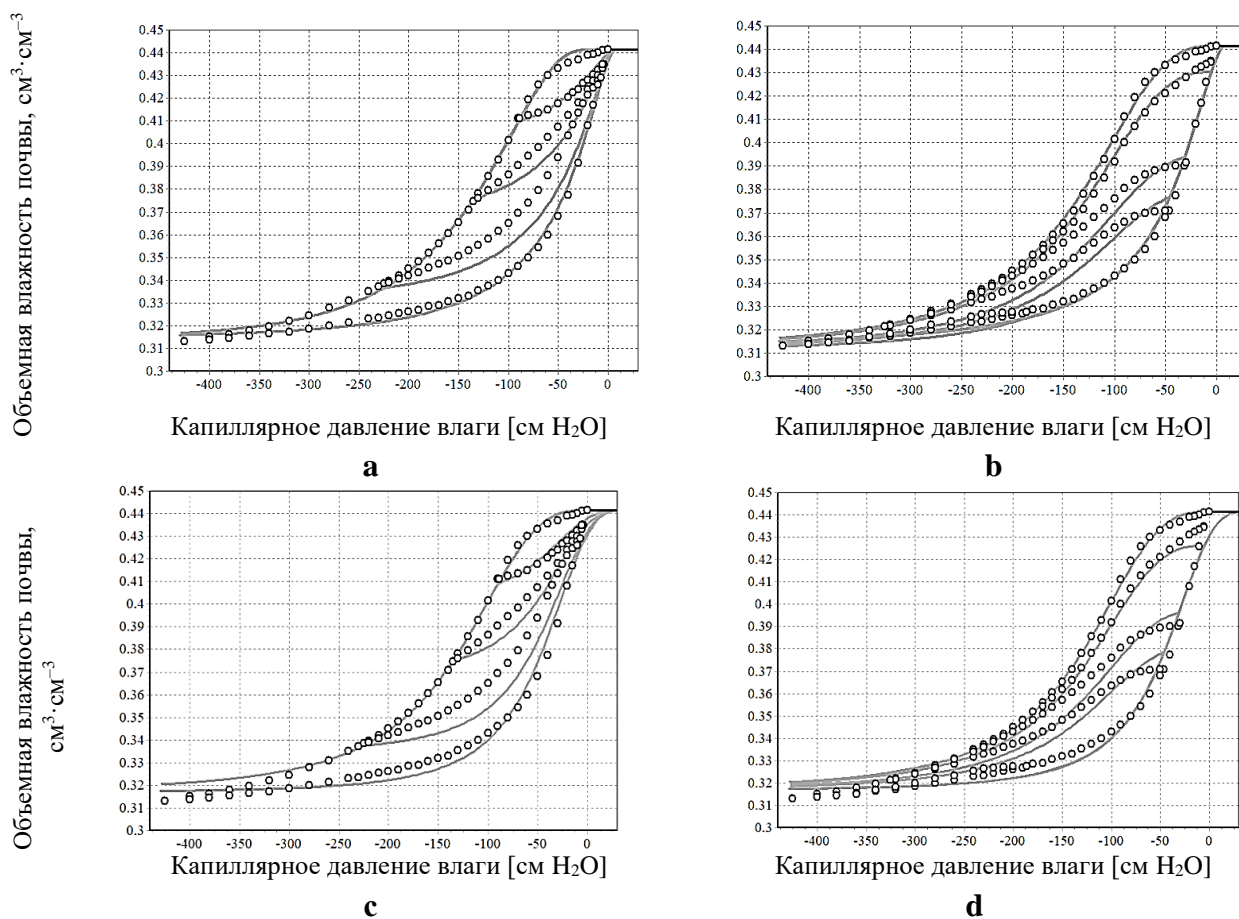
Если различие между погрешностями оценок сканирующих ветвей гистерезиса  $S_e(\psi)$  в двух вариантах вычислительного эксперимента ( $n_d \neq n_w$  и  $n_d = n_w$ ) является несущественным, то условие  $n_d = n_w$ , устраняющее нежелательный «эффект помпы», можно признать эффективным. В качестве примера, иллюстрирующего «эффект помпы» и его устранение, на рисунке 1a,b приведены результаты вычислительного эксперимента с моделью Hys-SHT. Стрелками на рисунке 1a,b изображены сценарии варьирования величины  $\psi$ . На рисунке 1a видно, что в диапазоне пониженной влажности сканирующая ветвь иссушения пересекает главную ветвь увлажнения гистерезиса водоудерживающей способности почвы при  $n_d \neq n_w$ . Использование параметров, идентифицированных при условии  $n_d = n_w$ , приводит к предотвращению отмеченного пересечения главной ветви увлажнения и, следовательно, к устранению нежелательного «эффекта помпы», что подтверждает рисунок 1b.

На рисунке 2 a, b, c, d приведены результаты двух вариантов вычислительного эксперимента с моделью Hys-SHT по точечной аппроксимации главных ветвей и оцениванию сканирующих ветвей гистерезиса  $S_e(\psi)$ .



**Рисунок 1 – Наличие (а) или отсутствие (б) «эффекта помпы» модели Нус-SHT**

*Примечание. 1 а – наличие, при  $n_d \neq n_w$ . 1 б – отсутствие, при  $n_d = n_w$ .*



**Рисунок 2 – Точечная аппроксимация данных о главных ветвях с оценкой трех (а, с) сканирующих ветвей увлажнения и четырех (б, d) иссушения с использованием модели Нус-SHT**

*Примечание. а –  $n_d \neq n_w$ ; б –  $n_d \neq n_w$ ; с –  $n_d = n_w$ ; d –  $n_d = n_w$ .*

### Выводы

Из анализа результатов исследования вытекают следующие выводы:

1. В отношении погрешностей точечной аппроксимации опытных данных о главных ветвях гистерезиса водоудерживающей способности почвы:
  - в варианте  $n_d \neq n_w$  в большинстве сравнений различия между тремя системами не являются существенными, достоверные различия при использовании аддитивного параметра  $\psi_e$  в половине сравнений не выявлены, из остальных сравнений видно, что использование аддитивного параметра  $\psi_e$  способствует существенному уменьшению погрешности;
  - в варианте  $n_d = n_w$  система № 1 достоверно уступает системам № 2 и № 3 в случае использования в них аддитивного параметра  $\psi_e$ , (но при этом между системами № 2 и № 3 нет существенных различий), система № 1 достоверно не отличается от систем № 2 и № 3 в случае отсутствия в них аддитивного параметра  $\psi_e$  (но при этом система № 3 достоверно точнее системы № 2), использование аддитивного параметра  $\psi_e$  существенно уменьшает погрешность.
2. В отношении погрешностей оценок сканирующих ветвей гистерезиса  $S_e(\psi)$ :
  - в варианте  $n_d \neq n_w$  система №1 достоверно уступает системам № 2 и № 3 в случае использования в них аддитивного параметра  $\psi_e$ , (при этом между системами № 2 и № 3 нет существенных различий), между тремя сравниваемыми системами нет достоверных различий в случае отсутствия в системах № 2 и № 3 аддитивного параметра  $\psi_e$ , использование аддитивного параметра  $\psi_e$  способствует существенному уменьшению погрешности;
  - в варианте  $n_d = n_w$  система № 1 достоверно уступает системам № 2 и № 3 в случае использования в них аддитивного параметра  $\psi_e$ , (но система № 2 достоверно точнее системы № 3), вместе с тем, система 1 достоверно уступает системам № 2 и № 3 и в случае отсутствия в них аддитивного параметра  $\psi_e$ , (но система № 3 достоверно точнее системы № 2), использование аддитивного параметра  $\psi_e$  способствует существенному уменьшению погрешности.
3. Нежелательный искусственный (методический) «эффект помпы» устраняется при выполнении условия равенства значений экспоненциального параметра  $n$  для ветвей иссушения и увлажнения, при этом различие между погрешностями оценок сканирующих ветвей гистерезиса  $S_e(\psi)$  в двух вариантах вычислительного эксперимента ( $n_d \neq n_w$  и  $n_d = n_w$ ) является несущественным. Следовательно, условие  $n_d = n_w$ , устраняющее «эффект помпы» можно признать эффективным.
4. В отношении пылеватого суглинка для решения проблем точного земледелия, таких как расчет прецизионных норм орошения, применение гидрофизических функций систем № 2 и № 3 представляется более предпочтительным по сравнению с функциями системы № 1.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-04-00939-а, № 19-016-00148-а.*

### Литература

1. Huang H. C., Tan Y. C., Chen C. H. A novel hysteresis model in unsaturated soil // Hydrological Processes. 2005. Vol. 19. P. 1653-1665.
2. Degtyareva O., Degtyarev G., Togo I., Terleev V., Nikonorov A., Volkova Yu. Analysis of stress-strain state rainfall runoff control system – buttress dam // Procedia Engineering. 2016. Vol. 165. P. 1619–1628.

3. Nikonorov A., Terleev V., Pavlov S., Togo I., Volkova Yu., Makarova T., Garmanov V., Shishov D., Mirschel W. Applying the model of soil hydrophysical properties for arrangements of temporary enclosing structures // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165. P. 1741–1747.
4. Terleev V., Nikonorov A., Ginevsky R., Lazarev V., Topaj A., Dunaieva I., Terleeva A. Estimation of precise irrigation rates taking into account the hysteresis of soil water-retention capacity // *IOP Conference. Series “Earth and Environmental Science”*. 2019. Vol. 403. Art. No. 012239. DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012239.
5. Костяков А. Н. Основы мелиорации. М.: Сельхозгиз, 1960. 621 с.
6. Воронин А. Д. Основы физики почв. М.: МГУ, 1986. 244 с.
7. Terleev V., Nikonorov A., Togo I., Volkova Yu., Garmanov V., Shishov D., Pavlova V., Semenova N., Mirschel W. Modelling the hysteretic water retention capacity of soil for reclamation research as a part of underground development // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165. P. 1776–1783.
8. Mualem Y. A catalogue of the hydraulic properties of unsaturated soils. Research Project 442. Israel, Haifa: Technion, Israel Institute of Technology, 1976. 100 p.
9. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
10. Терлеев В. В. Миршель В., Баденко В. Л., Гусева И. Ю. Усовершенствованный метод Муалема-Ван Генухтена и его верификация на примере глинистой почвы Бейт Нетофа // *Почвоведение*. 2017. № 4. С. 457–467.
11. Kosugi K. Three-parameter lognormal distribution model for soil water retention // *Water Resour. Res.* 1994. Vol. 30. P. 891–901.
12. Kosugi K. Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties // *Water Resour. Res.* 1996. Vol. 32. P. 2697–2703.
13. Winitzki S. A handy approximation for the error function and its inverse. [Electronic resource]. Access point: <https://sites.google.com/site/winitzki/sergei-winitzkis-files/erf-approx.pdf?attredirects=0> (reference’s date 01.08.2020).
14. Haverkamp R., Vauclin M., Touma J., Wierenga P.J., Vachaud G. A comparison of numerical simulation model for one-dimensional infiltration // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1977. Vol. 41. P. 285–294.
15. Van Genuchten M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1980. Vol. 44. P. 892–989.
16. Scott P. S., Farquhar G. J., Kouwen N. Hysteretic effects on net infiltration // *Proceeding of National conference on advances in infiltration*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, 1983. P. 163–170.
17. Kool J. B., Parker J. C. Development and evaluation of closed-form expressions for hysteretic soil hydraulic properties // *Water Resources Research*. 1987. Vol. 23(1). P. 105–114.
18. Гиневский Р. С., Терлеев В. В., Топаж А. Г., Лазарев В. А. SoilHysteresis-v.1.0. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019666861, 16.12.2019. Заявка № 2019662560 от 12.10.2019.

## References

1. Huang H. C., Tan Y. C., Chen C. H. A novel hysteresis model in unsaturated soil // *Hydrological Processes*. 2005. Vol. 19. P. 1653–1665.
2. Degtyareva O., Degtyarev G., Togo I., Terleev V., Nikonorov A., Volkova Yu. Analysis of stress-strain state rainfall runoff control system – buttress dam // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165. P. 1619–1628.
3. Nikonorov A., Terleev V., Pavlov S., Togo I., Volkova Yu., Makarova T., Garmanov V., Shishov D., Mirschel W. Applying the model of soil hydrophysical properties for arrangements of temporary enclosing structures // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165. P. 1741–1747.
4. Terleev V., Nikonorov A., Ginevsky R., Lazarev V., Topaj A., Dunaieva I., Terleeva A. Estimation of precise irrigation rates taking into account the hysteresis of soil water-retention capacity // *IOP Conference Series “Earth and Environmental Science”*. 2019. Vol. 403. Art. No. 012239. DOI:10.1088/1755-1315/403/1/012239.
5. Kostyakov A. N. Basics of reclamation. Moscow: Selkhozgiz, 1960. 621 p.
6. Voronin A. D. Fundamentals of soil physics. Moscow: MSU, 1986. 244 p.
7. Terleev V., Nikonorov A., Togo I., Volkova Yu., Garmanov V., Shishov D., Pavlova V., Semenova N., Mirschel W. Modelling the hysteretic water retention capacity of soil for reclamation research as a part of underground development // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165. P. 1776–1783.
8. Mualem Y. A catalogue of the hydraulic properties of unsaturated soils. Research Project 442. Israel, Haifa: Technion, Israel Institute of Technology, 1976. 100 p.
9. Kobzar A. I. Applied mathematical statistics. For engineers and scientists. Moscow: Fizmatlit, 2006. 816 p.

10. Terleev V. V., Mirshel V., Badenko V. L., Guseva I. Yu. An improved Mualem-Van Genuchten method and its verification using data on Beit Netofa clay // Pochvovedenie. 2017. No. 4. P. 457–467.
11. Kosugi K. Three-parameter lognormal distribution model for soil water retention // Water Resour. Res. 1994. Vol. 30. P. 891–901.
12. Kosugi K. Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties // Water Resour. Res. 1996. Vol. 32. P. 2697–2703.
19. Winitzki S. A handy approximation for the error function and its inverse [Electronic resource]. Access point: <https://sites.google.com/site/winitzki/sergei-winitzkis-files/erf-approx.pdf?attredirects=0> (reference's date 01.08.2020).
13. Haverkamp R., Vauclin M., Touma J., Wierenga P.J., Vachaud G. A comparison of numerical simulation model for one-dimensional infiltration // Soil Sci. Soc. Am. J. 1977. Vol. 41. P. 285–294.
14. Van Genuchten M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // Soil Sci. Soc. Am. J. 1980. Vol. 44. P. 892–989.
17. Scott P. S., Farquhar G. J., Kouwen N. Hysteretic effects on net infiltration // Proceeding of National Conference on Advances in Infiltration. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, 1983. P. 163–170.
15. Kool J. B., Parker J. C. Development and evaluation of closed-form expressions for hysteretic soil hydraulic properties // Water Resources Research. 1987. Vol. 23(1). P. 105–114.
16. Ginevsky R. S., Terleev V. V., Topazh A. G., Lazarev V. A. SoilHysteresis-v.1.0. Certificate of registration of a computer program RU 2019666861, December 16, 2019. Application No. 2019662560 dated 12.10.2019.

UDC 631.43+004.65

Terleev V. V., Dunaieva Ie. A., Ginevsky R. S., Lazarev V. A., Topazh A. G.

**HYSTERESIS OF SOIL WATER-RETENTION CAPACITY:  
COMPARISON OF MODELS ON THE EXAMPLE OF SILT LOAM**

**Summary.** *The importance of the study is determined by the theoretical and practical value of the models of hysteresis of soil water-retention capacity as the intellectual core of precision irrigation farming technologies. The aim of the research is the physical justification of the hysteresis of soil water-retention capacity as a capillary-porous medium; description of this phenomenon using the method of mathematical modeling and verification of the proposed description in comparison with the world's most famous analogues. This aim is achieved by solving the following problems: theoretical justification and description of the soil water-retention capacity taking into account hysteresis in the form of three systems of hydrophysical functions; comparing these systems based on the errors in the estimates of scanning hysteresis branches using parameters identified by point-approximation of the literature data on the main drying and wetting branches of the water retention capacity for “3301 Carieol silt loam” using the Williams-Kloot criterion; investigation of the condition for the equality of the exponential parameters  $n_d = n_w$ , for the drying and wetting branches, eliminating the undesirable artificial “pump effect”, as well as the use of the additive parameter  $\psi_e$  concerning the influence on the estimation errors. During the study, the SoilHysteresis-V.1.0 computer program is used. For silt loam, the condition  $n_d = n_w$  is effective. The use of the additive parameter  $\psi_e$  leads to a significant decrease in the errors of the point-approximation of the data on the main branches and the errors in the estimates of the scanning branches of the hysteresis of water retention capacity. To solve such problems of precision irrigation farming as the calculation of precise irrigation rates, the use of hydrophysical functions of systems No. 2 and No. 3 seems to be more preferable compared to the functions of system No. 1.*

**Keywords:** *mathematical model, main and scanning branches of hysteresis, point-approximation of experimental data, estimation, “pump effect”.*

Терлеев Виталий Викторович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29; e-mail: Vitaly\_Terleev@mail.ru.

Дунаева Елизавета Андреевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела цифрового мониторинга и моделирования агроэкосистем ФГБУН «Научно исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: dunaeva\_e@niishk.ru.

Гиневский Роман Сергеевич, студент магистратуры ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29; e-mail: rginevski@gmail.com.

Лазарев Виктор Андреевич, студент магистратуры ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29; e-mail: lviktor.97@mail.ru.

Топаж Александр Григорьевич, доктор технических наук, ведущий научных сотрудник, ООО «Бюро Гиперборея»; 193312, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Подвойского, 40-2; e-mail: alex.topaj@gmail.com.

Terleev Vitaly Viktorovich, Dr. Sc. (Agr.), Professor, Professor of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; 29, Polytekhnikeskaya str., Saint-Petersburg, 195251, Russia; e-mail: Vitaly\_Terleev@mail.ru.

Dunaieva Ielizaveta Andreevna, Cand. Sc. (Techn.), leading researcher of digital monitoring and agroecosystem modeling Department, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: dunaeva\_e@niishk.ru.

Ginevsky Roman Sergeevich, undergraduate student of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; 29, Polytekhnikeskaya str., Saint-Petersburg, 195251, Russia; e-mail: rginevski@gmail.com.

Lazarev Viktor Andreevich, undergraduate student of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; 29, Polytekhnikeskaya str., Saint-Petersburg, 195251, Russia; e-mail: lviktor.97@mail.ru.

Topazh Aleksandr Grigorievich, Dr. Sc. (Techn.), leading researcher, LLC “Bureau Hyperborea”, 40-2, Podvoisky str., Saint-Petersburg, 193312, Russia; e-mail: alex.topaj@gmail.com.

*Дата поступления в редакцию – 20.01.2020.*

*Дата принятия к печати – 01.03.2020.*

Турин Е. Н., Женченко К. Г., Гонгало А. А., Зубоченко А. А., Суцкий А. Н.  
**ВЫРАЩИВАНИЕ СОРГО ДВУЦВЕТНОГО (*SORGHUM BICOLOR* (L.)  
MOENCH) ПО НУЛЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ (NO-TILL) В СРАВНЕНИИ С  
ТРАДИЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ В СТЕПНОМ КРЫМУ**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** Сорго двуцветное (сорго зерновое) – ценная продовольственная и кормовая культура. Цель исследований – изучить влияние технологии выращивания сорго зернового без обработки почвы в сравнении с классической системой земледелия в степном Крыму. В задачи исследования входило: определить наличие продуктивной влаги при посеве, количественный и видовой состав сорной растительности, плотность почвы, урожайность, качество зерна и экономическую эффективность культуры. Стационарный опыт заложен в 2015–2016 гг., научные исследования начали проводить с 2017 г. В опыте изучали сорт зернового сорго Крымбел селекции Академии биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского». Почва на участке закладки стационара – чернозем южный на лессовидных легких глинах с содержанием гумуса 2,0–2,1 %, подвижного фосфора – 2,0–2,7 мг/100 г почвы и обменного калия – 25–30 мг/100 г почвы. Общая площадь делянки – 300 м<sup>2</sup>, учетная – 50 м<sup>2</sup>. Повторность – трехкратная. Среднегодовая температура воздуха – 10,2 °С, среднегодовое количество осадков – 412 мм. Математическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову. Количество влаги в метровом слое почвы за годы исследований было достоверно больше при no-till по сравнению с классической системой на 12,2 мм (81,6 (ТС) и 93,8 (ПП) мм соответственно). Количественный состав сорного сообщества по традиционной системе и в варианте прямого посева был практически одинаков и составил 41,3 шт./м<sup>2</sup> и 41,7 шт./м<sup>2</sup> соответственно. Плотность сложения по системам земледелия в слое 0–30 см при посеве находится в оптимальном диапазоне: при традиционной системе она составила 1,17–1,25 г/см<sup>3</sup>, при no-till – 1,18–1,27 г/см<sup>3</sup>. Средняя урожайность за три года исследований по традиционной технологии составила 1,69 т/га, а при прямом посеве – 1,43 т/га, что на 0,26 т/га (15,4 %) ниже. По традиционной системе уровень рентабельности был выше на 17 % (123 % – ТС и ПП – 106 %), чем в варианте нулевой технологии.

**Ключевые слова:** no-till, технология без обработки почвы, нулевая технология, zero-till, природная технология, сорго двуцветное (сорго зерновое) (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

### Введение

Производство зерна – одна из главных отраслей аграрного производства [1–3].

Каждый год в Российской Федерации высевают около 100 тыс. га сорго двуцветного (сорго зернового – *Sorghum bicolor* L.) [4]. Данной сельскохозяйственной культуре должна принадлежать важная роль в увеличении производства зерна как в Крыму, так и на Юге России. С каждым годом все чаще повторяются засухи, вызывая нехватку доступной влаги в почве в разные фазы развития полевых растений, а сорго является засухоустойчивым и нетребовательным к предшествующей культуре растением. Сорго способно фиксировать одну молекулу СО<sub>2</sub> с потреблением воды в два раза меньшим, чем у других высших растений, то есть связывание углерода идет по С<sub>4</sub>-пути фотосинтеза, что и объясняет его продуктивность. Зерновое сорго – одна из немногих культур, способная противостоять глобальному потеплению. Оно имеет



низкий коэффициент транспирации и использует осадки в течение всего вегетационного периода, что позволяет ему выживать в продолжительных засушливых условиях. Главное – получить всходы. Ценность зерна сорго определяет высокое содержание крахмала, белка и жира [5].

В 2020 г. площади сорго, выращиваемого на зерно, в Республике Крым составили около 2 тыс. га [6].

Технология прямого посева (no-till, технология без обработки почвы, нулевая технология, zero-till, природная технология), то есть посев в необработанную почву имеет в Республике Крым [7], в России [8] и в мире [9, 10] значительное количество сторонников. Многие фермеры выращивают сельскохозяйственные культуры по этой технологии уже более 15 лет. Надо отметить, что наши земледельцы, длительное время занимающиеся прямым посевом, на протяжении последних пяти лет получают урожаи основных полевых культур в своих севооборотах выше, чем в среднем по Крыму, а себестоимость их продукции – ниже [11]. При изучении и внедрении прямого посева сорго интересно своими свойствами восстанавливать, а затем регулировать отдельные параметры почвенного плодородия. Мощная корневая система, проникая на глубину 2,5 м и более, улучшает физические аспекты (плотность, структурность) почвы и ее фитомелиоративные свойства. Почвенное плодородие увеличивают послеуборочные остатки сорго на поверхности почвы и в земле [5].

Тем не менее, при изучении и освоении новой технологии возникает значительное количество нерешенных вопросов. Переход на нулевую технологию предусматривает полное отсутствие механической обработки почвы, а это – значительная экономия энергетических затрат, повышение производительности труда. Однако незначительно увеличиваются затраты на средства защиты растений, особенно в первые годы применения новой системы земледелия. Отметим, что цены на горюче-смазочные материалы растут более быстрыми темпами (за последние три года выросли на 197 %), чем на средства защиты растений. Применять пестициды при прямом посеве необходимо грамотно, чтобы это было экономически обосновано. Использование прямого посева в необработанную почву предусматривает со временем (через три–четыре года) образование рыхлого мульчирующего слоя на ее поверхности, насыщенного неразложившимися и полуразложившимися органическими остатками растений. Этот слой хорошо пропускает осадки, предохраняя нижние горизонты от потерь влаги на испарение, защищает почву от проявления ветровой эрозии и способствует расширенному воспроизводству почвенного плодородия, способствуя гумусообразованию [12–15].

**Цель исследований** – изучить влияние технологии выращивания сорго зернового без обработки почвы в сравнении с классической системой земледелия в степном Крыму.

В задачи исследования входило: определить наличие продуктивной влаги в почве при посеве, количественный и видовой состав сорной растительности, плотность почвы, урожайность, качество зерна, экономическую эффективность применения no-till.

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

В 2015–2016 гг. в отделе интродукции и технологий в полеводстве и животноводстве отделения полевых культур (с. Клепинино, Красногвардейский район) ФГБУН «НИИСХ Крыма» заложен длительный стационарный полевой опыт по изучению системы земледелия прямого посева в сравнении с общепринятой для нашего региона традиционной системой земледелия (контроль). Почвозащитная ресурсосберегающая технология обработки почвы была разработана и внедрена в производство Республики Крым учеными нашего института и преподавателями

Крымского Ордена «Знак почета» Сельскохозяйственного института имени М. И. Калинина еще в 70–80 гг. прошлого столетия [16].

За основу взяли классический для нашей зоны севооборот: пар черный – пшеница озимая – лен масличный – ячмень озимый – сорго зерновое; такой же севооборот использовали и для изучаемой новой технологии, но заменили поле пара черного горохом посевным, чтобы заведомо не ухудшать ни одну из технологий. Заключительное поле севооборота – сорго зерновое. Данная полевая культура полностью подходит для нашего засушливого климата [17] и выращивается в системе земледелия прямого посева [13]. В 2015–2016 гг. все поля одновременно ввели в севооборот (согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова) [18]. Научные исследования по изучению сорго зернового в двух системах земледелия начали проводить с 2017 г.

Почва на участке закладки стационара – чернозем южный на лессовидных легких глинах с содержанием гумуса 2,0–2,1 % (по Тюрину), подвижного фосфора – 2,0–2,7 мг/100 г почвы (по Чирикову) и обменного калия – 25–30 мг на 100 г почвы (по Мачигину) [19]. Среднегодовая температура воздуха – 10,2 °С, среднегодовое количество осадков – 412 мм [20]. Опыт заложен в трехкратной повторности систематически со смещением согласно методике [18]. Общая площадь делянки – 300 м<sup>2</sup>, учетная – 50 м<sup>2</sup>. В опыте изучали сорт зернового сорго Крымбел селекции Академии биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского». По традиционной технологии (ТС) механическую обработку почвы проводили непосредственно после уборки предшественника (озимый ячмень) – дискование в два следа, с целью разрыхления почвы и уничтожения сорной растительности, дальше до ухода в зиму проводили по необходимости культивации на глубину 5–6 см. Параллельно в вариантах с прямым посевом (ПП) для борьбы с сорняками (при их отрастании) использовали гербициды глифосатной группы в дозе 2,0 л/га.

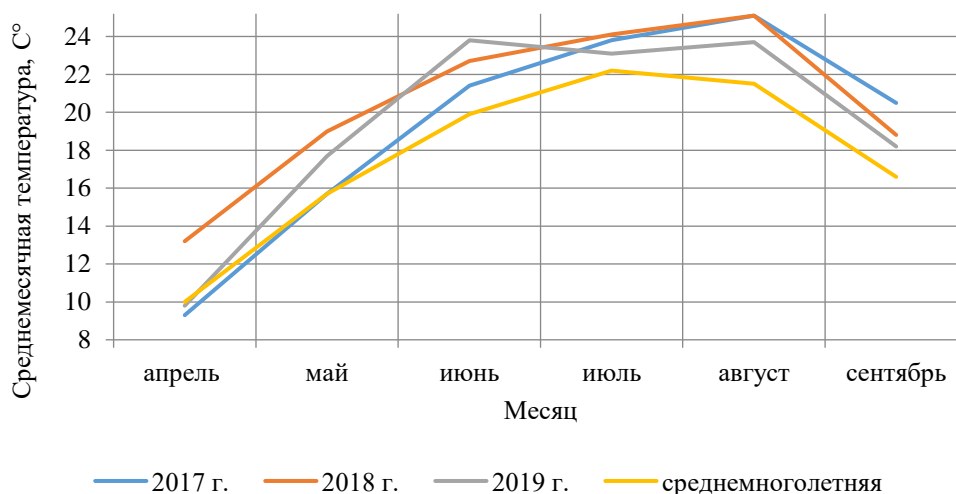
Весной, в соответствии с технологиями, проводили предпосевную культивацию на ТС и вносили глифосатсодержащий гербицид перед посевом при ПП («Факел», ВР, 360 г/л). Дозу регулировали в зависимости от количества и видового состава сорняков – от 1,5 до 2,0 л/га. Посев сорго зернового, в зависимости от технологии проводили сеялками «Клен 1,8» (ТС) и «Gherardi G117» (ПП). Норма высева – 130 тыс. шт./га независимо от технологии. Удобрения в дозе N<sub>40</sub>P<sub>40</sub> вносили при ТС под предпосевную культивацию, а при ПП – одновременно с посевом.

Уход за посевами состоял в применении междурядных обработок на контрольных делянках и гербицидной обработке («Балерина», СЭ (2,4-Д (2-этилгексилэтиловый эфир), 410 г/л + «Флорасулам», 7,4 г/л) нормой 0,4 л/га в варианте прямого посева при количестве сорняков, превышающем экономический порог вредоносности (ЭПВ).

Иногда, как в 2017 и 2018 гг., складывались оптимальные условия для размножения тли (Aphidoidea). На растениях сорго в фазе кушения ЭПВ был превышен в обоих системах земледелия. В эти годы для борьбы с тлей и уничтожения сорного компонента применяли баковые смеси: инсектицид «Кинфос», КЭ (Бета-циперметрин, 40 г/л + Диметоат, 300 г/л) нормой 0,25 л/га плюс гербицид «Балерина» нормой 0,4 л/га. Перед уборкой проводили десикацию гербицидом «Факел», ВР (изопропиламинавая соль) дозой 2 л/га. Уборку осуществляли комбайном «Сампо 500». Математическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [18].

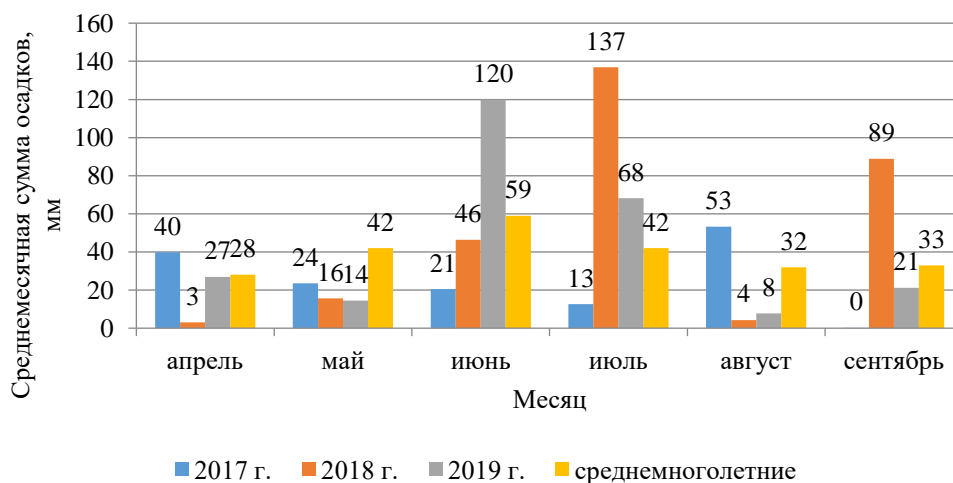
Среднемесячная температура воздуха по годам за вегетацию сорго зернового была выше климатической нормы, превышение составляло от 1,7 до 2,9 °С. Наиболее жарким за время исследований выдался 2018 г. Сорго зерновое относится к

культурам, у которого  $\text{CO}_2$  усваивается по  $\text{C}_4$ -пути фотосинтеза [5], поэтому повышенный температурный режим за годы исследований для него был в пределах нормы (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Среднемесячная температура воздуха во время вегетации сорго зернового в сравнении с среднеголетними данными, °С (среднее за 2017–2019 гг.)**

Осадки неравномерные, как по месяцам в пределах каждого года, так и по годам. Острый недостаток осадков отмечен в апреле–мае, затем ситуация в июне–июле улучшилась, а в августе – снова ухудшилась по сравнению со среднеголетней нормой (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Среднемесячная сумма осадков за вегетационный период сорго зернового в сравнении со среднеголетними данными, мм**

В целом за вегетацию минимум осадков выпало в 2017 г. – 150 мм (в 1,6 раз меньше нормы), в 2018 г. их было в 1,2 раза больше среднеголетнего показателя (распределение по месяцам крайне неравномерное) и одинаковое количество со среднеголетней – в 2019 г. Континентальность и засушливость степного Крыма усиливается из-за повышенного ветрового режима. Количество дней со скоростью

ветра более 10–12 м/с в последние годы увеличилось на треть. Для комплексной оценки климатических условий за период вегетации сорго рассчитали гидротермический коэффициент (ГТК). По годам он равнялся 0,34–0,77–0,58 соответственно, в среднем – 0,57 при норме по нашей зоне – 0,84.

#### Результаты и их обсуждение

Доступная почвенная влага в степном Крыму является лимитирующим фактором даже для таких засухоустойчивых культур, как сорго зерновое. Наличие продуктивной влаги в почве зависит от выпадающих осадков, среднесуточной температуры воздуха и силы ветра. Сочетание этих факторов в начальный период (появление всходов и начало кущения) за годы исследований было особо неблагоприятным. Выпало минимальное (104 мм – средняя сумма осадков за три года; 129 мм – среднемноголетний показатель) количество осадков при максимальных (17 °С – среднее за три года; 15,2 °С – среднемноголетний показатель) температурах, что отрицательно повлияло на наличие влаги в посевном и метровом слоях почвы. В нашем исследовании независимо от систем земледелия в посевном слое ее было недостаточно. Необходимо учесть, что оптимальные запасы влаги должны быть в это время 12–15 мм (таблица 1).

**Таблица 1 – Содержание продуктивной влаги в зависимости от систем земледелия при посеве сорго зернового, мм, 2017–2019 гг.**

Система земледелия*	Количество продуктивной влаги послойно по годам, мм						Среднее за годы	
	2017 г.		2018 г.		2019 г.			
	0–10 см	0–100 см	0–10 см	0–100 см	0–10 см	0–100 см	0–10 см	0–100 см
ТС (контроль)	5,70	101,00	7,20	60,40	8,90	83,50	7,27	81,60
ПП	5,80	111,00	7,20	76,40	9,00	94,10	7,30	93,80
НСР <sub>05</sub>	1,79	4,34	1,47	2,73	0,40	4,60		

*Примечание.* Здесь и далее \*ТС – традиционная технология, ПП – прямой посев.

В посевном слое содержание продуктивной влаги в контрольном варианте составило в среднем 7,27 мм, при отсутствии механических обработок – 7,30 мм (на юге России для появления дружных всходов сорго доступной влаги в почве в слое 0–10 см должно быть больше 10 мм [5]). При недостатке влаги в посевной период из года в год получали изреженные всходы как при ТС, так и при ПП. Этот факт впоследствии сказался на уровне урожайности. Каждый год достоверно больше влаги накапливалось в метровом слое (0–100 см) при нулевой технологии, чем в контроле, разница в среднем за три года составила 12,2 мм.

При уборке сорго доступная влага в пахотном слое (0–20 см) отсутствовала, а в метровом слое ее количество было минимальным независимо от технологии возделывания и составило от 0,50 до 2,50 мм по годам.

Сорные растения по сравнению с культурными более приспособлены к изменяющимся условиям среды и более конкурентоспособны. Растения сорго в начальные фазы (всходы и начало кущения) обладают замедленным ростом и развитием, следовательно, они в этот период довольно уязвимы и могут сильно угнетаться сорным компонентом. Несмотря на то, что уже в послеуборочный период предшественника и до посева изучаемой культуры по обеим технологиям проводят агротехнические и химические приемы борьбы с сорной растительностью, сорняки на всходах сорго все равно появляются. Результаты количественного учета сорной растительности в разные фазы развития сорго зернового представлены в таблице 2.

Количество сорняков по годам изменялось следующим образом: в 2017 г. достоверно более высокая засоренность по всходам была по ПП, разница с контролем составила 11 сорных растений на 1 м<sup>2</sup>. В следующем году количество их не зависело

от систем земледелия, а в 2019 г. при незначительной, но достоверной разнице, более высокую засоренность наблюдали в контроле.

**Таблица 2 – Количество сорных растений на делянках сорго зернового в зависимости от системы земледелия, шт./м<sup>2</sup>**

Система земледелия	Количество сорняков по всходам сорго				Количество сорняков перед уборкой			
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	среднее	2017 г.	2018 г.	2019 г.	среднее
ТС (контроль)	25,0	61,0	38,0	41,3	16,0	17,0	26,0	19,7
ПП	36,0	55,0	34,0	41,7	18,0	20,0	23,0	20,3
НСР <sub>05</sub>	4,03	6,00	1,95		2,80	4,02	3,36	

В среднем за три года преимущество какой-то одной из изучаемых систем земледелия не выявлено, так как количество засорителей в опыте было одинаковым (ТС – 41,3 шт./м<sup>2</sup>; ПП – 41,7 шт./м<sup>2</sup>). К уборке количество сорной растительности после всех мероприятий по борьбе с ней за годы эксперимента было на одном уровне, независимо от технологий возделывания.

Видовой состав сорняков на делянках в обоих вариантах опыта представлен в основном ранними, поздними яровыми однолетними и незначительным количеством многолетних видов. Ранние яровые в основном – гибискус тройчатый (*Hibiscus trionum* L.), горец вьюнковый (*Fallopia convolvulus* L.), гелиотроп европейский (*Heliotropium europaeum* L.), двойчатка лучистая (*Bifora radians* M. Beieb.); поздние – щирица белая, жминдовидная и запрокинутая (*Amaranthus albus* L., *A. blitoides* S. Watson., *A. retroflorum*), портулак огородный (*Portulaca oleracea* L.), лебеда раскидистая (*Atriplex patula* L.). Многолетние виды представлены: единичными растениями – осот розовый (*Cirsium arvense* L.), молочан татарский (*Lactuca tatarica* L.), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.). В общем, по полным всходам сорго количество ранних и поздних яровых сорных растений в среднем за три года по ТС составило 93,0 %, корнеотпрысковых – 7,0 %, по ПП – 90,0 и 10,0 % соответственно. Такое же соотношение по видам сорной растительности наблюдали и к уборке изучаемой культуры в 2017 и 2018 гг. В 2019 г. отмечали увеличение количества многолетнего сорного растения вьюнка полевого в варианте ТС до 27 %, по ПП – до 16 %.

Плотность сложения почвы при переходе на ПП отдельные ученые считают наиболее чувствительным параметром [10, 13]. При изучении минимальных ресурсосберегающих мелких и поверхностных рыхлений почвы в 70-е годы XX века плотности почвы придавали огромное значение. Изучали ежегодную разноглубинную вспашку (диапазон от 20–22 см до 27–30 см, а в отдельных случаях – еще и плантажная до 45–50 см), мелкие – 10–14 см и поверхностные обработки на глубину заделки семян. Тогда пришли к единому выводу: южные малогумусные черноземы к уборке, особенно поздноубираемых культур, при недостатке влаги и избыточных температурах значительно уплотнялись, но не более 1,35–1,40 г/см<sup>3</sup>. Даже на делянках с минимальной глубиной рыхления, то есть без вспашки или плоскорезного рыхления они к весеннему периоду обретали свою равновесную плотность порядка – 1,0–1,3 г/см<sup>3</sup> [17, 21].

В наших опытах по изучению новой системы земледелия в сравнении с классической технологией плотность почвы была в первые три года по изучаемым системам земледелия в среднем в слое 0–30 см близкой к равновесной, то есть оптимальной для роста корневой системы сорго зернового (таблица 3).

Анализ данных послойно показал, что верхний слой излишне рыхлый, так как во все три года он был меньше 1 г/см<sup>3</sup>, слой 10–20 см имел оптимальную плотность сложения, а горизонт 20–30 см достоверно переуплотнен в обеих технологиях, так как показатель больше 1,3 г/см<sup>3</sup>. В последние годы немаловажным фактором, который

препятствует разуплотнению почвы, является отсутствие зимних перепадов температуры – замерзания и оттаивания почвенного покрова.

**Таблица 3 – Влияние технологии возделывания на плотность почвы на полянках сорго зернового при посеве, г/см<sup>3</sup>, 2017–2019 гг.**

Слой почвы, см	Вариант	Плотность почвы		
		2017 г.	2018 г.	2019 г.
0–10	ТС (контроль)	0,94	0,9	0,96
	ПП	0,95	0,96	1,03
	НСР <sub>05</sub>	0,09	0,08	0,05
10–20	ТС (контроль)	1,3	1,32	1,33
	ПП	1,3	1,26	1,34
	НСР <sub>05</sub>	0,04	0,09	0,04
20–30	ТС (контроль)	1,25	1,42	1,44
	ПП	1,3	1,32	1,42
	НСР <sub>05</sub>	0,17	0,04	0,05
Среднее в слое 0–30 см	ТС (контроль)	1,17	1,22	1,25
	ПП	1,19	1,18	1,27

Урожайность сорго зернового в 2017 г. была достоверно более низкая при ПП на 0,57 т/га. В 2018 г. сравниваемые технологии не влияли на уровень урожайности сорго. В 2019 г. урожайность по ТС составила 2,02 т/га, а на ПП – 1,51 т/га, что по классической системе земледелия больше на 0,51 т/га. Средняя урожайность за три года исследований по ТС составила 1,69 т/га, а при ПП – 1,43 т/га, что по no-till на 0,26 т/га (15,4 %) достоверно ниже (таблица 4).

**Таблица 4 – Влияние технологии возделывания на урожайность сорго зернового, т/га**

Система земледелия	2017 г.	± к контролю	2018 г.	± к контролю	2019 г.	± к контролю	Среднее за 2017–2019 гг.
ТС (контроль)	1,53		1,51		2,02		1,69
ПП	0,96	-0,57	1,81	+0,30	1,51	-0,51	1,43
НСР <sub>05</sub>	0,36		0,33		0,27		0,21

Показатели качества зерна сорго зернового представлены в таблице 5. В среднем за три года исследований различные параметры качества зерна сорго по технологиям были на одном уровне, хотя наблюдается тенденция большего количества крахмала и жира при прямом посеве.

**Таблица 5 – Влияние технологии возделывания на параметры качества зерна сорго зернового (2017–2019 гг.)**

Система земледелия	Содержание в зерне, %					
	крахмала	± к контролю	протеина	± к контролю	жира	± к контролю
ТС (контроль)	67,7		12,4		3,70	
ПП	68,3	+0,60	12,2	-0,20	4,10	+0,40
НСР <sub>05</sub>	0,87		0,63		0,87	

Экономическая оценка применения прямого посева в сравнении с традиционной системой, рассчитанной от средней урожайности за 2017–2019 гг. и цене реализации за одну тонну зерна сорго 13 тыс. р., представлена в таблице 6.

Рентабельность производства в контроле составила 123 %, при системе земледелия без обработки почвы – 106 %. Обе технологии дали прибыль, но по ТС уровень рентабельности был выше на 17 % за счет большей урожайности и практически одинаковых затрат.

**Таблица 6 – Экономическая оценка применения прямого посева в сравнении с традиционной системой земледелия при выращивании сорго зернового в Степном Крыму (согласно ценам 2019 г.)**

Параметр	Система земледелия	
	традиционная	прямой посев
Цена реализации 1 т зерна, р.	13000	13000
Урожайность зерна, т/га	1,69	1,43
Всего затрат на 1 га, р.	9824	9003
Валовая выручка с 1 га, р.	21970	18590
Прибыль на 1 га, р.	12146	9587
Уровень рентабельности, %	123	106

По мнению ряда ученых [12, 13], в первые три–четыре года внедрения no-till полевые культуры снижают урожайность. Наши данные также показали уменьшение ее на 15,4 %. Поэтому исследования будут продолжены. С 2022 г. начнется вторая ротация изучаемого севооборота (ТС) и адаптивного плодосмена (ПП), где будут изучены дальнейшие изменения в агрофизических свойствах почвы, продуктивности и других параметров.

### Выводы

В результате проведенных трехлетних исследований (2017–2019 гг.) в длительном стационарном опыте сделаны предварительные выводы:

1. Количество продуктивной влаги в посевном слое не зависело от применяемой системы земледелия; в метровом слое почвы накапливались достоверно большие (на 12,2 мм) влагозапасы при ПП.

2. Изучаемые системы земледелия были равноценны по влиянию на количественный и видовой состав сорного сообщества: ТС – 41,3 штук/м<sup>2</sup>; ПП – 41,7 штук/м<sup>2</sup>.

3. Плотность почвы по системам земледелия в слое 0–30 см при посеве находилась в оптимальном диапазоне: при ТС – 1,17–1,25 г/см<sup>3</sup>, без обработки почвы – 1,18–1,27 г/см<sup>3</sup>.

4. Средняя урожайность зерна сорго зернового за три года исследований по ТС составила 1,69 т/га, а при ПП – 1,43 т/га, что по no-till на 0,26 т/га (15,4 %) достоверно ниже.

5. В среднем за три года исследований различные параметры качества зерна сорго по обеим технологиям были на одном уровне, хотя наблюдалась тенденция накопления большего количества крахмала и жира при прямом посеве.

6. Рентабельность производства в контроле составила 123 %, при системе земледелия без обработки почвы – 106 %, таким образом, при ТС она увеличилась на 17 % (при ТС – прибыль на 1 га составила 12146 р.; ПП – 9587 р.).

### Литература

1. Izotov A. M., Turin E. N., Turina E. L., Zhenchenko K. G., Gongalo A. A., Susskiy A. N. Comparison of no-till and traditional technologies for *Triticum aestivum* L. cultivation // IOP conference. Series “Earth and environmental science”. Vol. 341. Kurgan State Agricultural Academy named after T. S. Maltsev, 2019. P. 012–020. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012087.
2. Адамень Ф. Ф., Плугатарь Ю. В., Рюмшин А. В., Абдуразаков Б. К., Турина Е. Л., Сташкина А. Ф. Нут. Симферополь: Полипринт, 2018. 580 с.
3. Жученко А. А. Ресурсный потенциал производства зерна в России // Сельскохозяйственная биология. 2005. № 1 (40). С. 127.
4. Посевные площади сорго в России. Итоги 2019 года. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ab-centre.ru/news/posevnye-ploschadi-sorgo-v-rossii-itogi-2019-goda> (дата обращения 20.07.2020).
5. Melnichuk T. N., Izotov A. M., Turin E. N., Zhenchenko K. G., Gongalo A. A., Zubochenko A. A. The cultivation of *Sorghum bicolor* using no-till technology and a complex biological substance // IOP conference. Series “Earth and environmental science”. Vol. 341. Kurgan State Agricultural Academy named after T. S.

Maltsev, 2019. P. 060–084.

6. Сельское хозяйство Крыма. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ab-centre.ru/page/selskoe-hozyaystvo-kryma> (дата обращения 20.07.2020).

7. Томашова О. Л., Ильин А. В., Веселова Л. С. Структура почвы под покровными культурами при технологии прямого посева в Предгорно-Степной зоне Крыма // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2019. № 20 (183). С. 31–36.

8. Dridiger V. K., Godunova E. I., Eroshenko E. V. Effect of no-till technology on erosion resistance, the population of earthworms and humus content in soil // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 2 (9). P. 766–780.

9. Yadav G. S., Lal R., Meena R. S. Vehicular traffic effects on hydraulic properties of a Crosby silt loam under a long-term no-till farming in Central Ohio, USA // Soil & Tillage research. 2020. Vol. 202. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=WOS&search\\_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=E5RZntllvLaCC2DczEF&page=2&doc=14](https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=E5RZntllvLaCC2DczEF&page=2&doc=14) (дата обращения 20.07.2020).

10. Komissarov M. A., Klik A. The impact of no-till, conservation, and conventional tillage systems on erosion and soil properties in lower Austria // Eurasian soil science. 2020. Vol. 4 (53). P. 503–511. DOI: 10.1134/S1064229320040079.

11. Проблемы и перспективы инновационного развития сельских территорий Крыма // Под ред. Паштецкого В. С. Симферополь: Ариал, 2019. 252 с.

12. Турин Е. Н. Преимущества и недостатки системы земледелия прямого посева (обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 2 (22). С. 150–168. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-150-168.

13. Дридигер В. К. Практические рекомендации по освоению технологии возделывания культур без обработки почвы в засушливой зоне Ставропольского края. Саратов: Амирит, 2016. 82 с.

14. Waring E. R., Lagzdins A., Pederson C., Helmers M. J. Influence of no-till and a winter rye cover crop on nitrate losses from tile-drained row-crop agriculture in Iowa // Journal of environmental quality. 2020. Vol. 2 (49). P. 292–303 DOI: 10.1002/jeq2.20056.

15. Тарасенко В. С. Экология Крыма. Угрозы устойчивому развитию. План действий. Симферополь: Ариал, 2014. С. 92.

16. Научно обоснованная система земледелия Крымской области. Симферополь: Крымский облполиграфиздат, 1987. 335 с.

17. Пергаев О. А., Алексеенко Н. В. Влияние инокуляции семян микробными препаратами на численность микроорганизмов в ризосфере сорго зернового и урожай зерна // Кукуруза и сорго. 2015. № 1. С. 32–35.

18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 315 с.

19. Драган Н. А. Почвы Крыма. Симферополь: СГУ, 1983. 95 с.

20. Агрокліматичний довідник по Автономній Республіці Крим (1986–2005 рр.): довідкове видання // За ред. Прудка О. І., Адаменко Т. І. Симферополь: ЦГМ в АРК, 2011. 344 с.

21. Розробити основні елементи економічно ефективного екологічного зрівноваженого землеробства, спрямовані на підвищення продуктивності ріллі, виробництво високоякісної продукції, розширене відтворення родючості ґрунтів та природоохоронне використання земель Степової зони: Звіт про НДР (заключ.) / КІАПВ УААН, рук. Зінченко В.І.; виконав.: Женченко К. Г., Томашов С. В., Саєнко Н. П. Клепінине, 2005. 105 с. Інв. № 01.

## References

1. Izotov A. M., Turin E. N., Turina E. L., Zhenchenko K. G., Gongalo A. A., Susskiy A. N. Comparison of no-till and traditional technologies for *Triticum aestivum* L. cultivation // IOP conference series: earth and environmental science. Vol. 341. Kurgan State Agricultural Academy named after T. S. Maltsev, 2019. P. 012–020. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012087.

2. Adamen F. F., Plugatar Yu. V., Ryumshin A. V., Abdurazakov B. K., Turina E. L., Stashkina A. F. Chickpea (*Cicer arietinum*). Simferopol: Poliprint, 2018. 580p.

3. Zhuchenko A. A. Resource potential of grain production in Russia // Agricultural Biology (Sel'skokhozyaystvennaya Biologiya). 2005. No. 1 (40). P. 127.

4. Sorghum areas in the Russian Federation. Results of 2019. [Electronic resource]. Access point: <https://ab-centre.ru/news/posevnye-ploschadi-sorgo-v-rossii-itogi-2019-goda> (reference's date 20. 07. 2020).

5. Melnichuk T. N., Izotov A. M., Turin E. N., Zhenchenko K. G., Gongalo A. A., Zubochenko A. A. The cultivation of *Sorghum bicolor* using no-till technology and a complex biological substance // IOP conference. Series “Earth and environmental science”. Vol. 341. Kurgan State Agricultural Academy named after T. S. Maltsev, 2019. P. 060–084.

6. Agriculture of the Crimea. [Electronic resource]. Access point: <https://ab-centre.ru/page/selskoe-hozyaystvo-kryma> (reference's date 20.07.2020).



7. Tomashova O. L., Ilyin A. V., Veselova L. S. Soil structure under cover crops using direct sowing technology in the foothill-steppe zone of Crimea // Transactions of Taurida Agricultural Science. 2019. No. 20 (183). P. 31–36.
8. Dridiger V. K., Godunova E. I., Eroshenko E. V. Effect of no-till technology on erosion resistance, the population of earthworms and humus content in soil // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 2 (9). P. 766–780.
9. Yadav G. S., Lal R., Meena R. S. Vehicular traffic effects on hydraulic properties of a Crosby silt loam under a long-term no-till farming in Central Ohio, USA // Soil & Tillage research. 2020. Vol. 202. [Electronic resource]. Access point: [https://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=WOS&search\\_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=E5RZntIvLaCC2DczEF&page=2&doc=14](https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=E5RZntIvLaCC2DczEF&page=2&doc=14) (reference's date 20.07.2020).
10. Komissarov M. A., Klik A. The impact of no-till, conservation, and conventional tillage systems on erosion and soil properties in lower Austria // Eurasian soil science. 2020. Vol. 4 (53). P. 503–511. DOI: 10.1134/S1064229320040079.
11. Problems and prospects of innovative development of rural areas of the Crimea // Ed. by Pashetskii V. S. Simferopol: Arial, 2019. 252 p.
12. Turin E. N. Advantages and disadvantages of no-till farming around the world (review) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 2 (22). P. 150-168. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-150-168.
13. Dridiger V. K. Practical recommendations for adoption of technology of cultivation of crops without tillage in the arid zone of the Stavropol Territory. Saratov: Amirit, 2016. 82 p.
14. Waring E. R., Lagzdins A., Pederson C., Helmers M. J. Influence of no-till and a winter rye cover crop on nitrate losses from tile-drained row-crop agriculture in Iowa // Journal of environmental quality. 2020. Vol. 2 (49). P. 292–303 DOI: 10.1002/jeq2.20056.
15. Tarasenko V. S. Ecology of the Crimea. Threats to sustainable development. Plan of Action. Simferopol: Arial, 2014. P. 92.
16. Science-based farming system of the Crimean region. Simferopol: Krymskiy oblpoligrafizdat, 1987. 335 p.
17. Pergaev O. A., Alekseenko N. V. Influence inoculation microbial preparations by the number of microorganisms in the rhizosphere of grain sorghum and grain yield // Kukuruzna i Sorgo. 2015. No.1. P. 32–35.
18. Dospikhov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. 315 p.
19. Dragan N. A. Soils of the Crimea. Simferopol: Simferopol State University, 1983. 95 p.
20. Agroclimatic reference book on the Autonomous Republic of Crimea (1986–2005): reference edition // Ed. by Prudko O. I., Adamenko T. I. Simferopol: Regional Meteorological Center in the ARC, 2011. 344 p.
21. To develop the main elements of economically efficient and ecologically balanced agriculture aimed at increasing the productivity of arable land, production of high quality products, expanded reproduction of soil fertility and environmental use of steppe lands: Report on research (final) / Crimean Institute of Agro-Industrial Production UAAS, supervisor Zinchenko V. I.; performed by: Zhenchenko K. G., Tomashov S.V., Saenko N. P. Klepinino, 2005. 105 p. Inv. No. 01.

UDC 633.174:631.17:631.51(477.75)

Turin E. N., Zhenchenko K. G., Gongalo A. A., Zubochenko A. A., Susskiy A. N.

**COMPARISON OF NO-TILL AND TRADITIONAL FARMING SYSTEM IN THE  
CONTEXT OF *SORGHUM BICOLOR* (L.) MOENCH CULTIVATION IN THE  
STEPPE CRIMEA**

*Summary.* *Sorghum bicolor* (grain sorghum) is a valuable food and fodder crop. The purpose of the research was to compare no-till and traditional farming and study the effect of these two cultivation technologies in the context of *Sorghum bicolor* (L.) Moench cultivation in the steppe Crimea. The tasks of the study included determination of the 1) availability of productive moisture during sowing time; 2) quantitative and species composition of weeds; 3) soil density; 4) yield, grain quality and economic efficiency of the crop. The experiment was laid in 2015–2016. Research work began in 2017. The object of the research – grain sorghum variety ‘Krymbel’ bred in the Academy of Bioresources and Environmental Management (Academic Unit) of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Soil – chernozems southern on loess-like light clays with a humus content of 2.0–2.1%, mobile phosphorus – 2.0–2.7 mg/100 g of soil, exchangeable potassium – 25–30 mg/100 g soil. The total area of the experimental plot – 300 m<sup>2</sup>, the accounting area – 50 m<sup>2</sup>, triple replication. The average annual air temperature – 10.2 °C, the average annual

precipitation – 412 mm. Mathematical processing of the research results was carried out by the method of analysis of variance (ANOVA) according to B. A. Dospikhov. Under no-till, the amount of available moisture in one-meter soil layer over the years of research was significantly higher (by 12.2 mm) compared to the traditional farming system (81.6 and 93.8 mm, respectively). The quantitative composition of the weed at the experimental fields was practically the same (41.3 and 41.7 pieces/m<sup>2</sup> under no-till and traditional farming system, respectively). Soil density in the 0–30 cm layer during sowing time was within the optimal range: for the traditional system it was 1.17–1.25 g/cm<sup>3</sup>, for no-till – 1.18–1.27 g/cm<sup>3</sup>. The average yield for three years of research was 1.69 t/ha (traditional) and 1.43 t/ha (no-till), which is 0.26 t/ha or 15.4 % lower. The level of profitability under traditional system was 17 % (traditional farming system – 123 %, no-till – 106 %) higher than that of by no-till.

**Keywords:** no-till, agricultural technique without disturbing the soil through tillage, zero tillage, natural technology, *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

Турин Евгений Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: turin\_e@niishk.ru.

Гонгало Анна Андреевна, научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: gongalo\_a@niishk.ru.

Женченко Клара Готлибовна, научный сотрудник лаборатории земледелия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: klara.zhenchenko@mail.ru.

Зубоченко Алла Анатольевна, старший научный сотрудник лаборатории агрохимических исследований, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: zubochenko\_a@niishk.ru.

Сусский Александр Николаевич, лаборант-исследователь лаборатории земледелия, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: aleksandrsusskii66@mail.ru.

Turin Evgeniy Nikolaevich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of agriculture, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150 Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: turin\_e@niishk.ru.

Gongalo Anna Andreevna, researcher of the Laboratory of agriculture, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150 Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: gongalo\_a@niishk.ru.

Zhenchenko Klara Gotlibovna, researcher of the Laboratory of agriculture, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150 Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: klara.zhenchenko@mail.ru.

Zubochenko Alla Anatolyevna, senior researcher of the Laboratory of agrochemical research, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150 Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: zubochenko\_a@niishk.ru.

Susskiy Aleksandr Nikolaevich, research assistant of the Laboratory of agriculture, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150 Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: aleksandrsusskii66@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 10.07.2020.*

*Дата принятия к печати – 01.09.2020.*

**INFLUENCE OF PLANT GROWTH REGULATORS ON RESISTANCE OF  
*LELLIOTTIA NIMIPRESSURALIS* CCM 32-3 TO GRAIN PROTECTANTS**

Federal State Budget Scientific Institution “Research Institute of Agriculture of Crimea”

**Summary.** *The aim of our research was to study the effect of plant growth regulator “Biolan” on the activity of exopolysaccharides (EPS) production by the bacterium Lelliottia nimipressuralis CCM 32-3 and its resistance to some seed dressing agents. The objects of the research were bacteria L. nimipressuralis CCM 32-3, plant growth regulator (PGR) “Biolan”, seed dressing agents of cereal plants. To study the quantitative content of exopolysaccharides in the culture fluid of L. nimipressuralis CCM 32-3, the phenol-sulfuric method was used. Determination of resistance of L. nimipressuralis CCM 32-3 cells to seed dressing agents was carried out on the MPA medium (by the method of wells) under conditions of deep cultivation. Studies have been carried out to quantify the exopolysaccharides in the culture fluid of the bacterium L. nimipressuralis CCM 32-3. It was found that one-day culture contains 22.8 mg/l EPS; two days later their number was 35.8 mg/l. The positive effect of PGR “Biolan” on the amount of EPS was revealed. The addition of this preparation to the nutrient medium contributed to an increase in the number of EPS by 20.6 % in one-day culture of L. nimipressuralis CCM 32-3 and by 17.9 % in two-day one. The action of fungicides (“Vitavax 200 FF”, “Lamardor FS 400”, “Raxil Extra”), which were applied according to the manufacturer’s guidelines, on the growth and cell viability of L. nimipressuralis CCM 32-3 has been studied. The bacteriostatic effect of the studied seed dressing agents on the viability of the strain cells was revealed: there was a decrease in cell titer compared to control after the “Vitavax 200 FF”, “Raxil Extra”, and “Lamardor FS 400” application by 21 %, 9 %, and 25 %, respectively. It was found that the introduction of “Biolan” into the nutrient medium neutralizes the negative effect of “Vitavax 200 FF” and “Raxil Extra”, however, it did not have any similar effect on “Lamardor FS 400”. The positive action of “Biolan” on L. nimipressuralis CCM 32-3 was established. The addition of PGR to the culture medium for cultivating the strain contributed to an increase in the content of EPS, which increased the resistance of cells to the studied seed dressing agents.*

**Keywords:** *exopolysaccharides, Lelliottia nimipressuralis CCM 32-3, seed protectants, plant growth regulator “Biolan”.*

**Introduction**

The use of microbial preparations to optimize the nutrition of agricultural plants, improve their growth and increase productivity is one of the aspects of biological agriculture [1–3]. Effective strains of soil bacteria were identified in the Department of Microbiology of the FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. Based on these strains, modern microbial preparations were created including one based on *L. nimipressuralis* CCM 32-3 [4]. Some researchers add polysaccharides of other microorganisms to the composition of biological products to improve their properties [5]. It is proved that biopreparations containing exopolysaccharides (EPS) have a longer shelf life, improve sowing qualities and stimulate plant growth [6]. In our earlier studies, we indicated the ability of bacteria *L. nimipressuralis* 32-3 CCM to synthesize EPS [7].

Exopolysaccharides are high-molecular exogenous metabolic products of microorganisms. Bacterial EPS are biologically active substances with antiviral and bactericidal effects. They enhance the medicinal effect of antibiotics by stimulating factors

of nonspecific immunity of microorganisms. EPS act as intermediaries in the interaction of bacteria-producers of EPS with other macro-and microorganisms [8, 9].

Moreover, it was experimentally established that rhizobial EPS have an impact on the number of nodules formed on the roots of legumes and their nitrogen-fixing activity. They play a multifunctional role in the formation of bean-rhizobial symbiosis [10–15]. Currently, bacterial EPS are widely used in many industries: textile, food, pharmaceutical, chemical, oil, as well as in medicine and agriculture.

Taking into account the broad spectrum of EPS and their effect on the adaptive characteristics of the organisms, the **aim of our research** was to study the effect of plant growth regulator “Biolan” on the ability of *L. nimipressuralis* CCM 32-3 to synthesize these compounds, as well as resistance to some seed dressing agents.

### Materials and methods

Quantitative determination of EPS in the culture liquid of the bacteria *L. nimipressuralis* CCM 32-3 was carried out by the phenol-sulfuric method in the laboratory. *L. nimipressuralis* CCM 32-3 strain was cultured on the meat-and-peptone agar (MPA) medium for 1-2 days. We used pure MPA medium and MPA with plant growth regulator (PGR) “Biolan” at a concentration of  $10^{-7}$  mg/l. “Biolan” is a broad-spectrum plant growth biostimulator obtained during the biotechnological cultivation of epiphyte fungi isolated from the root system of medicinal plants [14]. Bacteria biomass was washed off with saline solution (0.85 % NaCl), the cell suspension was centrifuged for 20 minutes at 6,000 rpm. Then, 0.05 ml of 80 % phenol was added to 2 ml of fugate. After that, 5 ml of concentrated  $H_2SO_4$  was poured, the tubes were stirred and kept for 10 minutes. Then, the tubes were shaken and placed for 15 minutes in a water bath (25–30 °C). The intensity of the yellow-orange color was measured on a photoelectric colorimeter at a wavelength of 490 nm [15].

Determination of *L. nimipressuralis* CCM 32-3 cells resistance to modern seed dressing agents (according to the technologies of growing agricultural plants) was performed by the method of holes on MPA medium [16]. The following seed dressing agents were used: “Vitavax 200FF”, “Lamardor FS 400”, “Raxil Extra”. They were diluted in the recommended doses – 2.5 l, 0.2 l, and 2.0 l, respectively, in 10 l of water.

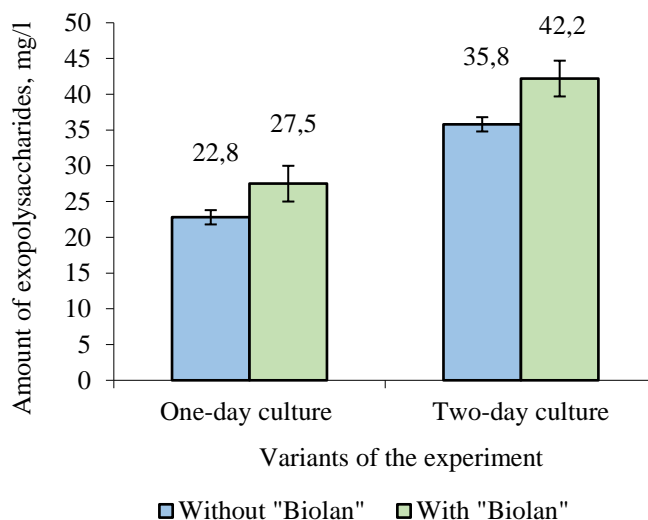
To determine the effect of seed dressing agents on the growth of *L. nimipressuralis* CCM 32-3 under conditions of deep cultivation, the strain was grown on the liquid glucose-asparagine medium for one day at a temperature of 28 °C on the rockers (UVMT 12-250) with rotation speed 230 rpm. The studied protectants and PGR “Biolan” were added to the flasks with the nutrient medium simultaneously with the biomass of the bacteria. The titer of the culture was determined by seeding certain dilutions of its suspension on MPA and subsequent accounting of colony-forming units (CFU) grown on the medium after 3 days.

Statistical analyses of the research results were conducted according to the methodology of B. A. Dospekhov [17].

### Results and discussion

The results indicate that *L. nimipressuralis* CCM 32-3 in the process of life produces substances belonging to EPS. The quantitative determination of EPS showed that the culture liquid of one-day culture of *L. nimipressuralis* CCM 32-3 grown on MPA contains 22.8 mg/l of exopolysaccharides. After two days of cultivation, the quantity of EPS increased by 13 mg/l (57 %) and was 35.8 mg/l (figure 1).

Since the technology of production of the biological preparation involves the cultivation of *L. nimipressuralis* CCM 32-3 in a liquid medium for two days, further determination of the number of EPS, in our opinion, was impractical.



**Figure 1 – Effect of PGR “Biolan” on the activity of the production of EPS by the bacteria *L. nimipressuralis* CCM 32-3**

Our previous studies have shown a positive effect of PGR “Biolan” on biomass productivity and alkaline phosphatase activity, as well as an increase in the synthesis of phytohormones by the bacteria *L. nimipressuralis* CCM 32-3 [18, 19]. Hence, the study of the effect of plant growth regulator “Biolan” on the synthesis of EPS by the bacteria *L. nimipressuralis* CCM 32-3 was of particular interest. Thus, the results show that its addition to the nutrient medium contributed to an increase in the content of EPS by 20.6 % (compared to the data obtained after the cultivation of the strain on a pure medium of MPA without “Biolan” addition) in one-day culture and 17.9 % – in two-day one.

According to literature sources, it is known that EPS form a dense layer on the surface of the cell wall of bacteria, protecting them from the effects of stress factors: high and low pH, high temperature, drying, freezing, action of detergents and heavy metals [20–23]. Furthermore, some scientists have shown that *Paenibacillus polymyxa* EPS stimulate growth, development and protective reactions of wheat [24, 25].

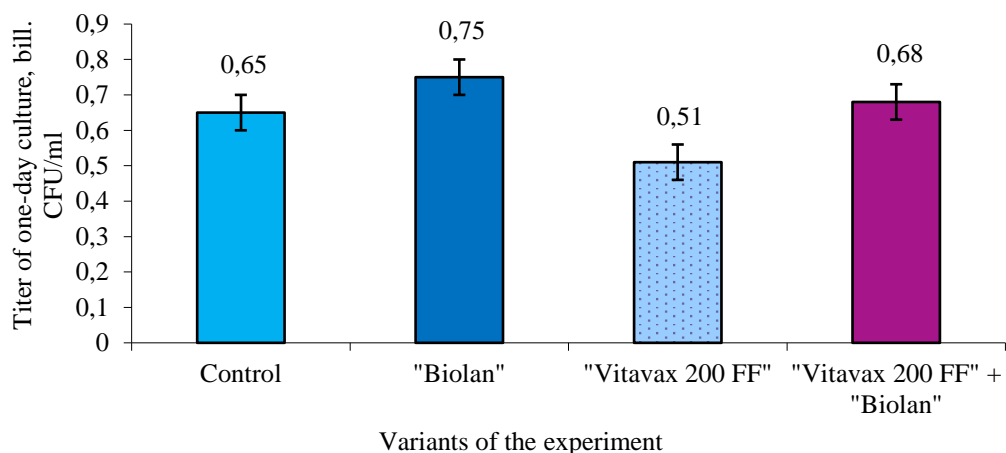
We have conducted experiments in which investigated the resistance of cells *L. nimipressuralis* 32-3 CCM to seed dressing agents: “Vitavax 200 FF”, “Lamardor FS 400”, “Raxil Extra”. The results of the experiments indicated the resistance of the cells to the studied fungicides. It was found that around the holes in which dressing agent was introduced, there were no zones of inhibition of bacterial growth. We observed the growth of this strain in the form of a continuous lawn.

Studies have shown that chemical dressing agents (“Vitavax 200 FF”, “Lamardor FS 400”, “Raxil Extra”), if applied according to the manufacturer’s guidelines, visually did not inhibit *L. nimipressuralis* 32-3 CCM growth in laboratory experiments.

However, the impact of seed dressing agents on the viability of *L. nimipressuralis* CCM 32-3 cells under submerged cultivation differentiated more clearly. Thus, our studies have shown that the addition of “Vitavax 200 FF” to the nutrient medium reduced the titer of viable cells in one-day culture of the CCM 32-3 by 21 % compared to the control: from 0.65 billion CFU/ml to 0.51 billion CFU/ml (figure 2).

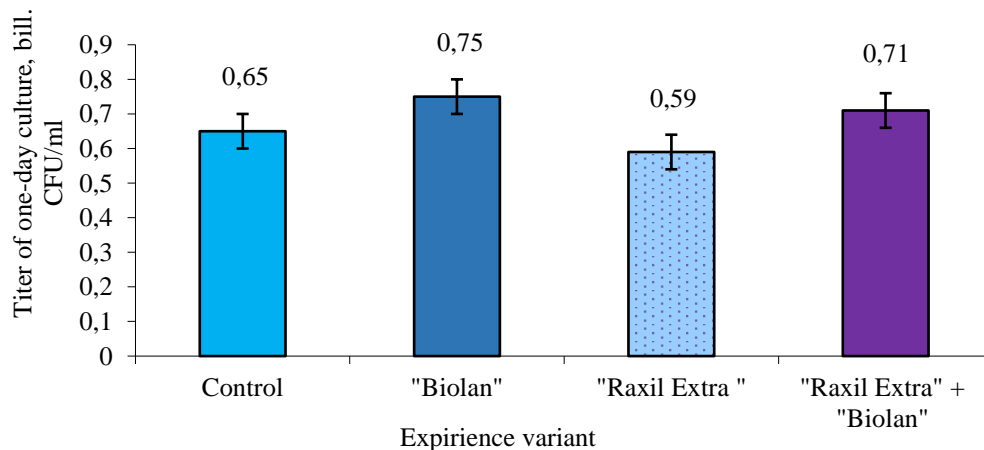
It is possible to weaken the bacteriostatic effect “Vitavax 200 FF” due to the PGR “Biolan”. Its addition to the culture medium contributed to an increase in the titer of viable cells not only in pure culture (by 15 % compared to control) but also in culture with the added dressing agent (by 33 %). The titer of viable cells in one-day culture with the combined use of “Biolan” and “Vitavax 200 FF” was even slightly higher than the control values (by 4.6 %).

Studying the influence “Raxil Extra” on the viability of *L. nimipressuralis* CCM 32-3 cells, similar results were received. Adding it to the culture medium also showed the bacteriostatic effect, but slightly less than with “Vitavax 200 FF”.



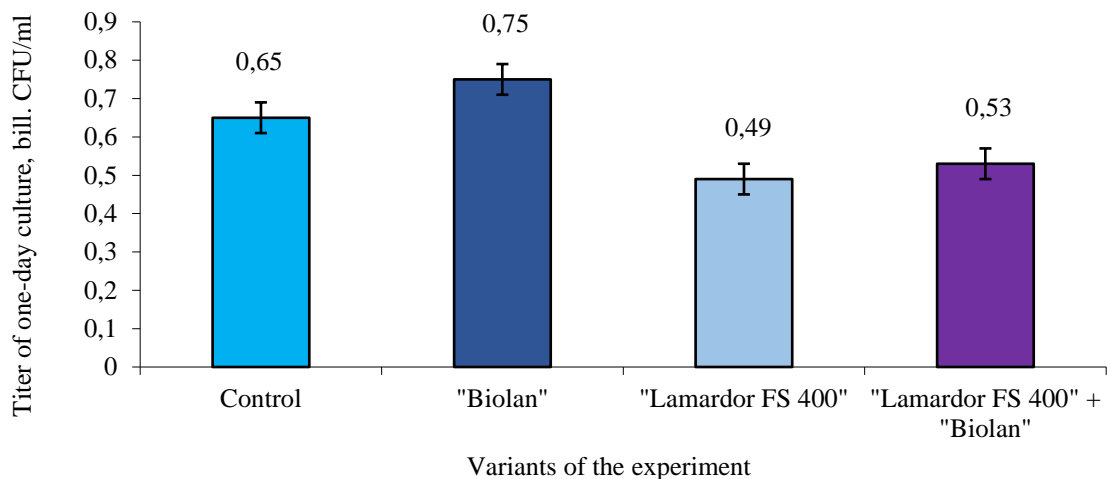
**Figure 2 – Influence of PGR “Biolan” and seed dressing agent “Vitavax 200 FF” on the titer of one-day culture of *L. nimipressuralis* CCM 32-3**

Thus, the titer of viable cells decreased to 0.59 billion CFU/ml compared to 0.65 billion CFU/ml in control. In this case, the addition of plant growth regulator “Biolan” in the culture medium neutralized the negative effect of the seed dressing agent “Raxil Extra”: titer increased to 0.71 billion CFU/ml, which exceeded the control indicators by 9.2 % (figure 3).



**Figure 3 – Influence of PGR “Biolan” and seed dressing agent “Raxil Extra” on the titer of one-day culture of *L. nimipressuralis* CCM 32-3**

The study of the influence of “Lamardor FS 400” under the conditions of deep cell cultivation revealed the difference of its action on the viability of *L. nimipressuralis* CCM 32-3 cells compared to the previous two fungicides (figure 4). According to our data, “Lamardor FS 400” had the most depressing effect on the titer of one-day culture: it decreased to 0.49 billion CFU/ml. Even the addition of “Biolan” did not contribute to the improvement of the situation: the titer increased to 0.53 billion CFU/ml, which was less than the control by 0.12 billion CFU/ml (18 %).



**Figure 4 – Influence of PGR “Biolan” and seed dressing agent “Lamardor FS 400” on the titer of one-day culture of *L. nimipressuralis* CCM 32-3**

In sum, under conditions of laboratory experiments, we studied the effect of fungicides (“Vitavax 200 FF”, “Raxil Extra”, “Lamardor FS 400”; applied according to the manufacturer’s guidelines) on the growth and viability of *L. nimipressuralis* CCM 32-3 cells. The bacteriostatic effect of the studied seed dressing agents on the viability of the strain cells was revealed: there was a decrease in cell titer compared to control after the application “Vitavax 200 FF”, “Raxil Extra”, and “Lamardor FS 400” by 21 %, 9 %, and 25 %, respectively. It was found that the introduction of “Biolan” into the nutrient medium neutralizes the negative effect of “Vitavax 200 FF” and “Raxil Extra”. However, it did not have same effect on “Lamardor FS 400”.

### Conclusions

Strain *L. nimipressuralis* CCM 32-3 in the process of vital activity produces substances belonging to the EPS. The quantitative determination of EPS showed that the culture liquid of one-day culture of *L. nimipressuralis* CCM 32-3 grown on MPA contains 22.8 mg/l of exopolysaccharides. After two days of cultivation, the quantity of EPS increased by 13 mg/l (57 %) and was 35.8 mg/l. The addition of PGR “Biolan” to the nutrient medium contributed to an increase in the quantity of EPS by 20.6 % in one-day culture of *L. nimipressuralis* CCM 32-3 and by 17.9 % in two-day one.

Bacteriostatic effect of fungicides “Vitavax 200 FF”, “Raxil Extra”, “Lamardor FS 400” on cell viability of *L. nimipressuralis* CCM 32-3 was revealed. We observed the reduction of cell titer compared to control after the application “Vitavax 200 FF”, “Raxil Extra”, and “Lamardor FS 400” by 21 %, 9 %, and 25 %, respectively. It was found that the introduction of “Biolan” into the nutrient medium contributes to the intensification of the synthesis of exopolysaccharides EPS by the bacterium, which, in turn, neutralizes the negative effect of “Vitavax 200 FF” and “Raxil Extra”, however, it did not have any similar effect on “Lamardor FS 400”.

### References

1. Tikhonovich I. A., Zavalin A. A. Application potential of nitrogen-fixing and phytostimulation microorganisms for increasing efficiency of the agroindustrial complex and improving the agroecological situation in Russian Federation // *Plodorodie*. 2016. No. 5 (92). P. 28–32.
2. Vasileva E. N., Akhtemova G. A., Zhukov V. A., Tikhonovich I. A. Endophytic microorganisms in fundamental research and agriculture // *Ecological genetics*. 2019. No. 17 (1). P. 19–32. DOI: 10.17816/ecogen17119-32.
3. Kozhemyakov A. P., Laktionov Yu. V., Popova T. A., Orlova A. G., Kokorina A. L., Vaishlya O. B., Agafonov E. V., Guzhvin S. A., Churakov A. A., Yakovleva M. T. The scientific basis for the creation of new forms of microbial biochemical // *Agricultural Biology*. 2015. No. 3 (50). P. 369-376. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.3.369rus.

4. 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” // Chaikovskaya L. A., Melnichuk T. N., Kameneva I. A., Baranskaya M. I., Ovsienko O. L. 2019. Bul. No. 2. 12 p.
5. Patent of Ukraine No. 89120. “A composition for inoculation of seeds of leguminous plants through root nodule bacteria and the viscousgenes are EPAA” // Titova L. V., Patyka V. P., Gergalo I. S., Leonova N. O., Iutynska G. O., Voelko S. K. 2009. Bul. No. 24.
6. Fomkina M. M., Ibragimova S. A. Using of microbial polysaccharides for seed treatment // Ogarev-online. 2016. No. 24 (89). [Electronic resource]. Access point: <http://journal.mrsu.ru/arts/ispolzovanie-mikrobnyx-polisaxaridov-dlya-obrabotki-semyan> (reference’s date 01.06.2020).
7. Baranskaya M., Chaikovska L. By question at synthesise of bacterial exopolysaccharides // II International Scientific Conference “Microbiology and Immunology – the Development Outlook in the 21<sup>st</sup> century”. Kyiv: Taras Shevchenko National University, 2016. P. 26–27.
8. Caggianiello G., Kleerebezem M., Spano G. Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: from health-promoting benefits to stress tolerance mechanisms // Applied Microbiology and Biotechnology. 2016. No. 100 (9). P. 3877–3886. DOI:10.1007/s00253-016-7471-2
9. Sanlibaba P., Çakmak G. A. Exopolysaccharides production by lactic acid bacteria // Applied Microbiology: Open Access. 2016. No. 2 (2). DOI: 10.4172/2471-9315.1000115
10. Badra B., Soungalo D. M., Hafidha K., Catherine M., Aicha T. Influence of the exopolysaccharides of polyphenolconditioned lactic acid bacteria on gut microecology and bacterial translocation // Ukrainian Journal of Ecology. 2018. No. 8 (3). P. 1-9.
11. Cieśla J., Kopycińska M., Łukowska M., Bieganowski A., Janczarek M. Surface properties of wild-type *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* strain 24.2 and its derivatives with different extracellular polysaccharide content // PLoS One. 2016. No. 11 (10). P. e0165080. DOI: 10.1371/journal.pone.0165080.
12. Kawaharada Y., Kelly S., Nielsen M. W., Hjuler C. T., Gysel K. et al. Receptor-mediated exopolysaccharide perception controls bacterial infection // Nature. 2015. No. 523. P. 308–312. DOI: 10.1038/nature14611.
13. Muszyński A., Heiss C., Hjuler C. T., Sullivan J. T., Kelly S. J., Thygesen M. B., Stougaard J., Azadi P., Carlson R. W., Ronson C. W. Structures of exopolysaccharides involved in receptor-mediated perception of *Mesorhizobium loti* by *Lotus japonicus* // Journal of Biological Chemistry. 2016. No. 291. P. 20946–20961. DOI: 10.1074/jbc.M116.743856.
14. Anishin L. A., Ponomarenko S. P., Zhilkin V. O., Gritsaenko Z. M. Technologies of application of plant growth regulators in agriculture: methodical manual. Kyiv: V. P. Kuhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry National Academy of Sciences of Ukraine, 2006. P. 4–7.
15. Varbanets L. D., Zdorovenko G. M., Knirel Yu. A. Methods of endotoxin investigations. Kiev: Naukova Dumka, 2006. 237 p.
16. Segi J. Methods of soil microbiology. Moscow: Kolos, 1983. 296 p.
17. Dospikhov B. A. Methods of field research. Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 351 p.
18. Chaykovskaya L. A., Baranskaya M. I. Influence of Agrostimulin, Emistim C, Biolan on growth and activity of phosphatase *Enterobacter nimipressuralis* 32-3 // Microbiology & Biotechnology. 2009. No. 4 (8). P. 70–74.
19. Chaikovska L. A., Baranska M. I. The influence of plant growth regulator Biolan on the phytohormonal activity of *Enterobacter nimipressuralis* 32-3 // Agricultural Microbiology. 2009. No. 10. P. 41–49.
20. Deming J. W., Young J. N. The role of exopolysaccharides in microbial adaptation to cold habitats // In: Psychrophiles: from biodiversity to biotechnology. // Ed. by Margesin R. 2<sup>nd</sup> ed. Springer: Cham, Switzerland, 2017. P. 259–284. DOI: 10.1007/978-3-319-57057-0\_12.
21. Caruso C., Rizzo C., Mangano S., Poli A., Di. Donato P., Nicolaus B., Di Marco G., Michaud L., Lo Giudice A. Extracellular polymeric substances with metal adsorption capacity produced by *Pseudoalteromonas* sp. MER144 from Antarctic seawater // Environmental Science and Pollution Research. 2018. No. 25 (5). P. 4667–4677. DOI: 10.1007/s11356-017-0851-z.
22. Casillo A., Lanzetta R., Parrilli M., Corsaro M. M. Exopolysaccharides from marine and marine extremophilic bacteria: structures, properties, ecological roles and applications // Marine Drugs. 2018. No. 16 (2). P. 69. DOI: 10.3390/md16020069.
23. Liang T. W., Wang S. L. Recent advances in exopolysaccharides from *Paenibacillus* spp.: production, isolation, structure, and bioactivities // Marine Drugs. 2015. No. 13. P. 1847–1863. DOI: 10.3390/md13041847.
24. Yegorenkova I. V., Tregubova K. V., Ignatov V. V. Paenibacillus polymyxa rhizobacteria and their synthesized exoglycans in interaction with wheat roots: colonization and root hair deformation // Current Microbiology. 2013. No. 66 (5). P. 481–486. DOI: 10.1007/s00284-012-0297-y.
25. Yegorenkova I. V., Tregubova K. V., Konnova S. A., Bugreyeva L. V., Ignatov V. V. Effect of exopolysaccharides of the bacterium *Paenibacillus Polymyxa* 1465 on growth and defense responses of wheat // Izvestiya of Saratov University. New Series. Series “Chemistry. Biology. Ecology”. 2016. No. 16 (4). P. 414–420. DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-4-414-420.



УДК 579.842: 632.95: 631.811.98

Баранская М. И., Чайковская Л. А.

**ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРА РОСТА РАСТЕНИЙ НА РЕЗИСТЕНТНОСТЬ  
*LELLIOTTIA NIMIPRESSURALIS* ССМ 32-3 К ПРОТРАВИТЕЛЯМ ЗЕРНА**

**Реферат.** Цель наших исследований заключалась в изучении воздействия регулятора роста растений «Биолан» на активность продуцирования экзополисахаридов (ЭПС) бактерией *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3 и ее резистентность к некоторым протравителям семян. Объектом исследований были бактерии *L. nimipressuralis* ССМ 32-3, регулятор роста растений (РРР) «Биолан», протравители семян злаковых растений. Для исследования количественного содержания ЭПС в культуральной жидкости бактерии *L. nimipressuralis* ССМ 32-3 использован фенольно-серный метод. Определение резистентности клеток *L. nimipressuralis* ССМ 32-3 к протравителям проводили на среде МПА (методом лунок), а также в условиях глубинного культивирования. Установлено, что односуточная культура содержит 22,8 мг/л ЭПС, а через двое суток культивирования их количество составило 35,8 мг/л. Показано, что добавление в питательную среду РРР «Биолана» увеличивает количество ЭПС, продуцируемых *L. nimipressuralis* ССМ 32-3: на 20,6 % в суточной культуре и на 17,9 % – в двухсуточной. Исследовано действие рекомендованных в производстве доз фунгицидов («Витавакс 200», ФФ, «Ламадор FS», 400, «Раксил Ультра») на рост и жизнеспособность клеток *L. nimipressuralis* ССМ 32-3. Выявлено бактериостатическое действие изученных протравителей на жизнеспособность клеток штамма: титр клеток по сравнению с контролем снижался на 21 %, 9 % и 25 % при введении в питательную среду «Витавакса 200», ФФ, «Раксила Ультра», «Ламадора FS», 400 соответственно. Установлено, что внесение в питательную среду «Биолана» нивелирует негативное действие «Витавакса 200», ФФ и «Раксила Ультра», однако не влияет на воздействие «Ламадора FS», 400. Установлено положительное действие «Биолана» на *L. nimipressuralis* ССМ 32-3. Добавление РРР в питательную среду для культивирования штамма способствовало увеличению содержания ЭПС, что повысило резистентность клеток к исследуемым протравителям семян.

**Ключевые слова:** экзополисахариды, *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3, протравители семян, регулятор роста растений «Биолан».

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@rambler.ru.

Чайковская Людмила Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ludachaika@mail.ru.

Baranskaya Marina Ivanovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory of plant-microbe interaction, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150 Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail baranskaya@rambler.ru.

Chaikovskaya Ludmila Aleksandrovna, Dr. Sc. (Agr.), senior researcher, chief researcher of the Laboratory of plant-microbe interaction, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150 Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: ludachaika@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 20.08.2020.

Дата принятия к печати – 13.09.2020.

